

ЭЛЕКТР ЖӘНЕ ЭЛЕКТРОНИКА НЕГІЗДЕРІ МЕН ТЕХНОЛОГИЯСЫ

2

ELECTRICAL AND ELECTRONIC PRINCIPLES AND TECHNOLOGY

Fourth edition

John Bird, BSc (Hons), SEng, CSci, CMath, MIEE, FIIE,
FIET, FIMA, FCollT

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ
БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ

Джон Бёрд

ЭЛЕКТР ЖӘНЕ ЭЛЕКТРОНИКА НЕГІЗДЕРІ МЕН ТЕХНОЛОГИЯСЫ

2

Оқулық

Алматы, 2014

ӘОЖ
КБЖ
Б

*Қазақстан Республикасы Білім және ғылым министрлігінің
«Оқулық» республикалық ғылыми-практикалық орталығы бекіткен*

Қазақ тіліне аударғандар:
Маженов Н.А., Смирнов Ю.М., Смакова Н.С.

Б **Бёрд Дж.**

Электр және электроника негіздері мен технологиясы: Оқулық /
ауд. Н.А. Маженов, Ю.М. Смирнов, Н.С. Смакова. – Алматы, 2014.

ISBN 978–601–7427–24–5

2-бөлім. – 2014. – 524 б.

ISBN

Кітапта электртехниканың теориялық және қолданбалы мәселелері қарастырылған. Электр мен магнит өрістері және олардың тізбектері туралы мәліметтер берілген; электр өлшеу құралдары мен электр машиналарының құрылымдары және жұмыс істеу принциптері баяндалған; электрониканың негіздері келтірілген; операциялық күшейткіштер жайы қарастырылған. Электр энергиясын өндіру, тарату және тұтыну, электртехниканың даму болашағы, электрқауіпсіздік техникасының элементтері туралы мәліметтер келтірілген. Кітаптың соңында электртехника теорияларын меңгеруді жеңілдету үшін зертханалық жұмыстар да қосылған.

Оқулықтың мәтінін меңгеру электроника мен электртехника саласында жұмыс істейтін техниктерге, механиктерге, техникалық университеттердің 1, 2-курс студенттеріне, оқушыларға, электр техникасымен айналыса алатын оқырмандарға электроника мен электртехника саласы үшін кіріспе түрінде пайдалы.

ӘОЖ
КБЖ

© 2000, 2003, 2007, 2010 John Bird.
All rights reserved. Authorised translation from the English language edition published by Routledge, a member of the Taylor & Francis Group

© Қазақ тіліндегі басылым, ҚР жоғары оқу орындарының қауымдастығы, 2014

ISBN

ISBN 978–601–7427–24–5 (ортақ)

Сьюге

МАЗМҰНЫ

13-тарау Тұрақты ток теориясы	11
13.1 Кіріспе	12
13.2 Кирхгоф заңы	12
13.3 Суперпозиция принципі	22
13.4 Тұрақты ток тізбегінің жалпы теориясы.....	28
13.5 Тевенин теоремасы	32
13.6 Тұрақты ток қоректендіру көзі	43
13.7 Нортон теоремасы	44
13.8 Тевенин және Нортон эквивалентті сұлбалары	51
13.9 Максималды қуатты тасымалдау теоремасы	58
14-тарау Айнымалы ток пен кернеу	68
14.1 Кіріспе	69
14.2 Айнымалы генератор	69
14.3 Сигналдар.....	70
14.4 Айнымалы ток көзінің мәндері.....	73
14.5 Электрлік қауіпсіздік қондырғы мен сақтандырғыштар.....	81
14.6 Синусоидалы толқынның теңдеуі	81
14.7 Сигналдарды қосу (үйлестіру).....	87
14.8 Түзеткіш.....	96
14.9 Түзетілген шығу сигналын тегістеу	98
Тексеру Тесті 4.....	105
15-тарау Бір фазалы тізбектің айнымалы ток тізбегі.....	106
15.1 Таза резистивті кедергісі бар айнымалы ток тізбегі.....	107
15.2 Таза индуктивті айнымалы ток тізбегі.....	107
15.3 Сыйымдылықтық айнымалы ток тізбегі.....	108
15.4 Тізбектей жалғанған айнымалы ток көзі	112
15.5 $R - C$ тізбектей жалғанған айнымалы ток көзі	120
15.6 $R-L-C$ тізбектей жалғанған айнымалы ток көзі	124
15.7 Тізбекті резонанс.....	132
15.8 Q -фактор	134
15.9 Жолақтың ені мен іріктелгіштігі	137

15.10 Айнымалы ток көзінің қуаты	139
15.11 Қуаттың үшбұрышы мен қуаттың коэффициенті.....	141

16-тарау Бір фазалы параллель айнымалы ток көзінің сұлбасы..... 153

16.1 Кіріспе.....	153
16.2 R–L параллель айнымалы ток тізбектері.....	154
16.3 R–C параллель айнымалы ток тізбектері.....	156
16.4 L–C параллель тізбек.....	160
16.5 LR–C параллель айнымалы тізбек тогы.....	163
16.6 Параллельді резонанс пен сапалылық (Q-Фактор).....	170
16.7 Қуаттылық коэффициентті жақсарту.....	180

17-тарау Желінің фильтрі 196

17.1 Кіріспе.....	196
17.2 Екі портты (төрт полюсті) желі мен толқындық импеданс .	196
17.3 Төменгі жиіліктік фильтрлер.....	197
17.4 Жоғары жиіліктік фильтрлер.....	198
17.5 Жолақ фильтрлер.....	205
17.6 Режекторлық (тосқауыл) фильтрлері.....	213

18-тарау Өтпелі тұрақты ток..... 222

18.1 Кіріспе.....	223
18.2 Конденсаторды зарядтау.....	223
18.3 C–R Тізбегі үшін уақыт тұрақтысы.....	225
18.4 Тізбектей жалғанған C–R тізбегі үшін өтпелі қисық	226
18.5 Консаторды зарядсыздандыру.....	234
18.6 Тұтану.....	240
18.7 L –R тізбегіндегі токтың өсуі.....	240
18.8 L –R тізбегі үшін уақыт тұрақтысы.....	242
18.9 L –R тізбегі үшін өтпелі қисықтар	242
18.10 L –R тізбегіндегі токтың өшуі	246
18.11 Индуктивтік тізбектерді ауыстырып қосу.....	252
18.12 Тік төртбұрышты сигналдарға уақыт тұрақтысының әсерлері	252

19-тарау Операциялық күшейткіштер.....259

19.1	Операциялық күшейткішке кіріспе	260
19.2	ОК – ің кейбір параметрлері	264
19.3	ОК инвертті (кері) күшейткіш	267
19.4	Инверттік емес ОК.....	273
19.5	Кернеуді қайталаушы операциялық күшейткіш.....	275
19.6	ОК қосындылау күшейткіші	276
19.7	Компаратор.....	278
19.8	Интегратор.....	280
19.9	ОК дифференциалды күшейткіші	283
19.10	Цифрлы аналогты түрлендіру	287
19.11	Аналогты цифрлы түрлендіргіш А/Ц.....	289

Тексеру Тесті 5.....296**20-тарау Үш фазалы жүйе.....301**

20.1	Кіріспе	302
20.2	Үш фазалы коректендіру көзі	302
20.3	Жұлдызша жалғау	303
20.4	Үшбұрыштап жалғау	311
20.5	Үш фазалы жүйедегі қуат.....	315
20.6	Үш фазалы жүйедегі қуатты өлшеу	320
20.7	Жұлдызша және үшбұрыштап жалғауды салыстыру	332
20.8	Үш фазалы жүйелердің артықшылықтары	332

21-тарау Трансформаторлар.....336

21.1	Кіріспе	337
21.2	Трансформаторлардың жұмыс атқару принциптері.....	338
21.3	Жүктемесіз трансформатордың векторлық диаграммасы ..	344
21.4	Трансформатор теңдеуі мен электр қозғаушы күші (Э.Қ.К.).	347
21.5	Трансформатор жүктемесінің векторлық диаграммасы	352
21.6	Трансформатордың құрылысы	355
21.7	Трансформатордың эквиваленттік сұлбасы	357
21.8	Трансформаторды реттеу	360
21.9	Трансформатордың шығыны және пайдалы коэффициенттері	362
21.10	Сәйкестік кедергісі.....	368
21.11	Автрансформатор.....	374

21.12 Айырғыш трансформаторлар	378
21.13 Үш фазалы трансформаторлар	379
21.14 Ток трансформаторлары	382
21.15 Кернеу трансформаторы	384

Тексеру Тесті 6	390
------------------------------	------------

22-тарау Тұрақты ток электр машиналары392

22.1 Кіріспе	393
22.2 Коммутатордың әсері	393
22.3 Тұрақты ток машиналарының құрылыстары	395
22.4 Полюстердің қозу орамдарын параллель, тізбектей және аралас жалғау	396
22.5 Якорь орамындағы өндірілген ЭҚК	397
22.6 Тұрақты ток генераторы	402
22.7 Тұрақты ток қозғалтқыштарының типтері мен сипаттамалары	402
22.8 Тұрақты ток машиналарының шығындары	412
22.9 Тұрақты ток генераторының пайдалы әсер коэффициенті	413
22.10 Тұрақты ток қозғалтқыштары	146
22.11 Тұрақты ток қозғалтқыштарының айналу моменті	418
22.12 Тұрақты ток қозғалтқыштарының типтері мен сипаттамалары	423
22.13 Тұрақты ток қозғалтқышының пайдалы әсер коэффициенті	431
22.14 Тұрақты ток стартері	436
22.15 Тұрақты ток қозғалтқышының жылдамдығын басқару	438
22.16 Қозғалтқышты салқындату	444

23-тарау Үш фазалы асинхронды қозғалтқыштар452

23.1 Кіріспе	453
23.2 Айналатын магнит өрісін алу	453
23.3 Синхронды жылдамдық	456
23.4 Үш фазалы асинхронды қозғалтқыштың конструкциясы ...	460
23.5 Үш фазалы асинхронды қозғалтқыштың жұмыс істеу принципі	461
23.6 Сырғанау	462
23.7 Ротордың Э.Қ.К. мен жиілігі	466

23.8	Ротордың толық кедергісі мен тогы.....	468
23.9	Ротор орамының шығыны.....	470
23.10	Асинхронды қозғалтқыштардың шығындары мен пайдалы әсер коэффициенттері.....	471
23.11	Асинхронды қозғалтқыш үшін айналу моментінің теңдеуі	473
23.12	Асинхронды қозғалтқыштың айналу моментінің жылдамдық сипаттамалары	481
23.13	Асинхронды қозғалтқышты іске қосу	483
23.14	Қысқа тұйықталған асинхронды қозғалтқыштардың артықшылықтары.....	485
23.15	Фазалы роторлы асинхронды қозғалтқыштың артықшылығы.....	485
23.16	Қысқа тұйықталған роторлы асинхронды қозғалтқыш	486
23.17	Үш фазалы қозғалтқышты пайдалану	487

Тексеру Тесті 7.....492

24-тарау Кейбір практикалық зертханалық тәжірибелер.....496

24.1	Ом заңы	497
24.2	Тұрақты ток үшін тізбектей және параллель жалғанған сұлбалар.....	498
24.3	Суперпозиция принципі	500
25.4	Тевенин теоремасы	502
24.5	Кернеу, жиілік және фаза сияқты параметрлерді осциллографтың көмегімен өлшеу	509
24.6	Көпірше түзеткішімен қосылған электрон-сәулелі осциллографты пайдалану.....	507
24.7	Ораманың индуктивтілігін өлшеу.....	509
24.8	Айнымалы ток көзінің тізбектері мен резонанс.....	510
24.9	Параллель қосылған айнымалы ток тізбегі мен резонанс..	513
24.10	Конденсаторды зарядтау және разрядтау	515

Тест сұрақтарына дұрыс жауапты таңдау.....518

Пәндік көрсеткіштер.....521

ТҰРАҚТЫ ТОК ТЕОРИЯСЫ

Тараудың соңында меңгеретін сұрақтардың тізімі

- Кирхгоф заңын тұжырымдау: тұрақты ток сұлбаларындағы белгісіз ток пен кернеуді анықтау үшін Кирхгоф заңын пайдалану
- Суперпозиция принципін меңгеру және оны тұрақты ток сұлбасында қолдану
- Тұрақты ток тізбегінің жалпы теориясын меңгеру
- Тевенин теоремасын меңгеру және оны тұрақты ток сұлбасында белгісіз токты табу үшін пайдалану
- Кернеу мен ток үшін идеалды қоректендіру көзінің сұлбасындағы элементтерді түсіну
- Нортон теоремасын меңгеру және оны тұрақты ток сұлбасында белгісіз токты анықтауда қолдану
- Тевенин мен Нортонның эквивалентті сұлбаларын пайдалана білу және оны бағалау
- Тұрақты ток сұлбасында максималды қуатты анықтау үшін максималды берілетін қуат туралы теореманы тұжырымдау

13.1 Кіріспе

Тұрақты ток тізбектерінде ток пен кернеудің түсуін анықтай алатын заңдар: (а) Ом заңы (2-тарау), (b) резисторларды параллель және тізбектей жалғау заңдылығы (5-тарау), (с) Кирхгоф заңы (13). Сонымен бірге электр желісіндегі көптеген мәселелерді шешуге арналған бірнеше теоремалар тізімі:

- 1) Суперпозиция теоремасы;
- 2) Тевенин теоремасы;
- 3) Нортон теоремасы;
- 4) Максимальды берілетін қуат туралы теорема.

13.2 Кирхгоф заңы

Кирхгоф заңы:

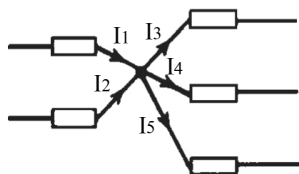
Кирхгофтың бірінші ережесі (ток заңы немесе түйіндер ережесі) *түйіндерге кіретін және одан шығатын токтар арасындағы байланысты қарастырады. Электр тізбегінің түйіні деп бойынан ток өтіп тұратын, кем дегенде үштен кем емес өткізгіштердің тоғысатын нүктесін атайды. Тұрақты токты қарастырғанда түйінге қанша заряд ағып келсе, тура сонша заряд ағып кететінін ескеру керек. Түйінге кіретін токтарды оң, ал шығатын токтарды теріс деп есептесек, мынадай ережені айтуға болады: түйінде тоғысқан ток күштерінің алгебралық қосындысы нөлге тең: $\sum I = 0$.*

Олай болса 13.1-суретте жалпы түрде:

$$I_1 + I_2 = I_3 + I_4 + I_5$$

немесе

$$I_1 + I_2 - I_3 - I_4 - I_5 = 0.$$



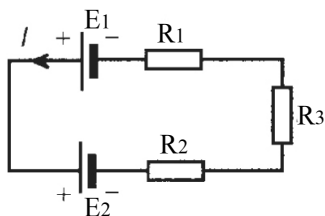
13.1-сурет

Кирхгофтың екінші ережесі (контурлар ережесі немесе кернеу заңы) бойынша кез келген тұйық контур үшін э.к.к.-нің алгебралық қосындысы ток күшінің сәйкес кедергісіне көбейтінділерінің алгебралық қосындысына тең.

13.2-суреттен жалпы түрде

$$E_1 - E_2 = IR_1 + IR_2 + IR_3.$$

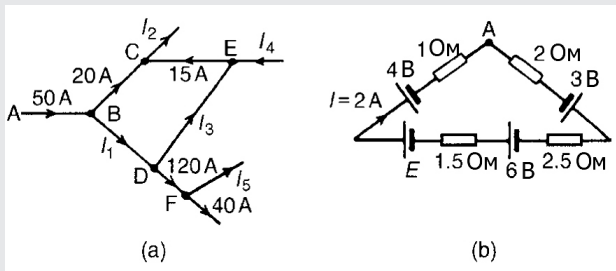
(Айта кету керек, ток қоректендіру көзінің оң клеммасынан алынса, мұндай ток оң деп алынады. Сонымен 13.2-суретте көрсетілгендей, егер тізбек бойынша ток сағат тіліне қарсы жаққа бағытталса, онда E_1 оң, ал E_2 теріс деп белгіленеді).



13.2-сурет

Кирхгофтың бірінші және екінші ережесіне сәйкес құрылған тәуелсіз теңдеулердің саны тармақталған тізбектерден өтетін әртүрлі токтардың санына тең. Сондықтан егер бөліктердің кедергілері мен э.к.к. берілсе, онда барлық токты есептеуге болады.

- 1-есеп.** (a) 13.3(a)-суреттегі белгіленген белгісіз токтарды табыңыз;
(b) 13.3 (b)-суретте э.к.к.-ің мәнін анықтаңыз.



13.3-сурет

(a) Кирхгофтың бірінші ережесін пайдаланса:

В түйіні үшін: $50 = 20 + I_1$

Олай болса $I_1 = 30 \text{ A}$

С түйіні үшін: $20 + 15 = I_2$

Олай болса $I_2 = 35 \text{ A}$

D түйіні үшін: $I_1 = I_3 + 120$

Олай болса $30 = I_3 + 120$

Ендеше $I_3 = -90 \text{ A}$

(яғни, 13.3(a)-суретте осы бөліктегі токтың нақты бағыты көрсетілген бағытқа қарсы болғаны)

Е түйіні үшін: $I_4 + I_3 = 15$

Олай болса $I_4 = 15 - (-90)$

Ендеше $I_4 = 105 \text{ A}$

F түйіні үшін: $120 = I_5 + 40$

Ендеше $I_5 = 80 \text{ A}$

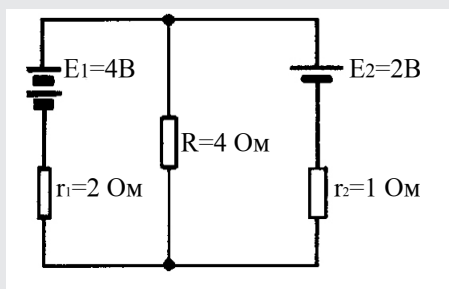
(b) Кирхгофтың кернеу заңын қолдана отырып, 13.3(b)-суретте келтірілген A нүктесінен бастап сағат тілінің бағытымен тізбекті айнала бастайды:

$$3 + 6 + E - 4 = (I)(2) + (I)(2.5) + (I)(1.5) + (I)(1) = I(2 + 2.5 + 1.5 + 1)$$

$$5 + E = 2(7) \quad I = 2 \text{ A} \text{ тең болғандықтан}$$

$$\text{яғни } E = 14 - 5 = 9 \text{ B}$$

2-есеп. 13.4-суретте берілген тізбектің әрбір түйініндегі токтарды табу үшін Кирхгофтың бірінші заңын пайдаланады.

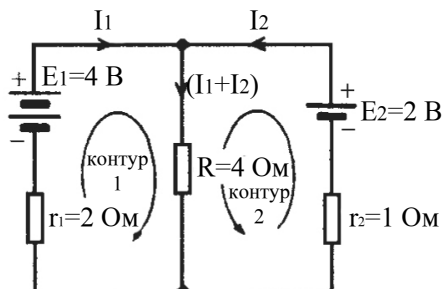


13.4-сурет

Орындалу тәсілі

1. Кирхгофтың ток заңын пайдалана отырып, сұлбада токтың бағытын белгілеуге болады, алайда бастапқы нүкте ретінде батареяның полюс клеммаларында өтетін токтың бағытын алдын ала келісіп алған жөн.

Осы айтылған шарт *13.5-суретте* көрсетілген, мұндағы 3 тармақты сұлбадағы ток I_1 мен I_2 арқылы берілген, себебі R арқылы өтетін ток $(I_1 + I_2)$ қосындысына тең.



13.5-сурет

2. Тізбекті екі тармаққа (екі контурға) бөліп, содан кейін олардың әрқайсысына Кирхгофтың кернеу заңын қолданыңыз. *13.5-суретте* көрсетілгендей 1-контурда ток сағат тілімен бағыттас (таңдап алынған бағыттың маңызы жоқ) ағып, келесі өрнекпен сипатталады:

$$E_1 = I_1 r_1 + (I_1 + I_2) R \quad 4 = 2I_1 + 4(I_1 + I_2)$$

Олай болса,

$$6I_1 + 4I_2 = 4 \quad (1)$$

Екінші контурда *13.5-суретте* көрсеткендей, тізбек бойынша ток енді сағат тіліне қарсы қозғалады (тағы да айта кету керек, бағытты таңдап алудың маңызы жоқ, ол тек бірінші контурға қарсы болса болғаны):

$$E_2 = I_2 r_2 + (I_1 + I_2) R \quad 2 = I_2 + 4(I_1 + I_2)$$

$$4I_1 + 5I_2 = 2 \quad (2)$$

- 3) I_1 мен I_2 үшін (1) және (2) теңдеулерінің шешімін табамыз:

$$2 \times (1): 12I_1 + 8I_2 = 8 \quad (3)$$

$$3 \times (2): 12I_1 + 15I_2 = 6 \quad (4)$$

$$(3) - (4): -7I_2 = 2$$

Олай болса $I_2 = -2/7 = -0.286 \text{ A}$

(Яғни *13.5-суретте* көрсетілген бағытқа I_2 қарсы ағады).

(1)-ден
$$6I_1 + 4(-0.286) = 4$$

олай болса
$$6I_1 = 4 + 1.144$$

$$I_1 = \frac{5.144}{6} = 0.857 \text{ A}$$

R арқылы өтетін ток:

$$(I_1 + I_2) = 0.857 + (-0.286) = 0.571 \text{ A}$$

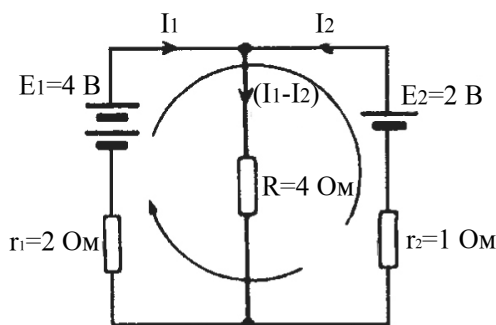
Айта кету керек 13.6-суретте көрсетілгендей, контур (1) мен (2) теңдеудің айырымын бере алады, сонымен осы алынған нәтиже алдыңғы есептелген 2 контурдың дұрыстығын тексеру үшін пайдаланылады.

$$E_1 - E_2 = I_1 r_1 - I_2 r_2$$

$$4 - 2 = 2I_1 - I_2$$

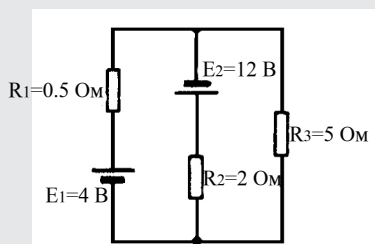
$$2 = 2I_1 - I_2$$

[Тексеру: $2I_1 - I_2 = 2(0.857) - (-0.286) = 2$]



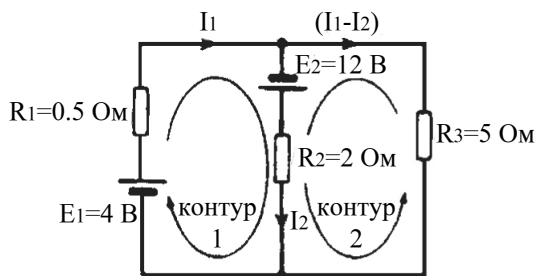
13.6-сурет

3-есеп. Кирхгофтың ток заңын пайдалана отырып, 13.7-суретте келтірілген сұлба бойынша тізбектің әрбір тармағындағы токты анықтаңыз.



13.7-сурет

- 1) Кирхгофтың ток заңына сай 13.8-суретте ток пен оның ағу бағыты белгіленіп, көрсетілген. Ток әруақытта қоректендіру көзінің оң клеммасынан теріс клеммасына қарай ағуы міндетті емес.



13.8-сурет

- 2) 13.8-суретте көрсетілгендей тізбек екі контурға бөлінген. Кирхгофтың кернеу заңын орындай отырып, 1 контур үшін:

$$\begin{aligned} E_1 + E_2 &= I_1 R_1 - I_2 R_2 \\ 16 &= 0.5 I_1 + 2 I_2 \end{aligned} \quad (1)$$

2 контур үшін:

$$\begin{aligned} E_2 &= I_2 E_2 - (I_1 - I_2) R_3 \\ 12 &= 2 I_2 - 5(I_1 - I_2) \\ 12 &= -5 I_1 + 7 I_2 \end{aligned} \quad (2)$$

$(I_1 - I_2)$ токтың бағытына 2 контур қарсы болғандықтан, R_3 арқылы кернеудің түсуі $(I_1 - I_2) R_3$ шартты түрде теріс деп алынады. Сондықтан:

- 3) (1) мен (2) теңдеулерді шеше отырып, I_1 мен I_2 табылады. Олай болса

$$10 \times (1): 160 = 5 I_1 + 20 I_2 \quad (3)$$

$$(2) + (3): 172 = 27 I_2$$

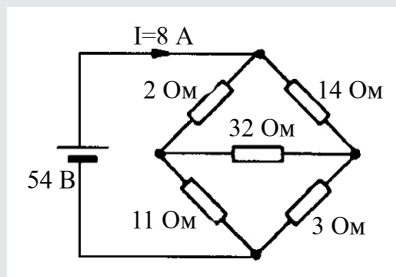
$$I_2 = \frac{172}{27} = 6.37 \text{ A}$$

$$16 = 0.5 I_1 + 2(6.37)$$

$$I_1 = \frac{16 - 2(6.37)}{0.5} = 6.52 \text{ A}$$

R_3 арқылы өтетін токтың шамасы: $= (I_1 - I_2) = 6.52 - 6.37 = 0.15 \text{ A}$

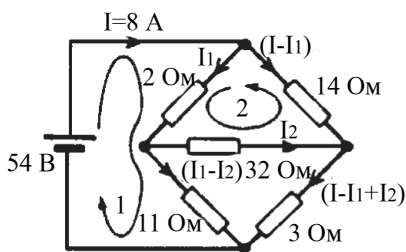
4-есеп. 3.9-суреттегі сұлбада көпірдің құрамындағы әрбір резистордан өтетін ток күштерін анықтаңыз.



13.9-сурет

Кедергісі 2 Ом резистордан өтетін ток I_1 болсын, сонда Кирхгоф заңы бойынша кедергісі 14 Ом резистордағы ток $(I - I_1)$, ал кедергісі 32 Ом резистордағы ток I_2 болсын (13.10-суретке қараңыз). Ендеше кедергісі 11 Ом резистордағы ток күші $(I_1 - I_2)$ және кедергісі 3 Ом резисторда ток күші $(I - I_1 + I_2)$ тең болсын. Кирхгофтың кернеу заңын қолдана отырып, 1-контур үшін 13.10-суретте көрсетілгендей, токты сағат тілі бойынша ағады деп қарастыра отырып, келесі теңдеуді табамыз:

$$\begin{aligned} 54 &= 2I_1 + 11(I_1 - I_2) \\ 13I_1 - 11I_2 &= 54 \end{aligned} \quad (1)$$



13.10-сурет

13.10-суретте көрсеткендей, екінші контур үшін Кирхгофтың кернеу заңын пайдалана отырып, токты сағат тіліне қарсы бағытталсын деп алайық, сонда:

$$\begin{aligned} 0 &= 2I_1 + 32I_2 - 14(I - I_1) \\ \text{алайда} \quad I &= 8A \\ \text{олай болса} \quad 0 &= 2I_1 + 32I_2 - 14(I - I_1) \end{aligned}$$

$$16I_1 + 32I_2 = 112 \quad (2)$$

I_1 мен I_2 екі белгісіз теңдеулер (1) және (2) теңдеулерімен синхронды болып табылады:

$$16 \times (1) \text{ көбейтіндісінен: } 208I_1 - 176I_2 = 864 \quad (3)$$

$$13 \times (2) \text{ көбейтіндісінен: } 208I_1 + 416I_2 = 1456 \quad (4)$$

$$(4) - (3) \text{ айырымынан } 592I_2 = 592$$

$$I_2 = 1 \text{ A}$$

I_2 мәнін (1) теңдеуге қоямыз:

$$13I_1 - 11 = 54$$

$$I_1 = \frac{65}{13} = 5 \text{ A}$$

Олай болса кедергісі 2 Ом резистор арқылы

$$= I_1 = 5 \text{ A ток ағады.}$$

Кедергісі 14 Омға тең резистор арқылы:

$$= (I - I_1) = 8 - 5 = 3 \text{ A ток өтеді}$$

Кедергісі 32 Омға тең резистор арқылы:

$$= I_2 = 1 \text{ A ток өтеді}$$

Кедергісі 11 Омға тең резистор арқылы:

$$= (I_1 - I_2) = 5 - 1 = 4 \text{ A ток өтеді}$$

Кедергісі 3 Омға тең резистор арқылы:

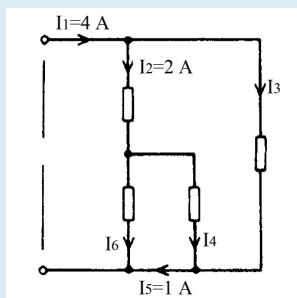
$$= I - I_1 + I_2 = 8 - 5 + 1 = 4 \text{ A ток өтеді}$$

Келесі жаттығуды орындаңыздар.

69-жаттығу. Кирхгоф заңына арналған қосымша есептер

1. 13.11-суреттен I_3 , I_4 және I_6 токтарын табыңыздар.

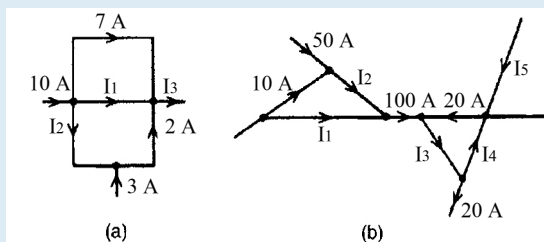
$$[I_2 = 2 \text{ A}, I_4 = -1 \text{ A}, I_6 = 3 \text{ A}]$$



13.11-сурет

2. 13.12-суреттегі сұлба үшін белгіленген токтардың мәнін табыңыздар.

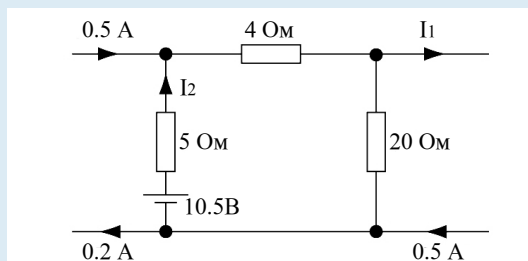
$$\begin{aligned} (a) \quad & I_1 = 4 \text{ A}, I_2 = -1 \text{ A}, I_3 = 13 \text{ A} \\ (b) \quad & I_1 = 40 \text{ A}, I_2 = 60 \text{ A}, I_3 = 120 \text{ A} \\ & I_4 = 100 \text{ A}, I_5 = -80 \text{ A} \end{aligned}$$



13.12-сурет

3. 13.13-суреттегі сұлбадан I_1 мен I_2 токтарын есептеңіздер.

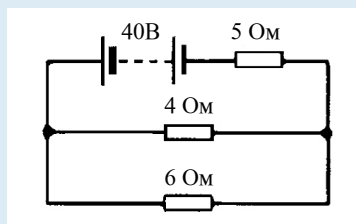
$$[I_1 = 0.8 \text{ A}, I_2 = 0.5 \text{ A}]$$



13.13-сурет

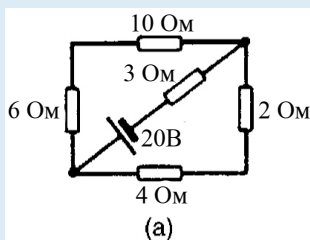
4. 13.13-суреттегі сұлба бойынша Кирхгофтың заңын пайдалана отырып, кедергісі 6 Ом резистордағы токты және кедергісі 4 Ом резисторда бөлінетін қуатты есептеңіз.

$$[2.162 \text{ A}, 42.07 \text{ Bm}]$$

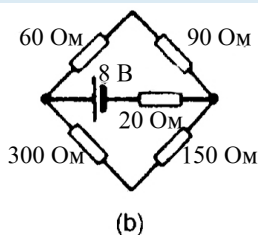


13.14-сурет

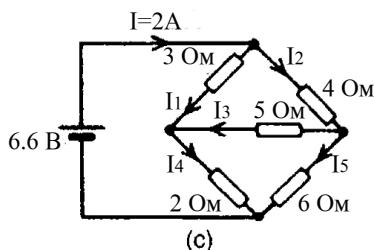
5. 13.15(a)-суретте көрсетілген желі үшін кедергісі 3 Ом резистордан өтетін ток күшін анықтаңыз. Кедергілері 10 Ом және 20 Ом резисторлар үшін потенциалдар айырымын табыңыз.
[2.715 A, 7.410 B, 3.948 B]



(a)



(b)



(c)

13.15-сурет

6. 13.15(b)-суретте желі келтірілген. Олай болса табыңыз: (a) батарея тогын, (b) кедергісі 300 Ом резистор тогын, (c) кедергісі 90 Ом резистор арқылы өтетін токты, (d) кедергісі 150 Ом резисторда бөлінетін қуатты.

[(a) 60.38 mA, (b) 15.10 mA
(c) 45.28 mA, (d) 34.20 mW]

7. 3.15(c)-суретте көрсетілген көпір сұлбасы үшін $I_1 - I_5$ дейінгі барлық токтардың мәндерін табыңыздар.

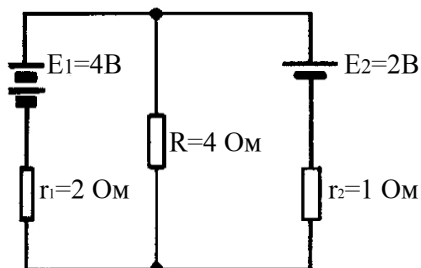
[$I_1 = 1.26 A$, $I_2 = 0.74 A$, $I_3 = 0.16 A$
 $I_4 = 1.42 A$, $I_5 = 0.58 A$]

13.3 Суперпозиция принципі

Кез келген түзу сызықтық желі кедергілерден тұра алады және ондай желіде бірнеше э.қ.к.-ің қоректендіру көздері болуы мүмкін, жалпы ток кез келген тармақта аға алады, осы тармақтардан өтетін токтардың алгебралық қосындысы әрбір қоректендіру көзін бөлек алғандай қарастырылады. Барлық басқа қоректендіру көздері осы мезетте олардың ішкі кедергілеріне сәйкесінше айырбасталынады.

Суперпозиция принципін түсіну үшін келесі бірнеше есептерді шығарайық.

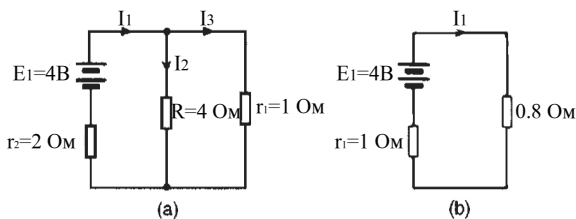
5-есеп. 13.16-суретте келтірілген сұлба әрқайсысының ішкі кедергілері бар екі э.қ.к.-ің көздерінен тұрады. Сұлбаның әрбір тармағына токтың суперпозиция принципін қолдануға болады.



13.16-сурет

Орындау тәртібі:

1. 13.17(a)-суреттегі алғашқы сұлбаны қайта салу қажет. Одан E_2 қоректендіру көзін алып тастап, оның тек r_2 ішкі кедергісін ғана қалдырамыз.



13.17-сурет

2. 13.17(a)-суретте көрсеткендей әрбір тармақта тоқты белгілеп, бағытын анықтап, мәнін есептейміз. (Айта кету керек, токтың бағыты батареяның оң клеммасынан басталатындықтан ток оң деп белгіленеді. Келісім бойынша токтың бағыты батареяның полюстеріне тәуелді, сондықтан ток оның оң клеммасынан шығып, теріс клеммасына қарай ағады). R мен r_2 параллель, сөйтіп олар эквивалентті кедергіні береді.

$$(4 \times 1)/(4 + 1) = 0.8 \text{ Ом}$$

13.17(b)-суреттегі эквивалентті сұлбадан:

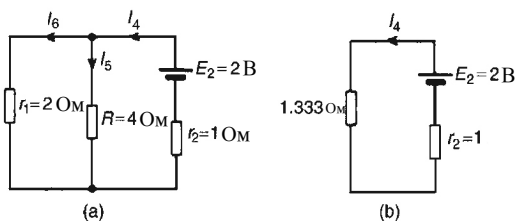
$$I_1 = \frac{E_1}{r_1 + 0.8} = \frac{4}{2 + 0.8} = 1.429 \text{ A}$$

13.17(a)-суреттен токтың таралуы бойынша:

$$I_2 = \left(\frac{1}{4+1} \right) I_1 = \frac{1}{5} (1.429) = 0.286 \text{ A}$$

$$I_3 = \left(\frac{4}{4+1} \right) I_1 = \frac{4}{5} (1.429) = 1.143 \text{ A}$$

3. 13.18-суреттегі алғашқы сұлбадан тек қана r_1 қалдырып, E_1 қоректендіру көзін алып тастасақ, онда ол сұлбаны 13.18(a)-суретте көрсетілгендей қайта салу қажет.



13.18 (a), (b)-сурет

4. Желінің әрбір тармағындағы тоқты 13.18(a)-суретте көрсеткендей бағытын белгілеп, мәндерін келесі шарт үшін анықтаңыз: r_1 мен R параллель және олар келесі эквивалентті кедергіні бере алады.

$$(2 \times 4)/(2 + 4) = 8/6 = 1.333 \text{ Ом}$$

13.18(b)-суретте токтың эквивалентігінен

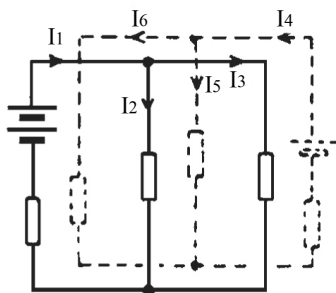
$$I_4 = \frac{E_2}{1.333 + 1} = \frac{2}{1.333 + 1} = 0.857 \text{ A}$$

13.18(b)-суреттен

$$I_5 = \left(\frac{2}{2+4} \right) I_4 = \frac{2}{6} (0.857) = 0.286 \text{ A}$$

$$I_6 = \left(\frac{4}{2+4} \right) I_4 = \frac{4}{6} (0.857) = 0.571 \text{ A}$$

5. 13.18(a)-суреті мен 13.17(a)-суретіндегі сұлбаларды бір-бірімен беттестіру нәтижесі 13.19-суретте келтірілген.



13.19-сурет

- 6 Әрбір тармақта ағып жатқан токтардың алгебралық қосындысын анықтаңыздар.

1-қоректендіру көзінен өтетін қорытынды ток тең:

$$I_1 - I_6 = 1.429 - 0.571 = \mathbf{0.858 \text{ A}} \text{ (зарядсызданады)}$$

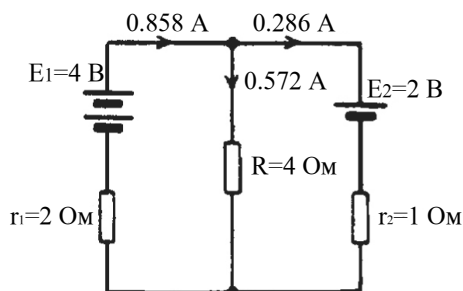
2-қоректендіру көзі арқылы өтетін қорытынды ток

$$I_4 - I_3 = 0.857 - 1.143 = \mathbf{-0.286 \text{ A}} \text{ (зарядталады)}$$

R резистор арқылы өтетін қорытынды ток,

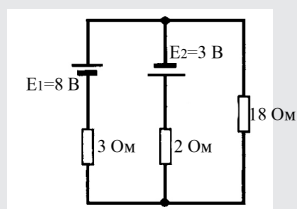
$$I_2 + I_5 = 0.286 + 0.286 = \mathbf{0.572 \text{ A}}$$

13.20-суретте қорытынды токтар өздерінің бағыттарымен келтірілген.



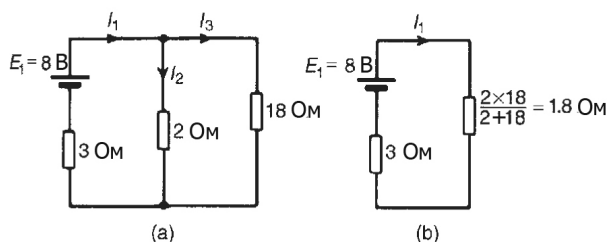
13.20-сурет

6-есеп. 13.21-суретте келтірілген сұлбадан суперпозиция принципін пайдалана отырып, келесі тапсырманы табыңыз: (а) кедергісі 18 Ом резистордағы потенциалдар айырымын осы резистордан өтетін токты; (б) кернеуі 8 В батареяға сәйкес ток күшін; (с) кернеуі 3 В батарея ток күшін.



13.21-сурет

- 1) Егер E_2 қоректендіру көзін 13.21-сұлбасынан алып тастаса, онда 13.22(a)-сұлбасы шығады.



13.22-сурет

- 2) 13.22(a)-суретте I_1 токтың бағыты E_1 қоректендіру көзінің оң клеммасынан ағып жатқаны берілген.
13.22(b)-суреттен:

$$I_1 = \frac{E_1}{3 + 1.8} = \frac{8}{4.8} = 1.667 \text{ A}$$

13.22(a)-суреттен:

$$I_2 = \left(\frac{18}{2 + 18} \right) I_1 = \frac{18}{20} (1.667) = 1.500 \text{ A}$$

$$I_3 = \left(\frac{2}{2 + 18} \right) I_1 = \frac{2}{20} (1.667) = 0.167 \text{ A}$$

- 3) 13.21-суреттегі сұлбадан E_1 қоректендіру көзін алып тастаса 13.23(a)-

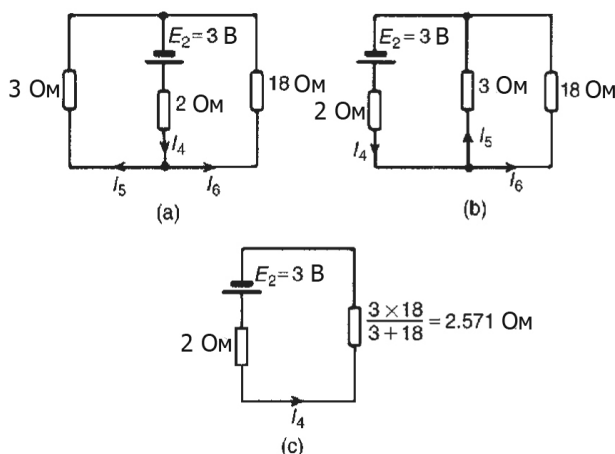
суреттегі сұлба шығады, ал ол сұлба 13.23(b)-суреттегі сұлбамен бірдей.

- 4) 13.23(a) мен 13.23(b)-суреттерде E_2 -нің оң клеммасынан ағып өтетін I_4 токтың бағыты белгіленген:
13.23(c)-суреттен

$$I_4 = \frac{E_2}{2 + 2.571} = \frac{3}{4.571} = 0.656 \text{ A}$$

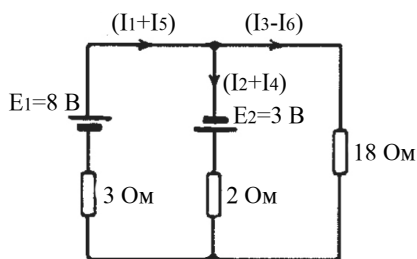
13.23(b)-суреттен

$$I_5 = \left(\frac{18}{3+18} \right) I_4 = \frac{18}{21} (0.656) = 0.562 \text{ A}$$



13.23-сурет

- 5) 13.23(a)-суретін 13.22(a)-суретімен беттестіргенде 13.24(c)-суреттегі сұлба шығады.
- 6) (a) Кедергісі 18 Ом резистордың қорытынды тогы $= I_3 - I_6 = 0.167 - 0.094 = \mathbf{0.073 \text{ A}}$,
(a) Кедергісі 18 Ом резистордың потенциалдар айырымы $= 0.073 \times 18 = \mathbf{1.314 \text{ B}}$
- (b) Кернеуі 8 В батарея үшін
қорытынды ток $= I_1 - I_5 = 1.667 + 0.562 = \mathbf{2.229 \text{ A}}$ (зарядсызданады)
- (c) Кернеуі 3 В батарея үшін
қорытынды ток $= I_2 + I_4 = 1.500 + 0.656 = \mathbf{2.156 \text{ A}}$ (зарядсызданады)



13.24-сурет

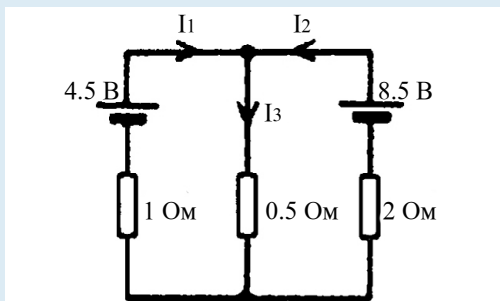
Суперпозиция принципіне арналған зертханалық жұмыстар 24-тарауда келтірілген.

Келесі жаттығуды орындаңыздар.

70-жаттығу. Суперпозиция принципіне арналған қосымша есептер

1. 13.25-суретте келтірілген сұлба бойынша I_1 , I_2 және I_3 токтардың шамаларын суперпозиция принципін пайдалана отырып табыңыздар.

$$[I_1 = 2 \text{ A}, I_2 = 3 \text{ A}, I_3 = 5 \text{ A}]$$

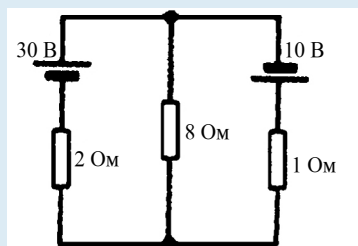


13.25-сурет

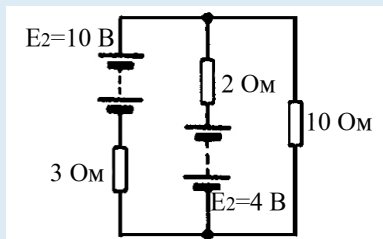
2. Суперпозиция принципін пайдалана отырып, 13.26-суретте келтірілген кедергісі 8 Ом резистордан өтетін токты табыңыз.
[0.385 A]
3. Суперпозиция принципін пайдалана отырып 13.27-суретте көрсетілген желідегі әрбір тармақтың токтарын табыңыз.

[Кернеуі 10 В батарея токтың 1.429 А шамасында зарядсызданады.]

Кернеуі 4 В батарея токтың 0.857 А шамасында зарядсызданады.
Кедергісі 10 Ом резистордағы токтың оң шамасы 0.571 А]



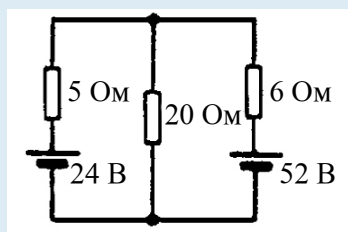
13.26-сурет



13.27-сурет

4. Суперпозиция принципін пайдалана отырып 13.28-суретте келтірілген әрбір тармақтағы токты табыңыз.

Кернеуі 24 В батарея токтың 1.664 А шамасында зарядсызданады.
Кернеуі 52 В батарея токтың 3.280 А шамасында зарядсызданады.
Кедергісі 20 Ом резистордағы токтың шамасы 1.616 А]

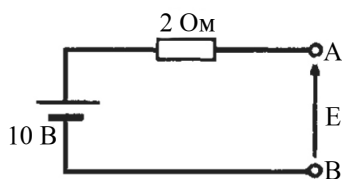


13.28-сурет

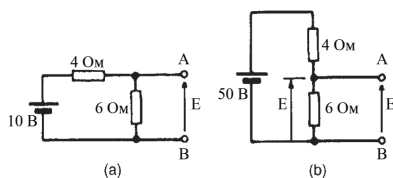
13.4 Тұрақты ток тізбегінің жалпы теориясы

Нортон және Тевенин теорияларын пайдалану алдында тұрақты ток тізбегінде болатын кейбір жағдайлар алдын ала қарастырылуы керек:

- Кедергісі 2 Ом резистордан ток өтпейді, сондықтан кернеудің түсуі жоқ, сонда 13.29-суретте көрсетілген ашық тізбектегі AB клеммаларының E кернеуі 10 В -ке эквивалентті.
- 13.30(а)-суретте көрсетілген сұлбадағы AB клеммаларындағы ашық тізбектегі E кернеуі кедергісі 6 Ом резистордың кернеуімен бірдей. Осы сұлба 13.30 (b)-суретте көрсетілген сұлба сияқты қайта салынады, сонда тізбектей жалғанған сұлбадағы кернеуді бөлу тәсілімен E кернеуі:



13.29-сурет



13.30-сурет

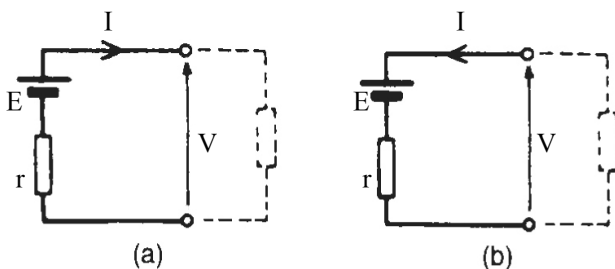
$$E = \left(\frac{6}{6+4} \right) (50)$$

яғни $E = 30 \text{ В}$ тең болады

$$E = 30 \text{ В}$$

3. 13.31(a)-сурет энергиямен жабдықтау көзін көрсететін сұлба болып табылады, $V = E - Ir$. Мұндағы E батареяның э.к.к., V – батарея клеммаларының кернеуі, r – батареяның ішкі кедергісі. 13.31 (b)-суреттегі сұлба үшін:

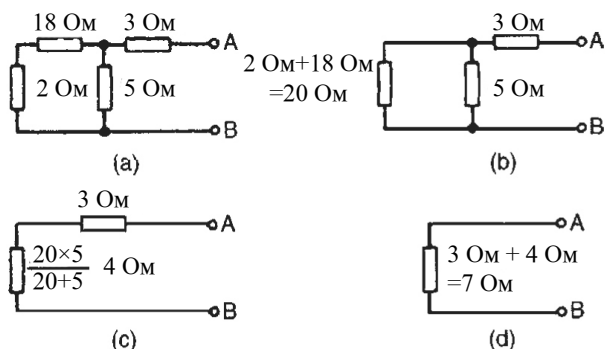
$$V = E - (-I)r, V = E + Ir$$



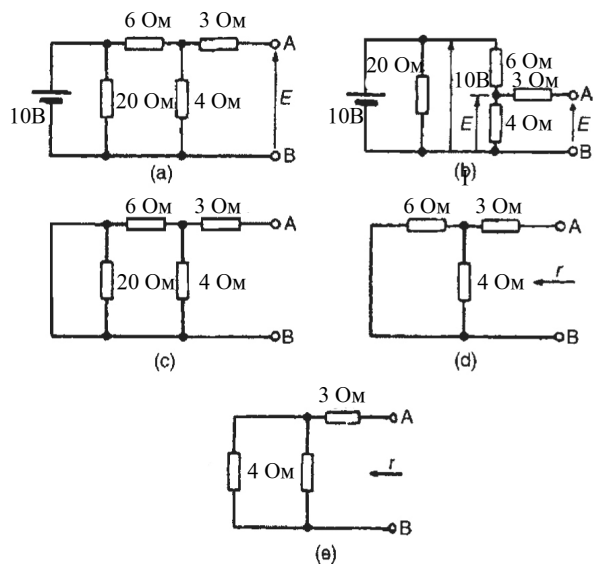
13.31-сурет

4. 13.32(a)-суреттегі сұлбадан AB клеммаларындағы кедергілер бірте-бірте сатылы эквиваленттеліп, 13.32(b)-, 13.32 (c)-, 13.32(d)-сұлбалары алынған. Олай болса AB -ға байланысты эквивалентті кедергі 7 Ом -ға тең болғаны.
5. 13.33(a)-суретте көрсетілген сұлба үшін кедергісі 3 Ом резисторда ешқандай ток жүрмейді және кедергісі 20 Ом резистордың потенциалдар айырымы – 10 В . Сол суретті 13.33(b)-суреті түрінде қайта саламыз, сонда

$$E = \left(\frac{4}{4+6} \right) \times 10 = 4 \text{ В}.$$



13.32-сурет



13.33-сурет

6. Егер 13.33(а)-суреттегі кернеуі 10 В аккумулятор батареясы сұлбадан алынып тасталынса және ол 13.33(с)-суретте келтірілгендей қысқа тұйықтаумен алмастырылса, онда кедергісі 20 Ом резистор сұлбадан алынып тасталуы мүмкін. Қысқа тұйықталу кедергісі нөлге тең болғандықтан, кедергісі **20 Ом резистор кедергісі** нөл резистормен параллель қосылғанда оларға эквивалентті кедергі $(20 \times 0)/(20 + 0)$ -ге тең болғандықтан, **оның** мәні нөлге, яғни 0 Ом. 13.33(д)-суретіндегі

сұлба осыдан кейін 13.33(е)-суретіндегідей қайта салынады. 13.33(е)-суретінен барлық AB үшін эквивалентті кедергі:

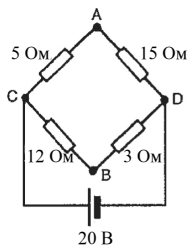
$$r = \frac{6 \times 4}{6 + 4} + 3 = 2.4 + 3 = 5.4 \text{ Ом}$$

7. 13.34-суреттегі AB -дан өтетін кернеуді табу үшін: 20 В кернеу көзі кедергілері 5 Ом және 15 Ом резисторларға түсетіндіктен, кернеудің бөлінуі AC клеммаларында орындалады:

$$V_{AC} = \left(\frac{5}{5+15} \right) (20) = 5 \text{ В}$$

тура солай

$$V_{CB} = \left(\frac{12}{12+3} \right) (20) = 16 \text{ В}$$



13.34-сурет

13.34-суреттен V_C -нің потенциалы +20 В.

$$V_A = V_C - V_{AC} = +20 - 5 = 15 \text{ В}$$

$$V_B = V_C - V_{BC} = +20 - 16 = 4 \text{ В}$$

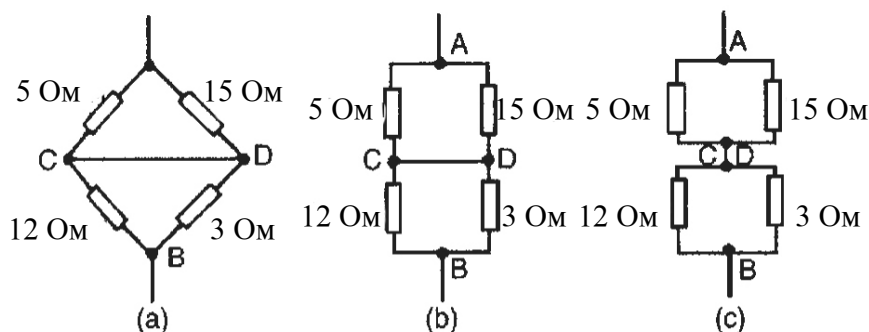
және олай болса AB арасындағы кернеу

$$V_A - V_B = 15 - 4 = 11 \text{ В}$$

A -ның потенциалы B -ға қарағанда жоғары болғандықтан, ток A -дан B -ға қарай ағады.

8. 13.35(a)-суретіндегі сұлба бойынша AB арасындағы эквивалентті кедергіні табу үшін 13.35 (b) мен (c)-суреттерінде көрсетілгендей сұлбаны қайтадан салуға болады. 13.27(c)-суреттен AB арасындағы эквивалентті кедергі тең

$$= \frac{5 \times 15}{5 + 15} + \frac{12 \times 3}{12 + 3} = 3.75 + 2.4 = 6.15 \text{ Ом}$$



13.35-сурет

9. 13.5 және 13.7-тарауда келтірілген есептерде Тевенин және Нортон теорияларының Кирхгоф заңдарымен салыстырғанда артықшылықтары жоқ екені байқалды. Алайда бұл теориялар өте күрделі желілердегі тізбектің жеке бір бөліктеріне жақсы пайдаланыла алынады. Күрделі желілерде олардың қоректендіру көзін алмастыру принциптерін пайдалана отырып, тұрақты кернеу көзіне қосуға болады. Осындай алмастырулар арқасында қоректендіру көзін кедергімен немесе импеданспен (толық кедергімен) тізбектей қосу өте пайдалы болып табылады.

13.5 Тевенин теоремасы

Тевенин теоремасының тұжырымы:

*Құрамында бірнеше кернеу көзі мен резисторлардан (кедергілерден) тұратын кез келген **сызықтық электр тізбегі** электрлік тұрғыдан қарастырғанда бір-бірімен тізбектей жалғанған және жүктемеге қосылған бір кернеу көзі мен бір резисторы бар **электр тізбегіне эквивалентті**. Тек нақты бір кедергінің (жүктеменің) ғана мәні өзгеріп отыратындықтан және әрбір осындай бір өзгеріске кернеу мен тоқтың нақты шамалары да өзгеретіндіктен, олардың мәндерін жаңадан анықтауға тура келеді.*

Бұл теория айнымалы ток тізбегіне де қолданылады, сонда жиілік пен толық кедергі еске алынуы керек. Желінің кез келген тармағына Тевенин теориясын қолдану тәсілі төменде келтірілген. Активті желідегі кез келген тармақта өтетін токтарды анықтау үшін желіде тек бір-ақ қоректендіру көзі болуы керек:

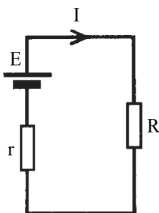
- 1) Тармақтан R кедергіні алып тастау,

2) Ашық тізбектің E кернеуін анықтау,

3) Барлық э.к.к.-нің қоректендіру көздерін алып тастау және олардың орнына тек ішкі кедергілерін ғана қалдырып, содан кейін r кедергіні ашық тізбектің үзілген жері үшін анықтау қажет.

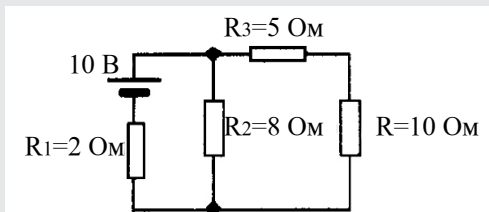
4) 13.36-суретте келтірілген эквивалентті сұлбаның ток күшін анықтаңыздар.

$$I = \frac{E}{R + r}$$



13.36-сурет

7-есеп. Тевенин теориясын пайдалана отырып: 13.37-суретте келтірілген сұлба бойынша кедергісі 10 Ом резистордегі токты есептеу үшін келесі орындау тәртібін қолданыңыз:

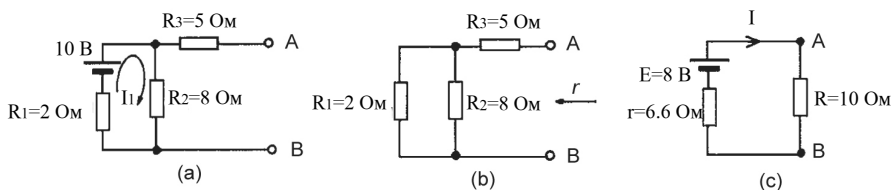


13.37-сурет

1. Кедергісі 10 Ом резистор сұлбадан алынып тасталынған жаңа сұлба 13.38-суретте көрсетілген.
2. Кедергісі 5 Ом резистордан ток өтпейтін болсын, сонда

$$I_1 = \frac{10}{R_1 + R_2} = \frac{10}{2 + 8} = 1 \text{ A}$$

R_2 резисторындағы потенциалдар айырымы $U = I_1 R_2 = 1 \times 8 = 8 \text{ B}$ тең. Олай болса AB үшін потенциалдар айырымы да нақ сондай, яғни ашық тізбектің үзілген жеріндегі кернеуі (немесе кернеудің бос жүрісі кезіндегі кернеуі) $E = 8 \text{ B}$ болғаны.



13.38-сурет

3. Э.қ.к.-інің қоректендіру көздерін сұлбадан алып тастағандағы кедергі тең:

$$r = R_3 + \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} = 5 + \frac{2 \times 8}{2 + 8} = 5 + 1.6 = 6.6 \text{ Ом}$$

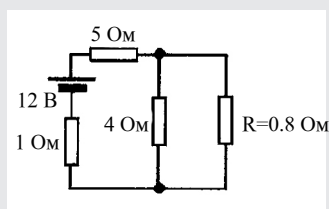
Жаңа сұлба 13.38(b)-суретте келтірілген.

4. Тевениннің эквивалентті сұлбасы 13.38(c)-суретте келтірілген, одан

$$I = \frac{E}{R + r} = \frac{8}{10 + 6.6} = \frac{8}{16.6} = 0.482 \text{ A}$$

Олай болса кедергі 10 Ом резистор арқылы 13.37-суретте келтірілгендей өтетін токтың шамасы – 0.482 A.

8-есеп. Тевенин теориясын пайдалана отырып, 13.39-суретте келтірілген желідегі кедергісі 0.8 Ом резистордан өтетін токты есептеңіз.



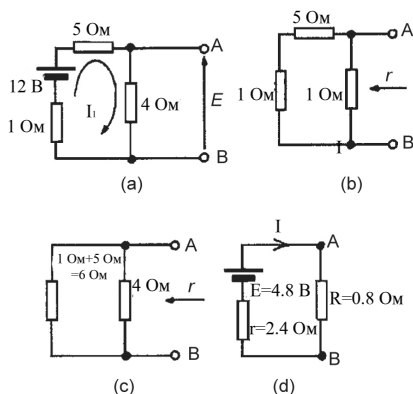
13.39-сурет

Орындау тәртібі:

1. 13.40(a)-суретте көрсетілген сұлбадан кедергісі 0.8 Ом резисторды алып тастаймыз.

2. I_1 ток күші тең:
$$I_1 = \frac{12}{1 + 5 + 4} = \frac{12}{10} = 1.2 \text{ A}$$

Кедергісі 4 Ом резистордегі потенциалдар айырымы



13.40-сурет

$$= 4 I_1 = (4) (1.2) = 4.8 \text{ B}$$

олай болса AB арасындағы потенциалдар айырымы, яғни ашық тізбектегі AB -ның кернеуі:

$$E = 4.8 \text{ B}$$

3. Э.қ.к.-нің қоректендіру көздерін сұлбадан алып тастағандағы сұлба 13.40(b)-суретте келтірілген. 13.40(b)-суретіне 13.40(c)-суреті эквивалентті сұлба болғандықтан, кедергі тең

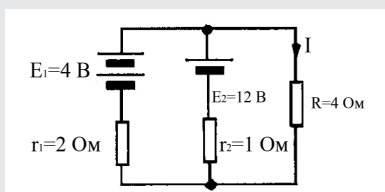
$$r = \frac{4 \times 6}{4 + 6} = \frac{24}{10} = 2.4 \text{ OM}$$

4. Тевениннің эквивалентті сұлбасы 13.40(d)-суретте келтірілген, сонда ток:

$$I_1 = \frac{E}{r + R} = \frac{4.8}{2.4 + 0.8} = \frac{4.8}{3.2} = 1.5 \text{ A}$$

Кедергісі 0.8 Ом резистор арқылы 1.5 A ток өтеді.

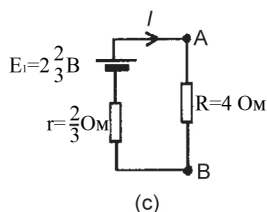
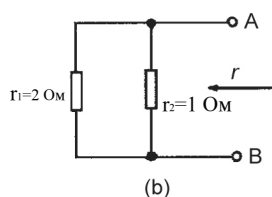
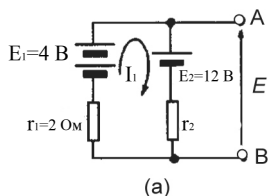
9-есеп. Тевенин теориясын пайдалану арқылы 13.41-суреттегі кедергісі 4 Ом резистордан өтетінін ток пен осы резисторда жұмсалатын қуатты есептеңіз.



13.41-сурет

Орындау тәртібі:

1. 13.42(а)-суретте көрсетілгендей кедергісі 4 Ом резисторды сұлбадан алып тастау керек.



13.42-сурет

2. Сонда ток $I_1 = \frac{E_1 - E_2}{r_1 + r_2} = \frac{4 - 2}{2 + 1} = \frac{2}{3} \text{ A}$

AB – клеммасындағы потенциалдар айырымы

$$E = E_1 - I_1 r_1 = 4 - \frac{2}{3}(2) = 2\frac{2}{3} \text{ В}$$

AB клеммасындағы потенциалдар айырымын басқаша есептеу жолын 13.4-тараудың (3) бабынан қараңыз:

$$E = E_2 + I_1 r_2 = 2 + \frac{2}{3}(1) = 2\frac{2}{3} \text{ В}$$

3. Э.қ.к.-нің коректендіру көздерін (E_1 , E_2) сұлбадан алып тастағанда басқа жаңа сұлбаның түрі 13.4(b)-суретте келтірілген, сонда ішкі кедергі тең:

$$r = \frac{2 \times 1}{2 + 1} = \frac{2}{3} \text{ Ом}$$

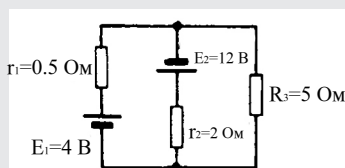
Кедергісі 4 Ом резистор арқылы

$$I = \frac{E}{r + R} = \frac{2 \frac{2}{3}}{\frac{2}{3} + 4} = \frac{8/3}{14/3} = \frac{8}{14} = 0.571 \text{ A ток өтеді.}$$

Кедергісі 4 Ом резисторда жұмсалатын қуаттың шамасы:

$$P = I^2 R = (0.571)^2 (4) = 1.304 \text{ Вт}$$

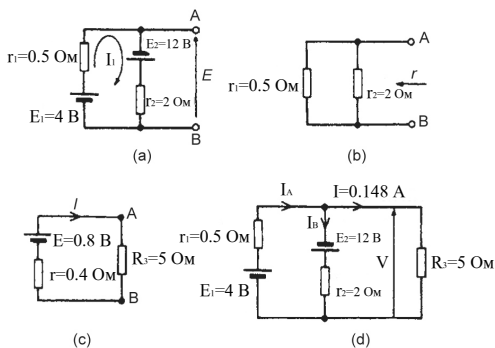
10-есеп. 13.43-суретте көрсетілген сұлбадағы кедергісі 5 Ом резистордың тогын Тевенин теориясын қолданып есептеңіз. Басқа да екі тармақта өтіп жатқан тоқты табыңыз.



13.43-сурет

Орындау тәртібі:

1. 13.44(a)-суретте көрсетілген сұлбадан кедергісі 5 Ом резисторды алып тастаймыз.



13.44-сурет

2. Ендеше $I_1 = \frac{12+4}{0.5+2} = \frac{16}{2.5} = 6.4 \text{ A}$ AB клеммаларындағы потенциалдар айырымы:

$$E = E_1 - I_1 r_1 = 4 - (6.4)(0.5) = 0.8 \text{ B}$$

(басқаша жолмен $E = -E_2 + I_1 r_2 = -12 + (6.4)(2) = 0.8 \text{ B}$)

3. 44(b)-суреттен көрсетілген сұлбадан э.к.к.-нің қоректендіру көздерін алып тастағанда оның ішкі кедергісі тең:

$$r = \frac{0.5 \times 2}{0.5 + 2} = \frac{1}{2.5} = 0.4 \text{ Ом}$$

4. 13.44(c)-суретте келтірілген Тевениннің эквивалентті сұлбасы үшін ток күші тең:

$$I = \frac{E}{r + R} = \frac{0.8}{0.4 + 5} = \frac{0.8}{5.4} = 0.148 \text{ A}$$

Кедергісі 5 Ом резистордан 0.148 А ток өтеді. 13.44(d)-суреттен кернеу анықталады:

$$V = IR_3 = (0.148)(5) = 0.74 \text{ B}$$

13.44-суреттің (3)-бабынан

$$V = E_1 - I_A r_1, 0.74 = 4 - (I_A)(0.5)$$

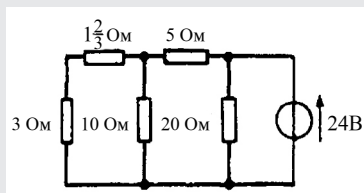
Олай болса ток
$$I_A = \frac{4 - 0.74}{0.5} = \frac{3.26}{0.5} = 6.52 \text{ A}$$

сондықтан 13.44(d)-суреттен
$$V = -E_2 + I_B r_2$$

$$0.74 = -12 + (I_B)(2), I_A = \frac{12 + 0.74}{2} = \frac{12.74}{2} = 6.37 \text{ A}$$

(Тексеру, 13.44(d)-суреттен $I_A = I_B + I$ шамасын Кирхгоф заңынан шыққан шамамен есептеп, жуықтауды нүктеден кейінгі екінші таңбамен орындаса болғаны).

11-есеп. Тевенин теориясын пайдаланып, 13.45-суреттегі сұлба бойынша кедергісі 3 Ом резистордан өтетін токтың шамасын табыңыз. Кернеудің қоректендіру көзінің ішкі кедергісі ескерілмейді.



13.45-сурет

(Айта кету керек, 13.45-суреттегі идеалды кернеудің қоректендіру көзінің символы – BS EN 60617-2: 1996 келесі символдарға BS 3939-2: 1985; 1985 айырбасталған, сөйтіп батарея символына олар альтернатива ретінде алынады).

Орындау тәртібі:

1. Кедергісі 3 Ом резистор сұлбадан алынып тасталған сұлбаны 13.46(a)-суреттен көруге болады.
2. Енді кедергісі $1\frac{2}{3}$ резисторда ток жүрмейді, кедергісі 10 Ом

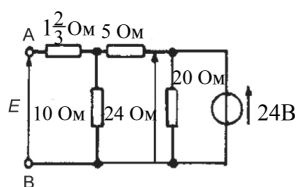
$$\text{резистордың потенциалдар айырымы} = \left(\frac{10}{10+5} \right) (24) = 16 \text{ В}$$

(13.4-тараудан (5) бабын қараңыз. Олай болса AB клеммаларындағы потенциалдар айырымы $E = 16 \text{ В}$.)

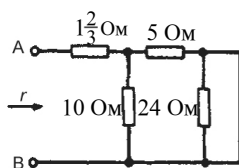
3. Э.к.к.-нің қоректендіру көзін сұлбадан алып тастап, оның ішкі кедергісін қалдырамыз, сонда кедергісі 20 Ом резистор қысқа тұйықталуға ұшырап, оның ішкі кедергісі 0-ге айналғаны 13.46(b)-суретте келтірілген. 13.46(c)-суретте кедергісі 20 Ом резисторы сұлбадан алынып тасталынған жағдай келтірілген. (13.4-тарау (6) бапты қараңыз).

13.46(c) суреттен ішкі кедергі тең:

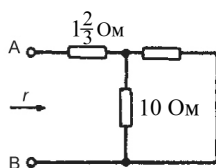
$$r = 1\frac{2}{3} + \frac{10 \times 5}{10 + 5} = 1\frac{2}{3} + \frac{50}{15} = 5 \text{ Ом}$$



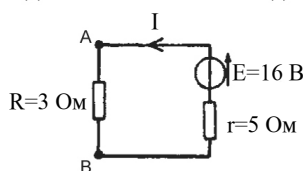
(a)



(b)



(c)



(d)

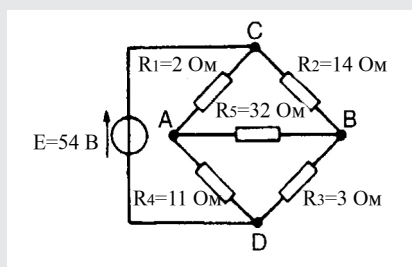
13.46-сурет

4. 13.46(d)-суретте келтірілген Тевениннің эквивалентті сұлбасынан ток тең:

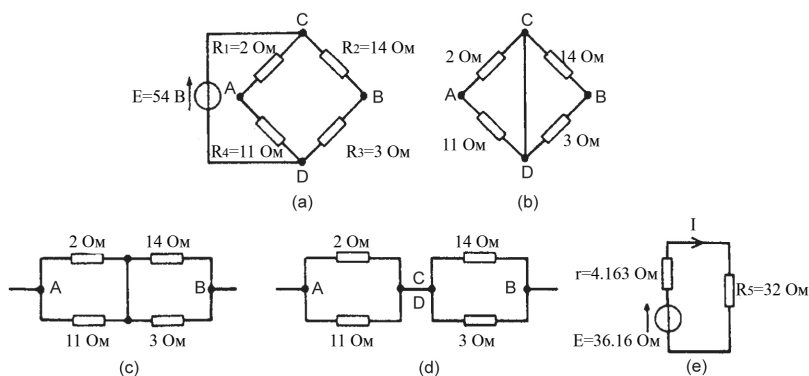
$$I_A = \frac{E}{r + R} = \frac{16}{3 + 5} = \frac{16}{8} = 2 \text{ A}$$

Кедергісі 3 Ом резистордан өтетін ток күші 2 А.

12-есеп. 13.47-суретте Уитстон көпірі келтіріліген. Тевенин теориясын ескере отырып кедергісі 32 Ом резистордан өтетін ток күшін мен оның бағытын анықтаңыз, э.қ.к.-нің қоректендіру көзінің кедергісі болмашы.



13.47-сурет



13.48-сурет

Орындау тәртібі:

- Кедергісі 32 Ом резистор 13.48(a)-суретте көрсетілген сұлбадан алынып тасталған.
- A мен C арасындағы потенциалдар айырымы:

$$V_{AC} = \left(\frac{R_1}{R_1 + R_4} \right) (E) = \left(\frac{2}{2 + 11} \right) (54) = 8.31 \text{ B}$$

B мен C арасындағы потенциалдар айырымы:

$$V_{BC} = \left(\frac{R_2}{R_2 + R_3} \right) (E) = \left(\frac{14}{14 + 3} \right) (54) = 44.47 \text{ B}$$

Олай болса A мен B арасындағы потенциалдар айырымы
 $= 44.47 - 8.31 = 36.16 \text{ B}$

C нүктесіндегі потенциал +54 B, A мен C арасындағы кернеудің түсуі 8.31 B. Сондықтан A нүктесіндегі кернеу $54 - 8.31 = 45.69 \text{ B}$. C мен B арасындағы кернеудің түсуі 44.47 B. Сондықтан B нүктесіндегі кернеу $54 - 44.47 = 9.53 \text{ B}$. A нүктесіндегі кернеу B нүктесімен салыстырғанда үлкендеу болғандықтан, ток B бағытына қарай ағады (13.4-тараудағы (7) бапты қараңыз).

- Э.қ.к.-нің қоректендіру көзін қысқа тұйықтаумен алмастырылып, ішкі кедергі нөл деп алынып, 13.48(b)-суретте келтірілген сұлба әлдеқайда

жеңілдетіліп, қайтадан салынады: ондай жаңа жеңілдетілген сұлба 13.48(с)- мен (d)-суреттерде келтірілген, осы сұлба арқылы A мен B клеммалары арасындағы кедергі тең:

$$r = \frac{2 \times 11}{2 + 11} + \frac{14 \times 3}{14 + 3} = \frac{22}{13} + \frac{42}{17} = 1.692 + 2.471 = 4.163 \text{ Ом}$$

4. Тевениннің эквивалентті сұлбасы 13.48(е)-суретте келтірілген, осыдан

$$I = \frac{E}{r + R_5} = \frac{36.16}{4.163 + 32} = 1 \text{ A}$$

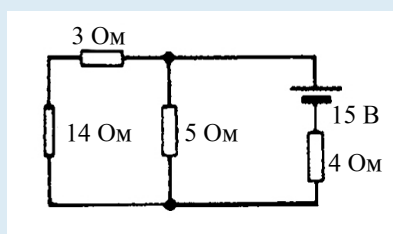
Олай болса 13.47-суретте келтірілген кедергісі 32 Ом резистордан 1 A ток A нүктесінен B нүктесіне қарайағады. 24-тарауда практикалық зертханалық жұмыста Тевенин теориясына жаттығулар келтірілген.

Келесі жаттығуды орындаңыздар.

71-жаттығу. Тевенин теориясына арналған қосымша есептер

1. Тевенин теориясын пайдалана отырып, 13.49-суретте келтірілген сұлбаның кедергісі 14 Ом резисторынан өтетін токты анықтап, осы резистор арқылы жұмсалған қуаттың шамасын табыңыз.

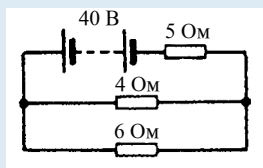
[0.434 A, 2.64 Bm]



13.49-сурет

2. Тевенин теориясын пайдалана отырып, 13.50-суретте кедергісі 6 Ом резистордан өтетін токтың шамасын және кедергісі 4 Ом резистордағы қуаттың жұмсалуын табыңыз.

[2.162 A, 42.07 Bm]

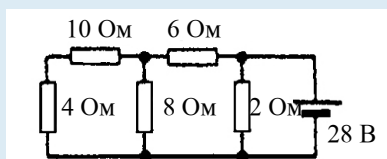


13.50-сурет

Тевенин теориясын пайдалану арқылы 70-жаттығудан 1-ден 4-ке дейінгі есептерді қайта шығарыңыздар.

3. 13.51-суретте келтірілген сұлбадағы батареяның ішкі кедергісі болмашы. Кедергісі 4 Ом резистор арқылы өтетін токты Тевенин теоремасын пайдаланып есептеңіз.

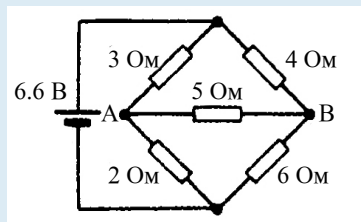
[0.918A]



13.51-сурет

4. 13.52-суретте келтірілген тізбектегі көпір үшін Тевенин теоремасын пайдалана отырып, кедергісі 5 Ом резистордағы токты және оның бағытын табыңыз.

[0.153A, B дан A-ға қарай]



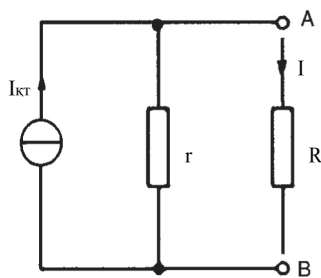
13.52-сурет

13.6 Тұрақты ток қоректендіру көзі

13.5-тараудағы Тевениннің тұрақты E кернеу көзі r кедергісімен тізбектей қосылған. Алайда бұл тек энергия көзінің бір ғана түрі емес. Энергияның қоректендіру көзі ретінде, сонымен қатар кедергімен параллель қосылған тұрақты токтың қоректендіру көзін де алуға болады. Энергияның мұндай екі түрін бір-біріне эквивалентті деуге де болады. Ішкі кедергісі нөлге тең идеалды тұрақты кернеудің генераторы барлық жүктемелерге бірдей кернеу бере алады. Ішкі шексіз кедергісі

бар идеалды ток генераторы барлық жүктемелерде бірдей ток жүруін қамтамасыз етеді.

13.53-суретте токтың идеалды қоректендіру көзінің символы көрсетілген.



13.53-сурет

13.7 Нортон теоремасы

Нортон теоремасының тұжырымы желінің кез келген тармағынан өтетін ток, тура сондай тармақтағы ток электр энергиясының қоректендіру көзіне жалғанғандағы шамасындай болады. Қысқа тұйықталған ток қысқа тұйықталған тармақ арқылы өткен токпен эквивалентті, оның кедергісі ажыратылған тармақта пайда болған кедергімен бірдей, тең.

Компенсация теоремасы – сызықтық электрлік сұлбаларда әртүрлі өзгерістермен түрлендірулерді жүргізуге мүмкіншілік бере алатын теория.

Теорема. *Кедергісі сызықтық кез келген электрлік тізбекте э.қ.к-н эквивалентті қоректендіру көзі ретінде қарастыруға болады. Э.қ.к.-ің шамасы кедергі мен осы тізбек арқылы өтетін ток күшінің көбейтіндісіне тең. Ал э.қ.к.нің бағыты осы кедергі арқылы өтетін токтың бағытына қарсы.*

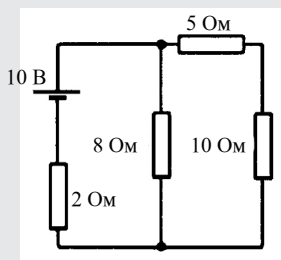
Нортон теоремасын пайдалану үшін орындалатын тәртіптер төменде келтіріледі. Активті желідегі AB тармағындағы R кедергісі арқылы өтетін токты анықтаңыз.

1. AB тармағы қысқа тұйықталған,
2. $I_{КТ}$ қысқа тұйықталу тогын AB тармағында анықтау.

3. Э.қ.к. барлық қоректендіру көздерін алып тастап, сосын оны ішкі кедергімен ауыстыру арқылы (немесе егер токтың қоректендіру көзі болса, онда тізбекті ажыратып, ұзу арқылы) A мен B -ны ажыратып, r кедергіні анықтауға болады.

4. 13.53-суретте келтірілген Нортон эквиваленті сұлбасы бойынша R кедергісі арқылы өтетін токты табыңыз, яғни $I = \left(\frac{r}{r+R} \right) I_{KT}$

13-есеп. Нортон теоремасын пайдалану арқылы кедергісі 10 Ом резистор арқылы қанша ток өтетінін 13.54-суреттегі сұлба арқылы анықтаңыз.



13.54-сурет

Орындау тәртібі:

1. 13.55(a)-суретте кедергісі 10 Ом түйінінің қысқа тұйықталған сұлба көрсетілген.
2. 13.55(b)-суреті мен 13.55(a)-суреттері эквивалентті, олай болса

$$I_{SC} = \frac{10}{2} = 5 \text{ A}$$

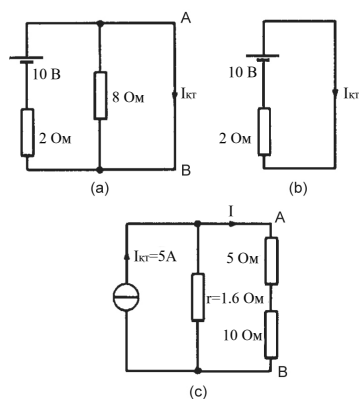
3. 13.55-суретте көрсетілгендей кернеуі 10 В тең э.к.к. тізбектен алынып тасталса, A мен B ортасындағы үзілген кедергі:

$$r = \frac{2 \times 8}{2 + 8} = 1.6 \text{ Ом}$$

4. Нортонның эквивалентті сұлбасынан 13.55-суреттен кедергісі 10 Ом резистордан өтетін токты бөліну формуласымен анықтаймыз

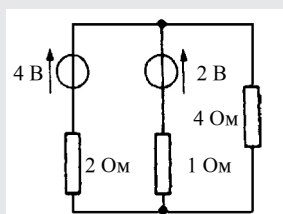
$$I = \left(\frac{1.6}{1.6 + 5 + 10} \right) (5) = 0.482 \text{ A}$$

Тевенин теоремасын 7-есепті шығарғанда тура осындай жауап алынған.



13.55-сурет

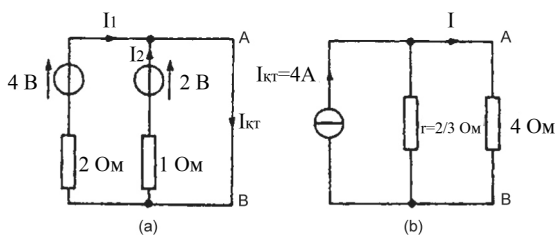
14-есеп. Нортон теоремасы бойынша 4 Ом кедергісіне сай I токты 13.56-сұлбадан анықтаңыздар.



13.56-сурет

Орындау тәртібі:

1. 13.57(a)-суретте 4 Омды тармақ қысқа тұйықталған.



13.57-сурет

2. 13.57(a)-суреттен

$$I_{KT} = I_1 + I_2 = \frac{4}{2} + \frac{2}{1} = 4 \text{ A}$$

3. Егер сұлбадан экк көздері алынып тасталса, 13.57-сурет A мен B ортасындағы үзілген кедергі тең

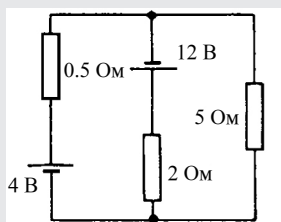
$$r = \frac{2 \times 1}{2 + 1} = \frac{2}{3} \text{ Ом}$$

4. Нортонның теремасы бойынша 13.57 (b)-суреттен кедергісі 4 Омға қандай сәйкес келетін токтың формуласы:

$$I = \left(\frac{\frac{2}{3}}{\frac{2}{3} + 4} \right) (4) = 0.571 \text{ A}$$

Осының алдындағы есептерде Кирхгоф заңынан, суперпозиция принципінен және Тевенин теоремасынан осындай жауаптар шыққан.

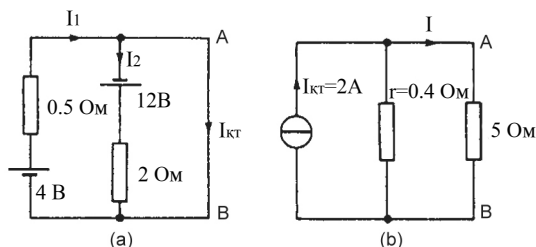
15-есеп. Нортон теоремасын пайдалана отырып, 13.58-суреттегі желі бойынша 5 Ом кедергісіне сәйкес токты анықтаңыз. Басқа қалған екі тармақтан өтетін токтарды да табыңыз.



13.58-сурет

Орындау тәртібі:

1. 5 Омды тармақ қысқа тұйықталған, оны 13.59(a)-суреттен көруге болады.



13.59-сурет

2. 13.59(a)-суреттен

$$I_{KT} = I_1 - I_2 = \frac{4}{0.5} - \frac{12}{2} = 8 - 6 = 2 \text{ A}$$

3. Егер э.к.к. көздерін әрбір тармақтан алып тастаса, A мен B арасында үзілген кедергі

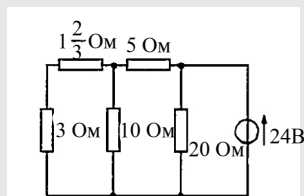
$$r = \frac{0.5 \times 2}{0.5 + 2} = 0.4 \text{ Ом}$$

4. Нортон теоремасы бойынша 13.59(b)-суретте 5 Ом кедергіге сәйкес ток:

$$I = \left(\frac{0.4}{0.4 + 5} \right) (2) = 0.148 \text{ A}$$

Осындай жауап Тевенин теоремасы арқылы 10 есептен алынған. Сонымен, кернеу көзі 4 В болса, ол арқылы 6.25 А ток өтеді, ал егер кернеу көзінің шамасы 12. В болса, оған 6.37 А ток сәйкес болғаны.

16-есеп. Нортон теоремасын пайдаланып, 3 Омды кедергі арқылы өтетін токты анықтаңыз, мұндай тізбек 13.60-суретте келтірілген. Кернеу көзінің ішкі кедергісі болмашы.



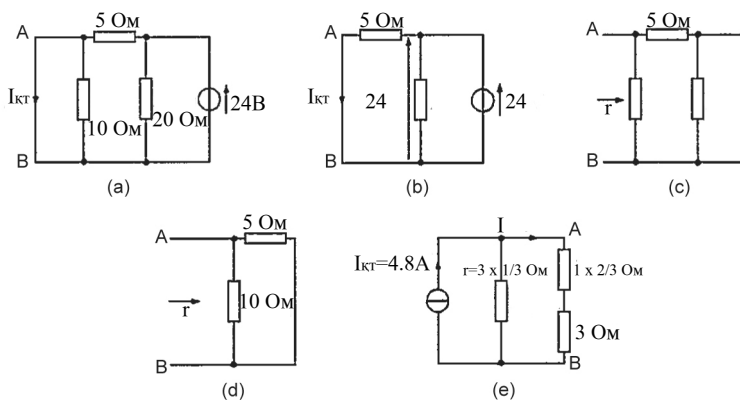
13.60-сурет

Орындау тәртібі:

1. 13.61(a)-суретте кедергі 3 Омды тізбектің тар тармағы келтірілген. Мұнда кедергі қысқа тұйықталған.
2. 13.61(b)-суреттен эквивалентті ток:

$$I_{KT} = \frac{24}{5} = 4.8 \text{ A}$$

3. Егер 24 В э.к.к. сұлбадан алынып тасталса, онда ажыратылған A мен B арасында кедергі 13.61(c)-суреттен алынған және оның эквивалентті сұлбасы 13.61(d)-суретте келтірілген, сонда оның формуласы:



13.61-сурет

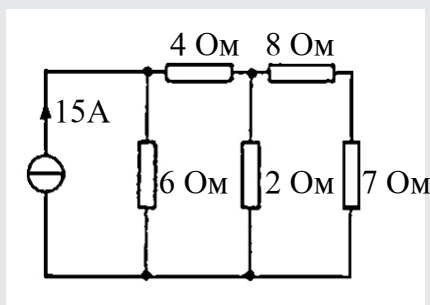
$$r = \frac{10 \times 5}{10 + 5} = \frac{50}{15} = 3 \frac{1}{3} \text{ Ом}$$

4. Нортон теоремасы бойынша 13.61(d)-суреттен 3 Ом кедергіде өтетін ток тең:

$$I = \left(\frac{3 \frac{1}{3}}{3 \frac{1}{3} + 1 \frac{2}{3} + 3} \right) (4.8) = 2 \text{ А.}$$

Мұндай жауап 11-есепте Тевенин теоремасында шыққан.

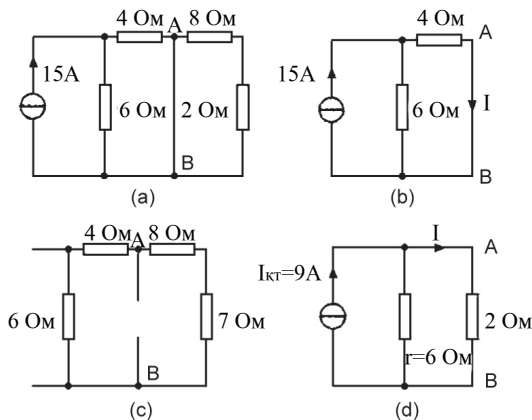
- 17-есеп.** 13.62-суретте келтірілген сұлба бойынша 2 Ом кедергіден өтетін токты табыңыз.



13.62-сурет

Орындау тәртібі:

1. 13.63(a)-суретте 2 Ом кедергінің қысқа тұйықталуы келтірілген:



13.63-сурет

2. 13.63(b)- мен 13.63(a)-суреттерінен олардың бірбіріне эквивалентті екенін көруге болады. Сондықтан токтың тармақтарға бөлінуі бойынша:

$$I_{KT} = \frac{6}{6+4}(15) = 9 \text{ A}$$

3. Егер 15 A ток көзі тізбектен ажыратылса, A мен B арасындағы үзік кедергісі (6+4) Ом параллель (8+7) Ом болады, сондықтан

$$r = \frac{(10)(15)}{10+15} = \frac{150}{25} = 6 \text{ Ом}$$

4. Нортон теоремасын пайдалану арқылы 13.63(d)-суреттегі 2 Ом кедергі арқылы ток өтеді.

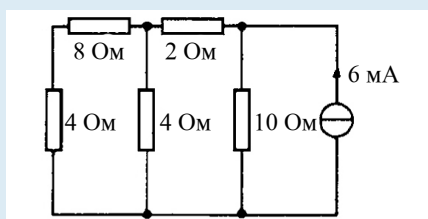
$$I = \left(\frac{6}{6+2} \right) (9) = 6.25 \text{ A}$$

Келесі жаттығуды орындаңыздар.

72-жаттығу. Нортон теоремасына арналған қосымша есептер

1. 70-жаттығудағы 1-4 есептерді Нортон теоремасын пайдалана отырып, қайтадан шығарыңыздар.

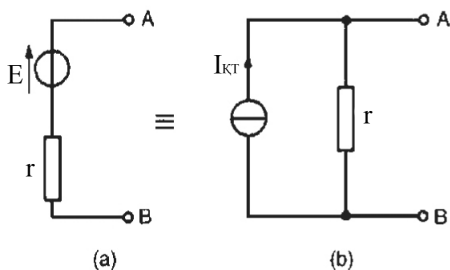
2. 71-жаттығудағы 1-, 2-, 3- және 5 есептерді Нортон теоремасы бойынша қайтадан шығарыңыздар.
3. 13.64-суретте келтірілген сұлбадан Нортон теоремасын пайдалана отырып, 6 Ом кедергіден өтетін токты анықтаңыз. [2,5 mA]



13.64-сурет

13.8 Тевенин және Нортон эквивалентті сұлбалары

Тевенин мен Нортон желілерінің бір-біріне эквивалентті екені 13.65-суретте көрсетілген. AB клеммаларындағы кедергілер әрбір желіде бірдей, яғни E/r

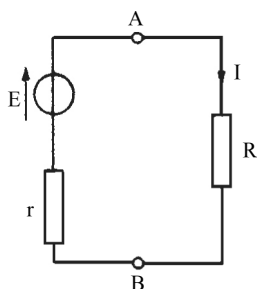


13.65-сурет

13.65(a)-суретте AB клеммалары қысқа тұйықталса, онда қысқа тұйықталу тогы I_{KT} -мен анықталады. Егер AB клеммалары 13.65(b)-суретте қысқа тұйықталса, I_{KT} қысқа тұйықталған ток болып табылады. 13.65(a)-суретіндегі сұлба үшін эквивалентті сұлба 13.65 (b)-суреті, ендеше одан қысқа тұйықталған ток өтуі керек, олай болса $I_{KT} = E/r$.

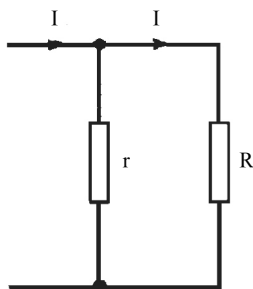
13.66-суреттегі сұлбада E э.к.к. кедергімен тізбектей қосылған. Жүктеме кедергі R . 13.66-суреттен:

$$I = \frac{E}{r+R} = \frac{E/r}{(r+R)/r} = \left(\frac{r}{r+R} \right) \frac{E}{r} \quad I = \left(\frac{N}{r+R} \right) I_{KT}$$



13.66-сурет

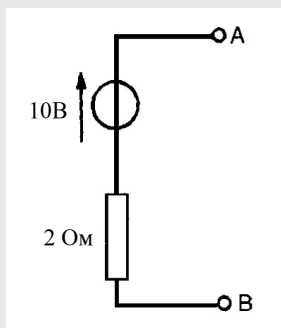
13.67-суреттегі жүктемеге қоректендіру көзінен келетін ток I_{KT} қысқаша тұйықталған болса, ол параллель қосылған r мен R кедергілерінің арасында бөлінеді. Ендеше 13.65(a)- мен (b)-суреттерінде келтірілген екі сұлба бір-біріне эквивалентті.



13.67-сурет

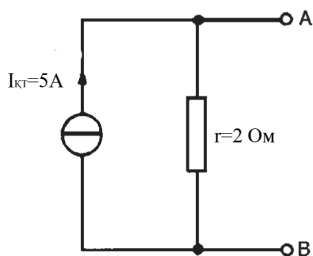
18-есеп. 13.68-суретте келтірілген сұлбаны Нортон желісіне түрлендіріңіз.

$$I_{KT} = 10/2 = 5 \text{ A}$$



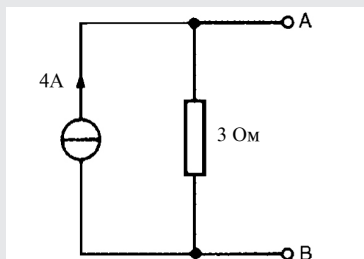
13.68-сурет

Егер 13.69-сурет AB клеммалары қысқа тұйықталса онда I_{KT} қысқа тұйықталған ток. AB клеммаларындағы кедергі 2 Ом олай болса, эквивалентті Нортон желісі 13.69-суретте келтірілгендей болып шығады.



13.69-сурет

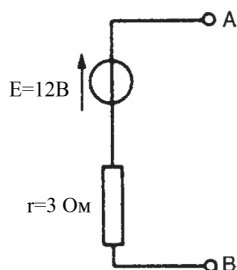
19-есеп. 13.70-суреттегі желіні Тевенин эквивалентті сұлбасына түрлендіріңіз. 13.70-суреттен ашық тізбектегі 13.70-суреттегі E бос жүрісті кернеу AB клеммаларындағы формуламен анықталады



13.70-сурет

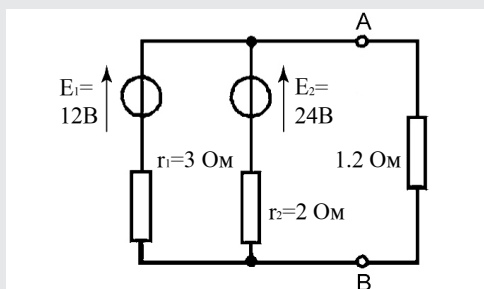
$$E = (I_{SC})(r) = (4)(3) = 12 \text{ B}$$

AB клеммаларындағы кедергісі 3 Ом олай болса, оған эквивалентті Тевенин сұлбасы 13.71-суретте келтірілген.



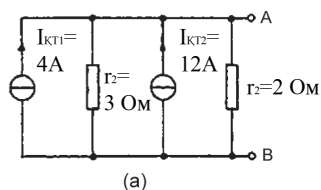
13.71-сурет

20-есеп. Тевениннің эквивалентті сұлбасына (а) 13.72-суретте көрсетілген AB клеммаларының сол жағындағы сұлбаны бірінші Нортон эквивалентті сұлбасына ауыстырғаннан кейін түрлендіріңіз. (б) Кедергісі 8 Ом резистордан өтетін токты анықтаңыз.

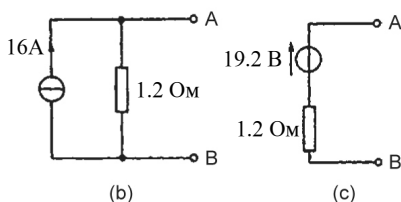


13.72-сурет

(а) 12 В кернеу көзі бар сұлбаның тармағын Нортонның эквивалентті сұлбасына айналдырғанда $I_{KT} = 12/3 = 4$ А және $r_1 = 3$ Ом. Кернеу көзі 24 В желінің тармағы Нортонның эквивалентті сұлбасына айналғанда ток күші $I_{KT} = 24/2 = 12$ А, кедергісі $r_2 = 2$ Ом -ға тең болып шығады. Олай болса 13.73(а)-суреттегі сұлба 13.72-суреттегі сұлбаға эквивалентті. 13.73(а)-суреттегі токтың жалпы қысқа тұйықталуы тең: $4 + 12 = 16$ А және жалпы кедергінің формуласы $(3 \times 2)/(3 + 2) = 1.2$ Ом олай болса 13.73(а)-сурет 13.73 (б)-суретке айналады. 13.73(б)-суреттегі ашық тізбектегі бос жүрістегі $(16)(1.2) = 19.2$ В кернеудің шамасы AB клеммаларында, олай болса Тевенин эквивалентті сұлбасы 13.73(с)-суретке келтіріледі.



(а)



(б)

(с)

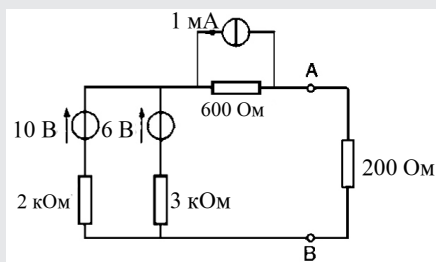
13.73-сурет

(b) 1.8 Ом кедергі A мен B клеммаларының арасында орналасса ондай жағдай 13.73(c)-суретте келтірілген.

I токтың шамасы

$$I = \left(\frac{19.2}{1.2 + 1.8} \right) = 6.4 \text{ A}$$

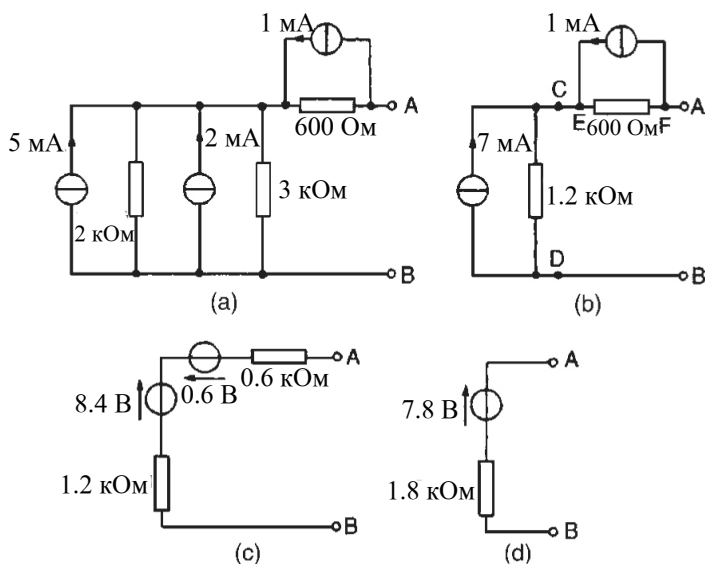
21-есеп. 13.74-суреттегі Тевениннің эквивалентті сұлбасындағы AB клеммалары үшін Нортон мен Тевениннің эквивалентті сұлбаларын бірінен соң бірін бірізді түрлендіріңіз. Сонда AB клеммалары арасындағы кедергісі 200 Ом резистордан ағып өтетін токты Тевениннің эквивалентті сұлбасы арқылы анықтаңыз.



13.74-сурет

Кернеуі 10 В сұлбаның тармағын Нортонның эквивалентті сұлбасына айналдырғанда $I_{KT} = 10/2000 = 5 \text{ мкА}$ және $r_1 = 2 \text{ кОм}$. Сұлбаның кернеуі 6 В түйінін эквивалентті Нортон сұлбасына түрлендіргенде $I_{KT} = 6/3000 = 2 \text{ мкА}$ және $r_2 = 3 \text{ кОм}$, сонымен 13.74-суреттегі сұлба 13.75(a)-суреттегі сұлбаға түрленеді.

5 мА ток пен 2 мА токты қосу арқылы 13.75(b)-суретіндегі эквивалентті сұлбаны аламыз. Мұнда бастапқы екі тармақтағы қысқа тұйықталуы тогы 7 мА ге тең, ал кедергісі $(2 \times 3) / (2 + 3) = 1.2 \text{ кОм}$ болады. 13.75(б)-суретте келтірілген Нортонның екі эквиваленттік сұлбалары Тевениннің эквивалентті сұлбасына айнала алады. Тұрақты ток кернеудің бос жүрісі $(7 \times 10^{-3}) / (1.2 \times 10^2) = 8.4 \text{ В}$ және кедергісі 1.2 кОм. EF кернеудің бос жүрісі тең $(1 \times 10^{-3}) / (600) = 0.6 \text{ В}$ және оның EF кедергісі 0.6 кОм. 13.75(b)-сурет олай болса, 13.75-суретіне түрлене алады. Екі Тевенин сұлбасын қоса отырып $E = 8.4 - 0.6 = 7.8 \text{ В}$ кернеуді табамыз және кедергі: $r = (1.2 + 0.6) \text{ кОм} = 1.8 \text{ кОм}$ Олай болса AB клеммалары үшін Тевенин сұлбасы 13.74-суретте көрсеткендей. 200 Омдық кедергі арқылы өтетін ток A мен B арасында орналасқан.



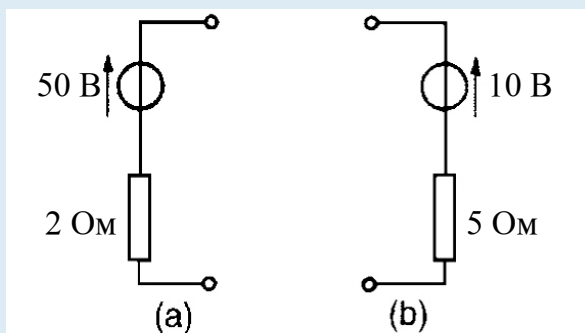
13.75-сурет

$$I = \frac{7.8}{1800 + 200} = \frac{7.8}{2000} = 3.9 \text{ мкА}$$

Келесі жаттығуды орындаңыздар.

73-жаттығу. Тевенин мен Нортонның эквивалентті сұлбаларына қосымша есептер

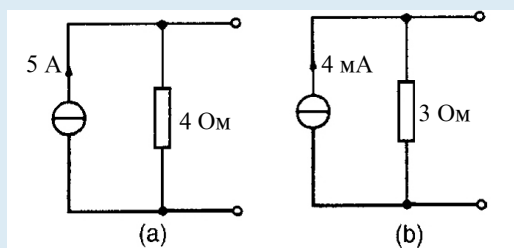
1. 13.76-суретте келтірілген сұлбаны Нортон сұлбасына түрлендіріңіз.
 [(a) $I_{KT}=25\text{ A}$, $r=2\text{ Ом}$, (b) $I_{KT}=2\text{ mA}$, $r=5\text{ Ом}$]



13.76-сурет

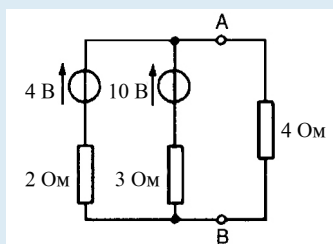
2. 13.77-суретте келтірілген сұлбаны Тевениннің эквивалентті сұлбасына түрлендіріңіз.

$$[(a) E = 20 \text{ В}, r = 4 \text{ Ом} (b) E = 12 \text{ мВ}, r = 3 \text{ Ом}]$$



13.77-сурет

3. (a) 13.78-суреттегі сұлбаның сол жағындағы түйіннің AB клеммаларын бірінші Нортонның эквиваленттік сұлбасына түрлендіріп алып, содан кейін Тевениннің сұлбасына айналдыру керек.



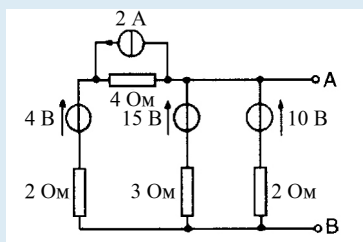
13.78-сурет

- (b) 13.78-суретте келтірілген A мен B клеммалары арасында орналасқан кедергісі 1.8 Ом резистор арқылы қанша ток өтетінін есептеңіз.

$$[(a) E = 18 \text{ В}, r = 1.2 \text{ Ом} (b) 6 \text{ А}]$$

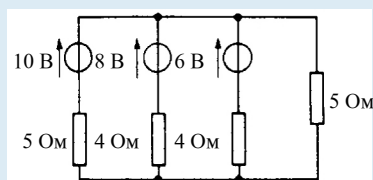
4. Тевенин мен Нортонның эквивалентті сұлбалары 13.79-суретте AB клеммаларына жалғанған. Тевенин эквивалентті сұлбасының Нортон эквивалентті сұлбасына бір тізбекті айналуын келтіріңіздер. Соңынан кедергісі 6 Ом резистордан өтетін токты табыңыз, бұл резистор A мен B клеммаларының арасында орналасқан.

$$[(a) E = 9\frac{1}{3} \text{ В}, r = 1 \text{ Ом}, 1\frac{1}{3} \text{ А}]$$



13.79-сурет

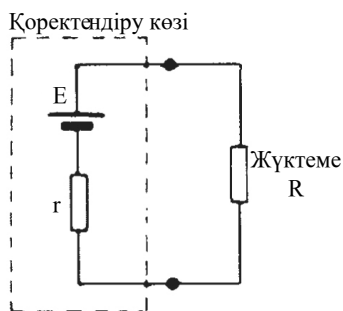
5. 13.80-суретте көрсетілген желідегі әрбір тармағындағы кернеу көзіне эквивалентті Нортон сұлбасына түрлендіріңіздер және кедергісі 5 Ом резистордан өтетін токты есептеңіз. [1,22 mA]



13.80-сурет

13.9 Максималды қуатты тасымалдау теоремасы

Максималды берілетін қуатты анықтау теоремасының тұжырымдамасы: жүктеменің кедергісі қоректендіру көзінің ішкі кедергісіне тең болған кезде қоректендіру көзінен максималды қуат жүктемеге беріледі.



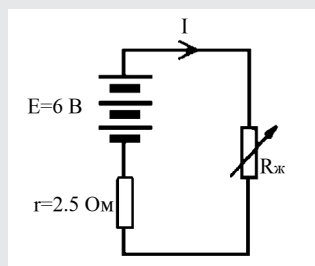
13.81-сурет

Сондықтан 13.81-суреттегі $R = r$ тең болғанда, қоректендіру көзінен жүктемеге берілетін энергия максималды.

Максималды берілетін қуат теоремасы стерео күшейткіштер ретінде динамиктерде және автотранспортты жүргізуде практикада қолданылады.

Электрлік транспорт жабдықтарының дизайнында осы күшейткіштер қуатты максималды ұлғайтуға ұмтылады, сондықтан қозғалтқышты жұмыс істету үшін қуатты максималды түрде ұлғайтуға қажет.

22-есеп. 13.82-суретте э.к.к. 6 В құрғақ элементті батарея сұлбасы келтірілген, оның ішкі кедергісі 2.5 Ом. Әрбір адымының мәні 0.5 Ом-ға сай жүктеменің кедергісі $R_{ж}$ 0-ден 5 Омға өзгереді және әрбір нақты жағдай үшін жүктемеде жұмсалған қуаттың шамасын есептеп, горизонталь өсте жүктеменің $R_{ж}$ кедергісін, ал вертикаль өсте жұмсалатын максималды қуатты белгілеп, график салыңыздар.



13.82-сурет

$$I = E / (r + R_{ж}) = 6 / 2.5 = 2.4 \text{ A}$$

$$P = I^2 R_{ж}, P = (2.4)^2 (0) = 0 \text{ Вт}, R_{ж} = 0.5 \text{ Ом},$$

$$I = E / (r + R_{ж}) = 6 / (2.5 + 0.5) = 2 \text{ A}$$

$$P = (2)^2 (0.5) = 2.00 \text{ Вт}, R_{ж} = 1.0 \text{ Ом}, I = E / (r + R_{ж}) = 6 / (2.5 + 1.0) = 1.714 \text{ A}$$

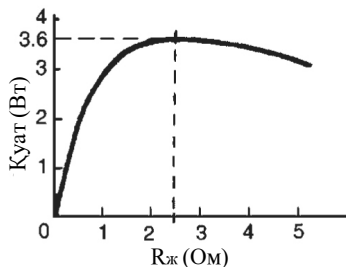
$$P = (1.714)^2 (1.0) = 2.94 \text{ Вт}$$

Максимал жұмсалған қуатты (абсциссада жүктеменің кедергісі, ал ординатада қуатты алып график салыңыз) тура осындай жолмен есептеп, төмендегі таблицада келтірілген.

$R_{ж}$ (Ом)	0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5
$I = E / (r + R_{ж})$	2.4	2.0	1.714	1.5	1.333	1.2
$P = I^2 R_{ж}$	0	2.00	2.94	3.38	3.56	3.60
$R_{ж}$ (Ом)	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	
$I = E / (r + R_{ж})$	1.091	1.0	0.923	0.857	0.8	
$P = I^2 R_{ж}$	3.57	3.5	3.41	3.31	3.20	

$R_{ж}$ мен P арасындағы графиктің түрі 13.83-суретте келтірілген.

Қуаттың максималды мәні график бойынша жүктеменің 2.5 Ом кедергісінің мәніне сәйкес, яғни $R_{ж} = r$ бұл максималды қуатты беру теоремасы болып табылады.

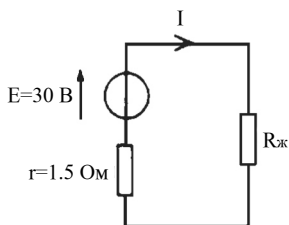


13.83-сурет

23-есеп. Тұрақты ток қоректендіру көзінің ажыратылған тізбегінің кернеуі 30 В, ішкі кедергісі 1.5 Ом жүктеменің максималды жұмсалған қуаты берілгендегі кедергісін анықтаңыздар және осы қуаттың мәнін табыңыздар.

13.84-суретте осы есептің принципиялды сұлбасы келтірілген. Максималды қуат беру теоремасынан максималды қуаттың жұмсалуы:

$$R_{ж} = r = 1.5 \text{ Ом.}$$



13.84-сурет

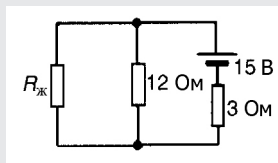
13.84-суреттен ток, $I = E / (r + R_{ж}) = 30 / (1.5 + 1.5) = 10 \text{ A}$

Қуат, $I^2 R_{ж} = (10)^2 (1.5) = 150 \text{ Вт}$

$$E / (r + R_{ж}) = 6 / 2.5 = 2.4 \text{ A}$$

Максималды берілген қуат 150 Вт.

24-есеп. 13.85-суретте келтірілген сұлба бойынша максималды берілген қуаттың жүктеме $R_{ж}$ резисторының кедергісіне сай қуаттың шамасын есептеңіз.



13.85-сурет

Тевенин теоремасы бойынша орындайтын тәртіпті келтіріңіз:

1. 13.86(a)-суретте көрсетілгендей, $R_{\text{ж}}$ кедергісі сұлбадан алынып тасталады.
2. AB клеммалындағы потенциалдар айырымы кедергісі 12 Ом резистордағы потенциалдар айырымы мен бірдей яғни

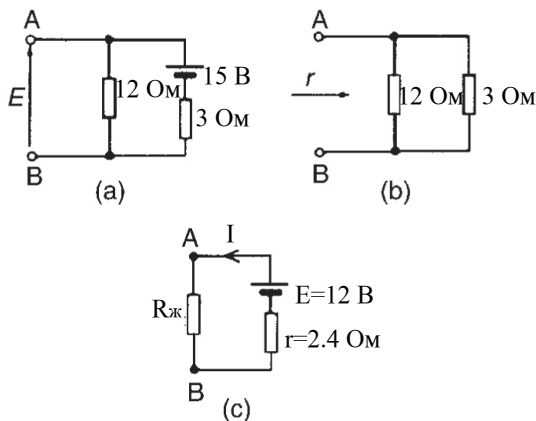
$$E = \left(\frac{12}{12+3} \right) (15) = 12 \text{ В}$$

3. 13.86(b)-суретте көрсетілгендей сұлбадан эк.к.-ін алып тастаймыз, осыдан кедергі тең

$$r = \frac{12 \times 3}{12 + 3} = \frac{36}{15} = 2.4 \text{ Ом}$$

4. 13.86(c)-суретінде AB -ның қоректендіру көзі бар, Тевениннің эквивалентті сұлбасы көрсетілген осыдан ток,

$$I = \frac{E}{r + R_{\text{ж}}}$$



13.86-сурет

Максималды берілген қуат үшін,

$$R_{ж} = r = 2.4 \text{ Ом}$$

Олай болса ток

$$I = \frac{12}{1.2 + 2.4} = 2.5 \text{ А}$$

$R_{ж}$ жүктемеде берілген P қуат:

$$P = I^2 R_{ж} = (2.5)^2 (2.4) = 15 \text{ Вт}$$

Келесі жаттығуды орындаңыздар.

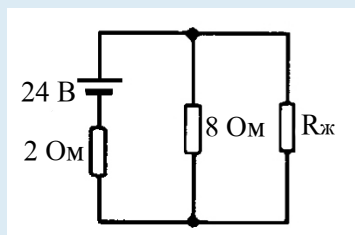
74-жаттығу. Максималды берілген қуатты анықтау теоремасына қосымша есептер

1. Ашық тұрақты ток көзінің кернеуі 20 В , ішкі кедергісі 2 Ом , максималды жұмсалатын қуат қандай жүктемелі кедергіге беріле алатынын, оның шамасын есептеңіз және осы қуаттың мәнін табыңыз.

[2 Ом , 50 Вт]

2. 13.87-суретте келтірілген жүктеменің кедергісін табыңыз, осы кедергі қуатының максималды жұмсалу мәніне сай болсын және осы қуаттың мәнін есептеңіз.

[$R_{ж} = 1.6 \text{ Ом}$, $P = 57.6 \text{ Вт}$]



13.87-сурет

3. Ашық тұрақты ток көзінің кернеуі 45 В ішкі кедергісі 3 Ом және осы ашық тізбек $R_{ж}$ жүктемеге қосылған. Жүктеменің максималды берілетін қуатын табыңыз.

[147 Вт]

4. Кернеудің қоректендіру көзі 6 элементтен тұрады. Әрқайсысының кернеуі 2 В және әрқайсысының ішкі кедергілері 0.2 Ом және

олар кедергісі R жүктемемен қосылған жүктеменің максималды берілетін қуатын анықтаңыз.

[30 Вт]

5. Жүктеменің кедергісі 4 Ом оның максималды жұмсалған қуаты 100 Вт. Кернеу V ішкі кедергісі r тұрақты кернеу көзімен қосылғанда, есептеңіздер: (а) жүктемедегі ток шамасын; (б) ішкі кедергісін; (с) кернеудің шамасын.

[(а) 5 А (б) 4 Ом (с) 40 В]

75-жаттығу. Тұрақты ток теориясына қысқаша жауап беріңіздер.

1. Белгісіз тоқты, потенциалдар айырымын электрлік тізбектерде тауып есептей алатын екі заңның, үш теореманың атын атаңыздар.
2. Кирхгофтың ток заңын тұжырымдаңыздар.
3. Кирхгофтың кернеу заңын тұжырымдаңыздар.
4. Суперпозиция принципін өз сөздеріңізбен айтыңыздар.
5. Тевенин теоремасын өз сөздеріңізбен айтыңыздар.
6. Нортон теоремасын өз сөздеріңізбен айтыңыздар.
7. Максималды қуатты тасымалдау теоремасын тұрақты ток үшін тұжырымдаңыздар.

76-жаттығу. Тұрақты ток тізбегі үшін тест сұрақтары, жауаптары кітаптың соңында берілген.

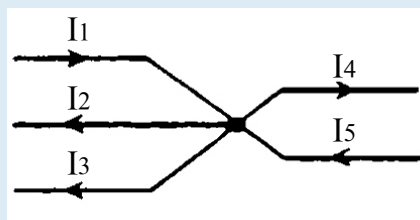
1. Келесі тұжырымдамалардың қайсысы дұрыс: 13.88-суретте келтірілген сұлба үшін:

(a) $I_5 - I_4 = I_3 - I_2 + I_1$

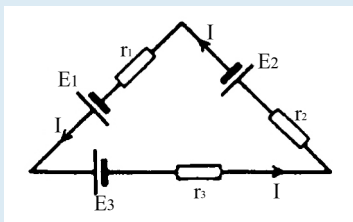
(b) $I_2 + I_3 + I_5 = I_1 + I_4$

(c) $I_1 + I_2 + I_3 = I_4 + I_5$

(d) $I_1 - I_2 - I_3 - I_4 + I_5 = 0$



13.88-сурет



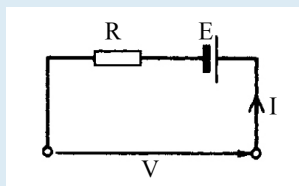
13.89-сурет

2. Келесі тұжырымдамалардың қайсысы дұрыс: 13.89-суретте келтірілген сұлба үшін:

- (a) $E_1 + E_2 + E_3 = Ir_1 + Ir_2 + Ir_3$
 (b) $E_2 + E_3 - E_1 - I(r_1 + r_2 + r_3) = 0$
 (c) $I(r_1 + r_2 + r_3) = E_1 - E_2 - E_3$
 (d) $E_1 + E_2 - E_3 = Ir_1 + Ir_2 + Ir_3$

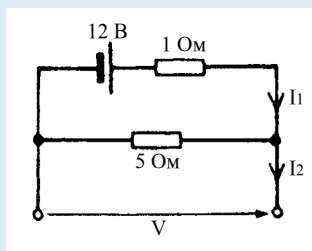
3. 13.90-суреттегі сұлба бойынша ішкі кедергінің мәні қандай?

- (a) $\frac{I}{V-E}$ (b) $\frac{V-E}{I}$ (c) $\frac{I}{E-V}$ (d) $\frac{E-V}{I}$



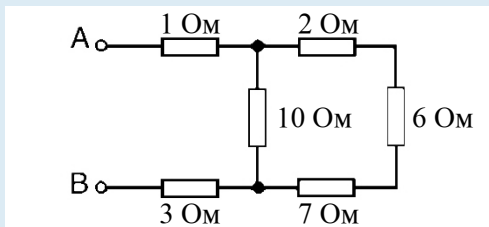
13.90-сурет

4. 13.90-суреттегі сұлбадағы кернеудің дәл мәні қандай?
 (a) 12 В (b) 2 В (c) 10 В (d) 0 В
5. 13.91-суреттегі сұлбадағы I_1 ток күшінің мәні қандай?
 (a) 2 А (b) 14.4 А (c) 0.5 А (d) 0 А



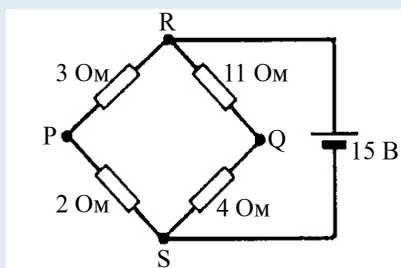
13.91-сурет

6. 13.91-суреттегі I_2 ток күшінің мәні қандай?
 (a) 2 A (b) 14.4 A (c) 0.5 A (d) 0 A
7. 13.92-суреттегі AB клеммаларындағы эквивалентті кедергінің мәні қандай?
 (a) 9.31 Ом (b) 7.24 Ом
 (c) 10.0 Ом (d) 6.75 Ом



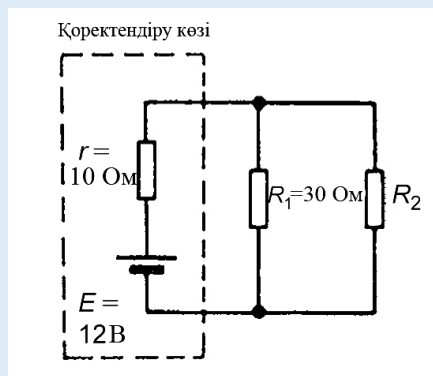
13.92-сурет

8. 13.93-суреттегі сұлбаны пайдалана отырып, егер кернеуі 15 В батарея қысқа тұйықтаумен алмастырылса келесі деректердің қайсысы дұрыс?



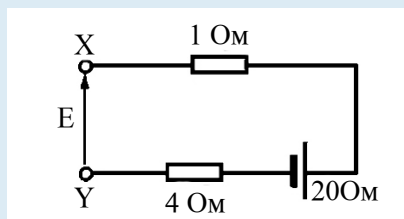
13.93-сурет

- (a) $V_{PQ} = 2 B$ (b) $V_{PQ} = 15 B$ (c) Q мен P арасында жүктеме орналасса, ток Q -дан P -ға қарай өте бастайды, (d) $V_{PQ} = 20 B$
9. 13.93-суретте 15 В батарея PQ клеммаларының арасындағы эквивалентті кедергінің мәні тең болады?
 (a) 20 Ом (b) 4.20 Ом
 (c) 4.13 Ом (d) 4.29 Ом
10. 13.94-сурет бойынша қоректендіру көзінен максималды қуаттың шамасын алу қажет. Осындай жағдай туу үшін қандай жауап дұрыс?
 (a) $R_2 = 10 \text{ Ом}$ (b) $R_2 = 30 \text{ Ом}$
 (c) $R_2 = 7.5 \text{ Ом}$ (d) $R_2 = 15 \text{ Ом}$



13.94-сурет

11. 13.95-сурет бойынша ажыратылған тізбектің XU клеммаларының арасындағы E кернеуінің шамасы қандай?

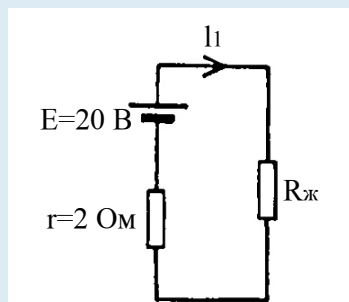


13.95-сурет

- (a) 0 В (b) 20 В
(c) 4 В (d) 16 В

12. 13.96-сурет бойынша қоректендіру көзінен қандай максималды қуатты бере алады?

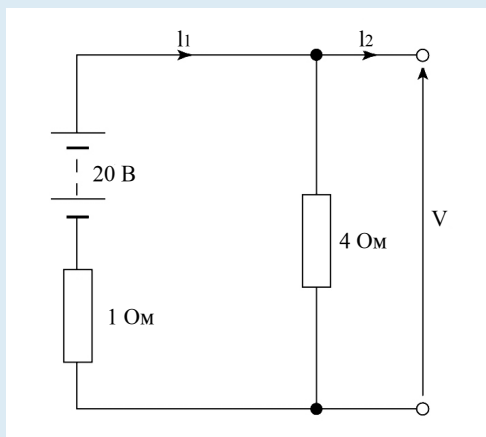
- (a) 5 Вт (b) 200 Вт (c) 40 Вт (d) 50 Вт



13.96-сурет

13.13.97-суреттегі сұлба бойынша кернеудің шамасын табыңыз.

- (a) 0 В (b) 20 В
(c) 4 В (d) 16 В



13.97-сурет

14.13.97-суреттегі сұлба бойынша I_1 тогының шамасын табыңыз.

- (a) 25 А (b) 4 А
(c) 0 А (d) 20 А

15.13.97-сұлба бойынша I_2 тогының шамасын табыңыз.

- (a) 25 А (b) 4 А
(c) 0 А (d) 20 А

16.Тұрақты токтың сұлбасы бойынша оның тармағындағы өтетін токты қандай жолмен анықтауға болады?

- (a) Кирхгоф заңы, (b) Ленц заңы, (c) Фарадей заңы, (d) Флемингтің сол қол ережесімен.

14-ТАРАУ

АЙНЫМАЛЫ ТОК ПЕН КЕРНЕУ

Тараудың соңында меңгеретін сұрақтардың тізімі:

- Тұрақты ток көзіне қарағандағы айнымалы ток көзінің артықшылығы
- Айнымалы ток генераторының жұмыс істеу принципін түсіну
- Бір және әртүрлі бағыттағы сигналдардың айырмашылығы
- Синусоидалы сигналдардың циклін, периодын немесе периодтық уақыты мен жиілігін анықтау
- $T = 1/f$ формуласын қолданып, есептер шығару
- Синусоидалы сигналдар үшін лездік токтың, амплитуданың, орташа және орташа квадраттық мәндердің шамаларын және олардың пішіні мен амплитуда коэффициенттерін анықтай алу
- Берілген сигналдар үшін олардың орташа және орташа квадрат мәндері мен пішіндерін және шың коэффициенттерін анықтау
- Жалпы синусоидалы $u = U_{\text{макс}} \sin(\omega \pm \varphi)$ тендеулерді түсініп, есептерді шығара білу
- Фазаның ығысуын – кешігу немесе озу бұрыштарын түсіну
- Екі синусоидалы сигналдарды: (а) графикті салу арқылы; (b) масштаб бойынша векторларды салу; (с) есептеулермен қоса білу
- Түзетуді, жарты толқынды алу әдісін және екі жарты периодты түзетуді түсіну
- Түзетілген шығыс сигналын тегістеу әдісін түсіну

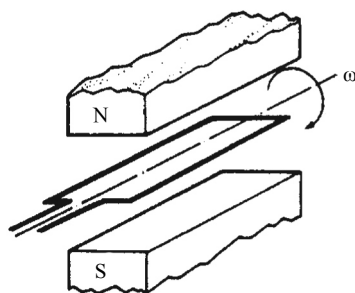
14.1 Кіріспе

Электр стансаларында генераторлар арқылы электр энергиясы өндіріледі және ол тарату желісінде кең көлемде қолданылады. Электр энергиясы өндірісте және тұрмыстық жағдайда қажет екені бәрімізге мәлім. Айнымалы токты өндіру тұрақты токпен салыстырғанда әлдеқайда жеңіл және арзан. Трансформатор арқылы кернеуді оңай өзгертуге болатындықтан, айнымалы токты үлестіріп тарату тұрақты токпен салыстырғанда ыңғайлырақ. Айнымалы токты тұрақты токқа айналдыру мен түрлендіру үшін түзеткіш деп аталатын құрылғы пайдаланылады.

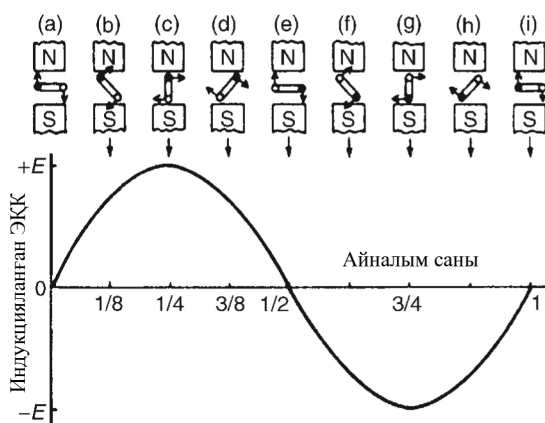
14.2 Айнымалы генератор

14.1-суретте көрсетілгендей, тұрақты бұрыш жылдамдығымен бір орам магнит полюстері арасында еркін айналсын.

Сонда магнит өрісінде орналасқан орамда э.қ.к.-і өндіріліп, (Фарадей заңына сай) ол өзінің шамасы мен бағыты жағынан периодты түрде өзгеріп отырады. Мұның себебін 14.2-суретте келтірілген сұлбамен түсіндіруге болады: (а), (е) және (і) позицияларында өткізгіш магнит



14.1-сурет



14.2-сурет

күш сызықтары бойымен жылжи алады, осы аталған орындарда ағын түзілмегендіктен, $\varepsilon.k.k.-i$ индукцияланбайды; (с) – орнында өткізгіш магнит күш сызықтарын максималды кесіп өтеді, сондықтан $\varepsilon.k.k.$ максималды индукцияланады.

14.2-суретте (g) орнындағы өткізгіш магнит күш сызықтарын қайтадан максималды кесіп өтеді, олай болса $\varepsilon.k.k.$ тағы да максималды индукцияланған болады. Алайда Флемингтің оң қол ережесіне сай (с) – орнында $\varepsilon.k.k.-i$ кері қарсы бағытталатындықтан, оның мәні енді – Е теріс таңбаға өзгереді. (b), (d), мен (h) орындарында **өткізгіш** тек магнит күш сызықтарының кейбір бөлігін ғана кесіп өтетіндіктен, енді $\varepsilon.k.k.-де$ максималды емес шамалы ғана индукцияланады. **Бір цикл айнымалы $\varepsilon.k.k.-i$ өндірілуі үшін орам, яғни өткізгіш** осы орындардың бәрін өтіп, **толық бір айналым** жасауы қажет. Міне, осындай операциялардың орындалу тәртібі айнымалы генератордың жұмыс істеу принципі анықтайды.

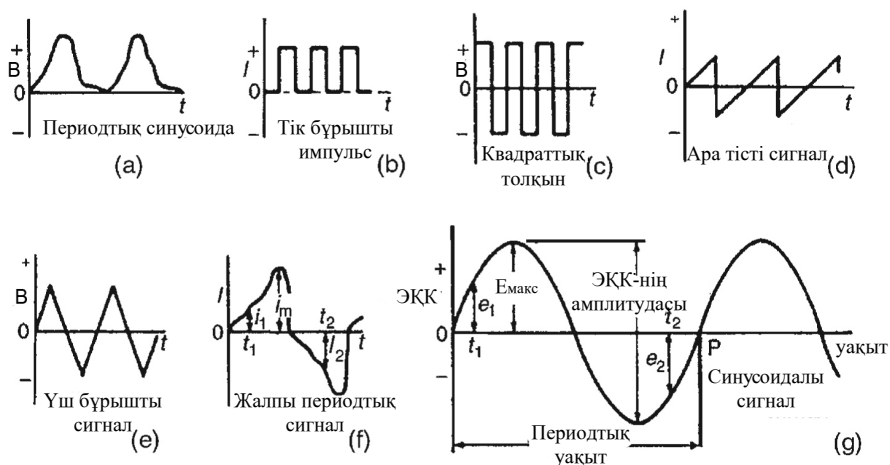
14.3 Сигналдар

Егер t уақыт аралығында шамалардың өзгеру мәні уақытқа байланысты бейнеленсе, онда мұндай график **сигнал** деп аталады.

Сигнал (лат. – белгі) берілген хабарды тасымалдайтын (алып жүретін) физикалық синусоидалды процесс. **Электр сигналы** дегеніміз – параметрлері берілген хабар заңдылығымен өзгертін электр тогы немесе электр кернеуі. Кейбір көп кездесетін сигналдардың диаграммалары *14.3-суретте* келтірілген. (a) және (b) тәрізді толқындар **бір бағытты сигналдар** арасында уақыт бойынша айырмашылық болғанымен, олар бір бағытта ағып жатады (уақыт өсін кесіп өтпегендіктен, олар үнемі оң болып қала береді). (с)-дан (g)-ге дейінгі сигналдар **айнымалы сигналдар** деп аталады. Себебі олардың шамалары бағыттары бойынша үнемі өзгеріп отырады (оң және теріс шамалар кезек-кезек өзгеріп отырады).

Айнымалы сигналдар: (a) периодтық сигналдар; (b) тікбұрышты импульс; Периодты сигналдар: (с) квадраттық толқындар; (d) ара тісті сигналдар; (e) үшбұрышты сигналдар; (f) жалпы периодтық сигнал; (g) синусоидалы сигнал.

14.3(d)-суреттегі толқын сигналдарының түрі **синусоида** деп аталады. Генератор арқылы өндірілген $\varepsilon.k.k.-i$ ң сигналының мұндай түрі синусоида болып табылады. Олай болса, қоректендіру көзінен алынған электр тогының сигналы да синусоидалы. *14.3(g)-суретте* толық мәндері көрсетілген бір қатарды **цикл** деп атаймыз.



14.3-сурет

Бір циклды жасау үшін кететін уақыт **период** немесе сигналдың **уақыттық периоды** деп аталады. 1 секунд ішінде өтетін цикл саны қоректендіру көзінің (f) **жиілігі** деп аталады және ол герцпен (Гц) өлшенеді. Ұлыбританияда электрмен жабдықтаудың стандартты жиілігі ретінде 50 Гц алынады, 14.3-суретті қараңыз.

$$T = \frac{1}{f} \quad \text{немесе} \quad f = \frac{1}{T}$$

1-есеп. (a) 50 Гц, (b) 20 кГц жиіліктері үшін периодтық уақытты анықтаңыз.

a) Периодтық уақыт $T = \frac{1}{f} = \frac{1}{50} = 0.02 \text{ с}$ немесе 20 мс

b) Периодтық уақыт $T = \frac{1}{f} = \frac{1}{20000} = 0.00005 \text{ с}$

2-есеп. (a) 4 мс, (b) 4 мкс периодтық уақыттарға сәйкес жиіліктерді табыңыздар:

$$(a) \text{ Жиілік } f = \frac{1}{T} = \frac{1}{4 \times 10^{-3}} = \frac{1000}{4} = 250 \text{ Гц}$$

$$(b) \text{ Жиілік } f = \frac{1}{T} = \frac{1}{4 \times 10^{-6}} = \frac{1000000}{4} = 250000 \text{ Гц немесе } 250 \text{ кГц}$$

немесе 0.25 МГц.

3-есеп. Ток 8 мс ішінде 5 цикл жасағанда жиіліктің мәні қандай болады?

1 цикл үшін кететін уақыт $= (8/5) = 1.6 \text{ мс} = \text{период уақыты}$.

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{1.6 \times 10^{-3}} = \frac{1000}{1.6} = \frac{10000}{16} = 625 \text{ Гц}$$

Келесі жаттығуларды орындаңыздар

77-жаттығу. Жиілік пен периодтық уақытқа арналған қосымша есептер

1. Келесі жиіліктер үшін периодтық уақытты табыңыз:

(a) 2.5 Гц (b) 100 Гц (c) 40 кГц

$[(a) 0.4 \text{ с } (b) 10 \text{ мс } (c) 25 \text{ мкс}]$

2. Келесі периодтық уақыттарға сәйкес жиіліктерді анықтаңыз:

(a) 5 мс (b) 50 мкс (c) 0.2 с

$[(a) 200 \text{ Гц } (b) 20 \text{ кГц } (c) 5 \text{ Гц}]$

3. 5 мс ішінде айнымалы ток 4 циклды жасай алған, сонда осы токтың жиілігі қандай болғаны?

$[800 \text{ Гц}]$

14.4 Айнымалы ток көзінің мәндері

Лездік токтың мағынасы кез келген уақыт аралығында айнымалы мағыналы шама болып табылады. Олар i , v , e сияқты кіші әріптермен белгіленеді (14.3 (f) пен (g)-суреттерді қараңыздар).

Жартылай период уақытында жеткен ең үлкен шамалар **сигналдың максималды шамасы** немесе **амплитудасы** деп аталады. Мұндай шамаларға $V_{\text{макс}}$, $I_{\text{макс}}$, $E_{\text{макс}}$ жатады. Э.к.қ.-нің амплитудаларының мәндері 14.3-суретте келтірілген және ол циклдегі максимал және минимал мәндердің айырымы болып табылады. Синусоида сияқты айнымалы шамалардың да орташа мәндері болады. Жартылай период уақытында өлшенген шама **орташа мән** деп алынады (толық циклдың орташа мәні нөлге тең).

Орташа мән= қисық астындағы аудан/табанның ұзындығы

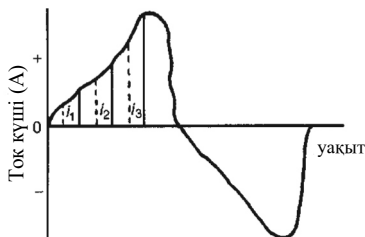
Қисықтың астындағы ауданды табу жуық тәсілге жатады. Осындай жуық тәсілдерге трапеция әдісі, ордината ортасының ережесі немесе Симпсон ережесі жатады. Орташа мәндер келесі түрде белгіленеді:

$$V_{\text{орт}}, I_{\text{орт}}, E_{\text{орт}} \text{ т.с.с.}$$

Синусоидалар үшін:

Орташа мән=0.637×максимал мән (олай болса $2/\pi$ ×максимал мән).

Айнымалы токтың **эффективті мәні** тұрақты токтың тура сондай жылу эффектісін тудыра алатын эквивалентті мән. Эффективті мән **орташа квадраттық мән (о.к.м.)** деп және айнымалы параметр берілген кезде оны **орташа квадраттық шама** деп атайды. Мысалы, тұрмыста пайдаланатын электр желісіндегі қоректендіру көзінің кернеуі 240 В, сондықтан ол 240 В (орташа квадраттық шама) о.к.ш. деп белгіленеді. Орташа квадраттық мәндерге қолданылатын символдар I , V , E және тағы басқалары. 14.4-суретте көрсетілген синусоидалы емес сигналдар үшін орташа квадраттық мәндер келесі формуламен анықталады:



14.4-сурет

$$I = \sqrt{\frac{i_1^2 + i_2^2 + \dots + i_n^2}{n}}$$

мұндағы n – екі нүкте арасындағы интервалдар саны.

Синусоидалы толқын үшін:

Орташа квадраттық мән = $0.707 \times$ **максимал мән** (яғни, $1/\sqrt{2} \times$ **максимал мән**)

Пішінің коэффициенті = **о.к.ш./орташа шама**.

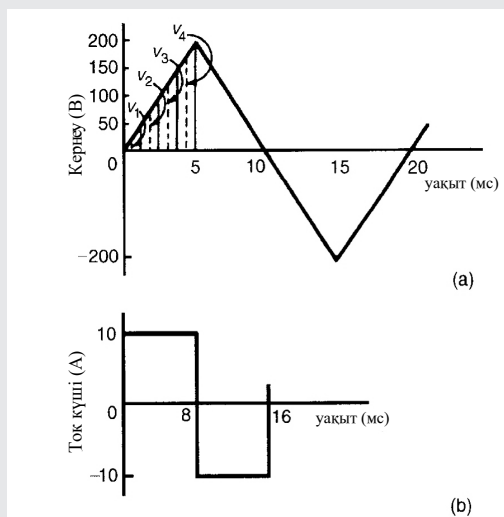
Синусоидалы толқын үшін пішінінің коэффициенті = 1.11

Амплитудалық коэффициент = **максималды мән/орташа квадраттық мән**

Синусоидалы толқын үшін амплитуда коэффициенті = 1.41

Пішін коэффициенті мен амплитуда коэффициенттерінің мәндері арқылы сигналдардың пішіндерін анықтауға болады.

4-есеп. 14.5-суретте келтірілген периодтық сигналдың әрқайсысы үшін (1) жиілікті, (2) жарты циклдің орташа мәнін, (3) орташа квадраттық мәнді, (4) пішін коэффициентін, (5) амплитудалық коэффициенттің шамаларын анықтаңыздар.



14.5-сурет

(а) Үшбұрышты сигнал (14.5-сурет (а)).

(1) Бір толық цикл үшін өткен уақыт T – периодтық уақыт, олай болса

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{20 \times 10^{-3}} = \frac{1000}{20} = 50 \text{ Гц}$$

(2) Жарты циклдағы үшбұрышты сигналдың астындағы аудан

$$= \frac{1}{2} \times (10 \times 10^{-3}) \times 200 = 1 \text{ В} \cdot \text{с}$$

Сигналдың орташа мәні = қисықтың астындағы аудан/табан ұзындығы =

$$= \frac{1 \text{ В} \cdot \text{с}}{(10 \times 10^{-3}) \text{ с}} = \frac{1000}{10} = 100 \text{ В}$$

(3) 14.5-суреттен бірінші циклдің $\frac{1}{4}$ бөлігі 4 интервалға бөлінген, сонда Орташа квадраттық мән =

$$= \sqrt{\frac{u_1^2 + u_2^2 + u_3^2 + u_4^2}{4}} = \sqrt{\frac{25^2 + 75^2 + 125^2 + 175^2}{4}} = 114.6 \text{ В}$$

(Айта кету керек, неғұрлым интервал саны көп болса, соғұрлым нәтиженің дәлділігі жоғары. Мысалы, егер ордината екі есе ұлғайса, онда орташа квадраттық мән 115.6 В тең болады).

(4) Пішіннің коэффициенті = орташа квадраттық мән/орташа мән =

$$= 114.6/100 = \mathbf{1.15}$$

(5) Амплитудалық коэффициент = максималды мән/орташа квадрат мән = $200/114.6 = \mathbf{1.75}$

(b) Төртбұрышты сигнал (14.5(b)-сурет)

(1) Толық циклге кететін уақыт T – периодтық уақыт, олай болса жиілік

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{16 \times 10^{-3}} = \frac{1000}{16} = 62.5 \text{ Гц}$$

(2) Жарты циклдың орташа мәні = қисықтың астындағы мән/табанның ұзындығы =

$$\frac{10 \times (8 \times 10^{-3})}{8 \times 10^{-3}} = 10 \text{ А}$$

(3) Орташа квадраттық мәні = $\sqrt{\frac{i_1^2 + i_2^2 + i_3^2 + i_4^2}{4}} = 10 \text{ А}$

Алайда сигналдың пішіні тікбұрышты болғандықтан, көп интервалды таңдап алуға болады.

$$(4) \text{ Пішіннің коэффициенті} = \text{орташа квадраттық мән} / \text{орташа мән} = \frac{10}{10} = 1$$

$$(5) \text{ Амплитудалық коэффициент} = \text{максималды мән} / \text{орташа квадрат мән} \\ = \frac{10}{10} = 1$$

5-есеп. Айнымалы токтың жарты периоды үшін токтың мәні мен уақыт арасындағы тәуелділік төмендегі кестеде келтірілген

Ток i , (А)	0	7	14	23	40	56	68	76	60	5	0
---------------	---	---	----	----	----	----	----	----	----	---	---

Теріс жартылай период пен оң жартылай период өздерінің пішіндерімен бірдей болған сигналдың түрін салып, анықтаңыздар:

- (a) қоректендіру көзінің жиілігін, (b) 1.25 мс және 3.83 мс уақыт өткеннен кейінгі лездік токтың мәндерін, (c) амплитуда шамасын, (d) орташа шаманы, (e) орташа сигналдың квадраттық мәнін.

14.6-суретте айнымалы токтың жартылай периоды келтірілген.

- (a) Жартылай периодтың уақыты 5 мс, олай болса 1 цикл өтетін уақыт, немесе уақыт интервалы $T=10$ мс (0.01с)

$$\text{Жиілік, } f = \frac{1}{T} = \frac{1}{0.01} = 100 \text{ Гц.}$$

- (b) 14.6-суреттен алынған деректер бойынша 1.25 мс-қа сәйкес лездік ток 19 А, 3.8 мс-қа сәйкес лездік ток 70 А тең.

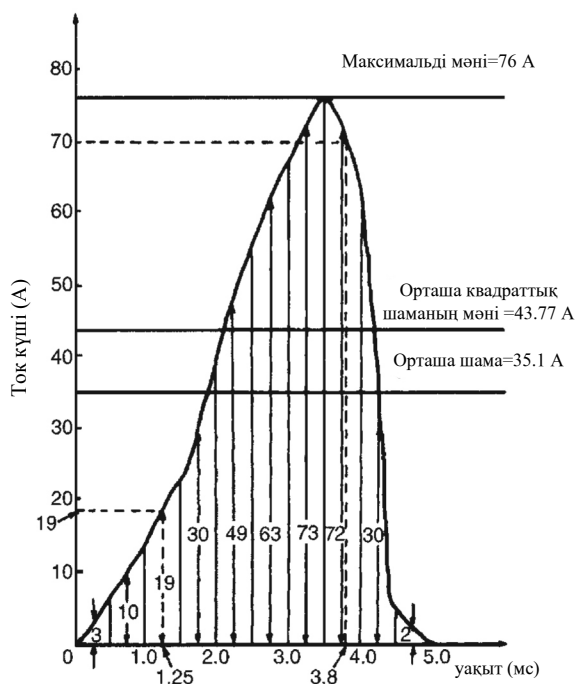
- (c) Амплитуда мәні немесе максималды мән = 76 А

- (d) Орташа мән = қисықтың астындағы аудан/табан ұзындығы

Орташа ордината ережесін пайдалана отырып, әрқайсысының ені 0.5 мс 10 интервалды табамыз, сонда:

14.6-суреттен қисықтың астындағы аудан =

$$= (0.5 \times 10^{-3}) [3 + 10 + 19 + 30 + 49 + 63 + 73 + 72 + 30 + 2] =$$



14.6-сурет

Орташа шаманың мәні $\} = (0.5 \times 10^{-3}) [3 + 10 + 19 + 30 + 49 + 63 + 73 +$
 $+ 73 + 72 + 30 + 2]$

(14.6-суретті қараңыз)

$$= (0.5 \times 10^{-3}) (351)$$

Сондықтын бұл орташа шамасы $\} = \frac{(0.5 \times 10^{-3}) (351)}{5 \times 10^{-3}} = 35.1 \text{ A}$

(е) Орташа квадраттық мән=

$$= \sqrt{\frac{3^2 + 10^2 + 19^2 + 30^2 + 49^2 + 63^2 + 73^2 + 72^2 + 30^2 + 2^2}{10}} = \sqrt{\frac{19157}{10}} = 43.8 \text{ A}$$

6-есеп. Синусоидалы токтың максимал мәні – 20 А. Осы токтың орташа квадраттық мәнін табыңыз.

Синусоидалы ток үшін оның орташа квадраттық мәні $=0.707 \times \text{максимал мәні} = 0.707 \times 20 = 14.14 \text{ А}$

7-есеп. Желінің қоректендіру көзінің кернеуі 240 В, сонда синусоидалы кернеудің амплитудасы мен орташа мәні қандай болады?

Синусоидалы толқын үшін кернеудің орташа квадраттық мәні $V = 0.707 \times V_{\text{макс}}$ өрнегімен анықталады. Қоректендіру көзінің кернеуі 240 В сонда кернеудің орташа квадраттық мәні де 240 В болады. Сондықтан:

$$\text{Амплитуданың мәні: } V_{\text{макс}} = \frac{V}{0.707} = \frac{240}{0.707} = 339.5 \text{ В}$$

$$\text{Орташа мән } V_{\text{орт}} = 0.637 \cdot V_{\text{макс}} = 0.637 \times 339.5 = 216.3 \text{ В}$$

8-есеп. Қоректендіру көзі кернеуінің орташа мәні 150 В, олай болса оның максималды мәні мен орташа квадраттық мәнін табыңыз.

Синусоидалы кернеудің орташа мәні $V_{\text{орт}} = 0.637 \cdot V_{\text{макс}}$.
Олай болса,

$$\text{Максималды мән } V_{\text{макс}} = \frac{V_{\text{орт}}}{0.637} = \frac{150}{0.637} = 235.5 \text{ В}$$

$$\text{Орташа квадраттық мән} = 0.707 \times V_{\text{макс}} = 0.707 \times 235.5 = 166.5 \text{ В}$$

Келесі жаттығуларды орындаңыздар

78-жаттығу. Сигналдың айнымалы шамаларына қосымша есептер

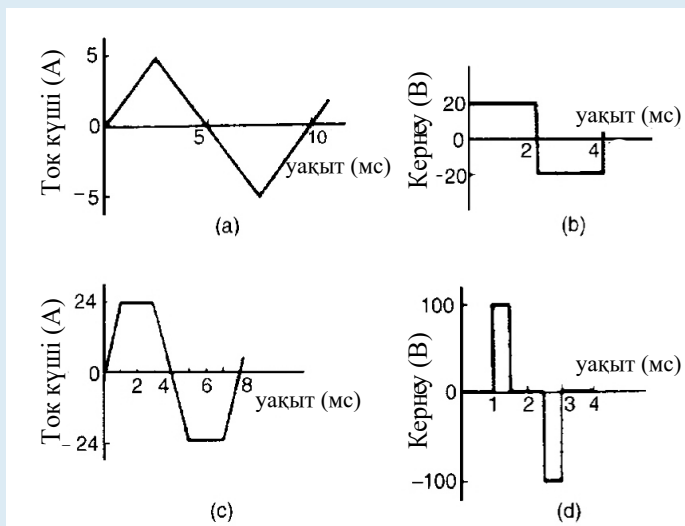
Уақыт бойынша айнамалы ток циклы келесі түрде өзгереді:

Ток, (А)	0	0.7	2.0	4.2	8.4	8.2	2.5	1.0	0.4	0.2	0
Уақыт, (мс)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

1. Теріс жарты цикл да тура осылай өзгереді. Осы тәуелділіктің графигін салып, келесі параметрлерді: (a) жиілікті, (b) 5.8 мс, 3.4 мс уақытына сай лездік токтардың мәнін, (c) оның орташа мәнін, (d) орташа квадраттық мәнін анықтаңыз.

[(a) 50 Гц (b) 5.5 A, 3.1 A (c) 2.8 A (d) 4.0 A]

2. 14.7-суретте келтірілген әрбір сигналдардың параметрлерін: (1) жиілікті, (2) жарты периодтың орташа мәнін, (3) орташа квадраттық мәнін, (4) толқын пішінінің коэффициентін, (5) амплитуда коэффициентін анықтаңыз.



14.7-сурет

- [(a) (1) 100 Гц (2) 2.50 A (3) 2.87 A
(4) 1.15 (5) 1.74
(b) (1) 250 Гц (2) 20 В (3) 20 В
(4) 1.0 (5) 1.0
(c) (1) 125 Гц (2) 18 A (3) 19.56 A
(4) 1.09 (5) 1.23
(d) (1) 250 Гц (2) 25 В (3) 50 В
(4) 2.0 (5) 2.0]
3. Пішіні үшбұрышты айнымалы кернеудің сигналы 8 мс ішінде тұрақты жылдамдықпен 300 В максимумге дейін жетіп, кейін

4 м/с тұрақты жылдамдықпен 0-ге дейін түскен. Теріс жарты периоды оң жарты толқынның пішінімен бірдей. Есептеңіздер: (а) жарты циклдың орташа кернеуін, (b) кернеудің орташа квадраттық мәнін.
[(a) 150 В (b) 170 В]

4. Айнымалы э.к.к. уақыт аралығында келесі өзгеріске ұшырайды:

Э.к.к. (В)	0	45	80	155	215	320	210	95	0
Уақыт (мс)	0	1.5	3.0	4.5	6.0	7.5	9.0	10.5	12.0

Теріс жарты период пішіні жағынан оң жарты периодпен бірдей. Сигналдың түрін салып, (а) периодтық уақыт пен жиілікті, (b) 3.75 мс-ғы токтың лездік мәнін, (c) кернеуі 125 В-ке сәйкес уақытты, (d) орташа мәнді, (e) орташа квадраттық мәнді анықтаңыздар.
[(a) 24 мс, 41.67 Гц, (b) 115 (c) 4 мс, 10.1 мс, (d) 142 В, (e) 171 В]

5. Синусоидалы кернеудің максималды мәні 300 В. Соның орташа квадраттық мәнін есептеңіздер.
[212.1 В]

6. Желінің қоректендендіру көзінің кернеуі 250 В, амплитудасы мен орташа мәнін табыңыз.
[282.9 В, 180.2 В]

7. Амплитудасы 10 А синусоидалы токтың суретін салыңыз. Осы токтың орташа мәні 6,37 А және орташа квадраттық мәнінің 7,07 А екенін көрсетіңіз.

8. Синусоидалы кернеудің максималды мәні 120 В, сонда оның орташа квадраттық мәні мен орташа мәнін есептеңіздер.
[84.8 В, 76.4 В]

9. Синусоидалды токтың орташа мәні 15,0 А, олай болса оның максималды мәні мен орташа квадраттық мәнін анықтаңыздар.
[23.55 А, 16.65 А]

14.5 Электрлік қауіпсіздік қондырғы мен сақтандырғыштар

Оқшаулауды (изоляцияны) пайдалану тізбектегі токтың артық мөлшерін кеміту себебінен болатындықтан, оның түрін таңдап алу мен кернеудің максималды мәнін алдын ала белгілеп алған дұрыс. Осы себептен әруақытта **изоляциялық материалды қарастырғанда параметрлердің максималды мәндері мен амплитудалары ескеріледі**. Жүйелі сұлбаның ең әлсіз жері ол – **сақтандырғыштар**. **Сақтандырғыштар** тізбекте токтың артық мөлшері пайда болғанда ғана тізбекті ажырату үшін қолданады. Ал артық ток өрт тудыруы мүмкін екені бәрімізге мәлім. **Сақтандырғыштар** токтың жылу эффектісіне негізделгендіктен, олардың мөлшерін білу үшін орташа квадраттық мән алдын ала есептелінуі керек.

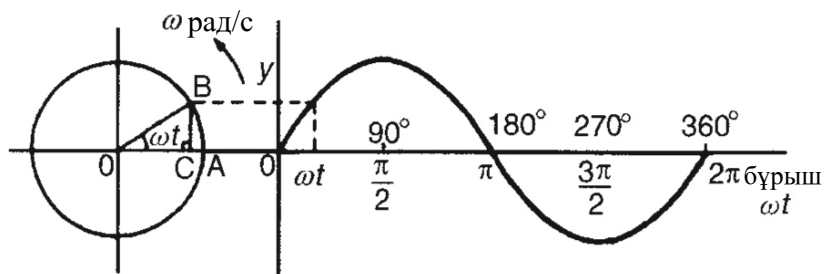
14.6 Синусоидалы толқынның тендеуі

14.8-суреттегі OA – векторы сағат тіліне қарсы бағытта еркін O нүктесінен айнала алады. ω рад/с бұрыштық жылдамдықпен айналатын вектор **комплектті жазықтықтағы вектор** немесе **фазалық вектор** деп аталады.

t сек өткеннен кейін OA векторы ωt бұрыштық жылдамдықпен айнала бастайды. Егер BC сызығы OA -ға перпендикуляр суретте көрсетілгендей салынса, онда

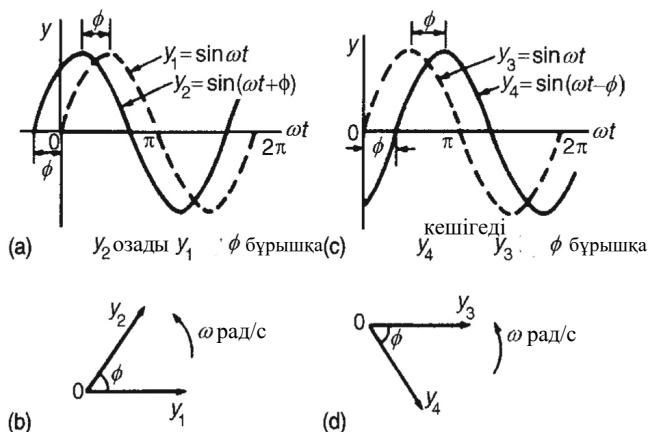
$$\sin \omega t = \frac{BC}{OB}$$

ендеше, $BC = OB \sin \omega t$



14.8-сурет

Графикте осындай компоненттер y өсінен радианмен алынған ωt бұрышына қарсы тіке проекцияланады. Синусоида бойымен өзгере алатын кез келген шама комплексті вектор түрінде келтіріледі. Синусоидалар әруақытта координата басындағы 0 нүктеден бастала бермейді. $y = \sin(\omega t \pm \phi)$ синусоидасының периодты екенін көрсету үшін $y = \sin \omega t$ синусоидасы келтірілген, мұндағы ϕ – фаза (немесе бұрыш) осы екі синусоиданың айырмашылығы болып табылады. 14.9(a)-суретте $y_2 = \sin(\omega t \pm \phi)$ синусоидасы $y_1 = \sin \omega t$ синусоидасымен салыстырғанда ϕ -радианға ертерек басталған. Олай болса y_1 синусоидасы y_2 синусоидасынан ϕ -фазаға озып отырады. 14.9(b)-суреттегі y_1 мен y_2 фазалық векторлары $t = 0$ тең моменті үшін келтірілген.



14.9-сурет

14.9(c)-суретте $y_4 = \sin(\omega t - \phi)$ синусоидасы $y_3 = \sin \omega t$ синусоидасымен салыстырғанда ϕ -радианға кештеу шығады, олай болса y_3 синусоидасы y_4 -тан ϕ -радианға кешігіп отырғаны. y_4 пен y_3 фазалық векторлары 14.9(d)-суретте $t = 0$ моментінде көрсетілген.

Жалпы кернеуді синусоидалы деп қарастырамыз:

$v = V_{\text{макс}} \sin(\omega t \pm \phi)$, сонда

- (1) Амплитуданың максимал мәні $= V_{\text{макс}}$
- (2) Шыңнан шыңға дейінгі мән, яғни кернеу ауқымы $= 2V_{\text{макс}}$,
- (3) Бұрыштық жылдамдық $= \omega \text{ рад} / \text{с}$

(4) Периодтық уақыт, $T = 2\pi/\omega c$

(5) Жиілік, $f = \omega/2\pi$ Гц ($\omega = 2\pi f$ болғандықтан)

(6) φ -бұрышқа озып не кешігіп отырады ($v = V_{\max} \sin \omega t$ салыстырғанда).

9-есеп. Айнымалы кернеудің теңдеуі: $v = 282.8 \sin 314 t$ В. $t = 4$ мс тең болғанда табыңыз: (а) кернеудің орташа квадраттық мәнін, (б) жиілікті, (с) $t = 4$ мс -ке сай кернеудің лездік мәнін.

(а) Айнымалы кернеудің $v = V_{\max} \sin(\omega t \pm \varphi)$ жалпы өрнегін берілген өрнекпен салыстыру арқылы кернеудің шындық мәнін, яғни амплитуда мәнін $V_{\max} = 282.8$ В табамыз.

Олай болса кернеудің орташа квадраттық мәні: $V = 0.707 \times V_{\max}$ тең болғандықтан, енді жазамыз $V = 0.707 \times V_{\max} = 0.707 \times 282.8 = 200$ В.

(б) Бұрыштық жылдамдық $\omega = 314$ рад/с, сондықтан жиілік $2\pi f = 314$

$$f = \frac{314}{2\pi} = 50$$
 Гц

(с) $t = 4$ мс тең болғанда

$$v = 282.8 \sin(314 \times 4 \times 10^{-3}) = 282.8 \sin(1.256) = 268.9 \text{ В.}$$

$$\text{Айта кету керек } 1.256 \text{ рад/с} = \left[1.256 \times \frac{180^\circ}{\pi} \right] = 71.96^\circ$$

Олай болса,

$$v = 282.8 \sin 71.96^\circ = 268.9 \text{ В жоғарыда (с) бабында келтірілгендей.}$$

10-есеп. Айнымалы кернеу $v = 75 \sin(200\pi - 0.25)$ өрнегімен берілген. Сонда (а) амплитуданы, (б) кернеу ауқымын (шыңнан шыңға дейінгі мәнді), (с) периодтық уақытты, (д) жиілікті, (е) $75 \sin 200\pi t$ өрнегімен салыстырғандағы градуспен, минутпен алынған фазалық бұрышты анықтаңыз.

Жалпы $v = V_{\max} \sin(\omega t \pm \varphi)$ айнымалы кернеудің өрнегін $v = 75 \sin(200\pi t - 0.25)$ өрнегімен салыстыра отырып, келесі параметрлердің мәнін табамыз:

- (а) Амплитуда немесе шыңның мәні = 75 В
 (а) Амплитуда немесе шыңның мәні = 75 В
 (b) Кернеу ауқымын, яғни шыңнан шыңға дейінгі мәнді $= 2 \times 75 = 150$ В
 (c) Орташа квадраттық мән $= 0.707 \times V_{\text{макс}} = 0.707 \times 75 = 53$ В
 (d) Бұрыштық жылдамдық $\omega = 200 \pi$ рад/с. Олай болса периодтық

$$\text{уақыт } T = \frac{2\pi}{\omega} = \frac{2\pi}{200\pi} = \frac{1}{100} = 0.01 \text{ с немесе } 10 \text{ мс}$$

(e) Жиілік $f = \frac{1}{T} = \frac{1}{0.01} = 100 \text{ Гц}$

- (f) Фазалық бұрышы $75 \sin 200\pi t$ синусоидасынан $\varphi = 0.25$ радианға кешігіп отырады

$$0.25 \text{ рад} / \text{с} = 0.25 \times \frac{180^\circ}{\pi} = 14.32^\circ$$

Олай болса фаза бұрышы = 14.32° кешігіп отырады.

11-есеп v айнымалы кернеудің периодтық уақыты 0.01 с және (шыңдық мәні) амплитудасы 40 В. Уақыт t -ға тең болғанда

$v = -20$ В. Лездік кернеудің өрнегін $v = V_{\text{макс}} \sin(\omega t \pm \varphi)$ жалпы айнымалы кернеудің өрнегі түрінде келтіріңіздер.

Амплитуда – $V_{\text{макс}} = 40$ В

Периодтық уақыт $T = \frac{2\pi}{\omega}$, олай болса **бұрыштық жылдамдық**
 $\omega = \frac{2\pi}{T} = \frac{2\pi}{0.01} = 200 \pi \text{ рад} / \text{с}$

$v = V_{\text{макс}} \sin(\omega t + \varphi)$ синусоидалы өрнегі

$v = 40 \sin(200 \pi t \pm \varphi)$ өрнегіне өзгергені.

Яғни, $t = 0$, $v = -20$ В тең болғанда $-20 = 40 \sin \varphi$

сондықтан $\sin \varphi = -20/40 = -0.5$

олай болса

$$\varphi = \sin^{-1}(-0.5) = -30^\circ = \left(-30 \times \frac{\pi}{180}\right) = -\frac{\pi}{6} \text{ рад}$$

Сондықтан $v = 40 \sin\left(200 \pi t - \frac{\pi}{6}\right) \text{ В}$

12-есеп. Кез келген t секунд уақытындағы айнымалы тізбектегі ток келесі формуламен анықталады: $i = 120 \sin(100 \pi t + 0.36)$ олай болса табыңыз:

(а) амплитуданы (шың мәнін), периодтық уақытты, жиілікті, $120 \sin(100 \pi t)$ мен салыстырғанда фазалық бұрышты, (б) $t = 0$ тең болғандағы токтың мәнін, (с) $t = 8$ мс-ке сай лездік токтың мәнін, (д) 60 А токтың мәніне сәйкес уақытты, (е) максимум токтың мәніне сәйкес уақытты.

(а) **Шыңның**, яғни **амплитуданың** мәні – 120 А. Жиілікті $\omega = 100 \pi$ деп

алғанда **периодтық уақыт** $T = \frac{2 \pi}{\omega} = \frac{2 \pi}{100 \pi} = \frac{1}{50} = 0.02$ с немесе 20 мс

Жиілік, $f = \frac{1}{T} = \frac{1}{0.02} = 50$ Гц

Фазалық бұрыш $\varphi = 0.36$ рад $= 0.36 \times \frac{180^\circ}{\pi} = 20.63^\circ$ озып отырады.

(б) $t = 0$ болғанда

$$i = 120 \sin(0 + 0.36) = 120 \sin 20.63^\circ = 42.3 \text{ А}$$

(с) 8 мс болғанда

$$i = 120 \sin \left[100 \pi \left(\frac{8}{10^3} \right) + 0.36 \right] = 120 \sin 2.8733^\circ = 31.8 \text{ А}$$

(д) $i = 60$ А болғанда $60 = 120 \sin(100 \pi t + 0.36)$

сондықтан $(60/120) = \sin(100 \pi t + 0.36)$ ендеше

$$(100 \pi t + 0.36) = \sin^{-1} 0.5 = 30^\circ = \pi/6 \text{ рад} = 0.5236 \text{ рад.}$$

Олай болса уақыт

$$t = \frac{0.5236 + 0.36}{100 \pi} = 0.521 \text{ мс}$$

(е) Ток максималды болғанда, $i = 120$ А.

Олай болса $120 = 120 \sin(100 \pi t + 0.36)$

$$1 = \sin(100 \pi t + 0.36)$$

$$(100\pi t + 0.36) = \sin^{-1} 1 = 90^\circ = (\pi/2) \text{ рад} = 1.5708 \text{ рад}$$

$$\text{Сонда уақыт } t = \frac{1.5708 - 0.36}{100\pi} = 3.85 \text{ мс}$$

Практикалық зертханалық жұмыстарды орындағанда кернеуді, жиілікті, фазаны өлшеу үшін 24-тарауды қараңыз.

Келесі жаттығуларды орындаңыздар

79-жаттығу. $v = V_{\max} \sin(\omega t \pm \phi)$ тендеуіне қосымша есептер

1. Айнымалы кернеу $v = 20 \sin 157.1t$ В өрнегімен берілген. Осы сигнал арқылы келесі параметрлерді табыңыз: (а) кернеудің максималды мәнін, (б) жиілікті, (с) периодтық уақытты, (д) вектордың бұрыштық жылдамдығын.

[(а) 20 В (б) 25 Гц (с) 0.04 с
(д) 157.1 рад/с]

2. Келтірілген өрнектер үшін сигналдың максималды мәнін, орташа квадраттық мәнді, жиілікті, периодтық уақытты және градуспен алынған бұрыштық жылдамдықты табыңыз:

(а) $v = 90 \sin 400\pi t$,

[90 В, 63.63 В, 200 Гц, 5 мс, 0°]

(б) $i = 50 \sin(100\pi t + 0.30)$

[50 А, 35.35 А, 50 Гц, 0.02 с, 17.19°]

(с) $e = 200 \sin(628.4t - 0.41)$

[200 В, 141.4 В, 100 Гц, 0.01 с, 23.49°]

3. Синусоидалы ток амплитудасының (шыңының) мәні 30 А және жиілігі 60 Гц. $t = 0$ болғанда ток нөлге тең. Лездік токты

$i = I_{\max} \sin \omega t$ өрнегі түрінде келтіріңіз.

[$i = 30 \sin 120\pi t$ А]

4. 20 мс периодтық уақыттың мәні үшін U айнымалы кернеудің максимал мәні 200 В. Уақыт $t = 0$ болғанда, $u = -75$ В кернеудің лездік мәні үшін синусоидалды өрнекті шығарыңыз және кернеудің бір циклына тән барлық маңызды моменттерді келтіріңіз.

$$[u = 200 \sin(100 \pi t - 0.384) \text{ В}]$$

5. Кез келген t уақыт аралығында айнымалы ток желідегі кернеу үшін өрнек келесі түрде берілген $u = 60 \sin 40 t$. Мәндері (a) 20 В және (b) -30 В кернеуге сай уақытты табыңыздар.

$$[(a) 8.496 \text{ мс } (b) 91.63 \text{ мс}]$$

6. Айнымалы ток көзінің тізбегіндегі лездік кернеу кез келген t с-та келесі өрнекпен сипатталған: $u = 100 \sin(50 \pi t - 0.523) \text{ В}$. Табыңыз:

- (a) Шыңнан шыңға дейінгі кернеудің шамасын, яғни **кернеу ауқымын**, периодтық уақытты, фазалық бұрышты;
 (b) $t = 0$ -не сәйкес кернеуді;
 (c) $t = 8$ мс тең уақытқа сәйкес кернеуді;
 (d) бірінші циклдегі кернеудің мәні 60 В-қа сәйкес уақытты;
 (e) бірінші циклдегі кернеудің мәні -30 В-қа сәйкес уақыты;
 (f) кернеудің максимум мәніндегі бірінші уақытты.

$$[(a) 200 \text{ В}, 25 \text{ Гц}, 0.04 \text{ с}, 29.97^\circ \text{ кешігіп отырады}$$

$$(b) -49.95 \text{ В } (c) 66.96 \text{ В } (d) 7.426 \text{ мс},$$

$$19.23 \text{ мс } (e) 25.95 \text{ мс}, 40.71 \text{ мс}$$

$$(f) 13.33 \text{ мс}]$$

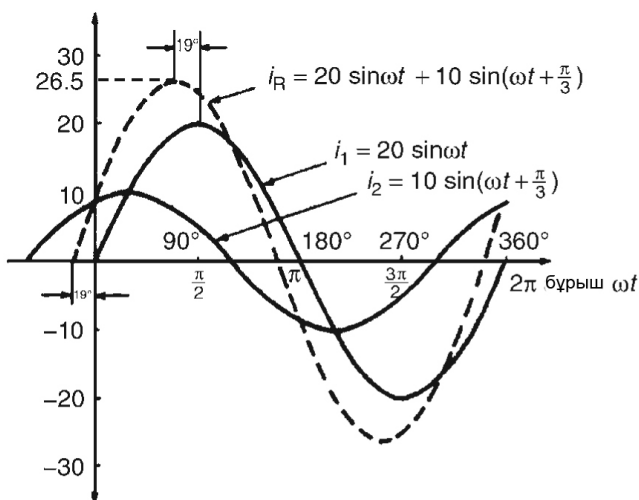
14.7 Сигналдарды қосу (үйлестіру)

Екі синусоидаларды бір-біріне қосып немесе бір-бірінен алуды 2 жолмен жүргізуге болады: (a) периодтық функциялардың графигін салу арқылы (13 пен 16-есептер); (b) есептеулер жүргізу немесе суреттерді салу арқылы (сызбаларды 14 пен 15-есептерді қараңыз).

13-есеп.2 айнымалы лездік токтардың өрнектері берілген: $i_1 = 20\sin\omega t$ және $i_2 = 10\sin(\omega t \pm \pi/3)$. Бір цикл үшін масштабын бірдей етіп бір өсте i_1 мен i_2 екі синусоиданың графигін сызып, ордината интервалдарын қосу арқылы $i_1 + i_2$ синусоида өрнегін алу керек.

$i_1 = 20\sin\omega t$ және $i_2 = 10\sin(\omega t \pm \pi/3)$ синусоидалар 14.10-суретте келтірілген. i_1 мен i_2 синусоидаларының ординаталарын әрбір 15° интервал сайын қосалық. Бұл үшін циркульдi пайдаланған жөн.

ωt (градустар)	0	30	60	90
$\sin\omega t$	0	0.5	0.866	1
$i_1 = 20\sin\omega t$	0	10	17.32	20
$(\omega t + 60)$	60	90	120	150
$\sin\omega t + \frac{\pi}{3}$	0.866	1	0.866	0.5
$i_1 = 10\sin\left(\omega t + \frac{\pi}{3}\right)$	8.66	10	8.66	5



14.10-сурет

Мысалы, 30° , $i_1 + i_2 = 10 + 10 = 20 \text{ A}$

60° , $i_1 + i_2 = 17.3 + 8.7 = 26 \text{ A}$

150° , $i_1 + i_2 = 10 + (-5) = 5 \text{ A}$

14.10-суретте екі i_1 мен i_2 сигналдардың қосындысының $i_1 = 20\sin\omega t$ нәтижесі келтірілген. Үзік сызықтармен берілген екі синусоиданың қосындысынан шыққан жаңа синусоиданың периодтары бірдей болғандықтан, олар алғашқы синусоиданың периодындай болғаны. Амплитуда мәні 26.5 A -ге тең. Қорытынды сигналдың өрнегі $i_1 = 20\sin\omega t$ өрнегін 19° немесе $(19 \times \pi / 180) = 0.332 \text{ рад}$ 0.3332 радианға озып отыр. Олай болса $i_1 + i_2$ қосқаннан кейін қорытынды синусоида өрнегін жазамыз:

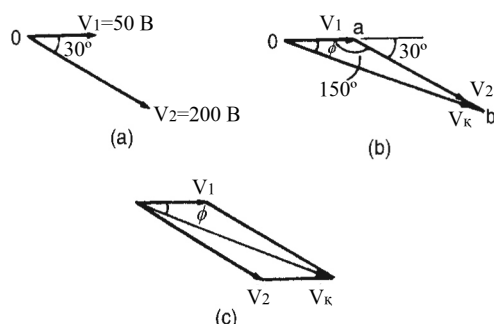
$$i = i_1 + i_2 = 26.5 \sin(\omega t + 0.332) \text{ A}$$

14-есеп. Айнымалы кернеудің өрнектері $u_1 = 50\sin\omega t$ және $u_2 = 100\sin(\omega t - \pi/6)$ синусоидаларымен берілген. Векторлық диаграмманы салыңыздар және екі синусоидалы өрнектердің $u_1 + u_2$ қосындысын есептеу арқылы қорытынды синусоиданы табыңыз.

Әдетте векторларды $t = 0$ -ге тең моменті үшін салады. Сонда u_1 -ны горизонталь бойымен 50 В бірлік ұзындығымен, ал u_2 -ні 100 В бірлік ұзындығымен белгілеп және u_2 -ні u_1 -мен салыстырғанда ол $\pi/6$ радианға, яғни 30° -қа кешігіп отырғанын анықтаймыз. *14.11(a)-суретте* тура осындай жағдай келтірілген, мұндағы O вектордың айналатын нүктесі.

$u_1 + u_2$ векторларын қосу тәртібін орындау:

1. u_1 – горизонталь бойымен 50 бірлікті ұзындықты сызу, яғни *14.11(b)-суреттегі* oa ұзындығы
2. *14.11(b)-суретте* көрсетілгендей u_2 векторы мен u_1 векторларының ұштарын сәйкес бұрышпен қосыңыздар.
3. $u = u_1 + u_2$ қорытындысы ob ұзындығымен анықталады, ал фазалық бұрыш u_1 арқылы өлшенеді.



14.11-сурет

Векторлардың қосындысын басқаша да жолмен табуға болады. Екі векторды бір-біріне қосқанда қорытынды вектор 14.11(c)-суретінде көрсетілгендей диагональ болып шығады.

Суреттен өлшеу арқылы қорытынды вектор $v = 145 \text{ B}$ -қа тең екені және оның v_1 -ден $\varphi = 20^\circ$ кешігіп отыратыны көрінеді. Синус және косинус ережелерін пайдалана отырып, бұл шыққан нәтижелерді дәлірек есептеуге болады. Косинус ережесіне сүйене отырып, 14.11(в)-суреттегі

$$\begin{aligned} v^2 &= v_1^2 + v_2^2 - 2v_1v_2 \cos 150^\circ \\ &= 50^2 + 100^2 - 2(50)(100)\cos 150^\circ \\ &= 2500 + 10000 - (-8660) \end{aligned}$$

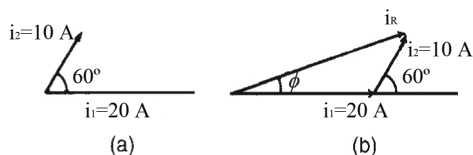
Келтірілген үшбұрышты есептеңіз: $v = \sqrt{21160} = 145.5 \text{ B}$

Синус ережісіне сүйене отырып,

$$\frac{100}{\sin \varphi} = \frac{145.5}{\sin 150^\circ} \text{ осыдан } \sin \varphi = \frac{100 \sin 150^\circ}{145.5} = 0.3436$$

Сонымен $\varphi = \sin^{-1} 0.3436 = 0.35$ рад және v қорытынды вектор v_1 -ден осы шамаға сәйкес кешігіп отырады. Олай болса қорытынды вектор $v = v_1 + v_2 = 145.5 \sin(\omega t - 0.35) \text{ B}$.

15-есеп. (а) Векторларды сызу және (б) есептеулерді жүргізу арқылы 13-есептегі $(i_1 + i_2)$ қорытынды ток үшін синусоидалы өрнекті тауып сызыңыз.



14.12-сурет

(a) $t = 0$ болғандағы i_1 мен i_2 -нің салыстырмалы орындары 14.12(a)-суретте векторлар арқылы келтірілген. 14.12(b)-суретте i қорытынды токтың диаграммасы көрсетілген және өлшенген қорытынды ток 26 А тең, ал оның ϕ бұрышы 19° немесе 0.33 радианға тең болғандықтан, ол i_1 -дің 0.33 рад-ға озатын болғаны, олай болса векторларды сызу арқылы қорытынды токтың өрнегін тауып, жазамыз:

$$i = 26 \sin(\omega t \pm 0.33) \text{ A}$$

(b) 14.12(b)-суреттен косинус ережесі бойынша

$$i^2 = 20^2 + 10^2 - 2(20)(10)(\cos 120^\circ) \text{ осыдан}$$

$$i = 26.46 \text{ A}$$

Синус ережесі бойынша $\frac{10}{\sin \phi} = \frac{26.46}{\sin 120^\circ}$ содан $\phi = 19.10^\circ$ немесе 0.33 рад.

Олай болса есептеу бойынша $i = 26.46 \sin(\omega t + 0.333) \text{ A}$.

Ал бұл нәтижелерді басқаша тәсілмен, яғни комплексті сандар тәсілімен шығаруға да болады. («Инженерлік математиканы» қараңыз). Сонда

$$i_1 + i_2 = 20 \sin \omega t + 10 \sin \left(\omega t + \frac{\pi}{3} \right)$$

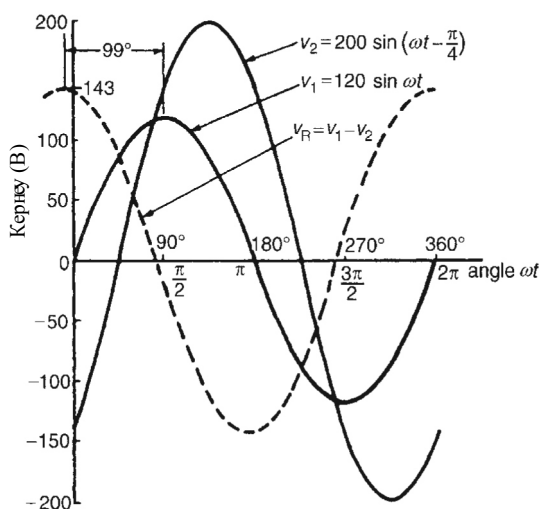
$$\equiv 20 \angle 0 + 10 \angle \frac{\pi}{3} \text{ рад немесе}$$

$$20 \angle 0^\circ + 10 \angle 60^\circ = (20 + j0) + (5 + j8.66) = (25 + j8.66)$$

$$= 26.46 \angle 19.106^\circ \text{ немесе } 26.46 \angle 0.333 \text{ рад}$$

$$\equiv 26.46 \sin(\omega t + 0.333) \text{ A}$$

16-есеп. Екі айнымалы кернеудің өрнектері берілген: $u_1 = 120 \sin \omega t$ және $u_2 = 200 \sin(\omega t - \pi/4)$ В. (а) Сигналдарды графикте сызу мен (б) векторлық тәсілмен есептеу арқылы $u_1 - u_2$ өрнегі үшін қорытынды синусоидалы өрнекті табыңыздар.



14.13-сурет

(а) $u_1 = 120 \sin \omega t$ және $u_2 = 200 \sin(\omega t - \pi/4)$ синусоидалары 14.13-суретте келтірілген. Мұндай синусоидаларды бір-бірінен алған кезде, әсіресе ордината өсінде тыңғылықты болу керек, егер ординатордың бірі теріс болса, онда есептеулерді, тіпті мұқият жасау қажет.

Мысалы:

$$30^\circ, \quad u_1 - u_2 = 60 - (-52) = 112 \text{ В}$$

$$60^\circ, \quad u_1 - u_2 = 104 - 52 = 52 \text{ В}$$

$$150^\circ, \quad u_1 - u_2 = 60 - 193 = -133 \text{ В тура осылай жалғаса береді.}$$

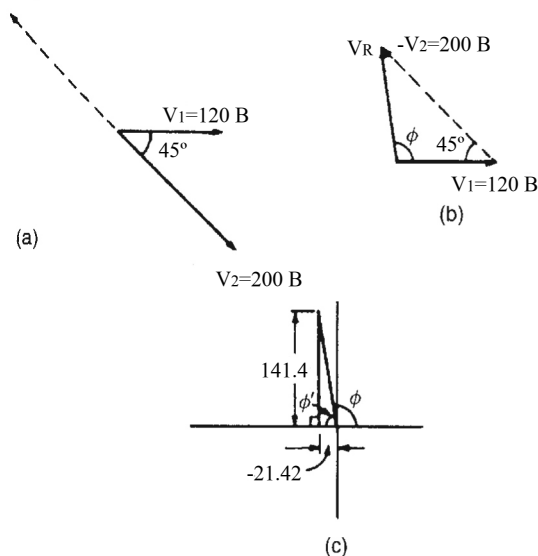
14.13-суретте $u = u_1 - u_2$ қорытынды сигналдың, яғни синусоиданың түрі үзік сигналдармен (пунктир) келтірілген. u -нің максималды мәні

143 В-ке тең және осы қорытынды сигнал v_1 -мен салыстырғанда оны 99° -қа немесе 1.73 радианға озып отырады.

Олай болса

$$v = v_1 - v_2 = 143 \sin(\omega t + 1.73)$$

(b) 14.14(a)-суретте $t = 0$ болған кезде v_1 мен v_2 -нің салыстырмалы орындары векторлармен келтірілген. $v_1 - v_2$ айырымы ретінде қорытынды сигнал керек болуының салдарынан 14.14(a)-суретінде үзік сызықтармен көрсетілгендей $-v_2$ векторы $+v_2$ векторының бағытына кері бағытқа салынады. 14.14(b)-суретте қорытынды вектордың диаграммасы келтірілген. Мұнда $-v_2$ векторы $-v_1$ комплексті векторлық шамаға қосылған.



14.14-сурет

Шешуі :

v_1 мен v_2 горизонталь компоненттерін қосамыз:

$$v_2 = 120 \cos 0^\circ - 200 \cos 45^\circ = -21.42$$

v_1 мен v_2 вектикаль компоненттерін қосамыз:

$$v_2 = 120 \sin 0^\circ + 200 \sin 45^\circ = 141.4$$

14.14(с)-суреттен қорытынды өрнек

$$v = \sqrt{(-21.42)^2 + (141.4)^2} = 143.0$$

$$\operatorname{tg} \varphi' = \frac{141.4}{21.42} = \operatorname{tg} 6.6013$$

Осыдан, $\varphi' = \operatorname{tg}^{-1} 6.6013 = 81.39^\circ$ және $\varphi = 98.61^\circ$ немесе 1.721 рад .
Олай болса векторларды қосу нәтижесінде комплексті сандар тәсілімен алынған қорытынды синусоидалы сигнал:

$$v = v_1 - v_2 = 143.0 \sin(\omega t + 1.721) \text{ В}$$

Келесі жаттығуды орындаңыздар.

80-жаттығу. Периодтық функцияларды қосуға арналған қосымша есептер

- Екі лездік айнымалы кернеулердің өрнектері: $v_1 = 5 \sin \omega t$ және $v_2 = 8 \sin(\omega t - \pi/6)$ түрінде берілген. v_1 мен v_2 бір өсте, бір масштабта сызу арқылы (а) $v_1 + v_2$ қосындысы мен (б) $v_1 - v_2$ айырымын сипаттайтын өрнектердің синусоидалары қандай болып шығады?

$$[(a) v_1 + v_2 = 12.6 \sin(\omega t - 0.32) B$$

$$(b) v_1 - v_2 = 4.4 \sin(\omega t + 2) B]$$

- Бірінші есепті есептеу жолымен қайта шығарыңыз.

$$[(a) 12.58 \sin(\omega t - 0.324)$$

$$(b) 4.44 \sin(\omega t + 2.02)]$$

- $i_1 + i_2$ үшін векторлық диаграмманы сызыңыз, мұндағы $i_1 = 12 \sin \omega t$ және $i_2 = 15 \sin(\omega t + \pi/3)$. $i_1 + i_2$ үшін синусоидалы өрнектің түрін өлшеу және есептеулер тәсілімен келтіріңіз.

$$[23.43 \sin(\omega t + 0.588)]$$

Ординатада интервалды қосу мен графикті салу немесе есептеу жолымен келесі периодтық функцияларды $v = V_{\text{макс}} \sin(\omega t \pm \varphi)$ шығарыңыздар.

$$4. \quad 10 \sin \omega t + 4 \sin(\omega t + \pi/4) \quad [13.14 \sin(\omega t + 0.217)]$$

$$5. \quad 80 \sin(\omega t + \pi/3) + 50 \sin(\omega t - \pi/6) \quad [94.34 \sin(\omega t + 0.489)]$$

$$6. \quad 100 \sin \omega t - 70 \sin(\omega t - \pi/3) \quad [88.88 \sin(\omega t + 0.751)]$$

7. Айнымалы қоректендіру көзі арқылы екі компонент бір-бірімен тізбектей жалғанған, кернеудің түсуі $u_1 = 150 \sin 314.2 t$ В және $u_2 = 90 \sin(314.2 t - \pi/5)$ В сәйкесінше орындалады. Ендеше (а) қоректендіру көзінің сигналын тригонометриялық өрнек түрінде сипаттаңыз, (б) қоректендіру көзі кернеуінің орташа квадраттық мәні мен (с) қоректендіру көзінің жиілігін анықтаңыз.

$$[(a) 229 \sin(314.2 t - 0.233) \text{ В}, (b) 161.9 \text{ В}, 50 \text{ Гц}]$$

8. Тізбектің қоректендіру көзінің өрнегі $25 \sin 628.3 t$ және бір компонентіндегі кернеудің түсу өрнегі $18 \sin(628.3 t - 0.52)$ болса, онда (а) сұлбаның қалған бөлігіндегі кернеудің түсуін, (б) қоректендіру көзінің жиілігін, (с) қоректендіру көзінің периодтық уақытын есептеңіз.

$$[(a) 12.96 \sin(628.3 t + 0.762) (b) 100 \text{ Гц}, (c) 10 \text{ мс}]$$

9. Айнымал ток көзіне тізбектей 3 компонент қосылған, олардың кернеулерінің тригонометриялық өрнектері төменде келтірілген:

$$u_1 = 30 \sin\left(300 \pi t - \frac{\pi}{6}\right) \text{ В}$$

$$u_2 = 40 \sin\left(300 \pi t + \frac{\pi}{4}\right) \text{ В}$$

$$u_3 = 50 \sin\left(300 \pi t + \frac{\pi}{3}\right) \text{ В}$$

- (a) Қоректендіру көзінің кернеуін синусоида өрнегі түрінде, (b) қоректендіру көзінің жиілігін, (c) периодтық уақытты, (d) қоректендіру көзінің орташа квадраттық мәндерін есептеңіз.

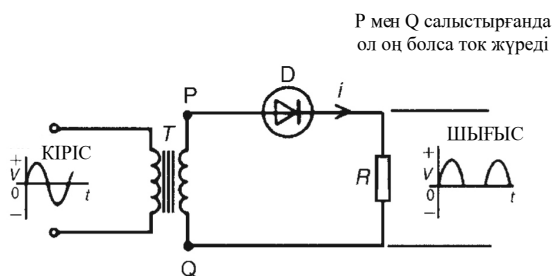
$$[(a) 97.39 \sin(300\pi t + 0.620) \text{ В}, (b) 150 \text{ Гц}, \\ (c) 6.67 \text{ мс}, (d) 68.85 \text{ В}]$$

14.8 Түзеткіш

Айнымалы қоректендіру көзінің тогы мен кернеуі арқылы бір бағыттағы ток пен кернеуді алу **түзету процесі** деп аталады. Тізбектің автоматты түрде қосылуы **диодтар** арқылы жүзеге асырылады. (11-тарау)

Бір жартылай периодты (кезенді) түзеткіш

14.15-суретте көрсеткендей сұлбада бір D диод пайдаланылса, онда түзету жартылай орындалады. Q -мен салыстырғанда P әлдеқайда оң болса, D диоды ашылып, тізбекте i -ток жүре бастайды. Ал Q -мен салыстырғанда P теріс болып шықса, онда D диоды жабылып, ток желіде жүрмейтін болады. Құрылғыны желінің қоректендіру көзінен T трансформатор оқшауландыра алатындықтан, желінің кернеу шамасы өзгере алады.



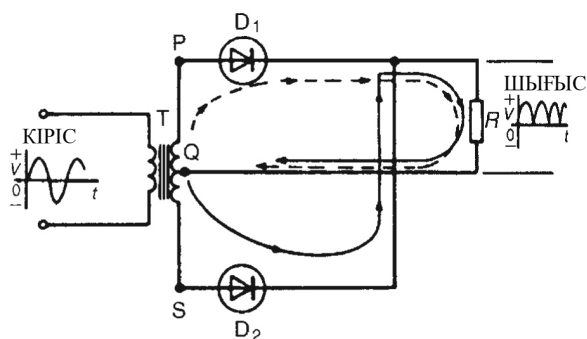
14.15-сурет

Сонымен трансформатордың бірінші орамындағы айнымалы, синусоидалы сигнал бір жартылай периодты бағытта түзетілген сигналға айнала алады. Өкінішке орай, 14.15-суреттегі сұлбаның шығатын сигналы тұрақты болмағандықтан, оны тұрақты ток қоректендіру көзі ретінде электр құрылғыларына пайдалану қолайлы емес. Алайда

трансформаторды зарядты құрылғы ретінде қарастыруға болады. 14.8-тарауда шығатын сигналдарды тегістеу тәсілдері келтіріледі.

Орта нүктесі бар трансформаторды пайдаланатын қос жартылай периодты түзеткіш

14.16-суретте көрсетілгендей орта нүктесі бар T трансформаторды пайдаланған **қос жартылай периодты түзеткішті** жасау үшін екі диод қолданылады. 14.16-суретте көрсеткендей Q -мен салыстырғанда P әлдеқайда оң болса, онда D_1 диодтан ток жүре бастайды (суретте үзік сызықтар арқылы көрсетілген).



14.16-сурет

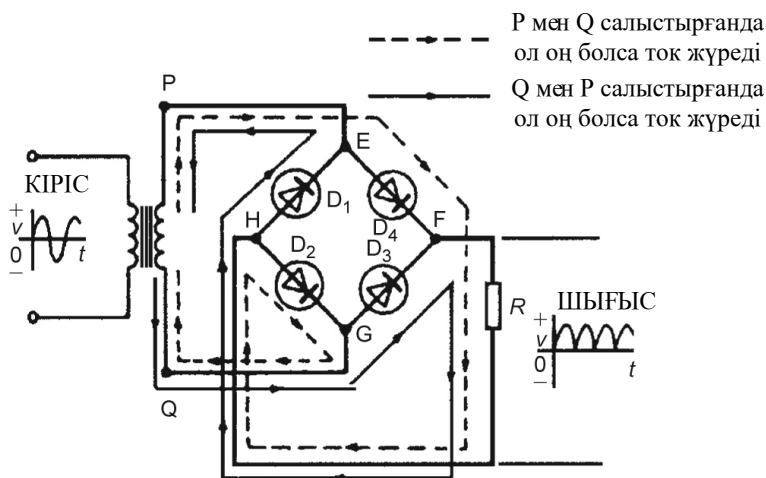
Трансформатордың орта нүктесімен жалғанған екі жартылай периодты түзеткішті пайдаланудың кемшілігі олардың қымбаттылығында.

Q -мен салыстырғанда S оң болса D_2 диоды ток өткізе бастайды (тұтас сызықтармен 14.16-суретте көрсетілген). R жүктемесінде өтіп жатқан токтың бағыты кіріс сигналының қос жартылай периодының бағытымен бірдей. Шығатын сигналдың түрі 14.16-суретте келтірілген. Шығатын сигнал бір бағытпен сипатталғанымен тұрақты емес, дегенмен бұл бір жартылай периодты тізбектің шығатын сигналымен салыстырғанда тиімдірек. 14.8-тарауда олардың пайдасын арттыру үшін сигналды жақсартудың түрлері келтірілген. Мұндай түзеткіштердің кемшіліктері – орта нүктесі бар трансформаторлардың қымбат болуында.

Қос жартылай периодты көпірше түзеткіш

Қос жартылай периодты түзеткішті жасау үшін 14.17-суретте көрсеткендей көпірше түзеткіш сұлбасында 4 диод пайдаланылады. (Айта кету керек, көпірше деген термин желінің бір-бірімен квадрат түзу үшін төрт компоненттен тұратынын білдіреді. Бұл сұлбада кіріс қарама-қарсы

бұрыштарға, ал шығысы қалған бұрыштарына қосылады). 14.16-суретте көрсетілген түзеткішке токталатын болсақ, R жүктемесінен өтетін токтың бағыты кіріс сигналының қос жартылай периодымен бірдей болатыны шығатын сигналдың түрінен көрініп тұр.



14.17-сурет

14.17-суреттегі үзік сызықтардың мағынасы:

Q -ға қарағанда P оң болса, ток трансформатордан E нүктесіне дейін D_4 диодынан F нүктесіне қарай ағады, содан кейін ток R жүктеме арқылы H нүктесіне дейін D_2 диодынан G нүктесіне дейін, содан кейін трансформаторға қарай кері ағады.

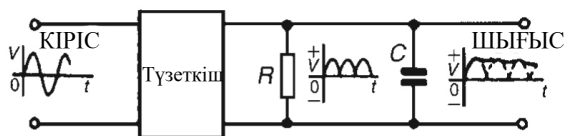
14.17-суреттегі тұтас сызықтардың мағынасы:

P -мен салыстырғанда Q оң болса ток трансформатордан G нүктесіне дейін D_3 диодынан F нүктесіне қарай, содан кейін ток R жүктемесінен D_1 диодынан E нүктесіне қарай, содан кейін қайта трансформаторға кері ағады. Шығатын сигнал тұрақты болмағандықтан, мұндай кемшілік жақсартуды талап етеді, міне осындай кемшілікті тегістеу келесі тарауда келтіріледі.

14.9 Түзетілген шығу сигналын тегістеу

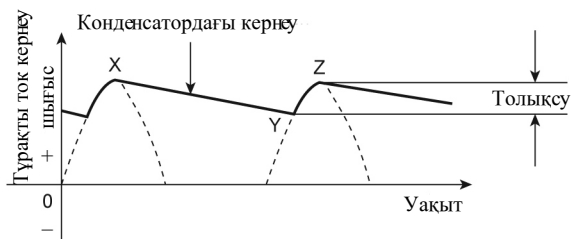
Бір жартылай периодты немесе екі жартылай периодты түзеткіштердің шығу сигналдарының **толықсуы** әсерінен электр құрылғылары үшін оларды пайдалануға болмайды. Электр құрылғыларын пайдалану

үшін батарея сияқты тұрақты ток көзі қажет. Мысалы, айнымалы қоректендіру көзіне жалғанған аудиожабдықтарының шығатын клеммаларында «ызылдаулар» байқалады, сондықтан мұндай жағдайлар үшін тегістегіштердің қажеттілігі туады. **Тегістеу** дегеніміз – шығатын сигналдағы керексіз варианттардың немесе компоненттердің алынып тасталынуы. Сыйымдылығы өте үлкен C конденсатордың (пульсациясын) **сигналдық толықсуын** тегістеу үшін 14.18-суретте көрсеткендей конденсатор түзеткіштің шығу клеммаларымен жалғанады. Осының нәтижесінде шығатын кернеу шамасы бір деңгейде қолданылып тұра алады және мұндай деңгей шығатын сигналдың амплитудасына, яғни шыңына жақын орналасады. 14.19-суретте бір жартылай периодпен қос жартылай периодтарының түзеткіштерінің жаңартылған сигналы көрсетілген.

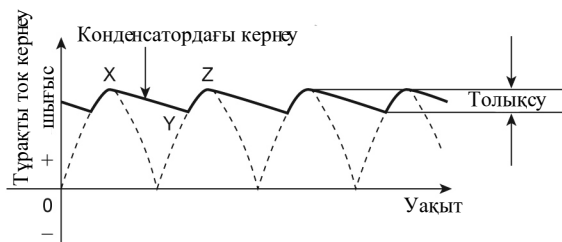


14.18-сурет

Шығатын кернеудің әрбір импульсі кезінде C конденсаторы сигналдың шыңындағы потенциалына тең потенциалмен зарядталады.



(a) Бір жартылай периодты түзеткіш



(b) Қос жартылай периодты түзеткіш

14.19-сурет

14.19-суретте сигналдың шыңы «х» нүктесі түрінде келтірілген, олай болса осы нүктеге сәйкес кернеудің мәні зарядтау потенциалына тең болып келеді. Сигнал сөнгеннен кейін жүктеме арқылы конденсатордың зарядсызданғанын «ху» нүктелері арқылы көруге болады.

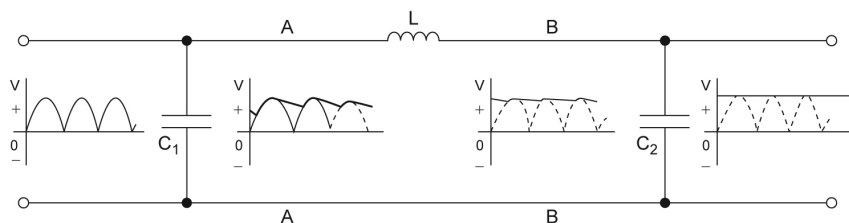
Келесі жолы тағы да шығатын кернеуді шыңның мәніне дейін түзеткіш қайтадан қалпына әкеледі. Мұндай процесс «ху» нүктесінде 14.19-суретте көрсеткендей үнемі жалғаса береді.

С конденсаторы түзетіліп, тегістелген сигналдың шың арасындағы зарядтарын сақтап және шығара алатын **жинақтаушы** конденсатор деп аталады.

14.19-суретте көрсетілгендей «х» пен «у» нүктелерінің арасындағы потенциалдың өзгеруін **пульсация** немесе **толықсу** деп атайды. Құрылғысы бар электр желінің негізгі мақсатына **пульсацияны** минимумге жеткізу жатады. Пульсацияны тағы да басқа жолмен әлсіретуге болады. Пульсацияны әлсіретуді одан әрі жүргізу үшін орамды немесе басқа конденсаторды жабдықтың сұлбасындағы «сүзгіге» қосу арқылы жүзеге асыруға болады (14.20-суретке қараңыз).

C_1 конденсаторына түзеткіштен шығатын кернеу қосылады. 14.19-суреттегі АА нүктелерінің арасындағы кернеу 14.20-суретте келтірілген сигналға ұқсас. Жүктеменің тогы L индуктивтілік арқылы ағып жатыр, ал ток өзгерген кезде э.к.к. индукцияланатыны 9-тараудан белгілі. Ленц заңы бойынша индукцияланған кернеу токты өзгертетін кез келген процеске қарсы тұрады.

Пульсация кернеуді ұлғайтқандықтан, жүктеме тогы да ұлғаяды, онда орамдағы индукцияланған э.к.к. осы ұлғаюға қарсы тұрады. Ал кернеудің пульсациясы мен жүктеменің тогы азайғанда индукцияланған э.к.к. токты төмендетпей сақтап қалуға тырысады.



14.20-сурет

14.20-суреттегі ВВ нүктелері арасындағы кернеу мен орамдағы ток пульсацияға ұшырамайды. Әрі қарай C_2 конденсаторы процесті

аяқтатады. Практикалық зертханалық жұмыс үшін көпірше түзеткішімен жасау тәжірибелері 24-тарауда келтірілген.

Келесі жаттығуларды орындаңыздар.

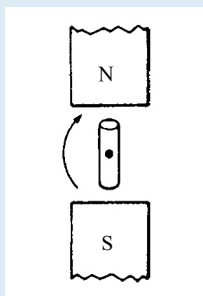
81-жаттығу. Айнымалы кернеу мен токқа арналған қосымша сұрақтар

1. Қарапайым генератордың жұмыс істеу принципін қысқаша түсіндіріңіз.
2. Цикл, сигнал деген түсініктер нені білдіреді?
3. Айнымалы және бір бағыттағы сигналдардың айырмашылығы неде?
4. Бір цикл сигналдың бітуіне кететін уақыт қалай аталады?
5. Жиілік деген не және оның өлшем бірлігі.
6. Қоректендіру кернеу көзінің өрнегі қалай аталады. Оның арнайы пішіні бар ма және ол қалай аталады?
7. Шыңның немесе амплитуданың мәнін анықтаңыз.
8. Орташа квадраттық мән дегеніміз не?
9. Тұрмыста қолданатын қоректендіру көзінің кернеуінің шамасы қандай?
10. Синусоидалы э.к.к.-ің максималды шамасы 100 В болса, онда оның орташа шамасы қандай болады?
11. Синусоидалы сигналдың эффективті мәні максималды мәнмен қалай байланысқан?
12. Векторлық шама деген не?
13. Кез келген t уақыт аралығында айнымалы ток желідегі кернеу үшін қажетті өрнек қандай түрде беріледі?
14. Синусоидалы токтың өрнегіндегі $i = I_{\text{макс}} \sin(\omega t \pm \alpha)$ символдар нені түсіндіреді?
15. Фазалық вектор мен бұрыштық вектор арасындағы байланыс қандай?
16. Айнымалы токты тұрақты токқа қалай түрлендіруге болады?
17. Бір жартылай периодты түзеткіштің диаграммасын сызып, оның жұмыс істеу принципін түсіндіріңіз.
18. Орта нүктесі бар трансформатор арқылы алынған екі жартылай периодты түзеткішінің сұлбасын түсіндіріңіз.

19. Көпірше түзеткіш арқылы алынған екі жарты периодты түзеткіш сұлбасын түсіндіріңіз.
20. Түзеткіштен шығатын кернеуін тегістеу әдісін түсіндіріңіз.

82-жаттығу. Айнымалы кернеу ток бойынша бірнеше дұрыс жауабы бар тест сұрақтары

- Кез келген лездік моменттегі айнымалы токтың мағынасы не?
 - максималды мән
 - амплитуда мәні
 - лездік ток мәні
 - орташа квадраттық мән
- 0.1 c ішінде айнымалы ток 100 циклді бітіреді, сонда оның жиілігі қандай?
 - 20 Гц
 - 100 Гц
 - 0.002 Гц
 - 1 кГц
- 14.21-суретте көрсетілген моменттегі өндірілген э.қ.к. қандай?
 - нөл
 - орташа квадраттық мән
 - орташа мән
 - максималды мән.



14.21-сурет

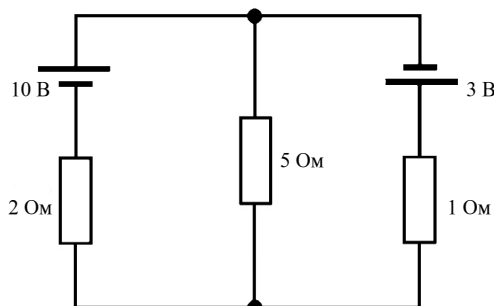
- Электр энергиясының қоректендіру көзі тұтынушы үшін әдетте айнымалы ток көзі арқылы не себептен беріледі?
 - тарату мен үлестіру өнімділігі әлдеқайда жеңілдеу болу үшін

- (b) айнымалы жылдамдығымен сипатталатын қозғалтқыштармен жұмыс істегенде
- (c) кабельдегі кернеу түсуі минималды болғандықтан
 - (d) электрмен қоректендіру кабелінің шығынын елемеу үшін
- 5. Қайсы тұжырым дұрыс емес?
 - (a) айнымалы ток көзін пайдалану тұрақты көзімен салыстырғанда арзан
 - (b) айнымалы ток көзін үлестіру тұрақты ток көзін үлестіру үшін салыстырғанда ыңғайлырақ, себебі кернеуді трансформатор арқылы тез өзгертуге болады
 - (c) генератор дегеніміз айнымалы ток генераторы
 - (d) түзеткіш тұрақты ток көзін айнымалы ток көзіне өзгертеді
- 6. Айнымалы кернеудің 100 В максималды мәні шамға қолданылады. Шамға берілген тұрақты кернеулердің қайсысынан шам тура солай жарқырай алады?
 - (a) 100 В
 - (b) 63.7 В
 - (c) 70.7 В
 - (d) 141.4 В
- 7. Айнымалы ток пен кернеу туралы сөз қозғағанда қандай шамалар маңызды?
 - (a) лездік мәндер
 - (b) орташа квадраттық мәндер
 - (c) орташа мәндер
 - (d) амплитуда мәні
- 8. Синусоида үшін қандай тұжырым дұрыс емес?
 - (a) амплитуда коэффициенті 1.414
 - (b) орташа квадраттық мән=бұл $0.707 \times$ амплитуда
 - (c) орташа мән дегеніміз $=0.637 \times$ орташа квадраттық мән
 - (d) пішін коэффициенті 1.11
- 9. Айнымалы кернеу көзі – 70.7 В, 50 Гц. Қай тұжырым осыған байланысты дұрыс емес?
 - (a) периодтық уақыт 20 мс
 - (b) кернеудің амплитудасының мәні 70.70 В
 - (c) кернеудің орташа квадраттық мәні 70.70 В
 - (d) кернеудің амплитудасының мәні 100 В

10. Айнымалы кернеудің өрнегі $v = 100 \sin(50\pi t - 0.30) \text{ В}$.
Келесі тұжырымның қайсысы дұрыс?
(a) кернеудің орташа квадраттық мәні 100 В
(b) периодтық уақыт 20 мс
(c) жиілігі 25 Гц
(d) кернеу $v = 100 \sin 50\pi t$ теңдеуінен 0.30 радианға озып отырады
11. Айнымалы токтың толық циклының 1 секундтағы саны қалай анықталады?
(a) айнымалы токтың максимал мәнімен
(b) айнымалы токтың жиілігімен
(c) айнымалы токтың амплитудасымен
(d) орташа квадрат мән немесе эффективті мәнімен
12. Түзеткіш нені өткізеді?
(a) тұрақты токты бір бағытта,
(b) айнымалы токты бір бағытта,
(c) тұрақты токты екі бағытта,
(d) айнымалы токты екі бағытта.

ТЕКСЕРУ ТЕСТІ 4

Осы тесте 13, 14-тараулардың сұрақтары қамтылған әрбір сұрақтың жауаптары жақша ішінде берілген.



RT4.1-сурет

1. RT4 1-суретте келтірілген сұлбада кедергісі 5 Ом резистор арқылы ағатын токты анықтаңыздар, ол үшін келесі заңдар мен ережелерді пайдаланыңыз: (a) Кирхгоф заңын, (b) суперпозиция теоремасын, (c) Тевенин теоремасын, (d) Нортон теоремасын. Әр тәсілмен берілген жауаптардың нәтижелерін суретпен көрсетіңіздер, сонымен қатар осы сұлбаның басқа да тармақтарындағы токтың шамасын табыңыздар. (27)
2. Тұрақты кернеудің шамасы 24 В. Максималды жұмсалатын қуатты беретін жүктеменің кедергісін, қуатын және осы қуаттың шамасын табыңыз. (5)
3. Синусоидалы кернеудің орташа мәні 3.0 А оның максималды мәні мен орташа квадраттық мәнін анықтаңыздар. (4)
4. Кез келген t секунд ішіндегі айнымалы ток көзіндегі лездік ток $i = 50\sin(100\pi t - 0.45)$ өрнекпен берілген. (a) Токтың ауқымын (құлашын), жиілікті, периодтық уақытты, фазалық бұрышын (градус арқылы), (b) $t = 0$ сәйкес токты, (c) $t = 8$ с-қа сәйкес токты анықтап, (d) қажетті пункттерді белгілей отырып, кернеудің бірінші максимумы үшін бір циклде өтетін токты сызыңыздар. (14)

15-ТАРАУ

БІР ФАЗАЛЫ ТІЗБЕКТІҢ
АЙНЫМАЛЫ ТОК ТІЗБЕГІ

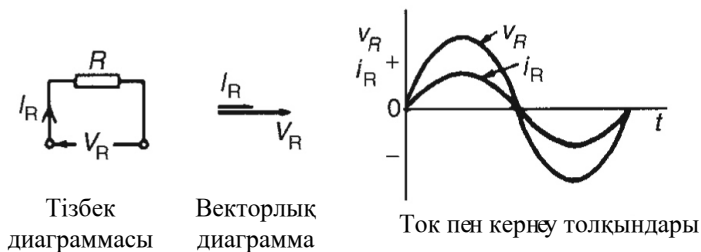
Осы тараудың соңында меңгеретін сұрақтардың тізімі:

- Ток пен кернеудің векторлық диаграммаларын резистивті, таза индуктивті, таза сыйымдылықты тізбектер үшін сызу.
- Индуктивтік кедергі мен сыйымдылықтың кедергіні $X_L = 2\pi fL$, $X_C = 1/(2\pi fL)$ өрнектерімен сипаттап, есептеулер жасай алу.
- Айнымалы ток тізбектері үшін үшбұрыштың толық кедергілері мен кернеулерін және күрделі векторлық диаграммаларды $R-L$, $R-C$, $R-L-C$ тізбектері үшін сыза білу, Пифагор теоремасын қолдана отырып, тригонометриялық қатынастар мен $Z = V/I$ өрнектерін есептей білу.
- Резонанс түсінігін меңгеру.
- Резонансты жиілікті дәлелдеп шығару және есептерде қолдану
- Q -факторды келесі өрнектермен есептеп шығара білу.

$$\frac{V_L \text{ (немесе } V_C)}{V}, \frac{\omega_r L}{R}, \frac{1}{\omega_r C R}, \text{ немесе } \frac{1}{R} \sqrt{\frac{L}{C}}$$
- Жолақтың ені немесе өткізу қабілеті мен жарты қуаттың деңгейі бойынша сәйкес нүктені түсіну.
- $(f_2 - f_1) = f_r / Q$ өрнектермен есептеулер жасай білу.
- Іріктеушілік пен Q -фактордың мәндерін түсіну.
- Айнымалы ток тізбегіндегі қуат $P = VI \cos \phi$ немесе $I_R^2 R$ формулалар арқылы есептеу.
- Толық және реактивті қуат, қуаттың коэффициенттерінің шамалары және олармен есептеулер жүргізу.

15.1 Таза резистивті кедергісі бар айнымалы ток тізбегі

Таза резистивті айнымалы ток тізбегінде I_R ток пен V_R түсірілген кернеу бірфазалы екендігін 15.1-суреттен көруге болады.



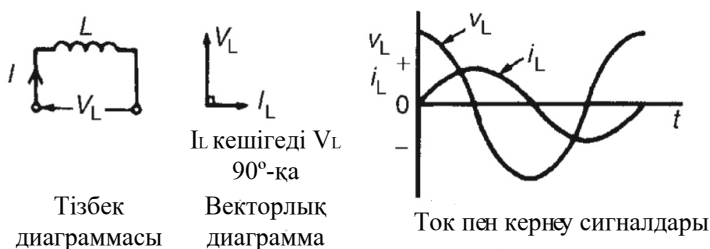
15.1-сурет

15.2 Таза индуктивті айнымалы ток тізбегі

15.2-суретте келтіргендей, таза индуктивті айнымалы ток тізбегінде I_L ток пен V_L түсірілген кернеу 0-ден 90° дейін кешігіп отырады.

Таза индуктивті тізбекте айнымалы ток ағынына қарсылық **индуктивті кедергі** деп аталады: X_L

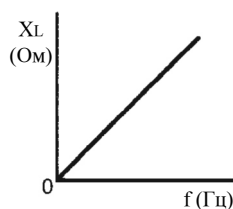
$$X_L = \frac{V_L}{I_L} = 2\pi fL \text{ Ом}$$



15.2-сурет

Мұнда қоректендіру көзінің f жиілігі Гц, L индуктивтілік Гн, X_L f -ке перпендикуляр.

15.3-суретті қараңыз.



15.3-сурет

1-есеп. (а) Орамның индуктивтілігі 0,32 Гн, ал жиілігі 50 Гц, қоректендіру көзіне жалғанғандағы оның реактивті кедергісін есептеңіз. (б) Орамның реактивті кедергісінің мәні 124 Ом, жиілігі 5 кГц қоректендіру көзіне жалғанған. Орамның индуктивтілігін есептеңіз.

Индуктивті кедергі $X_L = 2\pi fL = 2\pi(50)(0.32) = 100.5 \text{ Ом}$

$X_L = 2\pi fL$ болғандықтан индуктивтілік

$$L = \frac{X_L}{2\pi f} = \frac{124}{2\pi(5000)} H = 3.95 \text{ мГн}$$

2-есеп. Орамның индуктивтілігі 40 мГн және кедергісі болмашы (ескермеуге болады). Жиілігі 1 кГц қоректендіру көзіне кернеуі 250 В, жиілігі 50 Гц және кернеуі 100 В орам қосылғанда оның индуктивті кедергісі мен қорытынды тогын есептеңіз.

Индуктивті кедергі $X_L = 2\pi fL = 2\pi(50)(40 \times 10^{-3}) = 12.57 \text{ Ом}$

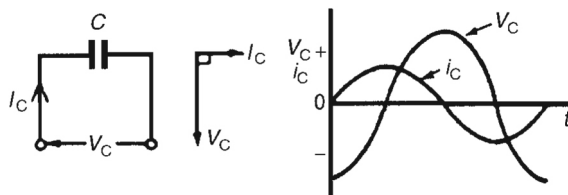
Қорытынды ток
$$I = \frac{V}{X_L} = \frac{240}{12.57} = 19.09 \text{ А}$$

Индуктивті кедергі $X_L = 2\pi(1000)(40 \times 10^{-3}) = 251.3 \text{ Ом}$

Қорытынды ток
$$I = \frac{V}{X_L} = \frac{100}{251.3} = 0.398 \text{ А}$$

15.3 Сыйымдылықтық айнымалы ток көзі

Сыйымдылықтық айнымалы ток тізбегіндегі I_C тогы V_C түсірілген кернеуден 90° -қа (яғни, $\pi/2$ радианға) озып отырады. Оны 15.4 - суреттен анық көруге болады.

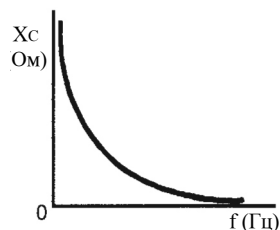


15.4-сурет

Сыйымдылықтың айнымалы ток тізбегінде айнымалы токтың ағынына **қарсылық сыйымдылықтың кедергі** деп аталады, X_C

$$X_C = \frac{V_C}{I_C} = \frac{1}{2\pi fC} \text{ Ом}$$

C сыйымдылығы Φ фарадамен өлшенеді. X_C - сыйымдылықтың кедергінің f жиілікке тәуелділігі 15.5-суретте келтірілген.



15.5-сурет

3-есеп. Конденсатордың сыйымдылығы 10 мкФ, оны жиіліктері 50 Гц, 20 кГц коректендіру көзіне қосқанда сыйымдылықтың кедергіні табыңыз.

$$\begin{aligned} \text{(a) Сыйымдылықтың кедергі } X_C &= \frac{1}{2\pi fC} = \frac{1}{2\pi(50)(10 \times 10^{-6})} = \\ &= \frac{10^6}{2\pi(50)(10)} = 318.3 \text{ Ом} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{(b) } X_C &= \frac{1}{2\pi fC} = \frac{1}{2\pi(20 \times 10^3)(10 \times 10^{-6})} = \frac{10^6}{2\pi(20 \times 10^3)(10)} = \\ &= 0.796 \text{ Ом} \end{aligned}$$

Олай болса жиіліктің шамасы 50 Гц-тен 20 кГц-ке дейін кішірейсе, керісінше X_C 318.3 Ом-нан 0.796 Ом-ға дейін ұлғаяды (15.5-суретті қараңыз).

4-есеп. Конденсатордың реактивті кедергісі 40 Ом, ал жиілігі 50 Гц айнымалы қоректендіру көзіне жалғанған, оның сыйымдылығын анықтаңыз.

Ол үшін сыйымдылықтық кедергінің формуласын пайдаланамыз:

$$X_C = \frac{1}{2\pi fC}$$

Осы формуладан сыйымдылықты табамыз:

$$C = \frac{1}{2\pi fX_C} = \frac{1}{2\pi(50)(40)} \text{ Ф} = \frac{10^6}{2\pi(50)(40)} \text{ мкФ} = 79.5 \text{ мкФ}$$

5-есеп. Сыйымдылығы 23 мкФ конденсатор кернеуі 240 В жиілігі 50 Гц айнымалы қоректендіру көзіне қосылған, осы шартқа сай конденсатордың тұтынатын тогын табыңыз.

$$I = \frac{V_C}{X_C} = 2\pi fCV = 2\pi fCV = 2\pi(50)(23 \times 10^{-6})(240) = 1.73 \text{ А}$$

Индуктивті және сыйымдылықтық тізбектердегі кернеу мен токтың арасындағы байланысты келесі түрде түсіндіруге болады: **(C) конденсаторда (I) ток (V) кернеуді озып отырса, (L) индуктор үшін (V) кернеуі (I) тогын озып отырады.**

Келесі жаттығуды орындаңыздар.

83-жаттығу. Таза индуктивтілік пен таза сыйымдылықтың айнымалы ток көзі

1. Индуктивтілігі 0.2 Гн орам жиіліктері 50 Гц, 600 Гц, 40 кГц қоректендіру көздеріне қосылған. Әрбір жағдайы үшін осы орамның реактивті кедергілерін есептеңіздер.

[(a) 62.83 Ом (b) 754 Ом (c) 50.27 kОм]

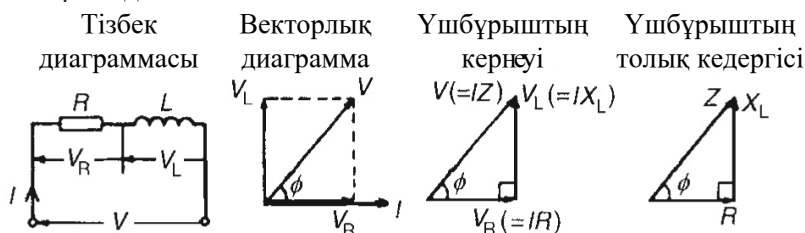
2. Реактивті кедергісі 120 Ом орам жиілігі 4 кГц айнымалы қоректендіру көзіне қосылған. Орамның индуктивтілігін есептеңіздер.
[4.77 мН]
3. Кернеуі 240 В жиілігі 50 Гц айнымалы қоректендіру көзі таза индуктивтілікпен қосылған. Қорытынды тоқтың шамасы – 1.2 А. Орамның индуктивтілігін есептеңіз.
[0.637 Н]
4. Таза индуктивтілігі 50 мГн, жиілігі 2 кГц болғанда Э.Қ.К – 200 В. Табу керек: (а) реактивті орам кедергісін және (б) орамда ағып жатқан токты.
[(а) 628 Ом (б) 0.318 А]
5. Сыйымдылығы 120 мГн индуктордан 50 мА ток беріледі, осы индуктордан 1 кГц айнымалы ток ағып өтеді. Осы шарт бойынша орамның потенциалдар айырымын табыңыз.
[37.7 В]
6. Жиіліктері 20 Гц, 500 Гц, 4 кГц айнымалы ток көзі сыйымдылығы 20 мкФ конденсаторға қосылған. Сонда конденсатордың әрбір жағдайы үшін сыйымдылық кедергісін есептеңіз.
[(а) 397.9 Ом (б) 15.92 Ом (с) 1.989 Ом]
7. Кондесатордың реактивті кедергісі 80 Ом, ал жиілігі 50 Гц айнымалы қоректендіру көзі қосылған. Конденсатордың сыйымдылығын есептеңіз.
[39.79 мкФ]
8. Сыйымдылығы 10 мкФ конденсаторды кернеуі 200 В жиілігі 100 Гц айнымалы қоректендіру көзіне қосқан, сонда конденсатордың тұтынатын ток шамасы қандай болғаны?
[1.257 А]
9. Конденсатордың сыйымдылықтық кедергісі 400 Ом, кернеуі 100 В, жиілігі 25 Гц айнымалы қоректендіру көзіне қосылғанда конденсатордың сыйымдылығы мен айнымалы қоректендіру көзі тұтынатын ток шамасын анықтаңыз.
[15.92 мкФ, 0.25 А]

10. Кернеуі 200 В, жиілігі 1 кГц айнымалы қоректендіру көзіне конденсатор қосылғанда тізбектегі токтың шамасы 0.628 А шамасы үшін оның мәндерін табыңыздар.

[0.25 мкФ]

15.4 Тізбектей жалғанған айнымалы ток көзі

Айнымалы ток тізбегінде L индуктивтілік пен R кедергі түсірілген кернеудің векторлық қосындысын (V_R мен V_L) құрайды. Оны 15.6-суреттен анық көруге болады. Олай болса (V_R мен V_L) мәндеріне байланысты I ток түсірілген V кернеуден 0° -тан 90° дейінгі потенциалдар айырымына кешігіп отырады. ϕ бұрышы түрінде көрсетілген кез келген тізбектей қосылған айнымалы ток көзінің тогы тізбектегі барлық компоненттерге жалпы болады, сондықтан ол тік вектор түрінде қарастырылады.



15.6-сурет

15.6-суреттегі векторлық диаграммадан «кернеу үшбұрышы» шығады:

$R - L$ тізбегі үшін:

$$V = \sqrt{V_R^2 + V_L^2} \quad (\text{Пифагор теоремасы бойынша})$$

$$\text{Сонда } \operatorname{tg} \phi = \frac{V_L}{V_R} \quad (\text{тригонометриялық қатынас бойынша})$$

Айнымалы ток тізбегінде түсірілген V кернеудің I токқа қатынасын Z импеданс (толық кедергі) деп атайды.

$$Z = \frac{V}{I} \text{ Ом}$$

15.6-суреттегі үшбұрышының барлық жағындағы кернеуді ағып өтетін токқа бөлсе, «**үшбұрыштың кедергісі**» шығады:

$R - L$ тізбегі үшін:

$$Z = \sqrt{R^2 + X_L^2} \quad (\text{Пифагор теоремасы бойынша})$$

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{X_L}{R} \quad (\text{тригонометриялық қатынас бойынша})$$

$$\sin \varphi = \frac{X_L}{Z}$$

$$\cos \varphi = \frac{R}{Z}$$

6-есеп. $R - L$ тізбектей жалғанған жүйедегі R резисторына түскен потенциалдар айырымы 12 В, L орамның потенциалдар айырымы 5 В. Қоректендіру көзінің кернеуін және ток пен кернеу арасындағы фазалық бұрышты табыңыз.

15.6-суреттегі кернеу үшбұрышынан $V = \sqrt{12^2 + 5^2}$, яғни **$V = 13$ В** (Айта кету керек, айнымалы ток тізбегіндегі кернеу жүйедегі барлық компоненттердің потенциалдар айырымының жай ғана арифметикалық қосындысына тең бола бермейді. Ол, негізінен векторлық қосынды болып табылады).

$$\varphi = \operatorname{tg}^{-1} \left(\frac{5}{12} \right)$$

Осыдан тізбектің фазалық бұрышы:

$$\varphi = \operatorname{tg}^{-1} \left(\frac{5}{12} \right) = 22.62^\circ \text{ кешігіп отырады}$$

Осындай «кешігу» фазалық вектор сағат тіліне қарсы айналғанда кернеудің «артында» токтың қалып отыратынын білдіреді.

7-есеп. Орамның кедергісі 4 Ом, индуктивтілігі 9.55 мГн. Реактивті кедергіні, толық кедергіні, кернеуі 240 В жиілігі 50 Гц айнымалы қоректендіру көзі тұтынатын ток шамасын есептеңіз. Сонымен қатар қоректендіру көзінің кернеуі мен токтың арасындағы фазалық бұрышты анықтаңыз.

$$R = 4 \text{ Ом}, L = 9.55 \text{ мГн} = 9.55 \times 10^{-3} \text{ Гн}, f = 50 \text{ Гц}, V = 240 \text{ В}$$

$$(a) \text{ Индуктивті кедергі } X_L = 2\pi fL = 2\pi(50)(9.55 \times 10^{-3}) = 3 \text{ Ом}$$

$$(b) \text{ Толық кедергі } Z = \sqrt{R^2 + X_L^2} = \sqrt{4^2 + 3^2} = 5 \text{ Ом}$$

$$(c) \text{ Ток } I = \frac{V}{Z} = \frac{240}{5} = 48 \text{ А}$$

Кернеу мен кедергілердің үшбұрыштарының векторлық диаграммалары 15.6-суретте келтірілген.

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{X_L}{R} \quad \text{болғандықтан}$$

$$\varphi = \operatorname{tg}^{-1} \frac{X_L}{R} = \operatorname{tg}^{-1} \frac{3}{4} = 36.87^\circ \text{ кешігеді.}$$

8-есеп. Кернеуі 12 В тұрақты ток көзінен орам 2 А токты қабылдай алады, егер оны жиілігі 50 Гц және кернеуі 240 В коректендіру көзіне жалғағанда, енді ол 20 А токты қабылдай алады. Кедергіні, толық кедергіні, орамның индуктивтілігін есептеңіздер.

$$\text{Кедергі} \quad R = \frac{m. \text{ ток. кернеуі } 12}{m. \text{ ток } 2} = 6 \text{ Ом}$$

мұндағы *m. ток* – тұрақты ток.

$$\text{Толық кедергі} \quad Z = \frac{240}{20} = 12 \text{ Ом}$$

$$Z = \sqrt{R^2 + X_L^2} \quad \text{болғандықтан индуктивті кедергі тең:}$$

$$X_L = \sqrt{Z^2 - R^2} = \sqrt{12^2 - 6^2} = 10.39 \text{ Ом}$$

$$X_L = 2\pi fL \quad \text{болғандықтан индуктивтілік}$$

$$L = \frac{X_L}{2\pi f} = \frac{10.39}{2\pi(50)} = 33.1 \text{ мГн}$$

Осы есеп арқылы орамның индуктивтілігін қарапайым жолмен шығару көрсетілген, яғни токты өлшеу үшін орамды ең бірінші кернеуі

белгілі тұрақты ток көзіне қосып, өлшеулер жүргізілгеннен кейін тура осындай өлшеулер айнымалы ток көзіне қосу арқылы қайталанып есептеледі.

Практикалық лабораториялық жұмыс 24-тарауда келтірілген.

9-есеп. Орамның индуктивтілігі 318 мГн және кедергісі 210 резистормен тізбекті қосылған кернеуі 240 В жиілігі 50 Гц айнымалы қоректендіру көзіне жалғанған. Есептеңіздер: (а) индуктивтік кедергіні, (б) тізбектің толық кедергісін, (с) тізбектегі токты, (д) әрбір компоненттің потенциалдар айырымын, (е) тізбектің фазалық бұрышын.

$$L = 318.3 \text{ мГн} = 0.3183 \text{ Гн}, R = 200 \text{ Ом}, V = 240 \text{ В}, f = 50 \text{ Гц}$$

15.6-суреттегі тізбектің диаграммасынан:

(а) Индуктивтік кедергі $X_L = 2\pi fL = 2\pi(50)(0.3183) = 100 \text{ Ом}$

(б) Толық кедергі $Z = \sqrt{R^2 + X_L^2} = \sqrt{200^2 + 100^2} = 223.6 \text{ Ом}$

(с) Ток $I = \frac{V}{Z} = \frac{240}{223.6} = 1.073 \text{ А}$

(д) Орамның потенциалдар айырымы: $V_L = IX_L = 1.073 \times 100 = 107.3 \text{ В}$

Резистордың потенциалдар айырымы. $V_R = IR = 1.073 \times 200 = 214.6 \text{ В}$

(Тексеру $\sqrt{V_R^2 + V_L^2} = \sqrt{214.6^2 + 107.3^2} = 240 \text{ В}$) қоректендіру көзінің кернеуі

(е) Кедергі үшбұрышы арқылы бұрыш $\text{tg} = \frac{X_L}{R}$

$$\varphi = \text{tg}^{-1} \frac{X_L}{R} = \text{tg}^{-1} \left(\frac{100}{200} \right)$$

Олай болса фазалық бұрыш $\varphi = 26.57^\circ$ кешігіп отырады.

10-есеп. Орам кедергісінің шамасы 100 Ом және индуктивілігі 200 мГн. Егер айнымалы кернеудің шамасы $v = 200 \sin 500 \cdot t$ өрнекпен берілген болса, онда осындай кернеу орамға түсірілгені, сонда (а) тізбектің кедергісін, (б) тізбектен жүретін токты, (с) кедергідегі потенциалдар айырымын, (д) индуктивтікті потенциалдар айырымын, (е) ток пен кернеу арасындағы фазалық бұрышты есептеңіз:

$$v = 200 \sin 500 t \text{ боғандықтан, } V_m = 200, \omega = 2 \pi f = 500 \text{ В}$$

Олай болса ернеудің орташа квадраттық мәні $V = 0.707 \times 200 = 141.4 \text{ В}$
Индуктивтік кедергі:

$$X_L = 2 \pi f L = \omega L = 500 \times 200 \times 10^{-3} = 100 \text{ Ом}$$

(а) Толық кедергі

$$Z = \sqrt{R^2 + X_L^2} = \sqrt{100^2 + 100^2} = 141.4 \text{ Ом}$$

(б) Ток

$$I = \frac{V}{Z} = \frac{141.4}{141.4} = 1 \text{ А}$$

(с) Кедергідегі потенциалдар айырымы:

$$V_R = IR = 1 \times 100 = 100 \text{ В}$$

Индуктивтік потенциалдар айырымы:

$$V_L = IX_L = 1 \times 100 = 100 \text{ В}$$

(д) Кернеу мен токтың арасындағы фазалық бұрыш:

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{X_L}{R}$$

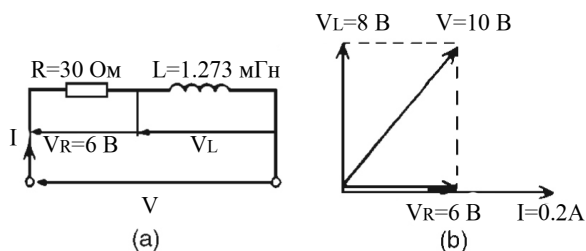
$$\varphi = \operatorname{tg}^{-1} \frac{X_L}{R} = \operatorname{tg}^{-1} \left(\frac{100}{100} \right)$$

Олай болса

$$\varphi = 45^\circ \text{ немесе } \frac{\pi}{4} \text{ рад}$$

11-есеп. Шамасы 1.273 мГн таза индуктивтік 30 Ом таза кедергімен тізбектей қосылған. Егер айнымалы қоректендіру көзінің синусоидалды жиілігі 5 кГц, ал кедергісі 30 Ом және резистордың кернеуі 6 В болса, қоректендіру көзінің кернеуі мен индуктивтілік кернеуін анықтаңыз және векторлық диаграмманы сызыңыз.

Тізбектің сұлбасы 15.7(a)-суретте келтірілген.



15.7-сурет

Қоректендіру көзінің кернеуі,

$$V = IZ .$$

Ток,

$$I = \frac{V_R}{R} = \frac{6}{30} = 0.20 \text{ A}$$

Индуктивтік кедергі:

$$X_L = 2\pi fL = 2\pi(5 \times 10^3)(1.273 \times 10^{-3}) = 40 \text{ Ом}$$

Импеданс немесе толық кедергі:

$$Z = \sqrt{R^2 + X_L^2} = \sqrt{30^2 + 40^2} = 50 \text{ Ом}$$

Қоректендіру көзінің кернеуі

$$V = IZ = (0.20)(50) = 10 \text{ В}$$

Индуктивтік кернеу 1.273 В,

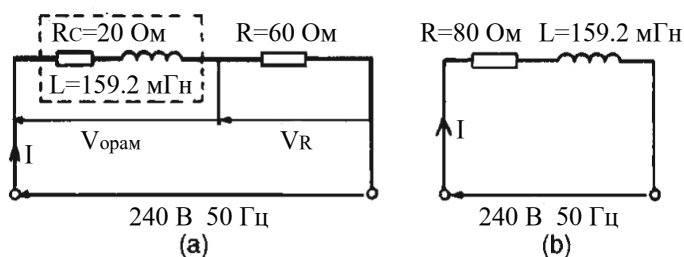
$$V_L = IX_L = (0.20)(40) = 8 \text{ В}$$

Векторлық диаграмма 15.7(b)-суретте келтірілген.

(Айта кету керек, айнымалы ток қоректендіру көзінің кернеуі тізбектегі барлық компоненттердің арифметикалық потенциалдар айырымдарының қосындыларына тең болмаса да, ол осы компоненттердің **векторлық қосындысына** тең).

12-есеп. Индуктивтілігі 152 мГн, кедергісі 20 Ом резистор кедергісі 60 Ом ораммен жалғанған. Қоректендіру көзінің кернеуі 240 В, жиілігі 50 Гц. Сонда (а) тізбектің толық кедергісін, (а) тізбектен өтетін токты, (б) тізбектің фазалық бұрышын, (с) кедергісі 60 Ом резистордың потенциалдар айырымын, (d) орамның потенциалдар айырымын анықтаңыз және (f) тізбектің векторлық диаграммаларын барлық кернеулер үшін сызыңыз.

15.8-суретте келтірілген тізбектің принципиялды сұлбасы арқылы жеке-жеке кедергілерді тізбектей қосу арқылы тізбектің жалпы кедергісін анықтауға болады. 15.8(b)-суретте тізбектің эквивалентті сұлбасы келтірілген.



15.8-сурет

(а) Тізбектің импедансы $Z = \sqrt{R^2 + X_L^2} = \sqrt{80^2 + 50^2} = 94.34 \text{ Ом}$

(b) Тізбектегі ток $I = \frac{V}{Z} = \frac{240}{94.34} = 2.544 \text{ А}$

(с) Тізбектегі фазалық бұрыш $\varphi = \text{tg}^{-1} X_L / R = \text{tg}^{-1} (50/80)$

$\varphi = 32^\circ$ кешігіп отырады.

15.8(а)-суреттен

$$(d) V_R = IR = (2.544)(60) = 152.6 \text{ В}$$

$$(e) V_{орам} = IZ_{орам}$$

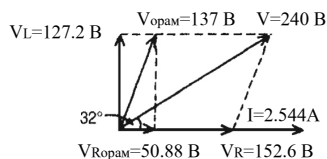
$$\text{Олай болса } Z_{орам} = \sqrt{R_C^2 + X_L^2} = \sqrt{20^2 + 50^2} = 53.85 \text{ Ом}$$

(f) Фазалық диаграмма 15.9-суретте келтірілген.

$$V_L = IX_L = (2.544)(50) = 127.2 \text{ В}$$

$$V_{R \text{ Орам}} = IR_C = (2.544)(20) = 50.88 \text{ В}$$

15.9-суретте фазалық диаграммасы келтірілгендей кернеуі 240 В қоректендіру көзі $V_{орам}$ -ның кернеуі мен V_R -дің векторлық қосындысынан тұрады.



15.9-сурет

Келесі жаттығуды орындаңыздар.**84-жаттығу. R–L тізбектей жалғанған айнымалы ток тізбегі**

- Орамның кедергісі 120 Ом және реактивті кедергісі 160 Ом толық кедергісін анықта.

[20 Ом]

- Индуктивтілігін 80 мГн кедергісі 60 Ом орам кернеу 200 В жиілігі 100 Гц қоректендіру көзіне қосылған. Тізбектің толық кедергісін, қоректену көзінен тұтынатын токты, сонымен қатар ток пен кернеу арасындағы фазалық бұрышты есептеңіз.

[78.27 Ом, 2.555 А, 39.95° кешігіп отырады]

- Электр орамға түсірілген айнымалы кернеудің өрнегі $v = 100\sin 240t$ түрінде берілген. Орамның кедергісі 32 Ом, индуктивтілігі 100 мГн. Тізбектің толық кедергісін, тізбек тогын, кедергінің потенциал айырымын, индуктивтіліктің потенциал айырымын анықтаңыз.

[(a) 40 Ом (b) 1.77 А
(c) 56.64 В (d) 42.48 В]

- 20 В кернеу 5 А токты қабылдады. Содан кейін орам кернеуі 200 В жиілігі 50 Гц айнымалы қоректендіру көзіне жалғанады, содан

кейін 25 А токты қабылдайды. Кедергіні, толық кедергіні орамның индуктивтілігін есептеңіз.

[(a) 4 Ом (b) 8 Ом (c) 22.05 мН]

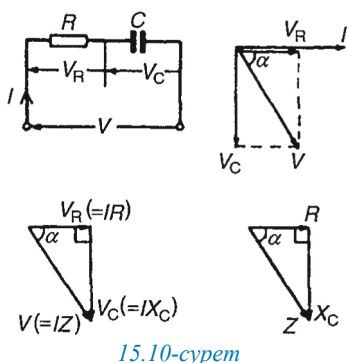
5. Резистормен индуктордың кедергілері болмашы, елемеуге болады, олар тізбектен айнымалы ток көзіне жалғанған. Резистордың потенциал айырымы 18 В, орамның потенциалдар айырымы 24 В. Қоректендіру көзінің кернеуін, кернеу мен ток арасындағы фазалық бұрышын есептеңіз.

[30 В, 53.13° кешігіп отырады]

6. Орамның индуктивтілігі 636 мГн, кедергісі болмашы, 100 Ом резистормен тізбектей жалғанған. Қоректендіру көзінің кернеуі 250 В, жиілігі 50 Гц. Индуктивті кедергіні, тізбектің толық кедергісін, тізбектегі орамның тоғын, әрбір компоненттің потенциал айырымын, тізбектің фазалық бұрышын есептеңіз.

[(a) 200 Ом (b) 223.6 Ом (c) 1.118 А
(d) 223.6 В, 111.8 В (e) 63.43° кешігіп отырады]

15.5 R – C тізбектей жалғанған айнымалы ток көзі



15.10-сурет

Тізбектей жалғанған айнымалы ток сұлбасы C конденсатордан және R кедергіден тұрады, V түсірілген кернеу V_R мен V_C -ның векторлық қосындысы болып тапбылады (15.10-сурет). Олай болса, I ток түсірілетін кернеуден 0° -тан 90° градусқа дейінгі диапозонда суретте көрсетілген α бұрышы сияқты озып отырады (V_R мен V_C мәндеріне тәуелді). 15.10-суреттегі векторлық диаграммадан кернеудің үшбұрышы туады.

$R - C$ тізбегінен:

$$\sqrt{V_R^2 + V_C^2} \quad \text{Пифагор теоремасы бойынша}$$

және

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{V_C}{V_R} \quad \text{Тригонометриялық қатынас арқылы}$$

15.4-тарауында айнымалы ток тізбегін де түсірілген кернеудің токқа қатынасы **импеданс** немесе **толық кедергі** деп аталады:

$$Z = V/I$$

Егер кернеудің үшбұрышының екі жағын да **15.10-суретте** көрсеткендей токқа бөлетін болсақ, онда толық **кедергінің үшбұрышы** шығады.

$R - C$ тізбегі үшін:

$$Z = \sqrt{R^2 + X_C^2}$$

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{X_C}{R} \quad \sin \varphi = \frac{X_C}{Z} \quad \cos \varphi = \frac{R}{Z}$$

13-есеп. Кедергісі 25 Ом резистор сыйымдылығы 45 мкФ конденсатормен тізбектей жалғанған. Есептеңіздер: (а) толық кедергіні, (б) кернеуі 240 В, жиілігі 50 Гц қоректендіру көзінен тұтынатын токты. Сонымен қатар қоректендіру көзінің кернеуі мен ток арасындағы фазалық бұрышты анықтаңыз.

$$R = 25, \quad C = 45 \text{ мкФ} = 45 \times 10^{-6}, \quad V = 240 \text{ В}, \quad f = 50 \text{ Гц}$$

15.10-суретте токтың тізбегі келтірілген.

$$\text{Сыйымдылықтық кедергі} \quad X_C = \frac{1}{2\pi fC}$$

$$= \frac{1}{2\pi(50)(45 \times 10^{-6})} = 70.74 \text{ Ом}$$

$$(a) \text{ Толық кедергі} \quad Z = \sqrt{R^2 + X_C^2} = \sqrt{25^2 + 70.74^2} = 75.03 \text{ Ом}$$

$$(b) \text{ Ток} \quad I = V/Z = 240/75.03 = 3.20 \text{ А}$$

Қоректендіру көзінің кернеуі мен ток арасындағы фазалық бұрыш,

$$\alpha = \operatorname{tg}^{-1}(X_C/R) \text{ олай болса } \alpha = \operatorname{tg}^{-1}\left(\frac{70.74}{25}\right) = 70.54^\circ \text{ озып отырады.}$$

(Векторлар сағат тіліне қарсы бағытта айналғанда кернеумен салыстырғанда ток озып отыр).

14-есеп. С конденсаторы кедергісі 40 Ом резистормен, жиілігі 60Гц қоректендіру көзімен тізбектей қосылған. 3А ток өткенде тізбектің толық кедергісі 50 Ом. Есептеңіз: (а) конденсатордың шамасын, (б) қоректендіру көзінің кернеуін, (с) қоректендіру көзінің кернеуі мен токтың арасындағы бұрыштық фазаны, резистордың потенциалдар айырымын (е) конденсатордың потенциалдар айырымын. Фазалық диаграмманы сызыңыздар.

(а) Толық кедергі $Z = \sqrt{R^2 + X_C^2}$

Олай болса $X_C = \sqrt{Z^2 - R^2} = \sqrt{50^2 - 40^2} = 30$

$$X_C = \frac{1}{2\pi fC}$$

$$C = \frac{1}{2\pi fX_C} = \frac{1}{2\pi(60)(30)} \Phi = 88.42 \text{ мкФ}$$

(б) $Z = V/I$ болғандықтан, $V = IZ = (3)(50) = 150 \text{ В}$

(с) Фазалық бұрыш

$$\alpha = \text{tg}^{-1} X_C / R = \text{tg}^{-1} (30/40) = 36.87^\circ \text{ озып отырады}$$

(д) Резистордағы потенциал айырымы,

$$V_R = IR = (3)(40) = 120 \text{ В}$$

(е) Конденсатордағы потенциал айырымы

$$V_C = IX_C = (3)(30) = 90 \text{ В}$$



15.11-сурет

15.11-суретте векторлық диаграмма келтірілген, мұнда қоректендіру көзінің V кернеуі V_R мен V_C векторлық қосындысы болып табылады.

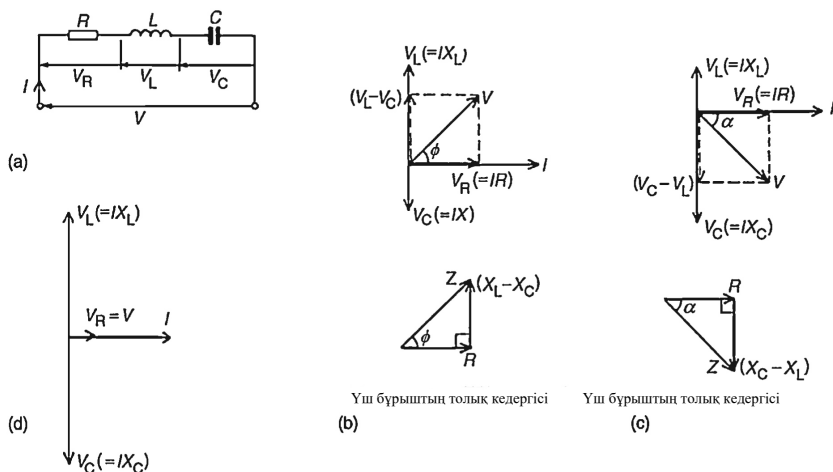
Келесі жаттығуды орындаңыздар.

85-жаттығу. R–C айнымалы ток тізбегіне арналған қосымша есептер

1. Кернеуі 35 В конденсатор **R–C** тізбегіне тізбектей жалғанған. Егер резистордағы кернеу 21 В болса, сондағы конденсатордағы кернеуді табыңыздар.
[28 В]
2. 50 Ом кедергі сыйымдылығы 20 мкФ конденсатормен тізбектей жалғанған. Егер қоректендіру көзінің кернеуі 200 В, жиілігі 100 Гц болса, онда (а) тізбектің кедергісін, (б) тізбек тогын, (с) кернеу мен тоқтың арасындағы фазалық бұрышты табыңыздар.
[(a) 93.98 (b) 2.128 A (c) 57.86° озып отырады]
3. Конденсатордың сыйымдылығы 24.87 мкФ және кедергісі 30 Ом резистор кернеуі 150 В қоректендіру көзіне тізбектей қосылған. Егер тізбек бойынша 3А ток жүретін болса, табыңыз: (а) қоректендіру көзінің жиілігін, (б) резистордың потенциалдар айырымын, (с) конденсатордың потенциалдар айырымын.
[(a) 160 Гц (b) 90 В (c) 120 В]
4. $u = 250 \sin 800t$ теңдеуімен өрнектелген кернеу кедергісі 30 Ом резисторды және сыйымдылығы 50 мкФ конденсаторы бар жүйеге тізбектей жалғанған. Есептеңіз: (а) тізбектің толық кедергісін, (б) тізбектің тогын, (с) резистордың потенциалдар айырымын, (д) конденсатордың потенциалдар айырымын, (е) кернеу мен ток арасындағы фазалық бұрышты.
[(a) 39.05 Ом (b) 4.526 A (c) 135.8 В (d) 113.2 В (e) 39.81 озып отырады]
5. Кедергісі 400 Ом резистор тізбектей жалғанған. Сыйымдылығы 2358 пФ конденсатор кернеуі 12 В қоректендіру көзімен қосылған. Егер тізбектен өтетін тоқтың шамасы 24 мА болса қоректендіру көзінің жиілігі қандай болады?
[225 кГц]

15.6 R–L–C тізбектей жалғанған айнымалы ток көзі

Құрамында R резистор, L индуктивтілік пен C сыйымдылығы бар айнымалы ток тізбекке түсірілген V кернеу V_R мен V_L екі векторлардың векторлық қосындысынан тұрады. (15.12-суретті қараңыз). V_C мен V_L антифазалы, яғни айырмашылығы 180° -қа тең және үш мүмкін векторлық диаграммалар бар – әрқайсысы V_C мен V_L салыстырмалы шамаларына тәуелді.



15.12-сурет

Мұндағы $X_L > X_C$ (15.12(b)-сурет);

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$$

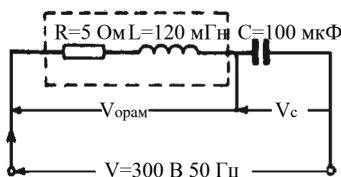
$$\text{Және } \operatorname{tg} \phi = \frac{X_L - X_C}{R}$$

$X_C > X_L$ болғанда (15.12(c)-сурет);

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_C - X_L)^2} \quad \text{және} \quad \operatorname{tg} \alpha = \frac{(X_C - X_L)}{R}$$

Мұнда $X_C > X_L$ болғанда (15.12(e)-сурет); түсірілген V кернеу мен I ток фазалы, яғни бір фазада. Мұндай әсерді **тізбекті резонанс** деп атайды (15.7-тарауды қараңыз).

15-есеп. Орамның кедергісі 5 Ом және индуктивтілігі 120 мГн сыйымдылығы 100 мкФ конденсатормен кернеуі 300 В және жиілігі 50 Гц қоректендіру көзі тізбектей қосылған. Есептеңіздер: (а) тізбектен ағатын тоқты, (б) қоректендіру көзінің кернеуі мен ток арасындағы фазалар айырымын, (с) орамдағы кернеуді, (д) конденсатордағы кернеуді.



15.13-сурет

15.13-суретте тізбектің сұлбасының диаграммасы келтірілген.

$$X_L = 2\pi fL = 2\pi(50)(120 \times 10^{-3}) = 37.70 \text{ Ом}$$

$$X_C = \frac{1}{2\pi fC} = \frac{1}{2\pi(50)(100 \times 10^{-6})} = 31.83 \text{ Ом}$$

X_L болғандықтан

$$X_L - X_C = 37.70 - 31.83 = 5.87 \text{ Ом}$$

$$\text{Толық кедергі } Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$$

$$\sqrt{5^2 + 5.87^2} = 7.71 \text{ Ом}$$

(а) Ток,

$$I = \frac{V}{Z} = \frac{300}{7.71} = 38.91 \text{ А}$$

(б) Фазалық бұрыш $\phi = \operatorname{tg}^{-1} \left(\frac{X_L - X_C}{R} \right) = \operatorname{tg}^{-1} \left(\frac{5.87}{5} \right) = 49.58^\circ$

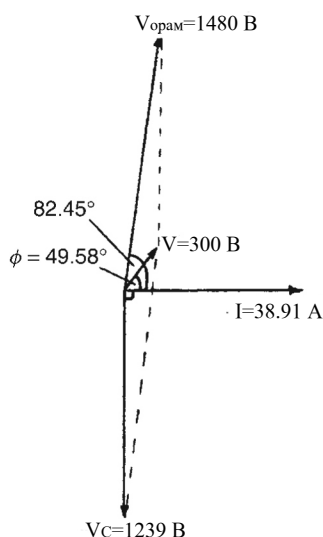
(с) Толық кедергі $Z_{орам} = \sqrt{R_C^2 + X_L^2} = \sqrt{20^2 + 50^2} = 38.03 \text{ Ом}$

$$V_{орам} = IZ_{орам} = (38.91)(38.03) = 1480 \text{ В}$$

Орамның фазалық бұрышы $\varphi = \operatorname{tg}^{-1} \left(\frac{X_L - X_C}{R} \right) = \operatorname{tg}^{-1} \left(\frac{37.7}{5} \right) = 82.45^\circ$ кешігіп отырады.

(d) Конденсатордағы кернеу $V_C = IX_C = (38.91)(31.83) = 1239 \text{ В}$

15.14-суретте фазалық диаграмманың суреті келтірілген. Қоректендіру көзінің кернеуі $V_{орам}$ мен V_C екі кернеудің векторлық қосындысынан тұрады.

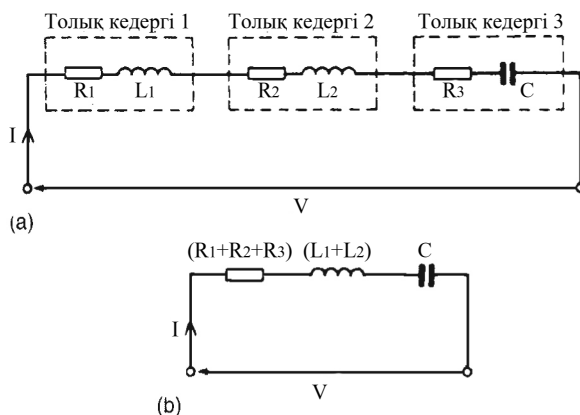


15.14-сурет

Тізбектей жалғанған кедергілер

Тізбектей жалғанған кедергілер үшін тізбектің жалпы кедергісі тізбектегі барлық кедергілер мәндерінің қосындысы арқылы $L - C - R$ түріндегі тізбекпен беріле алады. Индуктивтілік пен сыйымдылықтың барлық мәндері бірге алынады (ескерту керек: тізбектей жалғанған конденсаторлар үшін $\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \dots$).

Мысалы, 15.15 (b)-суретте үш кедергінің сұлбалары эквивалентті.



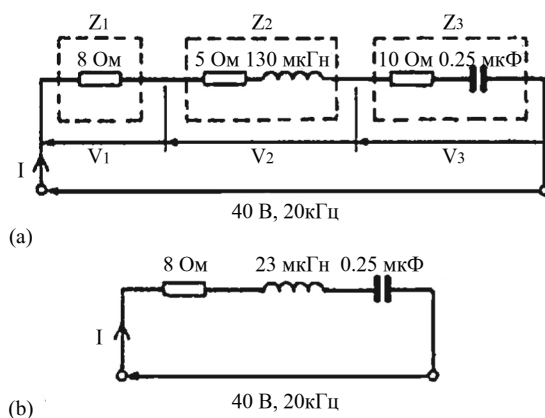
15.15-сурет

16-есеп. Келесі үш кедергілер кернеуі 40 В, жиілігі 20 кГц қоректендіру көзіне тізбектей жалғанған. (1) кедергі 8 Ом, (2) орамның индуктивтілігі 130 мкФ және кедергісі 5 Ом, (3) кедергісі 10 Ом резистор сыйымдылығы 0.25 мкФ конденсатормен тізбектей жалғанған. (а) Қысқа тұйықталу тогын есептеңіздер, (б) фазалық бұрыштың сұлбасын салыңыздар, (с) әрбір кедергілер үшін кернеудің түсуін есептеңіздер.

15.16(a)-суретте тізбектің диаграммасы келтірілген. $8+5+10$ болғандықтан тізбектің жалпы кедергісі 23 Ом-ға тең. Ал осыған сай эквивалентті принципіалды сұлба 15.16 (b)-суретте келтірілген.

Индуктивтік кедергі,

$$X_C = \frac{1}{2\pi fC} = \frac{1}{2\pi(20 \times 10^3)(0.25 \times 10^{-6})} = 31.83 \text{ Ом}$$



15.16-сурет

$X_C > X_L$ болғандықтан, тізбектің сыйымдылығы (15.12(с)-суреттегі фазалық диаграммаға қараңыз).

$$X_C - X_L = 31.83 - 16.34 = 15.49 \text{ Ом}$$

(a) Тізбектің толық кедергісі, $Z = \sqrt{R^2 + (X_C - X_L)^2}$

(b) Тізбектегі ток, $I = V/Z = 40/27.73 = 1.442 \text{ А}$

15.12(с)-суреттен тізбектің фазалық бұрышы

$$\varphi = \text{tg}^{-1} \left(\frac{X_C - X_L}{R} \right)$$

Яғни

$$\varphi = \text{tg}^{-1} \left(\frac{15.49}{23} \right) = 33.96^\circ \text{ озып отырады}$$

(b) 15.16 (a)-суреттен,

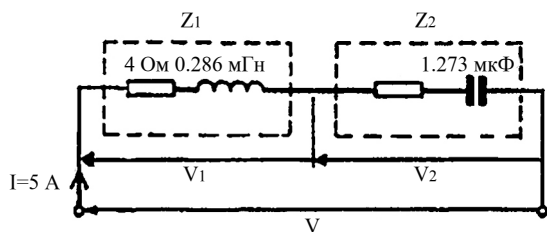
$$V_1 = IR_1 = (1.442)(8) = 11.54 \text{ В}$$

$$V_2 = IZ_2 = I \sqrt{5^2 + 16.34^2} \quad V_3 = IZ_3 = I \sqrt{10^2 + 31.83^2} = 48.11 \text{ В}$$

$$V_3 = IZ_3 = I \sqrt{10^2 + 31.83^2} = 48.11 \text{ В}$$

40 В қоректендіру көзінің кернеуі V_1 мен V_2 және V_3 векторлық қосындысынан тұрады.

17-есеп. 15.17-суретте көрсетілген сұлба бойынша егер қоректендіру көзінің жиілігі 5 кГц болса V_1 мен V_2 потенциалдар айырымын есептеңіз. Векторлық диаграмманы салыңыз, олай болса қоректендіру көзінің кернеуі мен тізбектің фазалық бұрышын анықтаңыздар.



15.17-сурет

Толық кедергі үшін

$$Z_1: R_1 = 4 \text{ Ом},$$

$$X_L = 2\pi fL = 2\pi(5 \times 10^3)(0.286 \times 10^{-3}) = 8.985 \text{ Ом}$$

$$V_1 = IZ_1 = I\sqrt{R^2 + X_L^2} = 5\sqrt{4^2 + 8.985^2} = 49.18 \text{ В}$$

Фазалық бұрыш

$$\varphi_1 = \operatorname{tg}^{-1}\left(\frac{X_L}{R}\right) = \operatorname{tg}^{-1}\left(\frac{8.985}{4}\right) = 66.0^\circ \text{ кешігіп отырады}$$

Толық кедергі үшін

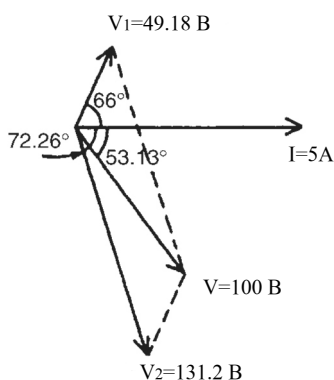
$$Z_2: R_2 = 8 \text{ Ом}$$

$$X_C = \frac{1}{2\pi fC} = \frac{1}{2\pi(5 \times 10^3)(1.273 \times 10^{-6})} = 25.0 \text{ Ом}$$

$$V_2 = IZ_2 = I\sqrt{R^2 + X_C^2} = 5\sqrt{8^2 + 25.0^2} = 131.2 \text{ В}$$

Векторлық бұрыш $\varphi_1 = \operatorname{tg}^{-1}\left(\frac{X_C}{R}\right) = \operatorname{tg}^{-1}\left(\frac{25.0}{8}\right) = 72.26^\circ$ озып отырады

15.18-суретте векторлық диаграмма келтірілген



15.18-сурет

V_1 мен V_2 векторлық қосындысы фазалық бұрыштан 53.13° озып отырғанда шамасы 100 В-қа тең қоректендіру көзінің кернеуі V -ні береді. Мұндай шамаларды есептеу жолдарымен, диаграммалардың суретін сызу арқылы косинус немесе синустар ережелерімен компоненттерді вертикаль және горизонталь бағытқа ыдырату арқылы табуға болады.

Келесі жаттығуды орындаңыздар.

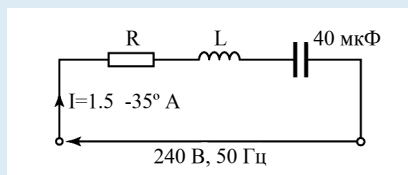
86-жаттығу. R–L–C тізбектей жалғанған айнымалы ток көзіне арналған қосымша есептер

- Сыйымдылығы 40 мкФ конденсатор кедергісі 8 Ом және индуктивтілігі 50 мГн орам тізбектей кернеуі 200 В, жиілігі 100 Гц қоректендіру көзімен қосылған. Есептеңіздер: (а) тізбектің кедергісін, (б) тізбек тогын, (с) кернеу мен ток арасындағы фазалық бұрышты, (д) орамдағы кернеуді, (е) конденсатордағы кернеуді.

[(а) 13.18 Ом (б) 15.17 А (с) 52.63° кешігіп отырады
(д) 772.1 В (е) 603.6 В]

- 15.19-суретте көрсетілген сұлба үшін R кедергі мен L индуктивтіліктің шамаларын табыңыздар.

[$R=131$ Ом, $L=0.545$ Гн]



15.19-сурет

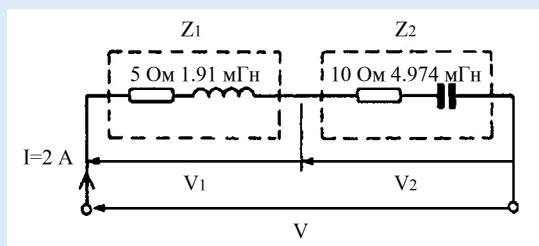
3. Үш кедергі кернеуі 100 В, жиілігі 2 кГц қоректендіру көзімен тізбектей қосылған. Сонда кедергілерді салыстырыңыздар:
1. Индуктивтілігі 0.45 мГн және кедергісі 2 Ом,
 2. Индуктивтілігі 570 мкГн және кедергісі 5 Ом,
 3. Индуктивтілігі 10 мкГн және кедергісі 3 Ом.

Екі индуктивтіліктің арасында өзара индуктивтілік жоқ деп келісейік. Есептеңіздер: (а) тізбектің кедергісін, (б) қысқа тұйықталуды, (с) фазалық бұрыштың сұлбасын, (д) әрбір кедергідегі кернеуді. Векторлық диаграмманы сызыңыз.

[(а) 11.12 Ом (б) 8.99 А (с) 25.92° кешігіп отырады
(д) 53.92 В, 78.53 В, 76.46 В]

Егер қоректендіру көзінің жиілігі 1 кГц болса, 15.20-суретте келтірілген сұлба бойынша кернеуді V_1 мен V_2 қосындысы арқылы анықтаңыздар. Векторлық диаграмманы сызу дегеніміз қоректендіру көзінің кернеуі мен тізбектің фазалық бұрышын анықтау болып табылады.

[$V_1 = 26.0$ В, $V_2 = 67.05$ В,
 $V = 50$ В, 53.14° озып отырады]



15.20-сурет

15.7 Тізбекті резонанс

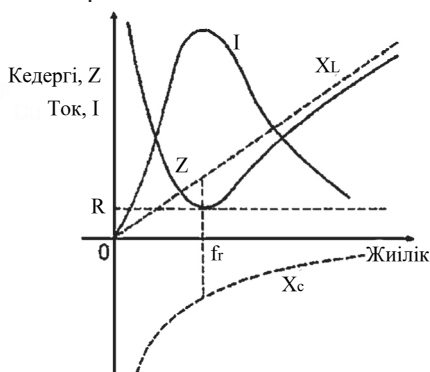
15.6-тарауда көрсетілгендей $R - L - C$ тізбектей жалғанған сұлба үшін $X_L = X_C$ болғанда (15.12 (d)-сурет) түсірілген V кернеу I токпен бір фазада болады. Осындай әсерді **тізбекті резонанс** деп атайды. Резонанс жағдайында:

- 1) $V_L = V_C$
- 2) $Z = R$ (яғни, $R - L - C$ тізбегінде кедергінің минималды мәні болуы мүмкін)
- 3) $I = V/R$ ($R - L - C$ тізбегінде токтың максималды мәні болуы мүмкін)
- 4) $X_L = X_C$ болғандықтан, $2\pi f_\gamma L = 1/2\pi f_\gamma C$ осыдан

$$f_\gamma^2 = \frac{1}{(2\pi)^2 LC} \quad \text{және} \quad f_\gamma = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

Мұндағы f_γ – **резонансты жиілік**.

- 5) Резонансты тізбек **акцепторлы сұлба** деп келтіріледі, себебі бұл тізбектің кедергісі минималды, олай болса резонансты жиілікте ток максималды.
- 6) 15.21-суретте жиіліктен тәуелді $I - L - C$ ток пен Z кедергінің типтік графиктері келтірілген.



15.21-сурет

18-есеп. Орамның кедергісі 20 Ом, индуктивтілігі 125 мГн сыйымдылығы 60 мкФ конденсатор арқылы кернеуі 120 В қоректендіру көзімен тізбектей қосылған. Қандай жиілікте резонанс болу мүмкін. Резонансты жиілікте ағатын ток қандай?

Резонансты жиілік,

$$f_{\gamma} = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} = \frac{1}{2\pi\sqrt{\left(\frac{125}{10^3}\right)\left(\frac{60}{10^6}\right)}}$$

$$= \frac{1}{2\pi\sqrt{\left(\frac{126 \times 6}{10^8}\right)}} = \frac{1}{2\pi\left(\frac{\sqrt{(125)(6)}}{10^4}\right)} = \frac{10^4}{2\pi\sqrt{(125)(6)}} = 58.12 \text{ Гц}$$

Резонанс жағдайында, $X_L = X_C$ және кедергі $Z = R$. Олай болса, $I = V/R = 120/10 = 12 \text{ А}$.

19-есеп. $L - C - R$ тізбегінде резонанс жағдайында токтың шамасы 100 мкА . 200 кГц жиілікте түсірілетін кернеудің шамасы 2 мВ болса, ал тізбектің индуктивтілігі 50 мкГн болса, (а) тізбектің кедергісін, (б) тізбектің сыйымдылығын табыңыз.

(а) $I = 100 \text{ мкА} = 100 \times 10^{-6} \text{ А}$ $V = 2 \text{ мВ} = 2 \times 10^{-3} \text{ В}$

Резонанс жағдайында, кедергі Z , кедергі R . Олай болса

$$R = \frac{V}{I} = \frac{2 \times 10^{-3}}{100 \times 10^{-6}} = \frac{2 \times 10^6}{100 \times 10^3} = 20 \text{ Ом}$$

(б) Резонанс жағдайында,

$$X_L = X_C \quad 2\pi fL = \frac{1}{2\pi fC}$$

Олай болса

$$C = \frac{1}{(2\pi f)^2 L} = \frac{1}{(2\pi \times 200 \times 10^3)^2 (50 \times 10^{-6})} = \frac{(10^6)(10^6)}{(4\pi)^2 (10^{10})(50)} =$$

$$= 0.0127 \text{ мкФ немесе } 12.7 \text{ пФ}$$

15.8 Q-фактор

Резонанс жағдайында, егер X_L мен X_C салыстырғанда R кіші болса, V_L мен V_C кернеудің мәні де қоректендіру көзінен әлдеқайда үлкен болады. (15.22 (d)-суретті қараңыз).

Резонанс жағдайындағы кернеудің ұлғаюы:

L (C)-ғы кернеу/қоректендіру көзінің кернеуі

Осы қатынас тізбек потенциалдар айырымының өлшеуіші болып табылады (резонатор немесе құрылғыны баптау ретінде) және **потенциалдар айырымы (Q -фактор)** деп аталады. Олай болса,

$$Q = \frac{V_L}{V} = \frac{IX_L}{IR} = \frac{X_L}{R} = \frac{2\pi f_\gamma L}{R}$$

Басқаша

$$Q = \frac{V_C}{V} = \frac{IX_C}{IR} = \frac{X_C}{R} = \frac{1}{2\pi f_\gamma L}$$

Резонанс жағдайында

$$f_\gamma = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}, 2\pi f_\gamma = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

Q -фактор

$$Q = \frac{2\pi f_\gamma L}{R} = \frac{1}{\sqrt{LC}} \left(\frac{L}{R} \right) = \frac{1}{R} \sqrt{\frac{L}{C}}$$

20-есеп. Орамның индуктивтілігі 80 мГн және оның кедергісі болмашы, сыйымдылығы 0.25 мкФ конденсатормен және кедергісі 12.5 Ом резистормен айнымалы жиілігі бар қоректендіру көзіне тізбектей жалғанған. Анықтаңыздар: (а) резонансты жиілікті, (б) резонанс жағдайындағы токты. Қоректендіру көзінің кернеуімен салыстырғанда резонанс жағдайында реактивті кедергідегі кернеу қанша есе үлкен?

(а) Резонансты жиілік,

$$f_{\gamma} = \frac{1}{2\pi \sqrt{\left[\left(\frac{80}{10^3}\right)\left(\frac{0.25}{10^6}\right)\right]}} = \frac{1}{2\pi \sqrt{\frac{(8)(0.25)}{10^3}}} = \frac{10^4}{2\pi\sqrt{2}} = 1125.4 \text{ Гн}$$

немесе 1.1254 кГц

(b) Резонанс жағдайындағы ток,

$$I = V/R = 100/12.5 = 8 \text{ А}$$

Резонанс жағдайындағы индуктивтіліктегі кернеу,

$$V_L = IX_L = (I)(2\pi fL) = (8)(2\pi)(1125.4)(80 \times 10^{-3}) = 4525.5 \text{ В}$$

(сондықтан конденсатордағы кернеу,

$$V_C = IX_C = \frac{I}{2\pi fL} = \frac{8}{2\pi(1125.4)(0.25 \times 10^{-6})} = 4525.5 \text{ В}$$

Резонанс жағдайындағы кернеудің ұлғаюы 1145.255 В, яғни резонанс жағдайында реактивті кедергідегі кернеу қоректендіру көзімен салыстырғанда $4525/100 = 45.255$ есе үлкен. Олай болса тізбектің **Q-факторы, яғни потенциалдар айырымы 45.255.**

21-есеп. Тізбектей қосылған сұлба орамнан, индуктивтілік пен конденсатордан тұрады. Орамның кедергісі 2 Ом, индуктивтілік 60 мГн, конденсатордың сыйымдылығы 30 мкФ. Резонанс жағдайындағы тізбектің потенциалдар айырымын табыңыздар.

Резонанс жағдайында, **Q-фактор:**

$$Q = \frac{1}{R} \sqrt{\frac{L}{C}} = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{60 \times 10^{-3}}{30 \times 10^{-6}}} = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{60 \times 10^6}{30 \times 10^3}} = \frac{1}{2} \sqrt{2000} = 22.36$$

22-есеп. Кедергісі болмашы, индуктивтілігі 100 мГн орам сыйымдылығы 2 мкФ, кедергісі 10 Ом конденсатормен, кернеуі 50 В айнымалы қоректендіру көзіне тізбектей қосылған. Табыңыздар: (а) резонансты жиілікті, (b) резонанс

жағдайындағы токты, (с) резонанс жағдайындағы орам мен (d) конденсатордағы кернеуді, (е) тізбектің потенциалдар айырымын, яғни **Q-факторды**.

(a) Резонансты жиілік,

$$f_{\gamma} = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} = \frac{1}{2\pi\sqrt{\left(\frac{100}{10^3}\right)\left(\frac{2}{10^6}\right)}} = \frac{1}{2\pi\sqrt{\frac{20}{10^8}}} = \frac{1}{\frac{2\pi\sqrt{20}}{10^4}}$$

$$= \frac{10^4}{2\pi\sqrt{20}} = 355.9 \text{ Гц}$$

(b) Резонанс жағдайындағы токты,

$$I = V/R = 50/10 = 5 \text{ А}$$

(с) Резонанс жағдайындағы орамдағы кернеу,

$$V_L = IX_L = I(2\pi f_{\gamma} L) = (5)(2\pi \times 355.9 \times 100 \times 10^{-3}) = 1118 \text{ В}$$

(d) Резонанс жағдайындағы конденсатордағы кернеу,

$$V_C = IX_C = \frac{I}{2\pi f_{\gamma} C} = \frac{5}{2\pi(355.9)(2 \times 10^{-6})} = 1118 \text{ В}$$

(e) **Q-фактор** (резонанс жағдайындағы кернеудің ұлғаюы)

$$\frac{V_C}{V} = \frac{1118}{50} = 22.36$$

Q-факторды басқа жолмен де табуға болады:

$$\frac{2\pi f_{\gamma} L}{R}, \frac{1}{\sqrt{LC}} \left(\frac{L}{R} \right), \frac{1}{R} \sqrt{\frac{L}{C}}$$

Келесі жаттығуды орындаңыздар.

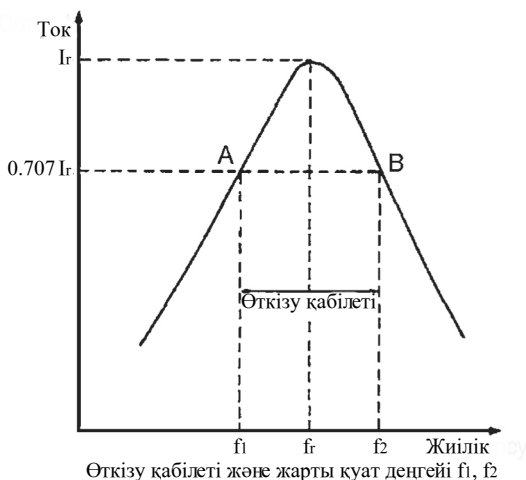
87-жаттығу. Тізбектей жалғанған сұлбадағы резонанс пен Q-факторға арналған қосымша есептер

- Орамның кедергісі 10 Ом, индуктивтілігі 50 мГн, сыйымдылығы 0,05 мкФ кернеуі 100В қоректендіру көзіне қосылған. Тізбектегі резонанс жиілігін және ағып жатқан токты табыңыз.
[3.183 кГц, 10 А]
- Тізбектегі резонанс – L-C-R, кернеуі – 250 мВ, ток – 0.2 мА. Жиілігі 100 кГц болатын, ал сыйымдылығы 0.04 мкФ тізбекке жалғанған. Тізбектегі кедергі мен индуктивтілігін табыңыз.
[1.25 к Ом, 63.3мк Гн]
- Орам кедергісі 25 Ом, индуктивтілігі 100 мГн тізбектей жалғанған. Ал сыйымдылығы 0.12 мкф параллель жалғанған. Айнымалы кернеуі 200 В болғанда есептеңіздер: (а) резонанс жиілігін (б) резонанстағы токты (с) Q-факторды.
[(a) 1.453 кГц (b) 8 А (c) 36.51]
- Орам индуктивтілігі 0.5 Гн, кедергісі 8 Ом, кернеуі 200 В, резонансты жиілігі 50 Гц олар тізбектей жалғанған. Қоректендіру көзінің кернеуін, сыйымдылығын анықтаңыздар.
[20.26 мкФ, 3.928 кВ]
- Резонансты жиілігі 400 кГц болған кездегі, ал сыйымдылығы 1000 пФ конденсаторға тізбектей жалғанған. Индуктивтілігін табыңыз.
[0.158 мГн]
- Орам кедергісі 20 Ом, индуктивтілігі 2 мГн конденсатор сыйымдылығы 5000 пФ барлығы тізбектей жалғанған. Резонанстағы тізбек Q-факторын табыңыз. Егер қоректендіру көзінің кернеуі 1.5 В болғанда конденсатор шетіндегі кернеуін табыңыз.
[100, 150 В]

15.9 Жолақтың ені мен іріктелгіштігі

15.22-суретте $R-L-C$ тізбегі жиілікке сәйкес I ток қалай өзгередіні келтірілген. f_r – резонанстық жиілікте I_r – токтың мәні максималды

суретте көрсеткендей. Сонымен қатар А және В нүктелерімен берілген ток 0.707 -ге тең жиіліктің максималды мәнінен f_1 мен f_2 арасында көрсетілген. Тізбекке берілетін қуат $I^2 R$. $I = 0.707$ болғанда қуат $(0.707 I_\gamma)^2 R = 0.5 I_\gamma^2 R$, яғни жарты қуат жиіліктің f_1, f_2 мен f_γ сәйкес нүктесін **жарты қуат деңгейі бойынша сәйкес нүкте** деп атайды. Осы екі нүкте арасындағы арақашықтықты, яғни $(f_1 - f_2)$ **өткізу қабілеті** дейді.



15.22-сурет

Оны келесі түрде келтіруге болады:

$$Q = \frac{f_\gamma}{(f_1 - f_2)} (f_2 - f_1) = \frac{f_\gamma}{Q}$$

23-есеп. $L-R-C$ тізбекті қосылған тізбек түріндегі сүзгі 5 кГц резонансты жиілікте істеу үшін арналған. Индуктивтілігі 20 мГн кедергісі 10 Ом компоненттер сүзгі құрайды. Сүзгінің өткізу қабілетін анықтаңыз.

Q -фактор резонанс жағдайында тең:

$$Q = \frac{\omega_\gamma L}{R} = \frac{(2\pi \times 5000)(20 \times 10^{-3})}{10} = 62.83$$

$Q_\gamma = f_\gamma / (f_2 - f_1)$ болғандықтан, өткізу қабілеті,

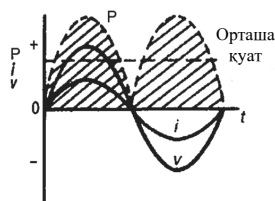
$$(f_2 - f_1) = \frac{f_\gamma}{Q_\gamma} = \frac{5000}{62.83} = 79.6 \text{ Гц}$$

Іріктелгіштік сигналдың басқа жиіліктерімен салыстырғанда олардың белгілі бір жиіліктеріне сай тізбектің тез арада әрекет жасай алу қабілеті (жауабы). Жиілік резонансты шамасынан алыстаған сайын мұндай жауап сөне бастайды. Неғұрлым Q -факторы жоғары болған сайын, соғұрлым өткізу қабілетін сипаттайтын жолақтың ені тарлана түседі, сөйтіп тізбектің таңдаушылық қасиеті әлдеқайда талғамалы болады. Тізбектің Q -факторы жоғары болса (мысалы, 10-нан 300-ге дейін), онда мұндай тізбектер инженерлік коммуникацияларда қолданылады. Потенциал айырымының жоғары болуы салдарынан тізбектей жалғанған жүйелерде кемшіліктер кездеседі, изоляцияларға өте үлкен кернеуді тудырып, электрлік тесілуге әкелуі мүмкін.

24-тарауда практикалық зертханалық жұмыстар тізбектей жалғанған сұлбалар үшін келтірілген.

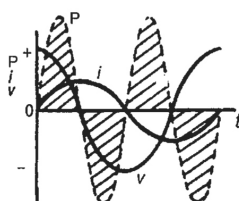
15.10 Айнымалы ток көзінің қуаты

15.23-суретте (а) мен (с) арасында, қуаттың кез келген уақыттағы шамасы кернеу мен лездік токтың көбейтіндісіне тең, яғни үзік сызықтармен лездік қуат $p = v \cdot i$ суретте келтірілген.



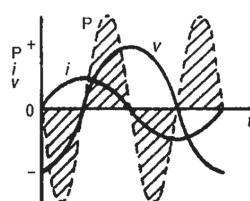
Таза резистивті тізбек үшін орташа қуат $= VI$

(а)



Таза индуктивті айнымалы тізбек үшін орташа қуат $= 0$

(b)



Таза сыйымдылықтың айнымалы ток көзі үшін орташа қуат $= 0$

(с)

15.23-сурет

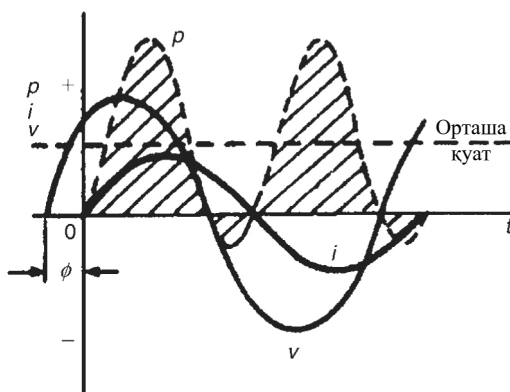
(а) Таза резистивті айнымалы тізбек үшін жұмсалатын орташа қуат:

$$p = VI = I^2 R = R - L$$

(V және орташа квадратты шамалар болып табылады), суретті қараңыз.

- (b) 15.23 (b)-сурет таза индуктивті айнымалы тізбек үшін қуаттың орташа шамасы нөлге тең. 15.23(б)-суретті қараңыз.
- (c) Таза сыйымдылықтық айнымалы ток көзі үшін қуаттың орташа шамасы нөлге тең. 15.23(c)-суретті қараңыз.

15.24-сурет $R-L$ тізбегі үшін ток пен кернеуге арналған ток мұнда кернеуден ϕ бұрышына кешігіп отырады. Қоректендіру көзінің сигналы үзікті сызықтармен келтірілген, мұнда $p = v \cdot i$. Және олай болса оның пішіні орташа қуат ϕ бұрыштың шамасына тәуелді болғаны.



15.24-сурет

$R-C$, $R-C$, $R-L-C$ тізбектей жалғанған тізбектер үшін қуаттың орташа мәні:

$$P = VI \cos \phi$$

немесе

$$P = I^2 R$$

(кернеу мен ток орташа квадраттық мән болып табылады).

24-есеп. Токтың лездік мәні $P = I^2 R$ мА таза резистантты тізбектен өтеді, резистордың кедергісі – 5 кОм. Резистордағы қуаттың шашырауын табыңыз.

Қуаттың жұмсалуды,

$$P = I^2 R$$

мұндағы I – токтың орташа квадраттық мәні. Егер $i = 250 \sin \omega t$ мА, онда $I_m = 0.250$ А және токтың орташа квадраттық мәні, $I = (0.707 \times 0.250)$ А.

Олай болса қуат,

$$P = (0.707 \times 0.250)^2 (5000) = 156.2 \text{ Вт}$$

25-есеп. Тізбекті жалғанған тізбектегі кедергі 60 Ом индуктивтілігі 75 мГн кернеуі 110 В, жиілігі 60Гц қоректендіру көзімен жалғанған. Қуаттың жұмсалатынын есептеңіз.

Индуктивті кедергі,

$$X_L = 2 \pi f L = 2 \pi (60) (75 \times 10^{-3}) = 28.27 \text{ Ом}$$

Толық кедергі,

$$Z = \sqrt{R^2 + X_L^2} = \sqrt{60^2 + 28.27^2} = 66.33 \text{ Ом}$$

Ток,

$$I = V/Z = 110/66.33 = 1.658 \text{ А}$$

Айнымалы ток көзі үшін қуаттың шашырауын есептегенде екі формуланы пайдалану қажет:

$$P = I^2 R = (1.658)^2 (60) = 165 \text{ Вт}$$

Немесе

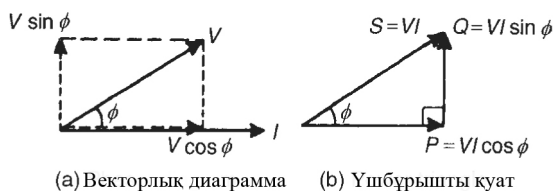
$$P = VI \cos \phi, \cos \phi = \frac{R}{Z} = \frac{60}{66.33} = 0.9046$$

Олай болса,

$$P = (110)(1.658)(0.9046) = 165 \text{ Вт}$$

15.11 Қуаттың үшбұрышы мен қуаттың коэффициенті

15.25-суретте векторлық диаграмма келтірілген, мұнда ток түсірілген кернеуден V бұрышқа қалып кешігіп отырды. ϕ -ның горизонталь құраушысы $V \cos \phi$, ал вертикаль компоненті $V \sin \phi$ болып табылады. Егер кернеудің әрбір векторы I -мен көбейтілсе, онда 15.25(b)-суретте келтірілген **қуаттың үшбұрышы** деп аталатын пішіні шығады.



15.25-сурет

Толық қуат:

$$S = VI$$

Активті қуат:

$$Q = VI \sin \phi$$

Реактивті қуат $Q = VI \sin \phi$ **реактивті вольтампер**

Қуаттың коэффициенті активті қуат/толық қуат

Синусоидалды кернеу мен ток үшін,

Қуаттың коэффициенті:

$$\text{Толық қуат} = \frac{P}{S} = \frac{VI \cos \phi}{VI}$$

$$\text{Олай болса, 15.6-суреттен: Толық қуат} = \cos \phi = \frac{R}{Z}$$

Мұндай қатынас I токтың V кернеуді озып отырған жағдайы үшін дұрыс орындалады.

26-есеп. Таза индуктивтілік қоректендіру көзінің кернеуі – 150 В, жиілігі 50 Гц тізбекке қосылған. Толық қуат тізбектің 300 ВА. Индуктивтіліктің мәнін табыңыздар.

Толық қуат,

$$S = VI$$

Олай болса,

$$X_L = V/I = 150/2 = 75 \text{ Ом}$$

Индуктивті кедергі,

$$X_L = V/I = 150/2 = 75 \text{ Ом}$$

$$X_L = 2\pi fL$$

болғандықтан

Индуктивтілік,

$$L = \frac{X_L}{2\pi f} = \frac{75}{2\pi(50)} = 0.239 \text{ Гн}$$

27-есеп. Трансформатордың нақты қуаты 200 кВА, ал қуаттың коэффициенті – 0.8. Анықтаңыздар: нақты шығыс қуаты мен оған сәйкес реактивті қуатты.

$$VI = 200 \text{ кВА} = 200 \times 10^3 \text{ және толық қуат} = 0.8 = \cos \varphi$$

Қуат шығысында,

$$P = VI \cos \varphi = (200 \times 10^3)(0.8) = 160 \text{ кВ}$$

Реактивті қуат

$$Q = VI \sin \varphi. \text{ Егер } \cos \varphi = 0.8, \text{ болса } \varphi = \cos^{-1} 0.8 = 36.87^\circ$$

Олай болса

$$\sin \varphi = \sin 36.87^\circ = 0.6$$

Олай болса реактивті қуат

$$Q = (200 \times 10^3)(0.6) = 120 \text{ кВА}$$

28-есеп. Жүктеменің қуаты 90 кВт қуаттық коэффициенті 0.5-ке кешігіп отырады. Толық және реактивті қуатты есептеңіздер.

Нақты қуат

$$90 \text{ кВт} = VI \cos \varphi$$

Қуаттық коэффициент

$$0.5 = \cos \varphi$$

Толық қуат

$$S = VI = \frac{P}{\cos \varphi} = \frac{90}{0.5} = 180 \text{ кВА}$$

Бұрыш,

$$\varphi = \cos^{-1} 0.5 = 60^\circ$$

Олай болса

$$\sin \varphi = \sin 60^\circ = 0.866$$

Олай болса реактивті қуат

$$Q = VI \cos \varphi = 180 \times 10^3 \times 0.866 = 156 \text{ кВА}$$

29-есеп. Қоректендіру көзінің кернеуі 120 В, жиілігі 50 Гц индуктивті тізбекке жалғанған, сондағы пайда болған қуат шамасы 400 Вт, ток 8 А.: кедергіні, толық кедергіні, реактивті кедергіні, қуаттың коэффициентін, кернеу мен токтың арасындағы фазалық бұрышты есептеңіз.

Қуат

$$P = I^2 R \quad R = \frac{P}{I^2} = \frac{400}{8^2} = 6.25 \text{ Ом}$$

Кедергіні

$$Z = \frac{V}{I} = \frac{120}{8} = 15 \text{ Ом}$$

$Z = \sqrt{R^2 + X_L^2}$ \ куаттың коэффициенті
нақты қуат/толық қуат,

$$X_L = \sqrt{Z^2 - R^2} = \sqrt{15^2 - 6.25^2} = 13.64 \text{ Ом}$$

Қуаттың коэффициенті,

$$\cos \varphi = 0.4167$$

Фаза бұрышы,

$$\varphi = \cos^{-1} 0.4167 = 65.37^\circ \text{ кешігеді}$$

30-есеп. Тізбек резистордан және конденсатордан тұрады, олар тізбектей жалғанған. Тізбектің қуаты 100 Вт, қуаттың коэффициенті – 0.5, қоректендіру көзінің кернеуі – 100 В, жиілігі – 60 Гц. Тізбектің тогын, фазалық бұрышты, кедергіні, толық кедергіні, сыйымдылықты есептеңіздер.

Қуаттың коэффициенті: нақты қуат/толық қуат
Олай болса

$$I = \frac{100}{(0.5)(100)} = 2 \text{ A}$$

Қуаттың коэффициенті $0.5 = \cos \varphi$
олай болса фазалы бұрыш,

$$\varphi = \cos^{-1} 0.5 = 60^\circ$$

Қуат,

$$P = I^2 R$$

олай болса кедергі,

$$R = \frac{P}{I^2} = \frac{100}{2^2} = 25 \text{ Ом}$$

Толық кедергі,

$$Z = \frac{V}{I} = \frac{100}{2} = 50$$

Сыйымдылықтық кедергі,

$$X_C = \sqrt{Z^2 - R^2} = \sqrt{50^2 - 25^2} = 43.30 \text{ Ом}$$

$$X_C = 1/2 \pi f C$$

Сондықтан сыйымдылық,

$$C = \frac{1}{2 \pi f X_C} = \frac{1}{2 \pi (60)(43.30)} = \mathbf{61.26 \text{ мкФ}}$$

Келесі жаттығуды орындаңыздар.

88-жаттығу. Тұрақты ток тізбегіндегі қуатқа арналған есептер

Кедергісі 1.5 кОм активті кедергіге $v = 200 \sin \omega t$ өрнегі қолданылады. Резистордағы қуаттың жұмсалуын табыңыз.

[13.33 Вт]

1. Сыйымдылығы 50 мкФ конденсатор кернеуі 100 В жиілігі 200 Гц қоректендіру көзіне жалғанған, сондағы активті және толық қуатты анықтаңыз.

[0. 628.3 ВА]

2. Қоректендіру көзінің кернеуі 250 В болғандағы қозғалтқышта 10 А ток ағады, егер қуаттың кешігу коэффициенті 0.75 деп алынса, онда тұтынатын қуат қандай болады? Қозғалтқыш үздіксіз бір жеті бойы жұмыс істесін, сонда егер 1 кВт сағ электрэнергиясының құны 12.20 фунт стерлинг болса, қозғалтқыш қанша электр энергиясын жұмсаған?

[1875 Вт, 38.43 фунт стерлинг]

3. Қоректендіру көзінің кернеуі 240 В, оған қозғалтқыш жалғанған және ол қоректендіру көзінен 10 А токты алып отырсын, егер қуаттың кешігу коэффициентін 0.7 деп алатын болсақ тұтынатын қуат қандай?

[2.016 кВт]

4. Қуаттың коэффициенті 0.6 болғандағы трансформатордың нақты қуаты 100 кВт. Анықтаңыздар: номиналды шығу қуаты мен сәйкес реактивті қуатын.

[60 кВт, 80 кВА]

6. Қоректендіру көзі кернеуі 200 кВ реактивті қуаты 150 кВт болады. сәйкес реактивті қуаты мен қуат коэффициентін табыңыз.

[132 кВт, 0.66]

7. Егер қуаттың кешігу коэффициенті 0.8 болса, жүктеме қуаты 50 кВт болады. Сондықтан толық қуат пен реактивті қуатты есептеңіз.

[132 кВт, 0.66]

8. Орамның кедергісі 400 Ом, индуктивтілігі 0.2 Гн, кернеуі 75 В, жиілігі 400 Гц қоректену көзіне жалғанған. Орамдағы жұмсалған қуатты есептеңіз.

[62 кВА, 37.5 кВА]

9. Кедергісі 80 Ом резистормен сыйымдылығы 6 мкФ конденсатор кернеуі 150 В, жиілігі 200 Гц қоректендіру көзі арқылы бір-бірімен тізбектей жалғанған. Есептеңіздер: (а) тізбектің толық кедергісін, (б) ағып жатқан токты, (с) тізбектегі қуаттың шашырауын.

[5.452 Вт]

10. Тізбектей жалғанған тізбектің тұтынатын қуаты 240 Вт. Осы тізбекте кедергі мен индуктивтілік кернеуі 200 В, жиілігі 50 Гц қоректендіру көзіне жалғанған. Егер тізбек бойынша ағатын

токтың шамасы 2 А болса, кедергі мен индуктивтіліктің шамаларын табыңыз.

[(a) 154.9 Ом, (b) 0.968 А (c) 75 ВТ]

11. Тізбектей жалғанған тізбектің қуаты – 0.9 кВт. Қоректендіру көзінің кернеуі 105 В, жиілігі 2.5 кГц, ағатын ток шамасы 15 А. (a) кедергіні, (b) толық кедергіні, (c) реактивті кедергіні, (d) сыйымдылықты, (e) қуаттың коэффициентін, (f) кернеу мен токтың арасындағы фазалық бұрышты есептеңіз.

[60 Ом, 255 мГн]

12. Тізбектей жалғанған тізбек резистордан, индуктивтіліктен, кернеуі 50 В, жиілігі 100 Гц қоректендіру көзінен тұрады. Осы тізбектің қуаты 210 Вт, ондағы қуаттың коэффициенті 0.6: (a) ағатын токтың шамасын, (b) фазалық бұрыштың сұлбасын, (c) кедергіні, (d) толық кедергіні, (e) индуктивтілікті табыңыздар.

[(a) 4 Ом (b) 7 Ом (c) 5.745 Ом (d) 11.08 мкФ

(e) 0.571 (f) 55.18° озады]

13. Кернеуі 200 В, жиілігі 60 Гц, қоректендіру көзі сыйымдылықты талғанған. Токтың шамасы 2 А, шашырайтын қуаттың шамасы 150 Вт. Кедергі мен сыйымдылықтың мәндерін есептеңіздер.

[37.5 Ом. 28.61 мкФ]

89-жаттығу. Бір фазалы айнымалы сұлбалар бойынша сұрақтар

1. Келесі сөйлемді аяқтаңыз:

- (a) Индуктивті айнымалы ток тізбегінде I_L ток пен түсірілген кернеу V_L 0-ден 90° дейін ...отырады
(b) Индуктивті айнымалы ток тізбегінде I_L ток пен түсірілген кернеу V_L 0-ден I_L дейін ... отырады,
(c) Индуктивті айнымалы ток тізбегінде I_L ток пен түсірілген кернеу V_L 0-ден 90° дейін ... отырады

2. Келесі жағдайлар үшін векторлық диаграммаларды сызыңыздар:

- (a) Реактивті кедергіні айнымалы тізбек үшін,
(b) Реактивті индуктивтілікті айнымалы тізбек үшін,
(c) Айнымалы тізбек үшін реактивті сыйымдылықты.

3. Индуктивті кедергі дегеніміз не? Индуктивті кедергінің символы мен формуласын келтіріңіздер.
4. Сыйымдылықтық кедергісі деген не? Сыйымдылықтық кедергінің символы мен формуласын келтіріңіздер.
5. Векторлық диаграммаларды келесі жағдайлар үшін сызыңыздар:
(а) Индуктивтілік пен кедергісі бар орамды,
(б) Кедергісі бар сыйымдылықтың тібектей жалғанған жүйесін.
6. Айнымалы ток тізбегі үшін толық кедергі деген не?
7. $R - L$ тізбегі үшін үшбұрышты кедергіні сызыңыздар. Үшбұрыштан (а) толық кедергі үшін, (б) фазалық бұрыш үшін өрнекті шығару.
8. $R - C$ тізбегі үшін үшбұрышты кедергіні сызыңыздар, үшбұрышты (а) толық кедергі үшін, (б) фазалық бұрыш үшін өрнекті шығару.
9. Тізбекті резонанс дегеніміз не?
 f_γ резонансты жиілік үшін L және C арқылы формуланы дәлелдеп шығару.
10. Тізбектей жалғанған жүйе үшін Q фактор дегеніміз не?
11. Тізбектей жалғанған жүйеде резонанс болған жағдайда сапалылықты, яғни Q факторды анықтаңыздар және үш формуласын келтіріңіздер.
12. Жоғары жиілікті тізбектей жалғанған тізбектер үшін Q фактордың яғни сапалылықтың ең жоғары артықшылығын келтіріңіз.
13. Жоғары сапалылық кемшіліктерін тізбектей жалғанған қоректендіру көзі үшін келтіріңіздер.
14. Айнымалы тізбекте қуатты анықтай алатын екі формуланы келтіріңіз.
15. Индуктивтіліктің немесе сыйымдылықтың айнымалы ток тізбегі үшін орташа қуатының нөлге тең екенін график түрінде көрсетіңіз.
16. Қуаттың коэффициенті дегеніміз не?
17. Анықтаңыз: (а) толық қуатты, (б) реактивті қуатты.
18. Анықтаңыз: (а) жолақтың енін, (б) іріктелгіштікті.

90-жаттығу. Бір фазалы айнымалы сұлбалар бойынша бірнеше дұрыс жауабы бар тест сұрақтары

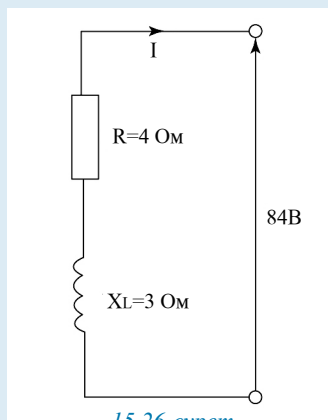
1. 10 мГн индуктивтілік кернеуі 100 В, жиілігі 50 Гн айнымалы ток көзіне қосылған, оның кедергісі қандай?
 - (a) 10π Ом
 - (b) 1000π Ом
 - (c) π Ом
 - (d) π Гн
2. Құрамында кедергісі мен индуктивтілігі бар айнымалы тізбектің жиілігі, ток қандай өзгеріске ұшыраса:
 - (a) азаяды,
 - (b) ұлғаяды,
 - (c) өзгермейді,
 - (d) бұрынғы қалпында қалады.
3. Екінші сұрақ бойынша фазалық бұрыш қалай өзгереді?
 - (a) кішірейеді,
 - (b) ұлғаяды,
 - (c) өзгермейді.
4. Құрамында кедергі мен сыйымдылығы бар айнымалы тізбектегі жиілік азайғанда ток қалай өзгереді?
 - (a) азаяды,
 - (b) ұлғаяды,
 - (c) сол қалпында қалады.
5. 4-сұрақ сияқты фазалық бұрыш қалай өзгереді:
 - (a) азаяды,
 - (b) ұлғаяды,
 - (c) сол қалпында қалады.
6. Конденсатордың сыйымдылығы 1 мкФ 50 Гц қоректендіру көзіне қосылған. Сыйымдылықтың кедергісі қандай?
 - (a) π
 - (b) $\frac{10}{\pi}$ кОм
 - (c) $\frac{10}{\pi}$
 - (d) $\frac{10}{\pi}$ Ом

7. Айнымалы ток көзі.... тізбектей жалғанған жүйедегі индуктивтіліктің кернеуі 12 В, активті кедергідегі кернеуі 5 В. Қоректендіру көзінің кернеуі қандай?
- 13 В
 - 17 В
 - 7 В
 - 2.4 В
8. Индуктивті реактивті кедергіде ток
- кернеуді 90° озады,
 - кернеумен бір фазада,
 - кернеуден 180° озады,
 - кернеуден $\pi/2$ радианға қалып отырады.
9. Мына тұжырымның қайсысы дұрыс емес?
- айнымалы ток тізбегінде резонанс жағдайында минималды,
 - орташа токтың квадратының мәні кернеудің көбейтіндісі толық қуатты тізбектік беріледі
 - ток-максималды айнымалы тізбектегі резонанс жағдайында
 - толық қуат/активті қуат коэффициенті.
10. Орамның кедергісі X Ом және индуктивтілігі Y айнымалы қоректендіру көзімен жиілігі $kГц$ жалғанған, сонда оның өрнегі қандай?
- $2\pi KY$
 - $X + Y$
 - $\sqrt{X^2 + Y^2}$
 - $\sqrt{X^2 + (2\pi KY)^2}$
11. 10-сұрақ сияқты ток пен түсірілген кернеу арасындағы бұрыштардың фазалық ығысуы өрнегі қандай?
- $\text{tg}^{-1} \frac{Y}{X}$
 - $\text{tg}^{-1} \frac{2\pi KY}{X}$
 - $\text{tg}^{-1} \frac{X}{2\pi KY}$
 - $\text{tg}^{-1} \left(\frac{2\pi KY}{X} \right)$

12. Конденсатор айнымалы қоректендіру ток көзіне жалғанған, сонда ток
- (a) кернеуі 180° -қа озып отырады;
 - (b) кернеумен бір фазада;
 - (c) кернеуді $\pi/2$ радианға озып отырады;
 - (d) кернеуден 90° қалып отырады.
13. Құрамында кедергі мен сыйымдылығы бар айнымалы ток тізбегінің жиілігі ұлғайғанда толық кедергісі
- (a) ұлғаяды,
 - (b) кішірейеді,
 - (c) сол қалпында қалады.
14. $R - L - C$ тізбектей қосылған айнымалы тізбекте 5 A ток ағады, егер қоректендіру көзінің кернеуі 100 В болса, ток пен кернеудің арасындағы фазалық бұрыш 60° қалып отырады, олай болса қандай тұжырым дұрыс емес?
- (a) тізбек – эффективті индуктивті
 - (b) толық қуат 500 ВА
 - (c) эквивалентті реактивті кедергі 20 Ом
 - (d) активті қуат 250 Вт
15. Тізбекте жалғанған айнымалы ток тізбегі орам мен конденсатордан тұратын көзіне жалғанған. Орамның индуктивтілігі 100 мНГ, кедергісі 1 Ом, ал конденсатордың сыйымдылығы 10 мкФ. Айнымалы қоректендіру көзінің кернеуі 10 В. Резонанс жағдайында конденсатордың шықпасындағы потенциалдар айырымы тең:
- (a) 10 кВ
 - (b) 1 кВ
 - (c) 100 В
 - (d) 10 В

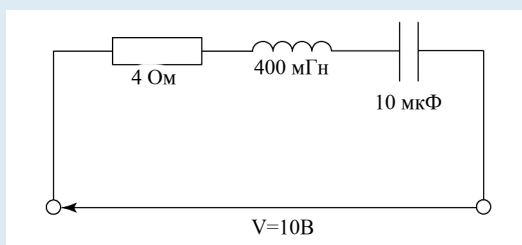
16. 15.26-суретте келтірілген тізбекте ағатын токтың амплитудасы қандай?

- (a) 21 А
- (b) 16.8 кВ
- (c) 28 А
- (d) 12 А



15.26-сурет

17. Егер қоректендіру көзінің жиілігі ұлғайса, резонанс жағдайында тізбектей қосылған $R - L - C$ тізбегінде, R -дың мәндері тұрақты, сонда сұлба қандай болады?
- (a) сыйымдылықты
 - (b) кедергі келтіре алатын реактивті,
 - (c) индуктивті
 - (d) резонансты
18. 15.27-суретте көрсеткендей, сұлба үшін сапалық Q -(фактор) мәні қандай?
- (a) 50
 - (b) 100
 - (c) 5×10^{-4}
 - (d) 40



15.27-сурет

19. $R - L - C$ тізбектей жалғанған тізбегінің 8 Ом кедергісін 100 мГн индуктивтілігі және 5 мкФ сыйымдылығы бар. Егер осы тізбектен 2 А ток өтсе, онда оның толық кедергісі резонанс жағдайында тең болатын мәні қандай?
- (a) 160 Ом
 - (b) 16 Ом
 - (c) 8 мОм
 - (d) 8 Ом

16-ТАРАУ

БІРФАЗАЛЫ ПАРАЛЛЕЛЬ АЙНЫМАЛЫ ТОК КӨЗІНІҢ СҰЛБАСЫ

Тараудың соңында меңгеретін сұрақтардың тізімі:

- (a) $R - L$, (b) $R - C$, (c) $L - C$, (d) $LR - C$ параллель айнымалы ток тізбектері үшін векторлық диаграммалардағы белгісіз тоқты, кедергіні және фазалық бұрышты есептей білу
- $LR - C$ тізбегі үшін параллель резонанс жағдайын түсіндіру
- $LR - C$ тізбегі үшін параллель айнымалы ток тізбегі үшін резонансты жиіліктің теңдеуін алу
- $LR - C$ тізбегі үшін параллель тізбектегі резонанс жағдайындағы динамикалық кедергі мен тоқты анықтай білу
- $LR - C$ тізбегі үшін параллель тізбектегі сапалылықты түсініп, оларды есептеулерде қолдана білу
- Қуаттылық коэффициентін жақсарту жолдары

16.1 Кіріспе

16.1- және 16.2-суреттерде көрсетілгендей параллель тізбектерде сұлбаның әрбір тармағы үшін кернеу жалпы болатындықтан, векторлық диаграмманы салғанда кернеу негізгі тірек ретінде алынады.

Кезкелген параллель айнымалы тізбек үшін:

Реалды немесе активті қуат,

$$P = VI \cos \varphi$$

Немесе

$$P = I^2 R$$

Толық қуат,

$$S = VI$$

Реактивті қуат,

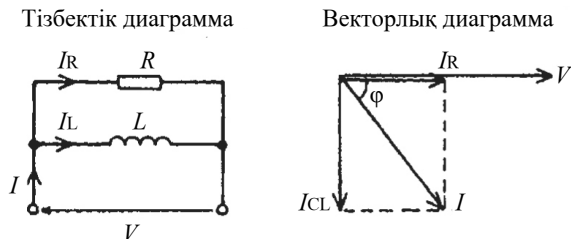
$$Q = VI \sin \varphi$$

$$\text{Қуаттылық коэффициент} = \frac{P}{S} = \cos \varphi$$

Мұндай формулалар 15-тарауда келтірілген тізбектей жалғанған тұрақты ток сұлбаларымен бірдей.

16.2 R–L Параллель айнымалы ток тізбектері

16.1-суретте көрсетілгендей R кедергі мен L индуктивтіліктен тұратын параллель тізбектің екі тармағындағы кедергіден өтетін I_R ток қоректендіру көзінің V кернеуімен бір фазада, ал индуктивтіліктен ағатын ток I_L қоректендіру көзінің кернеуінен 90° градусқа кешігіп отырады. Қоректендіру көзінің тогы I_R мен I_L -дің векторлық қосындысынан тұратындықтан, осы ток та түсірілген кернеуден 0° -тан 90° градусқа дейінгі диапазонда кешігіп отырады (I_R мен I_L мәндеріне сәйкес) және осы фазалық бұрыш векторлық диаграммада φ -мен көрсетіледі.



16.1-сурет

Векторлық диаграмма арқылы:

$$I = \sqrt{I_R^2 + I_L^2}$$

(Пифагор теоремасы бойынша)

Мұндағы,

$$I_R = \frac{V}{R} \text{ және } I_L = \frac{V}{X_L}$$

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{I_L}{I_R}, \sin \varphi = \frac{I_L}{I} \text{ және } \cos \varphi = \frac{I_R}{I}$$

(тригонометриялық қатынас арқылы)

Тізбектің толық кедергісі:

$$Z = \frac{V}{I}$$

1-есеп. Кедергісі 20 Ом резистор 2.387 мГн индуктивтілікпен кернеуі 60 В, жиілігі 1 кГц қоректендіру көзімен параллель жалғанған. Есептеу керек: (а) әрбір тармақтағы тоқты, (б) қоректендіру көзінің тоғын, (с) тізбектің фазалық бұрышын, (д) тізбектің кедергісін, (е) тұтынатын қуатты.

16.1-суретте тізбек пен фазалық диаграмма келтірілген.

(а) Резисторда ағатын ток,

$$I_R = \frac{V}{R} = \frac{60}{20} = 3 \text{ A}$$

Индуктивтілікте ағатын ток,

$$I_L = \frac{V}{X_L} = \frac{V}{2\pi fL} = \frac{60}{2\pi(1000)(2.387 \times 10^{-3})} = 4 \text{ A}$$

(б) Векторлық диаграммадан, қоректендіру көзінің тоғы, яғни тізбектің тоғы:

$$I = \sqrt{I_R^2 + I_L^2} = \sqrt{3^2 + 4^2} = 5 \text{ A}$$

(с) Тізбектің фазалық бұрышы,

$$\varphi = \text{tg}^{-1} \frac{I_L}{I_R} = \text{tg}^{-1} \frac{4}{3} = 53.13^\circ$$

53.13° кешігіп отырады;

(д) Тізбектің (импедансы) толық кедергісі,

$$Z = \frac{V}{I} = \frac{60}{5} = 12 \text{ Ом}$$

(е) Тұтынатын қуат,

$$P = VI \cos \varphi = (60)(5)(\cos 53.13^\circ) = 180 \text{ Вт}$$

(Тұтынатын қуатты басқаша жолмен есептеу:

$$I = I_R^2 R = (3)^2 (20) = 180 \text{ Вт})$$

Келесі жаттығуды есептендер.

91-жаттығу. R – L параллель айнымалы ток көзіне арналған қосымша есептер

- Кедергісі 30 Ом резистор 3 мГн таза индуктивтілікпен жиілігі 2 кГц, кернеуі 110 В қоректендіру көзі арқылы параллель жалғанған. Есептеу керек: (а) әрбір тармақтағы ток шамасын, (б) тізбектегі токты, (с) тізбектің фазалық бұрышын, (д) тізбектегі толық кедергіні, (е) тұтынатын қуатты, (ф) тізбектің қуат коэффициентін.

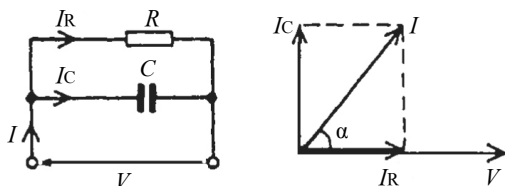
$[(a)I_R = 3.67 \text{ A}, I_L = 2.92 \text{ A} \text{ (b)} 4.69 \text{ A} \text{ (c)} 38.51^\circ \text{ кешігеді} \text{ (d)} 23.45 \text{ Ом} \text{ (e)} 404 \text{ Вт} \text{ (f)} 0.782 \text{ кешігеді}]$

- Кедергісі 40 Ом резистор ораммен параллель қосылған. Орамның индуктивтілігі L кедергісі болмашы (сондықтан ескерілмейді), кернеуі 200 В, жиілігі 50 Гц қоректендіру көзіне қосылған, сондағы тізбектің тогы 8 А. Векторлық диаграмманы салып, орамның индуктивтілігін табыңыз.

[102 мГн]

16.3 R – C параллель айнымалы ток тізбектері

Құрамында R кедергі мен C сыйымдылығы бар екі параллель тізбек 16.2-суретте келтірілген, I_R қоректендіру көзінің кернеуімен және конденсатордан өтетін токпен бір фазада болады, сонда V кернеу 90° градусқа озып отырады. Қоректендіру көзінің тогы I_R мен I_C -ның векторлық қосындысы болғандықтан осы ток енді түсірілген кернеуден озып отырады, сөйтіп фазалық бұрышы 0° -тан 90° градусқа дейін I_R мен I_C мәндеріне сай өзгеріп, суреттегі векторлық диаграммадағы келтірілген α бұрышымен сипатталады.



16.2-сурет

Векторлық диаграммадан:

$$I = \sqrt{I_R^2 + I_C^2}$$

(Пифагор теоремасы бойынша)

Мұндағы

$$I_R = \frac{V}{R} \text{ және } I_C = \frac{V}{X_C}$$

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{I_C}{I_R}, \quad \sin \alpha = \frac{I_C}{I} \quad \text{және} \quad \cos \alpha = \frac{I_R}{I}$$

(тригонометриялық қатынастар бойынша)

Тізбектің импедансы (толық кедергісі),

$$Z = \frac{V}{I}$$

2-есеп. Сыйымдылығы 30 мкФ конденсатор кедергісі 80 Ом резистормен кернеуі 240 В, жиілігі 50 Гц қоректендіру көзі арқылы параллель жалғанған. Есептеу керек: (а) әрбір тармақтағы токты, (б) тізбектің тогын, (с) тізбектің фазалық бұрышын, (д) тізбектің толық кедергісін (импедансын), (е) жұмсалатын қуатты, (ф) толық қуатты.

16.2-суреттен тізбектің және векторлық диаграмманың сұлбасы келтірілген.

(а) Резистордағы ток

$$I_R = \frac{V}{R} = \frac{240}{80} = 3 \text{ A}$$

Конденсатордағы ток,

$$I_C = \frac{V}{X_C} = \frac{V}{\left(\frac{1}{2\pi fC} \right)} = 2\pi fCV = 2\pi(50)(30 \times 10^{-6})(240) = 2.262 \text{ A}$$

(б) Қоректендіру көзінің, яғни тізбектің тогы,

$$I = \sqrt{I_R^2 + I_C^2} = \sqrt{3^2 + 2.262^2} = 3.757 \text{ A}$$

(с) Тізбектің фазалық бұрышы,

$$\alpha = \operatorname{tg}^{-1} \frac{I_C}{I_R} = \operatorname{tg}^{-1} \frac{2.262}{3} = 37.02^\circ$$

озып отырады

(d) Тізбектің импедансы, яғни толық кедергісі,

$$Z = \frac{V}{I} = \frac{240}{3.757} = 63.88 \text{ Ом}$$

(e) Индикаторлы немесе активті қуаттың жұмсалуды:

$$P = VI \cos \alpha = (240)(3.757) \cos 37.02^\circ = 720 \text{ Вт}$$

(Индикаторлы қуатты басқаша жолмен есептеу:

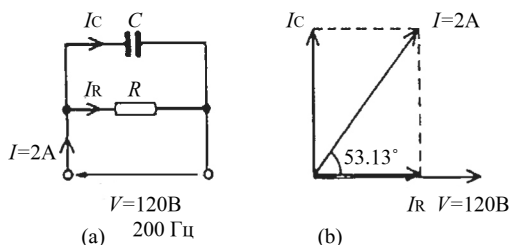
$$P = I_R^2 R = (3)^2 (80) = 720 \text{ Вт}$$

(f) Толық қуат,

$$S = VI = (240)(3.757) = 901.7 \text{ ВА}$$

3-есеп. Сыйымдылығы C конденсатор R резистормен кернеуі 120 В жиілігі 200 Гц қоректендіру көзі арқылы параллель қосылған. Қуаттық коэффициенті 0.6 болғанда тұтынатын токтың шамасы 2 А-ге озып отырады. C мен R -дің мәндерін табыңыздар.

16.3(a)-суретте тізбектің диаграммасы келтірілген.



16.3-сурет

Қуат коэффициенті $\cos \alpha = 0.6$ озып отыр, олай болса

$$\varphi = \cos^{-1} 0.6 = 53.13^\circ$$

градуска озады деген сөз.

Векторлық диаграммадағы 16.3 (b)-суреттен

$$I_R = I \cos 53.13^\circ = (2)(0.6) = 1.2 \text{ А}$$

және

$$I_C = I \sin 53.13^\circ = (2)(0.8) = 1.6 \text{ А}$$

(I_R мен I_C -тің мәндерін басқаша жолмен, яғни вектордың масштабты сұлбасы бойынша да өлшеуге болады).

Тізбектің диаграммасынан,

$$I_R = \frac{V}{R}$$

осыдан

$$R = \frac{V}{I_R} = \frac{120}{1.2} = 100$$

және

$$I_C = \frac{V}{X_C} = 2\pi fCV$$

$$C = \frac{I_C}{2\pi fV} = \frac{1.6}{2\pi(200)(120)} = 10.61 \text{ мкФ}$$

Келесі жаттығуды орындаңыздар.

92-жаттығу. $R - C$ параллель айнымалы ток көзіне арналған қосымша есептер

1. Сыйымдылығы 1500 нФ конденсатор кедергісі 16 Ом резистормен параллель жалғанған. Олар кернеуі 10 В, жиілігі 10 кГц қоректендіру көзіне қосылған. Есептеу керек: (а) әрбір тармақтағы ток шамасын, (b) қоректендіру көзінің тогын, (с) тізбектің фазалық бұрышын, (d) тізбектің импедансын, (е) тұтынатын қуатты, (f) толық қуатты, (g) тізбектің қуаттық коэффициентін. Векторлық диаграмманың суретін салыңыз.

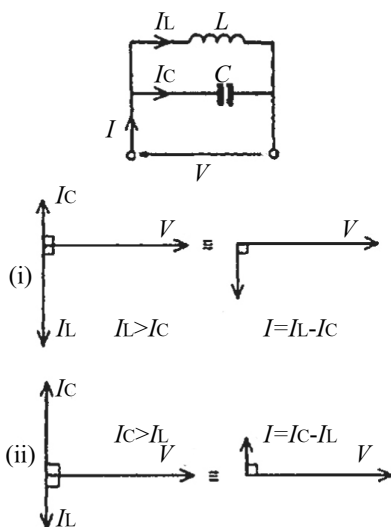
$[(a) I_R = 0.625 \text{ A}, I_C = 0.943 \text{ A} \quad (b) 1.131 \text{ A},$
 $(c) 56.46^\circ \text{ озып отырады}, (d) 8.84 \text{ Ом} \quad (e) 6.25 \text{ Вт}$
 $(f) 11.31 \text{ ВА} \quad (g) 0.553 \text{ озып отырады}]$

2. Сыйымдылығы C конденсатор кедергісі R резистормен кернеуі 60 В, жиілігі 100 Гц қоректендіру көзімен параллель жалғанған. Қоректендіру көзінің тогы 0.6 А болғанда қуаттық коэффициент 0.8-ге озып отырады. R мен C мәндерін есептеңіз.

$[R = 1250 \text{ Ом}, C = 9.55 \text{ мкФ}]$

16.4 L – C параллель тізбек

Тізбектің екі параллель тармақтарында L индуктивтілік пен C сыйымдылық *16.4-суретте* көрсеткендей I_L индуктивтік ток V кернеуден 90° -қа кешігіп және I_C -сыйымдылық тогы V кернеуден 90° -қа озып отырады.



16.4-сурет

Теоретикалық түрде I_L мен I_C екеуінің салыстырмалы қатынастарына сай үш векторлық диаграммалар болуы мүмкін:

- 1) $I_L > I_C$ ($I = I_L - I_C$ коректендіру көзінің тогы V -кернеуден 90° кешігіп отырады)
- 2) $I_C > I_L$ ($I = I_C - I_L$ коректендіру көзінің тогы V -кернеуден 90° озып отырады)
- 3) $I_L = I_C$ (коректендіру көзінің тогы $I = 0$)

Ең соңғы жағдай іс жүзінде тізбектің кедергісіне байланысты практика жүзінде кездеспейді (16.5-тарауда келтіргендей).

$L - C$ параллель тізбек үшін

$$I_L = \frac{V}{X_L}, I_C = \frac{V}{X_C}$$

$I = I_L$ мен I_C арасындағы векторлық айырмашылық және

$$Z = \frac{V}{I}$$

4-есеп. Таза индуктивтілігі 120 мГн, сыйымдылығы 25 мкФ конденсатормен қоректендіру көзі параллель жалғанған. Қоректендіру көзінің кернеуі 100 В және жиілігі 50 Гц. Есептеу керек: (а) тармақтағы токты, (б) қоректендіру көзінің тогы мен оның фазалық бұрышын, (с) тізбектің импедансын, (d) тұтынатын қуатты.

16.4-суретте тізбек пен векторлық диаграмманың сұлбалары келтірілген.

(а) Индуктивті кедергі,

$$X_L = 2\pi fL = 2\pi(50)(120 \times 10^{-3}) = 37.70 \text{ Ом}$$

Сыйымдылықтық кедергі,

$$X_C = \frac{1}{2\pi fC} = \frac{1}{2\pi(50)(25 \times 10^{-6})} = 127.3 \text{ Ом}$$

Индуктивтіліктен өтетін ток,

$$I_L = \frac{V}{X_L} = \frac{100}{37.70} = 2.653 \text{ А}$$

Конденсатордан өтетін ток,

$$I_C = \frac{V}{X_C} = \frac{100}{127.3} = 0.786 \text{ А}$$

(b) I_L мен I_C антифазада, олай болса қоректендіру көзінің тогы,

$$I = I_L - I_C = 2.653 - 0.786 = 1.867 \text{ А}$$

Ток қоректендіру көзінің кернеуінен 90° градусқа кешігіп отырады, (16.4(1)-суретті қараңыз).

(с) Тізбектің импедансы,

$$Z = \frac{V}{I} = \frac{100}{1.867} = 53.56$$

(d) Тұтынатын қуат,

$$P = VI\cos\phi = (100)(1.867)\cos 90^\circ = 0 \text{ Вт}$$

5-есеп. Жиілік 150 Гц-қа өзгерді деп, 4-есептің берілгеніне сай есепті қайталап шығарыңыз.

(a) Индуктивтік кедергі,

$$X_L = 2\pi (150)(120 \times 10^{-3}) = 113.1 \text{ Ом}$$

Сыйымдылықтық кедергі,

$$X_C = \frac{1}{2\pi(150)(25 \times 10^{-6})} = 42.44$$

Индуктивтіліктен өтетін ток,

$$I_L = \frac{V}{X_L} = \frac{100}{113.1} = 0.884 \text{ А}$$

Конденсатордан өтетін ток,

$$I_C = \frac{V}{X_C} = \frac{100}{42.44} = 2.356 \text{ А}$$

(b) Қоректендіру көзінің тогы, тұтыну тогы,

$$I = I_C - I_L = 2.356 - 0.884 = 1.472 \text{ А}$$

Кернеуді тұтыну тогы 90 градусқа озып отырады (16.4 (2)-сурет)

(c) Тізбектің импедансы,

$$\frac{V}{I} = \frac{100}{1.472} = 67.93$$

(d) Тұтынатын қуат,

$$P = VI \cos \varphi = 0 \text{ Вт}, (\varphi = 90^\circ)$$

4 пен 5-есептерден:

(1) $X_L < X_C$ болғанда $I_L > I_C$ сонда I ток V кернеуден 90° -қа қалып отырады

(2) $X_L > X_C$ болғанда $I_L < I_C$ сонда ток V кернеуден 90° -қа озып отырады

(3) Кедергісі жоқ параллельді тізбекте тұтынатын қуат нөлге тең.

Келесі жаттығуды орындаңыздар.

93-жаттығу. $L - C$ параллель тізбекке арналған қосымша есептер

- 80 мГн индуктивтілік сыйымдылығы 10 мкФ конденсатормен кернеуі 60 В, жиілігі 100 Гц қоректендіру көзі арқылы параллель қосылған. Есептеу керек: (а) тармақтағы тоқты, (б) қоректендіру көзінің тогы, (с) тізбектің фазалық бұрышын, (д) тізбектің импедансын, (е) тұтынатын қуатты.

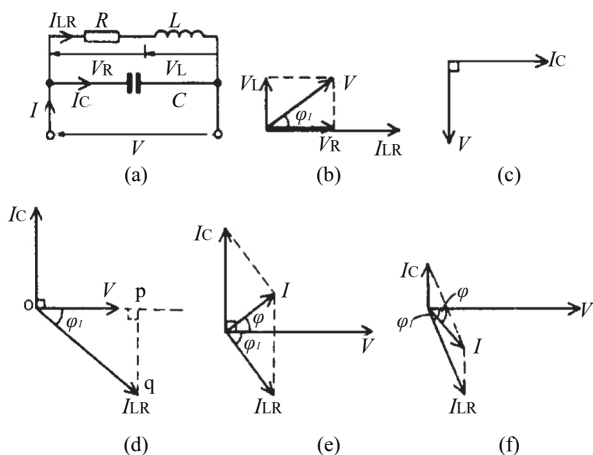
$$[(a) I_C = 0.377 \text{ A}, I_L = 1.194 \text{ A}, (b) 0.814 \text{ A} \\ (c) 90^\circ \text{ кешігеді } (d) 73.44 \text{ Ом } (e) 0]$$

- Жиілігі 200 Гц қоректендіру көзі үшін 1-есептің берілгенін пайдаланып, қайта шығарыңыздар.

$$[(a) I_C = 0.754 \text{ A}, I_L = 0.597 \text{ A}, (b) 0.157 \text{ A}, \\ (c) 90^\circ \text{ озады } (d) 382.2 \text{ Ом } (e) 0 \text{ Вт}]$$

16.5 $LR-C$ параллель айнымалы тізбек тогы

Тізбектің екі тармағындағы C сыйымдылығы мен L индуктивтілік параллельді және R кедергімен (мысалы орам) тізбектей жалғанғаны 16.5-суретте көрсетілген, векторлық диаграммалар LR тармағы үшін 16.5(b)-суретте, ал C тармағы үшін 16.5(c)-суретте келтірілген. Векторлардың әрқайсысының айналуы мен бір-бірімен келтірілген қабаттасуы 16.5(d)-суретте толық диаграмманы береді.



16.5-сурет

16.5(d)-суретте келтіргендей, I_{LR} -ток горизонталь және веритикаль компоненттерге бөліне алады. op – горизонталь құраушысы $I_{LR}\cos\varphi_1$ -пен және pq -вертикаль құраушысы $I_{LR}\sin\varphi_1$ өрнектерімен беріледі. Осы сұлбаны орындаудың үш түрлі жағдайы кездеседі:

1) $I_C > I_{LR}\sin\varphi_1$ болғанда I қоректендіру көзінің тогы V кернеуден 16.5(e)-суретте келтіргендей φ° -қа озып отырады.

2) $I_{LR}\sin\varphi_1 > I_C$ болғанда I ток V кернеуден 16.5(f)-суретте келтіргендей φ° -қа кешігіп отырады

3) $I_C = I_{LR}\sin\varphi_1$ шартын **параллельді резонанс** деп атайды.

I_{LR} мен I_C токтарының векторлық қосындыларын табудың екі әдісін 16.5(f)- және (e)-суреттерінен көруге болады. Осы әдістерді (1) масштабты векторлық диаграмма арқылы; (2) 6 және 7-есептерде келтіргендей әрбір токты «**фазалы**» (яғни, горизонталь бойынша) және «**квадратуралы**» (яғни, вертикалды) компоненттеріне бөлу арқылы орындауға болады.

16.5-суреттегі векторлық диаграммадан:

LR -тармағының импедансы,

$$Z_{LR} = \sqrt{R^2 + X_L^2}$$

Ток,

$$I_{LR} = \frac{V}{Z_{LR}} \text{ және } I_C = \frac{V}{X_C}$$

Қоректендіру көзінің тогы,

$I = I_{LR}$ мен I_C векторлық қосындысы (сурет бойынша)

$$I = \sqrt{(I_{LR} \cos\varphi_1)^2 + (I_{LR} \sin\varphi_1 \sim I_C)^2}$$

(есептеу нәтижесінде)

Мұндағы – дегеніміз екеуінің арасындағы айырмашылық.

Тізбектің импедансы,

$$Z = \frac{V}{I}$$

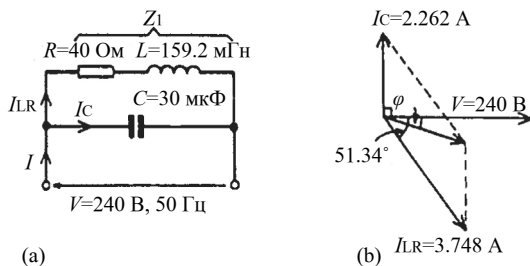
$$\operatorname{tg} \varphi_1 = \frac{V_L}{V_R} = \frac{X_L}{R}$$

$$\sin \varphi_1 = \frac{X_L}{Z_{LR}} \text{ және } \cos \varphi_1 = \frac{R}{Z_{LR}}$$

$$\operatorname{tg} \varphi_1 = \frac{I_{LR} \sin \varphi_1}{I_{LR} \cos \varphi_1} : I_C \quad \text{және} \quad \cos \varphi = \frac{I_{LR} \cos \varphi_1}{I}$$

6-есеп. Индуктивтілігі 159.2 мГн орам және 40 Ом кедергі сыйымдылығы 30 мкФ конденсатормен параллель қосылып, жиілігі 50 Гц, кернеуі 240 В қоректендіру көзіне жалғанған. Есептеу керек: (а) орамдағы токты және фазалық бұрышты, (б) конденсатордағы ток пен оның фазалық бұрышын, (с) қоректендіру көзінің тогы мен фазалық бұрышты, (д) тізбектің импедансын, (е) тұтынатын қуатты, (ф) толық қуатты, (г) реактивті қуатты. Осы берілген параметрлер бойынша векторлық диаграмманың суретін салыңыздар.

16.6 (а)-суретте тізбектің диаграммасы келтірілген.



16.6-сурет

(а) Орам үшін индуктивті кедергі,

$$X_L = 2\pi fL = 2\pi(50)(159.2 \times 10^{-3}) = 50 \text{ Ом}$$

Импеданс,

$$Z_1 = \sqrt{R^2 + X_L^2} = \sqrt{40^2 + 50^2} = 64.03 \text{ Ом}$$

Орамдағы ток,

$$I_{LR} = \frac{V}{Z_1} = \frac{240}{64.03} = 3.748 \text{ А}$$

Тармақтың фазалық бұрышы,

$$\varphi_1 = \operatorname{tg}^{-1} \frac{X_L}{R} = \tan^{-1} \frac{50}{40} = \operatorname{tg}^{-1} 1.25 = 51.34^\circ$$

градуска кешігеді.

- (16.6(b)-суреттегі векторлық диаграмманы қараңыз).
 (b) Сыйымдылықтық кедергі,

$$X = \frac{1}{2\pi fC} = \frac{1}{2\pi(50)(30 \times 10^{-6})} = 106.1 \text{ Ом}$$

Конденсатордағы ток,

$$I_C = \frac{V}{X_C} = \frac{240}{106.1} = 2.262 \text{ А}$$

қоректендіру кернеуінен 90° -қа озып отырады (16.6(b)-суретті векторлық диаграмманы қараңыз).

- (c) Қоректендіру көзінің I тогы I_{LR} мен I_C токтарының векторлық қосындысынан тұрады. Токты өлшеу арқылы масштаб бойынша векторлық диаграмманы және I_{LR} кернеумен салыстырғандағы фазалық бұрышты салуға болады. Ток әрқашан 16.6(b)-суреттегі параллелограмның диагонали болып келеді.

I_{LR} мен I_C токтары олардың вертикаль және горизонталь құраушыларына жіктеле алады, яғни «фазалы» немесе «квадратуралы» компоненттеріне жіктеледі.

I_{LR} -дің горизонталь құраушысы:

$$I_{LR} \cos 15.34^\circ = 3.748 \cos 51.34^\circ = 2.341 \text{ А}$$

I_C -дің горизонталь құраушысы:

$$I_C \cos 90^\circ = 0$$

Олай болса, жалпы горизонталь құраушысы:

$$I_{гориз.} = 2.341 \text{ А}$$

I_{LR} вертикаль құраушысы:

$$I_{LR} \sin 15.34^\circ = -3.748 \sin 51.34^\circ = -2.927 \text{ А}$$

I_C -ің вертикаль құраушысы,

$$I_C \sin 90^\circ = -2.262 \sin 90^\circ = -2.262 \text{ А}$$

Олай болса жалпы вертикаль құраушы үшін:

$$I_{верт} = -2.927 + 2.262 = -0.665 \text{ А}$$

16.7 суретте келтірілген, осыдан:

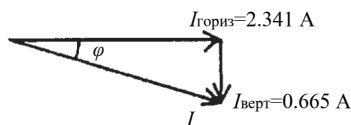
$$I = \sqrt{2.341^2 + (-0.665)^2} = 2.434 \text{ А}$$

Бұрыш,

$$\varphi = \operatorname{tg}^{-1} \frac{0.665}{2.341} = 15.86^\circ$$

15.86 градуска кешігеді.

Олай болса қоректендіру көзінің тогы $I = 2.434 \text{ A}$ кернеуден 15.86° градуска кешігеді.



16.7-сурет

(d) Тізбектің импедансы,

$$Z = \frac{V}{I} = \frac{240}{2.434} = 98.60 \text{ Ом}$$

(e) Тұтыну қуаты,

$$P = VI \cos \varphi = (240)(2.434) \cos 15.86^\circ = 562 \text{ Вт}$$

басқаша,

$$P = I_R^2 R = I_{LR}^2 R = (3.748)^2 (40) = 562 \text{ Вт}$$

(f) Толық қуат,

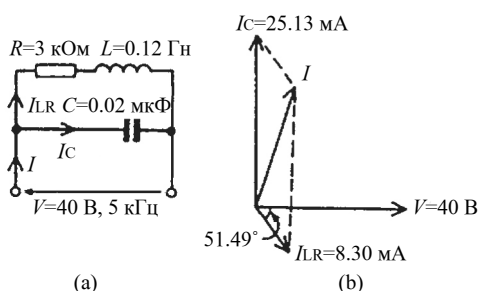
$$S = VI = (240)(2.434) = 584.2 \text{ ВА}$$

(g) Реактивті қуат,

$$Q = VI \sin \varphi = (240)(2.434) \sin 15.86^\circ = 159.9 \text{ Вт реактивті}$$

7-есеп. Индуктивтілігі 0.12 Гн, кедергісі 3 кОм орам сыйымдылығы 0.02 мкФ конденсатормен параллель қосылған және оларға жиілігі 5 кГц қоректендіру көзінен 40 В кернеу беріледі. Сонда анықтаңыздар: (a) орамдағы токты, (b) конденсатордағы токты, (c) масштаб бойынша векторлық диаграмманы салу арқылы ток пен оның фазалық бұрышын, (d) тізбектің импедансын, (e) тұтынатын қуатты.

16.8 (a)-суретте тізбектің диаграммасы келтірілген.



16.8-сурет

(a) Индуктивті кедергі,

$$X_L = 2\pi fL = 2\pi(5000)(0.12) = 3770 \text{ Ом}$$

Орамның импедансы,

$$Z_1 = \sqrt{R^2 + X_L^2} = \sqrt{3000^2 + 3770^2} = 4818 \text{ Ом}$$

Орамдағы ток,

$$I_{LR} = \frac{V}{Z_1} = \frac{40}{4818} = 8.30 \text{ мА}$$

Тармақтың фазалық бұрышы,

$$\varphi = \operatorname{tg}^{-1} \frac{X_L}{R} = \operatorname{tg}^{-1} \frac{3770}{3000} = 51.49^\circ$$

кешігіп отырады.

(b) Сыйымдылықтық кедергі,

$$X_C = \frac{1}{2\pi fVC} = \frac{1}{2\pi(5000)(0.02 \times 10^{-6})} = 1592 \text{ Ом}$$

Конденсатордағы ток,

$$I_C = \frac{V}{X_C} = \frac{40}{1592} = 25.13 \text{ мА}$$

25.13 мА I_C -ы V кернеуі 90° градусқа озып отырады.

(c) I_{LR} мен I_C 16.8-суретте векторлық диаграммалары келтірілген.

Қоректендіру көзінің тогы суретте келтірілген параллелограмның диагоналы болып табылады. **19.3 мА** деп өлшенген ток кернеуден **74.5°** градусқа озып отырады.

Есептеу арқылы табамыз:

$$I = \sqrt{(I_{LR} \cos 51.49^\circ)^2 + (I_C - I_{LR} \sin 51.49^\circ)^2} = 19.34 \text{ мА}$$

және

$$\varphi = \operatorname{tg}^{-1} \left(\frac{I_C - I_{LR} \sin 51.5^\circ}{I_{LR} \cos 51.5^\circ} \right) = 74.50^\circ$$

(d) Тізбектің импедансы,

$$Z = \frac{V}{I} = \frac{40}{19.34 \times 10^{-3}} = 2.068 \text{ кОм}$$

(e) Тұтынатын қуат,

$$P = VI \cos \varphi = (40)(19.34 \times 10^{-3}) \cos 74.50^\circ = 206.7 \text{ мВт}$$

басқаша жолмен шығарғанда,

$$P = I_R^2 R = I_{LR}^2 R = (8.30 \times 10^{-3})^2 (3000) = 206.7 \text{ Вт}$$

Келесі жаттығуды орындаңыздар.

94-жаттығу. $LR - C$ параллель айнымалы тізбек тогына қосымша есептер

- Кедергісі 60 Ом, индуктивтілігі 318.4 мГн орам сыйымдылығы 15 мкФ конденсатормен кернеуі 200 В, жиілігі 50 Гц қоректендіру көзі арқылы параллель жалғанған. Есептеу керек: (a) орамдағы токты, (c) конденсатордағы токты, (с) қоректену көзінің тогы мен фазалық бұрышты, (d) тізбектің импедансын, (e) толық қуатты, (f) реактивті қуатты. Диаграмманың суретін сызыңыз.

[(a) 1.715 A (b) 0.943 A (c) 1.028 A ток 30.88° кешігіп отырады

(d) 194.6 Ом (e) (b) 176.5 Вт (f) 205.6 ВА (g) 105.5 ВА реактивті]

- Сыйымдылығы 25 нФ конденсатор кедергісі 2 кОм, индуктивтілігі 0.20 Гн ораммен кернеуі 100 В, жиілігі 4 кГц қоректендіру көзі арқылы параллель жалғанған. (a) Орамдағы токты, (b)

конденсатордағы токты, (с) қоректендіру көзінің тогы мен фазалық бұрышты, (d) масштаб бойынша және есептеулер жолымен анықталған векторлық диаграмманы сызып, тізбектің импедансын және (е) тұтыну қуатын есептеңіз.

[(a) 18.48 мА (b) 62.83 мА
(c) 46.17 мА ток 81.49° озып отырады
(d) 2.166 кОм (e) 0.683 Вт]

16.6 Параллельді резонанс пен сапалылық (Q-фактор)

Параллельді резонанс

Сыйымдылық R мен R индуктивтілік параллельді жалғанған және R кедергі тізбектей қосылған 16.5-суреттегі сұлбаның екі тармағы резонансқа ұшырайды, сонда I_C -дің «квадратурасы» (яғни, вертикалды құраушысы) I_C -қа эквивалентті. Мұндай жағдайда I қоректендіру көзінің ток күші қоректендіру көзінің кернеуімен бір фазада болады.

Жиілікті резонанс

I_{LR} -дің квадрат (яғни, вертикалды) құраушысы I_C -ке эквивалентті болса (16.9-сурет) сонда:

$$I_C = I_{LR} \sin \phi_1$$

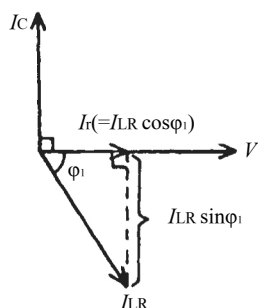
$$\frac{V}{X_C} = \left(\frac{V}{Z_{LR}} \right) \left(\frac{X_L}{Z_{LR}} \right) \quad (16.5\text{-тараудан})$$

Осыдан

$$Z_{LR}^2 = X_L X_C = (2\pi f_r L) \left(\frac{1}{2\pi f_r C} \right) = \frac{L}{C}$$

Сондықтан,

$$\left[\sqrt{R^2 + X_L^2} \right]^2 = \frac{L}{C} \text{ және } R^2 + X_L^2 = \frac{L}{C}$$



16.9-сурет

Олай болса,

$$(2\pi f_r L)^2 = \frac{L}{C} - R^2 \text{ және } 2\pi f_r L = \sqrt{\frac{L}{C} - R^2}$$

$$f_r = \frac{1}{2\pi L} \sqrt{\frac{L}{L^2 C} - R^2} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{L}{L^2 C} - \frac{R^2}{L^2}}$$

Яғни параллельді резонансты жиілік,

$$f_r = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{L}{L^2 C} - \frac{R^2}{L^2}}$$

(R кедергі болмашы болғандықтан, енді параллельді резонансты жиілік $f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$ тізбектей резонансты жиілігіндей болады).

Резонанс жағдайындағы ток

Резонанстағы ток,

$$I_r = I_{LR} \cos \varphi_1$$

(16.9-суреттен)

$$= \left(\frac{V}{Z_{LR}} \right) \left(\frac{R}{Z_{LR}} \right)$$

(16.5-баптан)

$$= \frac{VR}{Z_{LR}^2}$$

Алайда (1) теңдеуден,

$$Z_{LR}^2 = I / C$$

олай болса

$$I_r = \frac{VR}{(L/C)} = \frac{VRC}{L} \quad (2)$$

Олай болса резонанс жағдайында қоректендіру көзіндегі ток күші **минималды**.

Динамикалық кедергі

Резонанс жағдайында ток кернеумен фазалы болса, тізбектің импедансы кедергі рөлін атқарады. Мұндай кедергі **динамикалық кедергі** деп аталады және R_D деп белгіленеді.

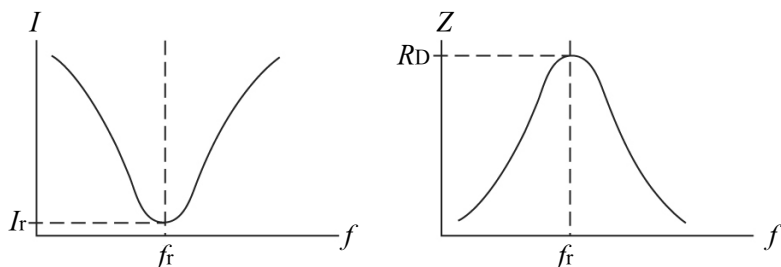
(2) теңдеуден резонанс жағдайындағы импеданс

$$R_D = \frac{V}{I_r} = \frac{V}{\left(\frac{VRC}{L}\right)} = \frac{L}{RC}$$

Яғни динамикалық кедергі,

$$R_D = \frac{L}{RC} \text{ Ом}$$

Параллель тізбек үшін резонанс жанындағы жиілікпен сипатталған ток пен импеданс арасындағы байланыс графигі *16.10-суретте* келтірілген және ол тізбектей жалғанған сұлбаның кері жағдайы ретінде қарастырылады.



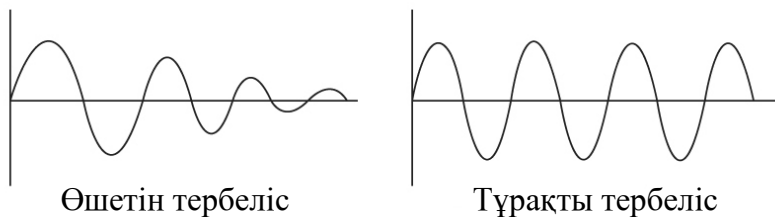
16.10-сурет

Режектор контуры

Параллельді резонансты контур көбінесе тізбектің режекторы (тосқын сүзгісі) түрінде келтіреді, резонансты жиілікте ол кедергінің максималды мәнін бере алады, сондықтан қорытынды ток минималды бола алады.

Механикалық ұқсастық

Электрлік резонансты параллельді сұлбалар үшін серіппеде ілулі тұрған массамен салыстыруға болады, мысалы, егер серіппені созып содан кейін оны босатып жіберсе, ол жоғары және төмен тербеле бастайды, алайда соңынан үйкелістің әсерінен тербеліс баяуланып, өшіп қалады. Массаның тербелісін сақтап қалу үшін серіппе өзінің максималды мәніне жеткен кезде оған әрдайым шамалы болса да бір күш әсер етуі керек, міне тура осындай жағдай электрлік тізбегінде де жүріп жатады. Токтың шығынын болдырмас үшін және осы тербелісті сақтап қалу үшін токтың шамалы мөлшері болса да қажет; міне осындай жағдайдың екі түрі *16.11-суретте* келтірілген.



16.11-сурет

Резонансты қолдану

Тізбекте айнымалы сигналдарды өндіру үшін **тұрақты жиілікті** орнату арқылы резонанс құбылысын пайдаланады. Мұндай жағдайлар үшін энергияны өзара алмастыра алатын конденсатор мен индуктивті орам бір-бірімен тікелей қосылып, әдетте параллель тізбектер құрайды. Сағат механизмінің тербелісін тұрақтандыру үшін маятник қандай қажет болса тура сондай параллельді тізбектерде де айнымалы тербелмелі контурдағы электр жиіліктерін тұрақтандыру қажет.

Резонансты қолданудың басқа мысалы ретінде белгілі бір жиіліктерде кедергілерді әлдеқайда ұлғайту немесе кішірейту әсерлері жатады. Резонансты контуржиіліктік «блоктар» үшін немесе жиіліктер диапазон үшін қолданылуы мүмкін (өте жоғары импедансқа қарай). Олай болса, ол нағыз сүзгі рөлін атқарып, көптеген жиіліктердің ішінен тек арнайы

қажетті жиіліктерді ғана іріктей алады. Осындай жеке тізбектер **сүзгі** деп аталады және олардың конструкциялары 17-тарауда келтіріледі. Шынын айтқанда, радиоқабылдағыштардағы аналогты сұлбалар сүзгі рөлін атқарып, белгілі бір жиіліктерді бөліп антеннамен ұстап ала алады. Қандай да болсын бір радиостанция жеті түрлі жиілікте жұмыс істей алуы мүмкін.

Сапалылық (Q-фактор)

Қоректендіру көзінен жоғары ток параллель тармақтардың ішінде циркуляцияланады, бұл тармақтар резонансты контурға параллель, сөйтіп конденсатордан шығатын ток индуктивтілік орамда магнит өрісін тудырады, сондай жағдайда конденсатор біресе зарядсызданып немесе зарядталып тұрады да, сол түрінде қайталана береді. Параллель резонансты контурдың сапалылығы дегеніміз тізбектегі параллель тармақтарда циркуляцияланған токтың қоректендіру көзінің тогына қатынасын, яғни **тоқтың ұлғаюын** айтады.

Яғни, **резонанстағы Q-фактор = токтың ұлғаюы**
= «циркуляцияланған ток/қоректендіру көзіндегі ток»

$$\begin{aligned}
 &= \frac{I_c}{I_r} \\
 &= \frac{I_{LR} \sin \varphi_1}{I_r} \\
 &= \frac{I_{LR} \sin \varphi_1}{I_{LR} \cos \varphi_1} = \frac{\sin \varphi_1}{\cos \varphi_1} = \operatorname{tg} \varphi_1 \\
 &= \frac{X_L}{R}
 \end{aligned}$$

Резонанс жағдайындағы **Q-фактор**,

$$Q = \frac{2\pi f_r L}{R}$$

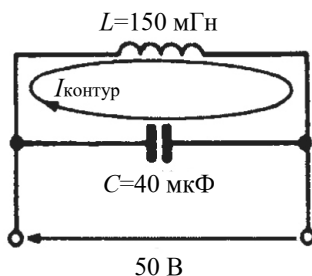
(тізбектей жалғанған сұлбамен бірдей).

Айта кету керек, **параллель** тізбекте **Q-фактор ток шамасының ұлғаюының көрсеткіші** болып табылса, ал **тізбектей** жалғанған кезде **кернеудің ұлғаюын** білдіретін көрсеткішке айналады. Жиіліктер желісіндегі параллель тізбектерде **Q-фактор** төмен, әдетте оның шамасы

10-нан кем болып келеді, алайда радиожиіліктік тізбектерде сапалылық, яғни **Q-фактор** өте жоғары болуы мүмкін.

8-есеп. 150 мГн таза индуктивтілік сыйымдылығы 40 мкФ конденсатормен кернеуі 50 В жиілігі айнымалы қоректендіру көзі арқылы параллель қосылған. Анықтау керек: (а) контурдың резонансты жиілігін, (б) конденсаторда циркуляцияланған токты және резонанс жағдайдағы индуктивтілікті.

16.12-суретте тізбектің диаграммасы келтірілген.



16.12-сурет

(а) Параллельді резонансты жиілік,

$$f_r = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{1}{LC} - \frac{R^2}{L^2}}$$

Олай болса, кедергі $R = 0$, олай болса,

$$\begin{aligned} f_r &= \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{1}{LC}} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{1}{(150 \times 10^{-3})(40 \times 10^{-6})}} \\ &= \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{10^7}{(15)(4)}} = \frac{10^3}{2\pi} \sqrt{\frac{1}{6}} = 64.93 \text{ Гц} \end{aligned}$$

(б) L мен C -да циркуляцияланатын ток резонанс жағдайында,

$$I_{\text{цирк. ток}} = \frac{V}{X_C} = \frac{V}{\left(\frac{1}{2\pi f_r C} \right)} = 2\pi f_r C V$$

Олай болса,

$$I_{\text{цирк.ток}} = 2\pi(64.97)(40 \times 10^{-6})(50) = 0.816 \text{ A}$$

(басқаша жолмен шығарған нәтиже:

$$I_{\text{цирк.ток}} = \frac{V}{X_L} = \frac{V}{2\pi f_r L} = \frac{50}{2\pi(64.97)(0.15)} = 0.817 \text{ A})$$

9-есеп. Индуктивтілігі 0.2 Гн және кедергісі 60 Ом орам сыйымдылығы 20 мкФ конденсатормен параллель жалғанған. Қоректендіру көзінің кернеуі 20 В ал жиілігі айнымалы. Есептеу керек: (а) резонансты жиілікті, (б) динамикалық кедергіні, (с) резонанстағы токты, (д) резонанс жағдайындағы сапалылықты.

(а) Параллель резонансты жиілік,

$$\begin{aligned} f_r &= \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{1}{LC} - \frac{R^2}{L^2}} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{1}{(0.20)(20 \times 10^{-6})} - \frac{(60)^2}{(0.20)^2}} \\ &= \frac{1}{2\pi} \sqrt{250000 - 90000} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{160000} = \frac{1}{2\pi} (400) = 63.66 \text{ Гц} \end{aligned}$$

(б) Динамикалық кедергі,

$$R_D = \frac{L}{RC} = \frac{0.20}{(60)(20 \times 10^{-6})} = 166.7 \text{ Ом}$$

(с) Резонанстағы ток,

$$I_r = \frac{V}{R_D} = \frac{20}{166.7} = 0.12 \text{ A}$$

(д) Резонанс жағдайындағы сапалылық, яғни Q -фактор

$$Q = \frac{2\pi f_r L}{R} = \frac{2\pi(63.66)(0.20)}{60} = 1.33$$

Резонанстағы Q -факторды басқаша жолмен де табуға болады:
= токтың ұлғаюы, (параллель тізбек үшін)

$$Q = \frac{I_c}{I_r}$$

$$I_c = \frac{V}{X_c} = \frac{V}{\left(\frac{1}{2\pi f_r C} \right)} = 2\pi f_r CV =$$

$$= 2\pi(63.66)(20 \times 10^{-6})(20) = 0.16 \text{ A}$$

олай болса **Q-фактор**,

$$Q = I_c / I_r = 0.16 / 0.12 = 1.33$$

жоғарыда алынған жауаппен бірдей.

10-есеп. Индуктивтілігі 100 мГн және кедергісі 800 Ом орам сыйымдылығы айнымалы конденсатормен параллель жалғанған. Қоректендіру көзінің кернеуі 12 В, жиілігі 5кГц. Қоректендіру ток көзінің шамасының мәні минималды шарты үшін келесі параметрлерді анықтаңыз: (а) Конденсатордың сыйымдылығын, (б) динамикалық кедергіні, (с) қоректендіру көзінің ток күшін, (д) Q-факторды.

(а) Қоректендіру көзінің тогы минималды болады, егер параллельді тізбектер резонанста және жиіліктік резонанста болса.

$$f_r = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{1}{LC} - \frac{R^2}{L^2}}$$

С үшін,

$$(2\pi f_r)^2 = \frac{1}{LC} - \frac{R^2}{L^2}$$

$$(2\pi f_r)^2 + \frac{R^2}{L^2} = \frac{1}{LC}$$

$$C = \frac{1}{L \left\{ (2\pi f_r)^2 + \frac{R^2}{L^2} \right\}}$$

Мұндағы $L = 100 \text{ мГн}$, $R = 800 \text{ Ом}$ және $f_r = 5000 \text{ Гц}$

$$C = \frac{1}{100 \times 10^{-3} \left\{ (2\pi(5000))^2 + \frac{800^2}{(100 \times 10^{-3})^2} \right\}} =$$

$$= \frac{1}{0.1 \{ \pi^2 10^8 + (0.64)(10^8) \}} \quad \Phi = \frac{10^6}{0.1(10.51 \times 10^8)} = 0.009515 \text{ мкФ}$$

немесе **9.515 нФ**

(b) Динамикалық кедергі,

$$R_d = \frac{L}{CR} = \frac{100 \times 10^{-3}}{(9.515 \times 10^{-9})(800)} = 13.14 \text{ кОм}$$

(c) Резонанс жағдайындағы қоректендіру көзінің ток күші,

$$I_r = \frac{V}{R_d} = \frac{12}{13.14 \times 10^3} = 0.913 \text{ мА}$$

(d) Резонанс жағдайындағы сапалылық (немесе Q -фактор),

$$Q = \frac{2\pi f_r L}{R} = \frac{2\pi(5000)(100 \times 10^{-3})}{800} = 3.93$$

Басқаша жолмен шығарғандағы резонанстағы сапалылық:

$$Q = \frac{I_c}{I_r} = \frac{(V/X_c)}{I_r} = \frac{2\pi f_r CV}{I_r} = \frac{2\pi(5000)(9.515 \times 10^{-9})(12)}{0.913 \times 10^{-3}} = 3.93$$

Практикалық зертханалық тәжірибелер үшін параллель тізбектердегі резонанс 24-тарауда келтірілген

Келесі жаттығуды орындаңыздар.

95-жаттығу. Параллельді резонанс мен сапалылыққа арналған қосымша есептер

1. Сыйымдылығы 0.15 мкФ, таза индуктивтілігі 0.01 Гн конденсатор кернеуі 10 В, жиілігі айналы қоректендіру көзімен параллель

қосылған. Анықтау керек: (а) контурдың резонансты жиілігін, (b) индуктивтілік пен конденсатор тогын.

[(a) 4.11кГц (b) 38.74мА]

2. Конденсатордың сыйымдылығы 30 мкФ, индуктивтілігі 50 мГн ораммен параллель жалғанған. Орамның кедергісі белгісіз, қоректендіру көзінің кернеуі 120 В, жиілігі 50 Гц. Егер тізбектің жалпы қуаттылық коэффициенті 1-ге тең болса, онда (а) кедергіні, (b) орамдағы тоқты, (c) қоректендіру көзінің ток күшін табыңыздар.

[(a) 37.68 (b) 2.94А (c) 2.714А]

3. Кедергісі 25 Ом, индуктивтілігі 150 мГн орам сыйымдылығы 10 мкФ конденсатормен параллель қосылған, қоректендіру көзінің кернеуі 60 В, жиілігі айнымалы. Сонда (а) резонансты жиілікті, (b) динамикалық кедергіні, (c) резонанс тогын, (d) резонанстағы сапалылықты есептеңіз.

[(a) 127.2 Гц (b) 600 Ом (c) 0.10А (d) 4.80]

4. R кедергімен, 80 мГн индуктивтілікпен сипатталатын орам сыйымдылығы 5 нФ конденсатормен кернеуі 25 В, жиілігі 3 кГц қоректендіру көзіне параллель қосылған. Ток минимум болғандағы (а) орамның кедергісін, (b) динамикалық кедергіні, (c) қоректендіру көзінің тогын, (d) сапалылықты анықтаңыздар.

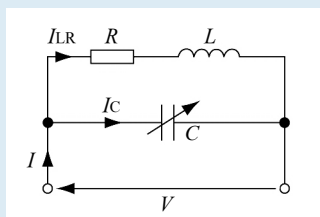
[(a) 3.705кОм (b) 4.318кОм
(c) 5.79мА (d) 0.41]

5. Кедергісі 1.5 кОм, индуктивтілігі 0.25 Гн орамсыйымдылығы айнымалы конденсатормен кернеуі 10 В жиілігі 8 кГц қоректендіру көзіне параллель жалғанған. (а) Қоректендіру көзінің ток күші минималды жағдайы үшін конденсатордың сыйымдылығын, (b) динамикалық кедергіні, (c) қоректендіру көзінің ток күшін есептеңіз.

[(a) 1561пФ (b) 106.8кОм (c) 93.66мкА]

6. 16.13-суреттегі сұлба бойынша параллель тізбекте сыйымдылықты өзгерту арқылы резонансты тудыруға болады.

Қоректендіру көзінің жиілігі 5МГц, кернеуі $V = 200$ В, индуктивтілігі $L = 400$ мкГн, кедергісі $R = 30$ Ом тізбегі резонанс алу үшін (а) C сыйымдылықты, (b) динамикалық кедергіні, (c)



16.13-сурет

сапалылықты, (d) өткізу жолағын, (e) әрбір тармақтағы токты, (f) тұтынатын токты, (g) резонанс жағдайындағы қуаттың жұмсалуды есептеңіздер.

- [(a) 2.533пФ (b) 5.264МОм (c) 418.9
(d) 11.94кГц (e) $I_C = 15.915 \angle 90^\circ \text{mA}$,
 $I_{LR} = 15.915 \angle -89.863^\circ \text{mA}$ (f) 38мкА
(g) 7.60Вт]

16.7 Қуаттылық коэффициентін жақсарту

Айнымалы ток тізбегінде **қуаттылық коэффициенті** $= \cos \varphi$, мұндағы φ – қоректендіру көзінің тогы мен кернеуі арасындағы фазалық бұрыш. Өндірістік жүктемелер (мысалы, айнымалы қозғалтқыш сияқты) шынында да индуктивті (яғни, $R-L$), сондықтан олардың қуаттылық коэффициенті төмен. Мысалы, қуаттылық коэффициент 0.6-ға тең қозғалтқыш 50 А ток алсын және ол кернеуі 240 В, жиілігі 50 Гц қоректендіру көзінен кешігіп отырсын делік, мұндай жағдай 16.14-суреттегі сұлбада келтірілген.

Егер қуаттылық коэффициенті 0.6-ға кешіксе, онда:

$$\cos \varphi = 0.6 \text{ кешігеді.}$$

Олай болса,

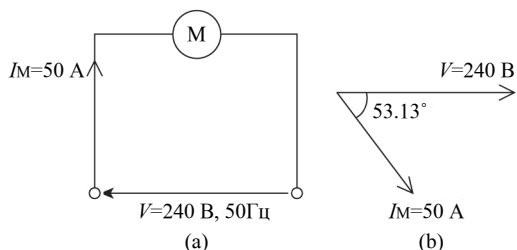
$$\text{фазалық бұрыш, } \varphi = \cos^{-1} 0.6 = 53.13^\circ$$

53.13° градусқа кешігеді.

Кешігу деп I токтың V кернеуден қалып отыруына тады және соған сәйкес векторлық диаграмманың түрі 16.14 (b)-суреті түрінде беріледі.

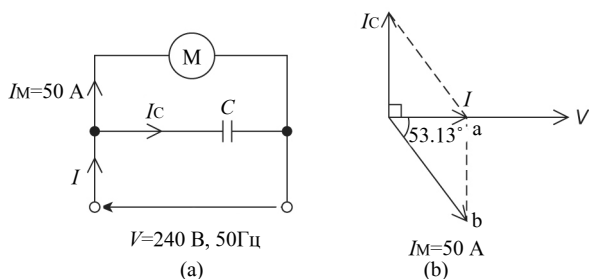
Мысалы, өлшемі арқылы 0.6-ға тең қуаттылық коэффициенттің қалай жақсартуға немесе қалай жөндеуге болады?

Қуаттылық коэффициентінің өлшемі: $\cos \varphi = 1$, осыдан $\varphi = 0$.



16.14-сурет

16.14(a)-сұлбасында фазалық бұрыш 53.13 градустан 0 градусқа дейін қалай түрлендіріле алынса тура солай сапалылық коэффициентін де түрлендіруге мүмкіншілік бар. 16.15(a)-суретте көрсеткендей конденсаторды қозғалтқышқа параллель қосу арқылы жауапты табуға болады.



16.15-сурет

Конденсатор индуктивті жүктемемен параллель жалғанса оның алатын тоғын I_C деп белгілейміз. 16.15(b)-суреттегі векторлық диаграммада I_C ток V кернеуді 90 градусқа озып отырады. 16.15(a)-суретте I қоректендіру көзінің тоғы I_M мен I_C -лардың векторлық қосындысы болып табылады. 16.15(b)-суретте векторлық диаграмма көрсетілген I_M мен I_C токтарының векторлық қосындысы түрінде анықталған I ток V -мен бір фазада болып келетіндіктен фазалық бұрыш нөлге тең, олай болса қуаттылық коэффициенті $0^\circ = 1$.

Сондықтан конденсаторды қозғалтқышпен параллель қосқанда қуаттылық коэффициенті 0.6 -дан кешігудің орнынан 1 -ге дейін ұлғаяды.

Тікбұрышты үшбұрыштан, $\cos 53.13^\circ =$

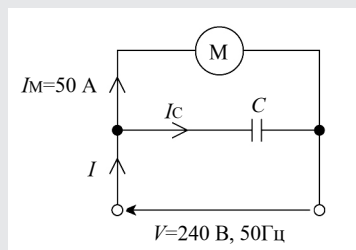
$$= \text{көршілес катет/гипотенуза} = \frac{I}{50}$$

Осыдан, қоректендіру көзінің тогы,

$$I = 50 \cos 53.13^\circ = 30 \text{ A}$$

Осыған дейін конденсатор қоректендіру көзінің 50 A тогымен жұмыс істеді, ал енді ток көзінің күші 30 A-ге дейін төмендеді. Міне қуаттылық коэффициентінің маңызы осында, ол қоректендіру көзінің ток шамасын 50 A-ден 30 A-ге дейін кішірейтті. Егер қуаттылық коэффициенті жоғарыласа, қоректендіру көзінің тогы азаяды, сонда қоректендіру көзінің жүйесі де аз шығынға ұшырап, PR шығыны да төмендейді, олай болса эксплуатациялық шығындар да азаяды.

11-есеп. Қуаттық коэффициентін 0.6-дан 1-ге дейін ұлғайту үшін 16.16-сұлба бойынша конденсатордың сыйымдылығын қалай өзгертуге болады?



16.16-сурет

Осының алдындағы сұлбада қуаттылықтың коэффициентіне байланысты токтың мәні 50 A-ден 30 A-ге төмендегені келтірілген болатын. 16.17-суретте векторлық диаграммада I ток пен V кернеу бір фазада болу үшін I_C тогы ab -ға эквивалентті болуы керек.

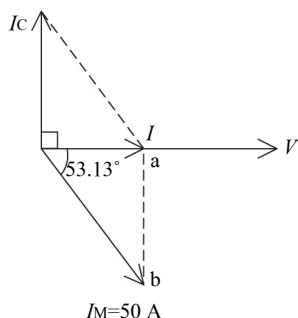
Тікбұрышты үшбұрыштан,

$$\sin 53.13^\circ = \frac{ab}{50}$$

Осыдан,

$$ab = 50 \sin 53.13^\circ = 40 \text{ A}$$

Қуаттық коэффициенті 0.6-дан 1-ге дейін ұлғаюы үшін конденсатор сыйымдылығының мөлшері 40 A токты қабылдай алуы қажет.



16.17-сурет

16.16-сурет бойынша айнымалы ток көзінің теориясынан,

$$I_c = \frac{V}{X_c} = \frac{V}{\left(\frac{1}{2\pi fC}\right)} = 2\pi fCV$$

Осыдан сыйымдылық,

$$C = \frac{I_c}{2\pi fV} = \frac{40}{2\pi(50)(240)} = 530.5 \text{ мкФ}$$

Іс жүзінде қуаттылық коэффициенттің 1-ге тең болуы әдетте қажетті жағдай емес. Алайда қуаттылық коэффициентінің мәні 0.8-ге тең болғаны қолайлы, ал қуаттылық коэффициенті бірге тең болса, онда резонанстың болғаны!

12-есеп. Индуктивтік жүктеме 60 А токты қабылдай алады, оның қуаттылық коэффициенті 0.643 кешігіп отырады, кернеуі 240 В, жиілігі 60 Гц қоректендіру көзімен жалғаған. Қуаттылық коэффициентті 0.643 тен 0.8-ге ұлғайту үшін конденсаторды жүктемемен параллель жалғаған. Есептеу керек: (а) қоректендіру көзінің жаңа ток күшінің мәнін, (б) конденсатордағы токты, (с) конденсатордың жөнделген қуаттық коэффициентіндегі сыйымдылығын.

(а) Қуаттылық коэффициенті 0.643 дегеніміз $I \cos \varphi_1 = 0.643$

Осыдан,

$$I \varphi_1 = \cos^{-1} 0.643 = 50^\circ$$

қуаттылық коэффициенті 0.80 дегеніміз:

$$I \cos \varphi_2 = 0.80$$

Осыдан

$$I\phi_2 = \cos^{-1}0.80 = 36.87^\circ$$

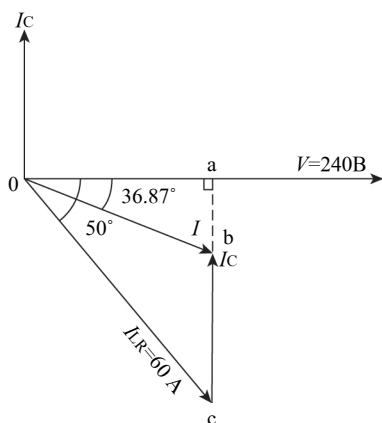
16.18-суретте векторлық диаграмма келтірілген, мұндағы қоректендіру көзінің I ток күшінің жаңа мәні суретте *Ov* ұзындығымен берілген

$$Oac \text{ үшбұрышынан } I \cos 50^\circ = \frac{Oa}{60}$$

осыдан,

$$Oa = 60 \cos 50^\circ = 38.57 \text{ A}$$

$$Oa \text{ үшбұрышынан } I \cos 36.87^\circ = \frac{Oa}{Ob} = \frac{38.57}{I}$$



16.18-сүрөт

Осыдан қоректендіру көзінің тогының жаңа мәні

$$I = \frac{38.57}{\cos 36.87} = 48.21 \text{ A}$$

(b) Қоректендіру көзінің тогының жаңа мәні I_C мен I_{LR} векторларының қосындысынан тұрады:

Сонда,

$$I = I_C + I_{LR} \text{ және } I_C = I - I_{LR}$$

Олай болса **конденсатор тогы,**

$$\begin{aligned} I_c &= 48.21 \angle -38.87^\circ - 60 \angle -50^\circ \\ &= (38.57 - j28.93) - (38.57 - j45.96) \\ &= (0 + j17.03) \text{ A немесе } 17.03 \angle 90^\circ \text{ A} \end{aligned}$$

(с) ток,

$$I_c = \frac{V}{X_c} = \frac{V}{\left(\frac{1}{2\pi fC}\right)} = 2\pi fCV$$

осыдан, қуаттық коэффициент жөнделгеннен кейінгі сыйымдылық, С

$$C = \frac{I_c}{2\pi fV} = \frac{17.03}{2\pi(60)(240)} = 188.2 \text{ мкФ}$$

13-есеп. Кернеуі 400 В генератор жүктемеге 42 кВт қуатты береді және оның қуаттылық коэффициенті 0.7 кешігеді. (а) Жүктеменің кВА-ін, (б) генератордан тұтынылатын токты, (с) қуаттылық коэффициентті бірге дейін ұлғайтқандағы жүктеменің жаңа қуаттың қандай болады екен?

(а) Қуат

$$P = VI \cos \varphi = (VI) \text{ (қуаттық коэффициент)}$$

Олай болса,

$$VI = \frac{\text{қуат}}{\text{қуаттық коэффициент}} = \frac{42 \times 10^3}{0.7} = 60$$

(б) $VI = 60000 \text{ ВА}$

Осыдан,

$$I = \frac{60000}{V} = \frac{60000}{400} = 150 \text{ A}$$

(с) 60 кВА жүктемеде қуаттық коэффициенттің өзгергеніне қарамастан кВА жүктеме сол қалпында қалады.

14-есеп. Қозғалтқыш 4.8 кВт қуатты дамытады, эффективтілігі 80%, ал қуаттылық кешігетін коэффициенті 0.625, қоректендіру көзінің кернеуі 240 В, жиілігі 50 Гц. Конденсаторды қозғалтқышпен параллель қосу кешігетін қуаттылық коэффициентін 0.95 дейін ұлғайту үшін қажет. Анықтау керек: (а) қозғалтқыштың тұтынатын ток шамасын, (б) жөнделген қуаттылық коэффициентінен кейінгі жаңа қоректендіру көзінің ток күшін, (с) конденсатормен тұтынылатын токты, (d) конденсатордың сыйымдылығын, (е) конденсатор қатынасын.

Эффективтілік: шығыс қуат/кіріс қуат $\frac{80}{100} = \frac{4800}{\text{кіріс қуаты}}$
 олай болса,

$$\frac{4800}{0.8} = 6000 \text{ Вт}$$

қуаттың кірісі 6000 Вт

Олай болса,

$$6000 = VI_M \cos \varphi = (240)(I_M)(0.625)$$

$$\cos \varphi = \text{қуаттық коэффициенті} = 0.625$$

Сонымен қозғалтқыштың тұтынатын ток шамасы

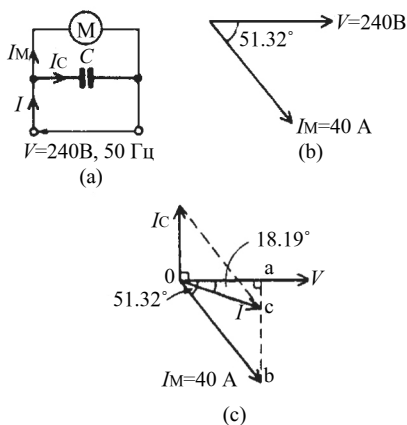
$$I_M = \frac{6000}{(240)(0.625)} = 40 \text{ А}$$

16.19-суретте диаграмма сұлбасы келтірілген. Ток пен кернеу арасындағы фазалық бұрыш $\varphi = \cos^{-1}0.625 = 51.32^\circ$ градус. Олай болса векторлық диаграмма 16.19 (b)-суретте келтірілген.

(b) С конденсаторы қозғалтқышпен параллель қосылса аққан ток кернеуді 90 градусқа озып отырады.

I_M мен I_C векторлық қосындылары қоректендіру көзінің ток күшін береді және оның шамасы кешіккен қуаттылық коэффициентін 0.95 дейін ұлғайтуға сәйкес болуы керек, яғни фазалық бұрыш $\cos^{-1}0.95$ немесе 18.19° тең болғаны, ондай сұлба 16.19-суретте көрсетілген. I_M -нің горизонталь компоненті (oa)

$$= I_M \cos 51.32^\circ = 40 \cos 51.32^\circ = 25 \text{ А}$$



16.19-сурет

I -дің горизонталь компоненті де (oa)-мен беріледі:

$$= I \cos 18.19^\circ = 0.95 I$$

Горизонталь компоненттерді теңестіре отырып табамыз:

$$25 = 0.95 I$$

Қуаттық коэффициентті жөнделген кейінгі қоректендіру көзінің ток күші,

$$I = \frac{25}{0.95} = 26.32 \text{ A}$$

(с) I_M компонентінің вертикаль құраушысы:

$$I_M = I_M \sin 51.32^\circ = 40 \sin 51.32^\circ = 31.22 \text{ A}$$

I -дің вертикаль компоненті (ac - суретте көрсетілген)

$$I = I \sin 18.19^\circ = 26.32 \sin 18.19^\circ = 8.22 \text{ A}$$

I_C конденсатор тогының шамасы (көрсетілген) беріледі:

$$ab - ac$$

$$I_C = 31.22 - 8.22 = 23 \text{ A}$$

(d) Ток,

$$I_C = \frac{V}{X_C} = \frac{V}{\left(\frac{1}{2\pi f C} \right)} = 2\pi f C V$$

Осыдан

$$C = \frac{I_C}{2\pi fV} = \frac{23}{2\pi(50)(240)} \quad \Phi = 305 \text{ мкФ}$$

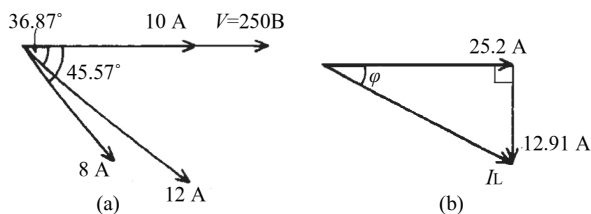
(g) Сыйымдылықтың реактивті киловольтампері: қатынас,

$$\frac{VI_C}{1000} = \frac{(240)(23)}{1000} = 5.52 \text{ кВА}$$

Қоректендіру көзінің тогы 40 А-ден 23.32 А-ге дейін кемиді, қозғалтқыштың тұтыну тогы мен қуатын осылайша өзгертусіз жақсартуға мүмкіндік туады. Сонымен I^2R -дің шығыны азайғандықтан шығын үнемделіп тұрады.

15-есеп. Кернеуі 250 В, жиілігі 50 Гц бір фазалы қоректендіру көзі келесі жүктемелерді қоректендіріп тұр: (1) қуаттылық коэффициенттің бір өлшем бірлігіне 10 А токты қабылдайтын қызу шамын, (2) қуаттылық кешігу коэффициенті 0.7-ге тең 8 А токты қабылдайтын флуоресцентті шамын, (3) қуаттылық кешігу коэффициенті 0.8-ге тең толық жүктемесі бар 3 кВА қозғалтқыш пен (4) статикалық конденсаторды. Шамдар мен қозғалтқыш үшін келесі параметрлерді анықтаңыздар: (a) жалпы токты, (b) қорытынды қуаттық коэффициентті, (c) жалпы қуатты, (d) жалпы қуаттық кешігу коэффициентін 0.975 шамасына дейін ұлғайту үшін статикалық сыйымдылықтың шамаларын табыңыздар.

16.20-суретте векторлық диаграмма көрсетілген, мұнда 8 А ток кернеуден $\cos^{-1}0.7$ -ге, яғни 45.57 градусқа кешігіп отырады, сонда қозғалтқыштың тогы (3000/250). Яғни, 12 А ток кернеуден $\cos^{-1}0.8$ немесе 36.87 кешігіп отырады.



16.20-сурет

Олай болса сыйымдылық,

$$C = \frac{I_c}{2\pi V} = \frac{7.168}{2\pi(50)(250)} = 91.27 \text{ мкФ}$$

Сонымен қуаттың кешігу коэффициенттің шамасы 0.89-дан 0.975-ке дейін ұлғаю үшін 91.27 мкФ конденсатор жүктемеге параллель жалғанған.

96-жаттығу. Қуаттылық коэффициентін жақсартуға арналған қосымша есептер

1. 415 В жүктемеге генератор 55 кВт қуат береді. Оның қуатының кешігу коэффициенті 0.65. Есептеңіз: жүктемені кВА-мен алғандағы генератордың тұтынатын ток шамасын, егер қуаттың коэффициенті бірге дейін ұлғайса, онда жүктеменің жаңа шамаларын анықтаңыздар.

[(a) 84.6 кВА (b) 203.9А (c) 84.6кВА]

2. Бір фазалы қозғалтқыш 30 А токты қабылдайды, оның қуаттық кешігу коэффициенті 0.65, қоректендіру көзінің кернеуі 240 В, жиілігі 50Гц. Анықтау керек: (а) конденсатор параллель жалғанған тогын, қуаттық коэффициентін бірге дейін жөндеу үшін, қуаттық коэффициентті жөндегеннен кейін жаңарған қоректендіру көзінің тогын анықтаңыз.

[(a) 22.80А (b) 19.50А]

3. Кедергісі 20 Ом реактивті емес резистор ораммен тізбектей жалғанған, оның индуктивтілігі 80 мГн және кедергісі болмашы елемеуге болады. Құрамынан тізбек кернеуі 200 В, жиілігі 50Гц қоректендіру көзіне жалғанған. Есептеңіз: (а) орамның реактивті кедергісін, (b) тізбектің импедансын, (c) тізбектің тогын, (d) тізбектің қуаттық коэффициентін, (e) қуаттық коэффициентті бірге тең қуаттық коэффициент алу үшін жөндеу мәнін, (g) қуаттық коэффициенттің мәні 0.9 болу үшін конденсатор үшін коррекциялық мәнді табыңыз.

[(a) 25.13 (b) 32.12∠51.49°

(c) 6.227∠51.49°А (d) 0.623

(e) 775.5Вт(f) 77.56мкФ (g) 47.67мкФ]

4. Қозғалтқыштың қуаты 6 кВт, п.э.к. 75% эффективтілік, қуаттық кешігу коэффициенті 0.64, тізбектің қоректендіру көзінің кернеуі 250В, жиілігі 60Гц. Қуаттық коэффициентті 0.925-ке дейін ұлғайту үшін конденсаторды қозғалтқышпен параллель қосу керек. Анықтау керек: (а) қозғалтқыш тұтынатын токты, (b) қуаттық коэффициентті жөндегеннен кейінгі қоректену көзінің тогын, (с) конденсатор тұтынатын ток, (d) конденсатордың сыйымдылығын, (е) конденсатордың шамасын кВА алғанда.

[(a) 50A (b) 34.59A (c) 25.28A
(d) 268.2мкФ (e) 6.32кВА]

5. Кернеуі 250 В, жиілігі 80 Гц қоректендіру көзі индуктивті жүктемеге жалғанған, тұтынатын қуаты 2 кВт, 10 А ток қабылдағанда. Анықтау керек: контурдың кедергісі мен индуктивтілігін есепте. Жүктемемен сыйымдылықтың қандай шамасы параллель жалғанған қуаттылық коэффициентті бірге дейін жақсарту үшін.

[$R=20$, $L=29.84\text{мГн}$, $C=47.75\text{мкФ}$]

6. Қоректендіру көзінің кернеуі 200 В, жиілігі 50 Гц бір фазалы желі келесі жүктемелерді қоректендіреді. Люминесцентті шамдардың озу қуаттық коэффициенттері 0.9 8 А токты қабылдайды, қуаттық коэффициенттері бірге тең қызу шамдары 6 А токты қабылдайды. Қозғалтқыштың қуаттық кешігу коэффициенті 0.65, 12 А токты қабылдайды. Анықтаңыздар: қоректену көзінен жалпы тұтынатын токтың шамасын және жалпы қуаттық коэффициентті. Статикалық конденсатордың мәндерін табу керек, егер ол жүктемемен параллель жалғанса, қуаттық кешігу коэффициентін 0.98-ге дейін жақсарту үшін.

[21.74 А, 0.966 қалады, 21.74 мкФ]

97-жаттығу. Бірфазалы параллель айнымалы ток көзінің сұлбасы бойынша сұрақтар

1. Тізбектің екі параллель тармағы үшін векторлық диаграмманы сыз, бір тармағы C сыйымдылығынан және екіншісі кедергіден кернеу көзімен жалғанған.

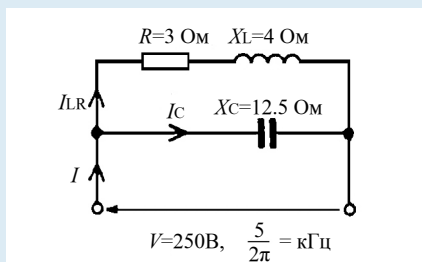
2. Тізбектің екі параллель тармағы үшін векторлық диаграмманы сыз, бір тармағы индуктивтіліктен және екіншісі кедергіден C сыйымдылықтан кернеу көзімен жалғанған.
3. Тізбектің екі параллель тармағы үшін векторлық диаграмманы сызыңыз. Индуктивтіліктен бір тармағында сыйымдылықтан екінші тармағында онда индуктивті кедергі сыйымдылықтық кедергіден үлкен.
4. Екі токтың векторлық қосындысын анықтаудың екі тәсілін келтіріңіздер.
5. Параллель тізбектегі қуатты анықтайтын екі формуланы келтіріңіздер.
6. Параллель жалғанған Екі тармақ үшін резонанс шарттарын көрсетіңіздер, егер C сыйымдылығы параллельді ораммен индуктивтілігі кедергісі – p .
7. $LR-C$ параллель тізбегі үшін резонанстық жиілікте кедергі p индуктивтілік және C сыйымдылық бір-біріне параллель деп алынса.
8. Параллель тізбектеріндегі сапалылық деген нені білдіреді?
9. $LR-C$ параллель тізбегі үшін резонанстық токта кедергі p индуктивтілік және C сыйымдылық бір-біріне параллель деп алынса.
10. Динамикалық кедергі деген не? Динамикалық кедергінің формуласын келтір.
11. Индуктивті тізбек үшін қуаттық коэффициентті жақсартудың жай түрлерін келтіріңдер.
12. Не себептен қуаттық коэффициенттерді жақсарту тиімді?

98-жаттығу. Бірфазалы параллель айнымалы ток көзі бойынша бірнеше дұрыс жауабы бар тест сұрақтары.

Параллель тізбегінің екі тармағы бар, кедергісі 10 Ом бір тармағында, конденсатор 100 мкФ басқа тармағында, қоректендіру

көзінің кернеуі 120В, жиілігі $2/3$ қоректендіру көзінің бөлігі, 1-8 дейінгі көрсетілген сұрақтар үшін төменгі тізімнен дұрыс жауаптарды таңдап алыңыздар.

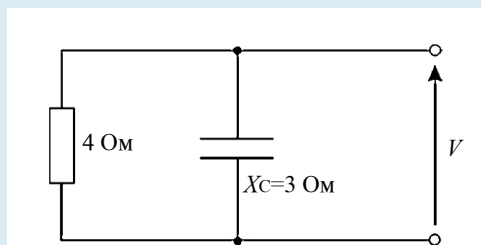
1. Кедергіден өтетін ток
2. Конденсатордың сыйымдылықтық кедергісі
3. Конденсатордан ағатын ток
4. Қоректендіру көзінің тогы
5. Қоректендіру көзінің фазалық бұрышы
6. Тізбектің импедансы
7. Тізбектегі тұтыну қуаты
8. Тізбектің қуаттылық коэффициенті
9. Екі тармағы бар тізбектің құрамында 15 мГн индуктивтік бір тармағында, екінші тармағында 50 мкФа конденсатор қоректендіру көзінің кернеуі 120 В, жиілігі. Қоректендіру көзінің тогы не болып келеді:
 - (a) 8А озады $\pi/2$ радианға
 - (b) 16А озады 90°
 - (c) 8А озады 90°
 - (d) 16А озады $\pi/2$ радианға
10. Келесі тұжырымның екеуі дұрыс сұлба арқылы 16.22-суретте келтірілген.
 - (a) R-L тармағының толық кедергісі 5 Ом
 - (b) $I = 50$ А
 - (c) $I_C = 20$ А
 - (d) $L = 0.80$ Н



16.22-сурет

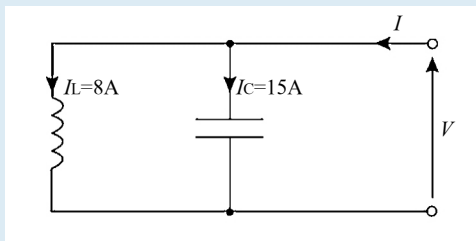
- (е) $C_1 6 \text{ мкФ}$
- (е) «фазада» қоректендіру ток көзімен 30 А
- (г) «квадрат қоректендіру ток көзімен 40 А
- (Н) $I = 36 \text{ А}$
- (I) фаза тізбегі $= 33^\circ 41 \text{ Ом}$
- (J) тұйықталу импеданс $= 6.9 \text{ Ом}$
- (K) Қуат коэффициенті $= 0.83$ қалады
- (L) тұтынатын қуат $= 9.0 \text{ кВт}$

11. Келесі тұжырымдардың қайсысы дұрыс емес?
 - (а) Қоректендіру көзінің тогы минималды, параллель тізбекте резонанс
 - (с) Q -фактор параллель сұлбада резонанс жиілігінде кернеуді ұлғайтады
 - (с) Қуат коэффициентінің ұлғаюы жүйе арқылы өтетін токты кішірейтеді
 - (d) Параллель тізбегіндегі резонанс тізбектегі кедергіні максимумға жеткізеді
12. $LR-C$ параллель тізбегінде келесі компоненттердің мәндері берілген: $R = 10 \text{ Ом}$, $L = 10 \text{ мГн}$, $C = 10 \text{ мкФ}$, $V = 100 \text{ В}$, сонда қандай тұжырым дұрыс емес?
 - (а) Резонансты жиілік $f_r = 1.5/\pi \text{ кГц}$
 - (b) Резонансты ток 1 А
 - (с) Динамикалық кедергі 100 Ом
 - (d) Q -фактор тізбектің резонанста 30
13. 16.23-суретте келтірілген сұлбадағы импеданстың шамасы тең:
 - (а) 7 Ом
 - (b) 5 Ом
 - (с) 2.4 Ом
 - (d) 1.71 Ом



16.23-сурет

14.16.24-суретте келтірілген сұлба бойынша қоректендіру көзінің шамасы қандай?



16.24-сурет

- (a) 17A (b) 7A
(c) 15 A (d) 23 A

17-ТАРАУ

ЖЕЛІНІҢ ФИЛЬТРІ

Тараудың соңында меңгеретін сұрақтардың тізімі:

- Желі фильтрінің негізін жақсы түсіну
- Негізгі фильтрлер секцияларының түрлерін білу, яғни төмен жиілікті, жоғарғы жиіліктік фильтрлер, жолақты және режекторлы фильтрлер туралы
- Жиіліктің қиығын, екі портты желіні, толқындық кедергіні анықтай алу
- Төменгі және жоғарғы жиіліктер звеноларының фильтрлер түрлері номиналды кедергі мен қиық жиіліктерді беруі
- Берілген жиілік қиығының жолақ фильтрін құрайтын компоненттердің мағынасын анықтауы
- Фильтрдің идеалды және практикалық сипаттамаларының арасындағы айырмашылықты бағалай білу

17.1 Кіріспе

Өшу дегеніміз – тарату желісімен байланысты болған кернеу мен ток мәндерінің төмендеуі немесе шығындалуы. **Фильтр** дегеніміз – сигналдарды таратуға арналған белгілі бір жолақтар шегінде жиіліктері бар (оны **өткізу жолақтары** деп атайды), сөнуі үлкен емес, бірақ басқа тармақтардағы сигналдарды өте күшті әлсірете алатын желі (**жолақтың өшуі** немесе **токтату-зоначы, жолағы** деп аталады).

Фильтр жиіліктер үшін сезімтал, сондықтан ол реактивті элементтерден тұрады. Егер белгілі бір жиіліктер минималды шығынмен берілетін болса,

онда фильтрді индуктивтік орам немесе **конденсатор** деп атайды, сонда олар толық компоненттер болып келеді, себебі олардың құрамындағы кедергілер барлық жиіліктердегі қандай да болмасын әлсіреуді көрсете алады.

Фильтрдің өткізу жолақтарының арасында идеалды өшу нөлге тең, өшу жолақтарында идеалды өшу шексіз, жиілік үнемі қиылып жатады, жиіліктің шекаралығы дегеніміз осы жиілікте өшу нөлден белгілі бір соңғы мәніне дейін өзгеруі.

Егер фильтр желісі коректендіру көзіне жалғанбаса, оны **пассивті** деп және бір фильтр желісі бір немесе бірнеше коректендіру көздерімен жалғанса, ондай желіні **активті фильтр желісі** деп атайды.

Басқару құралдары мен барлық дерлік электроника салаларында фильтрлерді әртүрлі мақсаттарда қолданады. Фильтрлердің өткізу жолағының ені қолдану мақсатына сай байланыс жүйелерінде герцтен көптеген мегагерцке дейін өзгеріп отырады.

Фильтрлер секцияларының негізгі төрт типі бар:

- (a) төменгі жиілікті
- (b) жоғары жиілікті
- (c) жолақты
- (d) тосқылау

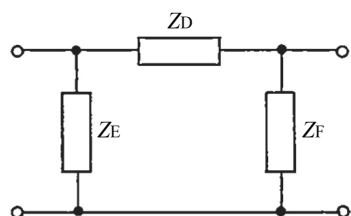
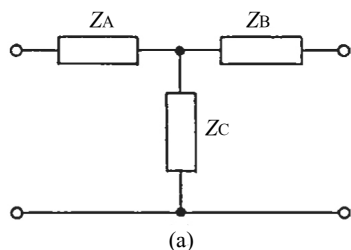
17.2 Екі портты (төрт полюсті) желі мен толқындық импеданс

Егер бір қос клеммаға энергия беріліп, сосын оны басқа екінші қос клеммаға аударса, онда мұндай желіні **төрт полюсті желі** немесе **екі портты желі** деп атайды. Кіріс және шығыс порттарының арасындағы желі **тарату желісі** деп аталады, бұл желі үшін кіріс және шығыс токтары мен кернеулері арасындағы тәуелділіктер белгілі.

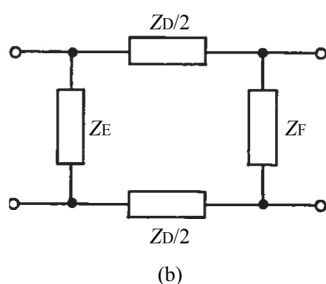
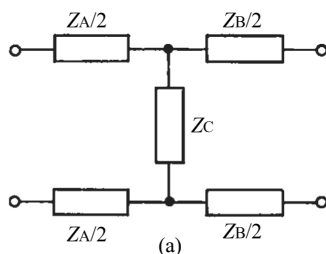
Егер 17.1(a)-суреттегі сияқты $Z_A = Z_B$ болса, онда **симметриялы Т-желі**, ал егер 17.1(b)-суретіндегі сияқты $Z_E = Z_F$ болса, онда симметриялы **π-желі** деп аталатын секциялар белгілі.

Егер 17.1(a)-суреттегі $Z_A \neq Z_B$ мен 17.1 (b)-суретіндегі $Z_E \neq Z_F$ тең болмаса, онда секциялар **асимметриялы** деп аталады.

Сұлбадан екі секциялардың да ортақ клеммалары бар екені көрініп тұр, бұл клеммалар жерлендірілген, сондықтан оларды **теңгерілмеген** деп атайды. Т-желінің **теңгерілген** түрі 17.2(a)-суретте және π-желінің теңгерілген түрі 17.2(b)-суретте келтірілген.



17.1-сурет



17.2-сурет

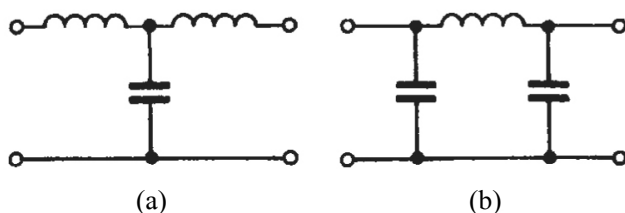
Желінің кіріс импедансы кіріс клеммаларындағы кернеудің токқа қатынасын көрсетеді. Екі портты немесе төрт полюсті желінің кіріс импеданстары шығу клеммаларының арасындағы жүктеме импедансынан жиі тәуелді өзгеріп отырады. Жүктеме импедансының нақты мәнінің әр кезде табыла алынатыны және жүктеменің импедансы қандай болса, тура сондай импедансты өндіре алатыны кез келген пассивті төрт полюсті желі үшін белгілі. Мұны антисимметриялық желінің **итерациялық** (қайталымдық) импедансы деп атайды, оның мәні әрбір қос клеммалардың кірісі мен шығысына тәуелді (олай болса, әрбір бағытқа бір-бірден итерациялық импеданстың екі мәні болады).

Симметриялы желі үшін итеративті импеданстың бір-ақ мәні болады және оны симметриялы төрт полюсті желінің Z_0 сипаттамалы импедансы немесе **толқындық импедансы** деп атайды.

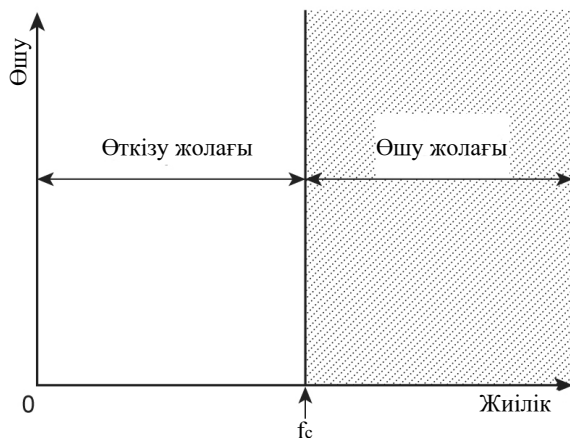
17.3 Төменгі жиілікті фильтрлер

17.3-суретте шунтты конденсаторлар мен индуктивті орам тізбегін қолданған қарапайым теңгерілмеген Т-желілі және π -желілі фильтрлердің түрлері келтірілген. Егер кез келген желі секцияға ұйымдасса және үнемі

ұлғайып өсіп отыратын жиілікті пайдаланса, онда оның әрқайсысы 17.4-суретте көрсетілгендей, кешігуші жиіліктің сипаттамасын көрсетеді. Бұл идеалды сипаттама толық реактивті элементтерді бере алады. Өшусіз нөлден бастап белгілі бір мәндеріне дейін беріле алатын барлық жиіліктер көрінеді, мұндай мәндер $f_{шек}$ **шекаралық жиілігі**, яғни **лезде айыру жиілігі (бұрыштық жиілік)** түрінде көрінеді және сонымен қатар $f_{шек}$ -тен жоғары барлық жиіліктер әлсізденетіні белгілі. Міне, осы себептен желіде, 17.3(a) және (b)-суретте көрсетілген фильтрлер **төменгі жиілікті фильтрлер** болып танылады.



17.3-сурет



17.4-сурет

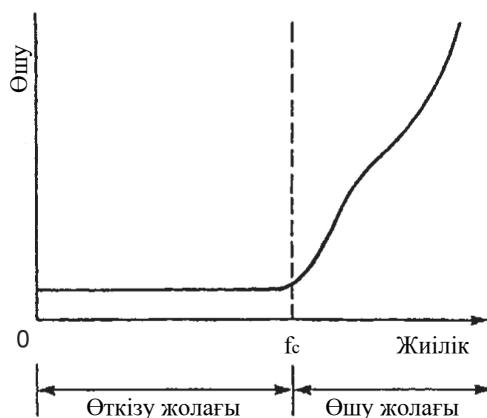
Төменгі жиілікті фильтрлер үшін электрлік сұлбалар 17.5-суретте келтірілген.

Жинақтай келе **төменгі жиілікті фильтр сигналдарды таратуға арналған, ол шекаралық жиіліктен төмен жиіліктерде жұмыс істей алады.**



17.5-сурет

Практика жүзінде төменгі жиілікті фильтрлердің сипаттамалы қисығы 17.6-суретте келтірілген. Сипаттамаларды әлдеқайда мінсіз түріне дейін өңдеп, жақсартуға болады. Ол үшін бір каскадта екі немесе одан да көп бірдей секцияларды қосу қажет. Өткізу жолақтарында өшу процесі шамалы ұлғайғанына қарамастан мұндай әрекет сипаттаманың $f_{шек}$ шекаралық жиілігін әлдеқайда тіктеу орналастыра алады. Электронды жүйелерде тұрақты ток көзін өндіру үшін түзеткілер қолданғанда үлкен пульсациялар жағымсыз шулар жасап, сонымен қатар, тіпті кернеу сигналының әсерін де жасыра алуы мүмкін. Төменгі жиілікті фильтр шығу кернеуінің сигналын тегістеу үшін қосылады, міне осы фильтрлерді электрлік тізбектерде қосқыш түрінде қолдану кең таралған. Толық жүйенің әртүрлі бөліктерін оқшауландыру үшін ұнамсыз өзара әрекеттесулерді болдырмас үшін фильтрлер қолданылады. Мысалы, төменгі жиілікті бөлгіш фильтрі бірнеше күшейткіш каскадтардың әрқайсысының жалпы қоректендіру көзін қосу арқылы өзара әрекеттесуді қоректендіру көзінің импедансымен ортақ болғандықтан азайтады.

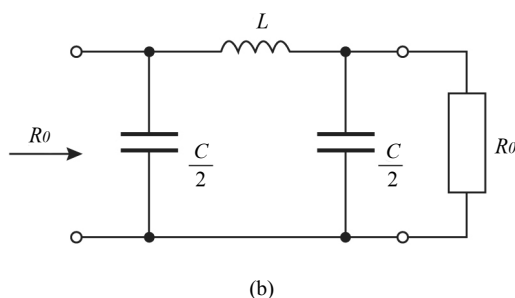
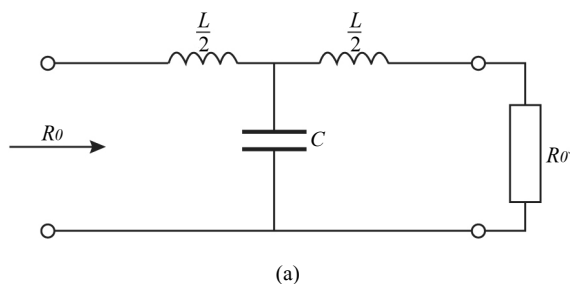


17.6-сурет

Шекаралық жиілік пен нақты импедансты есептеу

Төменгі жиіліктік Т-желісі мен төменгі жиіліктік π -желісінің суреттері 17.7-суреттерде келтірілген. Мұнда $f_{шек}$ шекаралық жиілік әрбір секция үшін бірдей және оның формуласы:

$$f_{шек} = \frac{1}{\pi \sqrt{LC}} \quad (1)$$

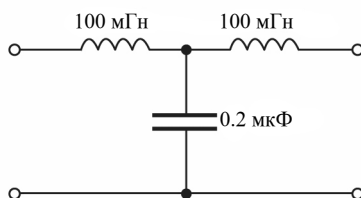


17.7-сурет

Жиілік өте төмен болған жағдайда сипаттамалық импеданс толығымен **резистивті** бола алады. Сипаттамалық импеданстың осы мәні конструкцияның кедергісі немесе секцияның нақты (номиналды) кедергісі деген аталумен белгілі және оның белгілену түрі (символы):

$$R_0 = \sqrt{\frac{L}{C}} \quad (2)$$

1-есеп. 17.8-суретте келтіргендей төмен жиіліктік Т-байланысқан секция үшін номиналды импедансы мен $f_{шек}$ -шекаралық жиілікті анықтаңыздар.



17.8-сурет

Төмен жиіліктік секциясы көрсетілген 17.8-сурет пен 17.7 (а)-суретті салыстырыңыз: сонда

$$\frac{L}{2} = 100 \text{ мГн}$$

Яғни индуктивтілік,

$$L = 200 \text{ мГн} = 0.2 \text{ Гн}$$

Сыйымдылық

$$f_{\text{шек}} = \frac{1}{\pi \sqrt{LC}} = \frac{1}{\pi \sqrt{0.2 \times 0.2 \times 10^{-6}}} = \frac{10^3}{\pi (0.2)}$$

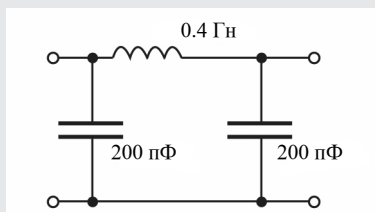
(1) Теңдеуден, шекаралық жиілігі,

$$f_{\text{шек}} = 1592 \text{ Гц} \text{ немесе } 1.592 \text{ кГц}$$

(2) Теңдеуден номиналды импеданс,

$$R_0 = \sqrt{\frac{L}{C}} = \sqrt{\frac{0.2}{0.2 \times 10^{-6}}} = 1000 \text{ Ом} \text{ немесе } 1 \text{ кОм}$$

2-есеп. 17.9-суретте көрсетілген төмен жиіліктік π -байланысты секция үшін $f_{\text{шек}}$ шекаралық жиілік пен номиналды импедансты есептеңіздер.



17.9-сурет

Төмен жиіліктік секциясы көрсетілген 17.9-сурет пен 17.7(b)-суретті салыстырыңыз: сонда

$$\frac{C}{2} = 200 \text{ нФ}$$

Яғни, сыйымдылықты,

$$C = 400 \text{ нФ} = 400 \times 10^{-12} \text{ Ф}$$

Индуктивтілік,

$$L = 0.4 \text{ Гн}$$

$$f_{шек} = \frac{1}{\pi \sqrt{LC}} = \frac{1}{\pi \sqrt{0.4 \times 400 \times 10^{-12}}} = \frac{10^6}{\pi \sqrt{160}}$$

(1) теңдеуден, $f_{шек}$ шекаралық жиілігі,

$$f_{шек} = 25.16 \text{ кГц}$$

$$R_0 = \sqrt{\frac{L}{C}} = \sqrt{\frac{0.4}{400 \times 10^{-12}}} = 31.62 \text{ кОм}$$

(2) теңдеуден, номиналды импеданс, 31.62 кОм

L мен C мәндерін анықтау үшін R_0 мен $f_{шек}$ шекаралық жиілікті пайдалану

Төменгі жиіліктік Т- немесе π-секциялары үшін егер номиналды кедергінің мәні R_0 және $f_{шек}$ шекаралық жиілігінің мәні белгілі болса, онда секцияны қалыптастыру үшін қажетті индуктивтілік пен сыйымдылықтың мәндерін де табуға болады. Оны келесі түрде келтіруге болады:

Сыйымдылық,

$$C = \frac{1}{\pi R_0 f_c} \quad (3)$$

Индуктивтілік,

$$L = \frac{R_0}{\pi f_c} \quad (4)$$

3-есеп. Фильтрлі секциялардың сипаттамалық импедансы нөлдік жиілікте 600 Ом, шекаралық жиілігі 5 МГц. (а) Төмен жиіліктік Т-секциялық фильтрдің, (б) төмен жиіліктік π-секциялық фильтрдің талаптарына жауап беретін сұлбаны сызыңыз.

Жиілік нөлге тең болғандағы сипаттамалық импеданс номиналды кедергі болып табылады R_0 , яғни $R_0 = 600 \text{ Ом}$; шекаралық жиілігі

$$f_{шек} = 5 \text{ МГц} = 5 \times 10^6 \text{ Гц}$$

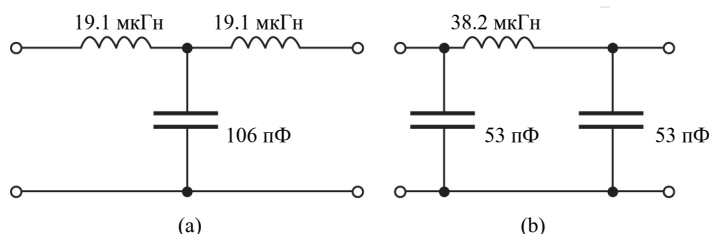
$$f_{шек} = 5 \text{ МГц}$$

(3) Теңдеуден, сыйымдылық,

$$C = \frac{1}{\pi R_0 f_{шек}} = \frac{1}{\pi (600)(5 \times 10^6)} \Phi = 1.06 \times 10^{-10} \Phi = 106 \text{ нФ}$$

(4) Теңдеуден, индуктивтілік,

$$L = \frac{R_0}{\pi f_{шек}} = \frac{600}{\pi (5 \times 10^6)} \Gamma\text{н} = 3.82 \times 10^{-5} \Gamma\text{н} = 38.2 \text{ мГн}$$



17.10-сурет

(a) Төменгі жиіліктік Т-секциялық фильтр 17.10 (a)-суретте келтірілген, мұндағы тізбекті индуктивтіліктің әрқайсысы $L/2$ ге тең, яғни

$$\frac{38.2}{2} = 19.1 \text{ мГн} \quad (17.10 \text{ (a)-сурет}).$$

(b) Төменгі жиіліктік π -секциялық фильтр 17.10 (b)-суретте келтірілген, мұндағы шунттың сыйымдылығының әрқайсысы $C/2$ -ге тең, яғни (17.10 (b)-сурет).

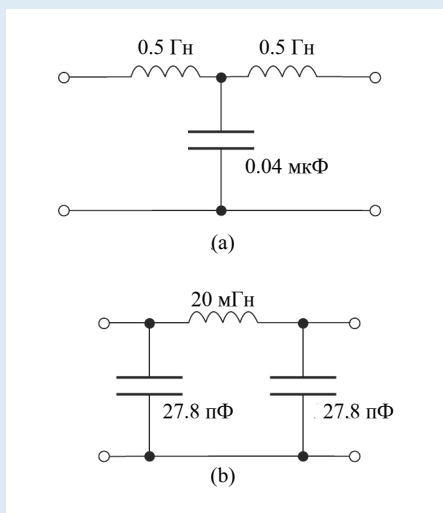
$$\frac{106}{2} = 53 \text{ нФ} \quad 53 \text{ нФ}$$

Келесі жаттығуды орындаңыздар.

99-жаттығу. Төменгі жиіліктің фильтрлер секциялары тақырыбы бойынша қосымша есептер

1. 17.11-суретте көрсетілген фильтрдің әрбір төменгі секциялары үшін шекаралық жиілігі мен номиналды импедансты анықтау керек.

[(a) 1592 Гц; 5 кОм (b) 9545 Гц; 600 Ом]



17.11-сурет

2. Фильтрлі секцияның нөл жиілікте сипаттамалық импедансы 600 Ом , шекаралық жиілігі 1 кГц болуы қажет. Осы талаптарға жауап бере алатын (а) фильтрдің төменгі жиіліктік Т секциясын, фильтрдің төменгі жиіліктік π -секциясын сызу керек.

[(а) Әрбір тізбектің иығы 79.60 мГн шунттың иығы 0.6366 мкФ (б) тізбектіліктің иығы 159.2 мГн , әрбір шунттың иығы 0.3183 мкФ]

3. Егер индуктивтілік әрбір тізбектік иықта 40 мГн , шекаралық жиілігі 2.5 кГц болса, шунттың иығына қажетті төмен жиіліктік Т-секциясындағы сыйымдылықтың мәнін анықтаңыз.

[0.203 мкФ]

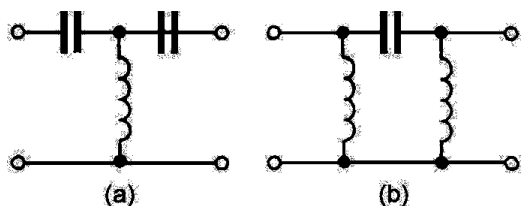
4. Төмен жиіліктік π -секциялық фильтрдің номиналды импедансы 600 Ом . Егер әрбір шунт иығында сыйымдылық 0.1 мкФ болғанда осы тізбектегі индуктивтілікті анықтаңыз.

[72 мГн]

17.4 Жоғары жиіліктік фильтрлер

17.12-суретте қарапайым теңестірілмеген Т-типті және π -типті секциялық фильтрлер келтірілген, мұнда конденсатор мен индуктор тізбектей қосылған. Егер секцияларды бір желіге ұйымдастырсақ және

үнемі өсіп отыратын жиілік пайдаланылса, оның әрқайсысының өшу жиілігінің сипаттамасы 17.13-суретте көрсеткендей шығады.

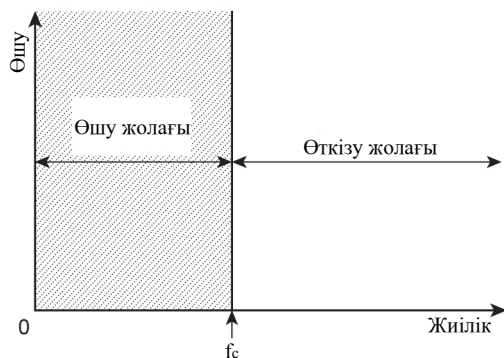


17.12-сурет

Міне, егер осындай толық реактивті элементтер болса, онда идеалды жағдай туады. $f_{шек}$ - шекаралық жиілігі әлсіреу үшін $f_{шек}$ -тен жоғары барлық жиіліктер шығынсыз берілуі керек. Осы себептермен желілерде 17.12 (a)-суретте көрсеткендей **жоғарғы жиілікті фильтрлер** қойылады. Жоғары жиілікті фильтр үшін электрлік сұлба 17.14-суретте келтірілген.

Осымен жинақтай келе **жоғары жиілікті фильтрлер** сигналдарды **шекаралық жиілігінен жоғары жиіліктерді тарату** үшін қолданылады.

17.13-суретте әлсізденген жолақтарда шексіз өшудің жоқ екені сипаттамаларда келтірілген, сөйтіп осы сипаттамадан өткізу жолағында ешқандай да әлсіреудің болмайтындығы табылды. Іс жүзінде осы екі жағдайды іске асыруға мүлдем болмайды. Индуктивті элементтердегі кедергілер өткізу жолақтарында пайда болатын өшу нөлге тең бола



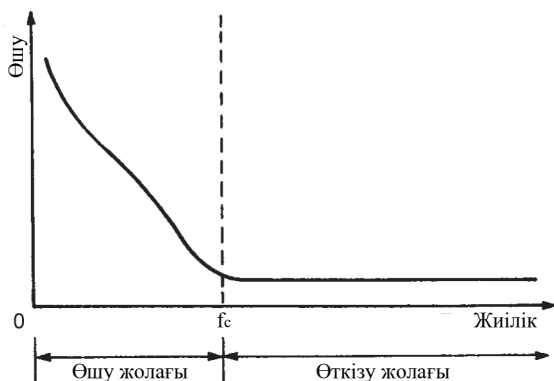
17.13-сурет

алмайды, ал практикалық секцияның фильтрінде әлсізденген жолақта өшу өзінің ең соңғы мәніне ие бола алады. Резистивті шығындардан басқа қосымша тағы үйлесімділіктің болмауынан осындай нәтижелер шығады.



17.14-сурет

Идеалды түрде фильтрді желіге орналастырғанда, фильтрдің кедергісі желінің кедергісімен салыстырылады. Алайда фильтр секциясының сипаттамалық импедансы жиіліктен тәуелді, осы жолмен жиіліктің өзгеруіне қарамастан кедергі өзгермеуі мүмкін. 17.13-сурет үшін идеалды жоғары жиілікті фильтр секциясының сипаттамасының жиілікке байланысты тәуелді өшуі мен сөнуі көрсетілген.

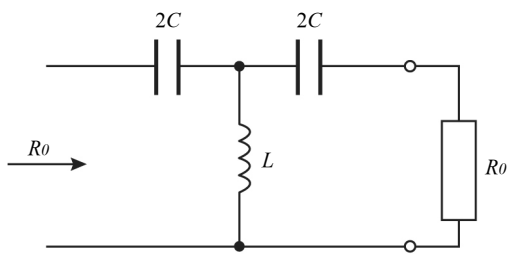


17.15-сурет

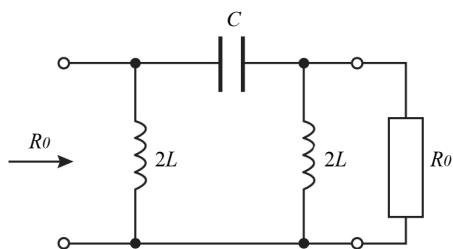
Шекаралық жиілік пен номиналды импедансты есептеу

Жоғары жиіліктік симметриялы Т-желі мен жоғары жиіліктік симметриялы π -желі 17.16-суретте келтірілген. Мұнда көрсетілген, $f_{шек}$ шекаралық жиілігі әрбір секция үшін бірдей және оның формуласы:

$$f_{шек} = \frac{1}{4\pi\sqrt{LC}}$$



(a)



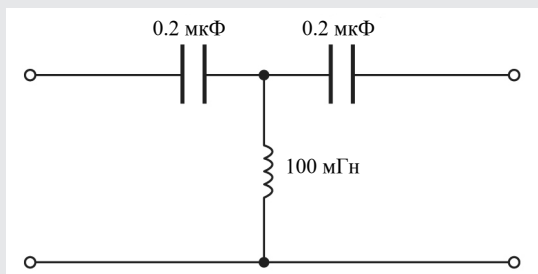
(b)

17.16-сурет

Жиілік өте жоғары болса, онда сипаттамалық импеданс толығымен резистивті. Сипаттамалық импеданстың осы мәні секцияның номиналды кедергісінің сондай мәніне жатады және формуламен анықталады:

$$R_0 = \sqrt{\frac{L}{C}} \quad (6)$$

4-есеп. 17.17-суретте көрсетілген номиналды импедансты жоғары жиілікті Т-байланысты секция үшін шекаралық жиілігін анықтаңыз.



17.17-сурет

17.17-суретті жоғары жиілікті секцияны 17.16(a)-суретімен салыстырыңыздар, сонда:

$$2C = 0.2 \text{ мФ}$$

Сыйымдылық,

$$C = 0.1 \text{ мФ} = 0.1 \times 10^{-6}$$

Индуктивтілік,

$$L = 100 \text{ мГн} = 0.1 \text{ Гн}$$

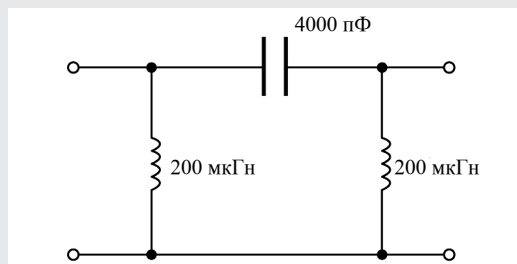
(5) Теңдеуден шекаралық жиілігі,

$$f_{\text{шек}} = \frac{1}{4\pi\sqrt{LC}} = \frac{1}{4\pi\sqrt{(0.1 \times 0.1 \times 10^{-6})}} = \frac{10^3}{4\pi(0.1)} = 796 \text{ Гц}$$

(6) Теңдеуден номиналды импеданс,

$$R_0 = \sqrt{\frac{L}{C}} = \sqrt{\frac{0.1}{0.1 \times 10^{-6}}} = 1000 \text{ Ом} = 1 \text{ кОм}$$

5-есеп. Шекаралық жиілігі мен номиналды импеданс жоғары жиілікті π -байланысты секция үшін 17.18-суретте көрсетілген.



17.18-сурет

17.18-суретті жоғары жиілікті секцияны 17.16(c)-суретімен салыстырыңыздар, сонда:

$$2L = 200 \text{ мГн}$$

Индуктивтілік,

$$L = 100 \text{ мФГн} = 10^{-4} \text{ Гн}$$

Сыйымдылық,

$$C = 4000 \text{ нФа} = 4 \times 10^{-9} \text{ Ф}$$

(5) теңдеуден **шекаралық жиілігі**

$$f_{\text{шек}} = \frac{1}{4\pi\sqrt{LC}} = \frac{1}{4\pi\sqrt{(10^{-4} \times 4 \times 10^{-9})}} = 1.26 \times 10^5 = 126 \text{ кГц}$$

(6) Теңдеуден **номинал импеданс,**

$$R_0 = \sqrt{\frac{L}{C}} = \sqrt{\frac{10^{-4}}{4 \times 10^{-9}}} = \sqrt{\frac{10^5}{4}} = 158 \text{ Ом}$$

R_0 мен $f_{\text{шек}}$ мәндері арқылы L мен C -ны есептеу

Егер жоғары жиілікті Т- немесе π -секциялары үшін номиналды кедергінің мәні R_0 болса, шекаралық жиілігінің мәні $f_{\text{шек}}$ болса, онда индуктивтілік пен сыйымдылықтың мәндерін анықтап, секцияны қалыптастыруға болады.

Онда:

$$C = \frac{1}{4\pi R_0 f_{\text{шек}}} \quad (7)$$

және

$$L = \frac{R_0}{4\pi f_{\text{шек}}} \quad (8)$$

6-есеп. Фильтр секциясынан жиіліктері 25кГц жоғары өтуі қажет және номиналды импедансы 600 Ом болуы керек. Осы талаптарға жауап бере алатын (а) жоғары жиілікті Т-секциялы фильтрді, (б) жоғары жиілікті π -секциялық фильтрді құрастырыңыздар.

Шекаралық жиілігі $f_{\text{шек}} = 25 \text{ кГц} = 25 \times 10^3 \text{ Гц}$ номиналды импеданс,

$$R_0 = 600 \text{ Ом}.$$

(7) теңдеуден, сыйымдылық,

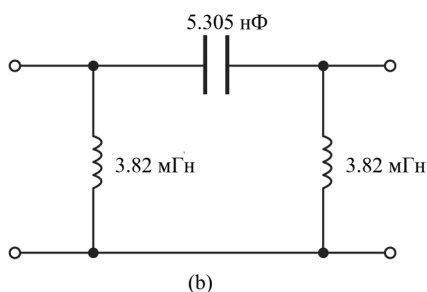
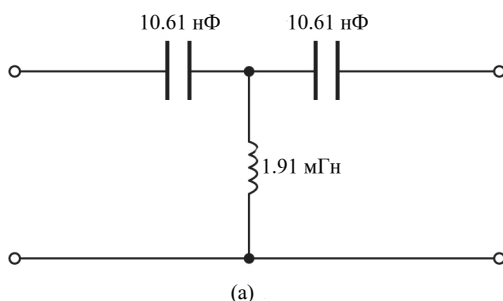
$$C = \frac{1}{4\pi R_0 f_{шек}} = \frac{1}{4\pi (600)(25 \times 10^3)}$$

$$L = \frac{R_0}{4\pi f_{шек}} = \frac{600}{4\pi (25 \times 10^3)} = 0.00191 \text{ Гн} = 1.91 \text{ мГн}$$

(8) Теңдеуден, индуктивтілік,

$$L = \frac{R_0}{4\pi f_{шек}} = \frac{600}{4\pi (25 \times 10^3)} = 0.00191 \text{ Гн} = 1.91 \text{ мГн}$$

(а) Жоғары жиіліктік Т-секциялық фильтр 17.19(а)-суретте келтірілген, мұнда тізбекті сыйымдылықтар әрқайсысы $2C$, (17.16 (а)-суретті) қараңыз, яғни $2 \times 5.305 = 10.61 \text{ нФ}$.



17.19-сурет

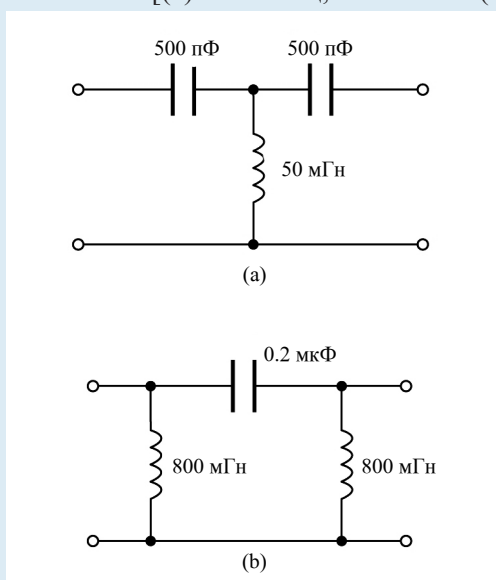
(b) Жоғары жиіліктік π -секциялық фильтр 17.19(а)-суретте келтірілген, мұнда тізбекті индуктивтілігі әрқайсысы $2L$ (17.16 (а)-суретті) қараңыз, яғни $2 \times 1.91 = 3.82 \text{ мГн}$

Келесі жаттығуларды орындаңыздар

100-жаттығу. Жоғары жиілікті фильтрдің секциясы тақырыбы бойынша қосымша есептер

1. 17.20-суретте келтірілген жоғары жиілікті фильтр секциясының шекаралық жиілігі мен номиналды импедансын анықтаңыз.

[(a) 22.51 кГц; 14.14 кОм (b) 281.3 Гц; 1414 Ом]



17.20-сурет

2. Фильтр секциясына 4 кГц-тен жоғары жиіліктердің өтуі қажетті және номиналды импедансы 750 Ом болуы керек. Осы талаптарды қанағаттандыратын (a) сәйкес жоғары жиіліктік Т-фильтр секциясын, (b) сәйкес жоғары жиіліктік π-фильтр секциясын құрастырыңыздар.

[(a) Әрбір тізбектік иықта =53.06 нФ, шунтты иықта =14.92 мГн

(b) тізбектік иықта =26.53 нФ, әр шунтты иықта=29.84 мГн]

3. Жоғары жиіліктік π-секциялық фильтр үшін оның индуктивтілігі әрбір шунттық иықта 50 мГн. Егер секцияның номиналды импедансы 600 Ом болса, тізбектік иықтағы сыйымдылықтың мәнін анықтаңыздар.

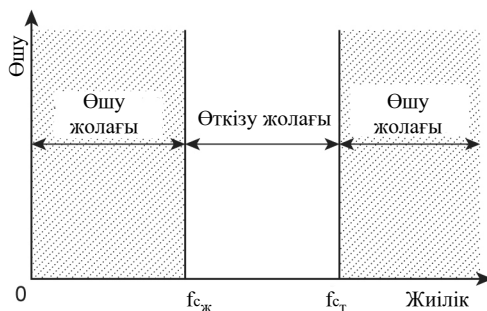
[69.44 нФ]

4. Егер тізбектің әрбір иығында сыйымдылығы 0.5 мкФ конденсатор болса, жоғары жиіліктік Т-секциялы фильтрдің қажетті шунт иығындағы индуктивтіліктің мәнін табыңыздар.

[11.26 мГн]

17.5 Жолақ фильтрлер

Жолақ фильтрлері екі берілген шекаралық жиіліктер арасындағы жиіліктер сигналын таратуға арналған. 17.21-суретте идеалды жолақ фильтрдің сипаттамасы келтірілген.

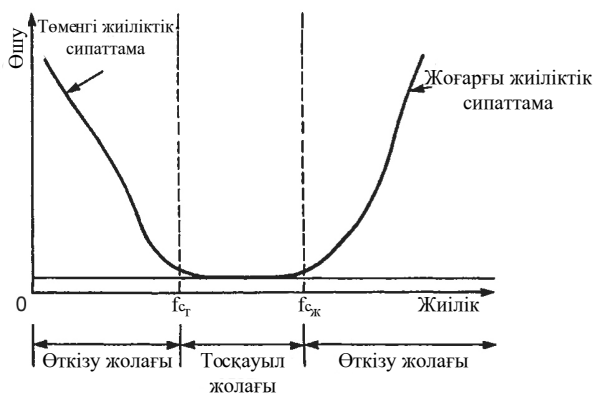


17.21-сурет

Мұндай фильтр жоғары жиіліктік және төмен жиілікті фильтрлер каскадынан жасалады. Жоғары жиілікті фильтрлердің $f_{ж.шек}$ — **жоғары шекаралық жиілігі** болып табылады, ал төменгі жиілікті фильтрлерінің $f_{т.шек}$ — **төмен шекаралық жиілігі** болып табылады. Жолақ фильтрлер үшін $f_{т.шек} > f_{ж.шек}$ шарты орындалса, өткізу жолағы осы екі мәндердің айырымына тәуелді. 17.22-суретте жолақ фильтрлердің электрлік сұлбадағы символы келтірілген.

Жолақ фильтрлердің типті практикалық сипаттамасы 17.23-суретте келтірілген. Кристалл мен керамикалық құрылғылар жолақ фильтрлері ретінде өте кең қолданылады. Олар жақсы өнімділік үшін өткізу қабілеті нақты анықталған УҚТ (ультра-қысқа толқынды) радиоқұшейткіштерінің аралық жиіліктерінде кең таралған.

5-есеп. Жолақтық фильтрлер төменгі жиіліктік Т-секциялық фильтрден тұрады, оның шекаралық жиілігі 15 кГц және ол шекаралық жиілігі 10 кГц жоғары жиіліктік Т-секциялық фильтрмен тізбектей қосылған. Фильтрдің қорытынды импедансы – 600 Ом. Композитті фильтрді құрайтын компоненттердің мәндерін анықтаңыздар.



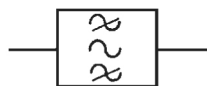
17.23-сурет

Төмен жиіліктік Т-секциялық фильтр үшін: $f_{т.шек} = 15000 \text{ Гц}$

(3) теңдеуден сыйымдылық,

$$C = \frac{1}{\pi R_0 f_{шек}} = \frac{1}{\pi (600)(15000)} = 35.4 \times 10^{-9} = 35.4 \text{ нФ}$$

(4) теңдеуден индуктивтілік,



17.22-сурет

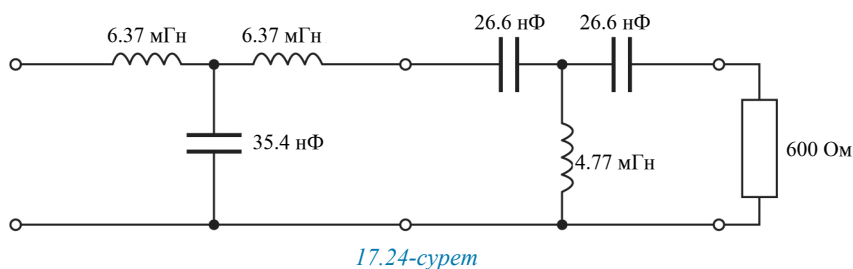
$$L = \frac{R_0}{\pi f_{шек}} = \frac{600}{\pi (15000)} = 0.01273 \text{ Гн} = 12.73 \text{ мГн}$$

Олай болса, 17.7(а)-суретте тізбектің әрбір иығындағы индуктивтілік $L/2$:

$$\frac{12.73}{2} = 6.37 \text{ мГн}$$

Шунт иығындағы сыйымдылық – 35.4 нФ.

Жоғары жиіліктік Т-секциялық фильтр үшін: $f_{ж.шек} = 10000 \text{ Гц}$



(7) Теңдеуден сыйымдылық,

$$C = \frac{1}{4\pi R_0 f_{шк}} = \frac{1}{4\pi (600)(10000)} = 1.33 \times 10^{-8} = 13.3 \text{ нФ}$$

(8) Теңдеуден индуктивтілік,

$$L = \frac{R_0}{4\pi (10000)} = 4.77 \times 10^{-3} = 4.77 \text{ мГн}$$

Олай болса, 17.16(а)-суреттегі тізбектік әрбір иықтағы сыйымдылық – $2C$,
 $2 \times 13.3 = 26.6 \text{ нФ}$

Шунт иығындағы индуктивтілік – **4.77 мГн**. Композитті жолақ фильтр *17.24-суретте* келтірілген. Сипаттаманың өшуі мен жиіліктерінің арасындағы байланыс *17.23-суретте* келтірілген, мұндағы $f_{ж.шк} = 10 \text{ кГц}$ - жиіліктердің жоғарғы шекарасы мен $f_{т.шк} = 15 \text{ кГц}$ жиіліктердің төменгі шекарасы.

Келесі жаттығуды орындаңыздар.

101-жаттығу. Жолақты фильтрлер тақырыбы бойынша қосымша есептер

1. Жолақты фильтр шекаралық жиілігі 20 кГц төмен жиіліктік Т-секциялық филтрден және басқа шекаралық жиілігі 8кГц жоғары жиіліктік Т-секциялық филтрмен тізбектей қосылған. Филтрдің қорытынды импедансы 600 Ом. Композитті филтрді құрайтын компоненттердің мәнін анықтаңыздар.

[Төменгі жиіліктік Т-секция: әрбір тізбекті иығында 4.77 мГн, көлденең иығында 26.53 нФ;

Жоғары жиіліктік Т-секция: әрбір тізбекті иығында 33.16 нФ, көлденең иығында 5.97 мГн]

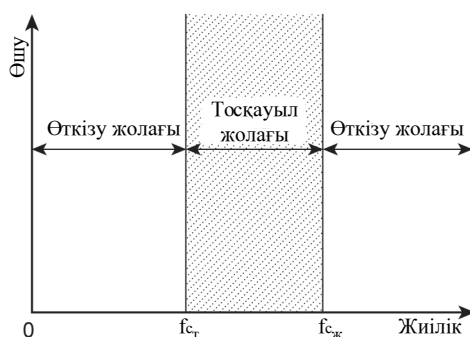
2. Жолақ фильтр шекаралық жиілігі 40 кГц төмен жиіліктік π -секциялық фильтр мен шекаралық жиілігі 50 кГц жоғары жиіліктік π -секциялық филтрден тұрады. Филтрдің толық импедансы 620 Ом. Композитті филтрді құрайтын компоненттердің мәнін анықтаңыздар.

[Төмен жиіліктік π -секция: тізбектік иығында 3.95 мГн
әрбір көлденең иығында 5.13 нФ;

Жоғары жиіліктік π -секция: тізбектік иығында 3.21 нФ
әрбір көлденең иығында 2.47 мГн]

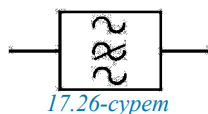
17.6 Режекторлы (тосқауыл) филтрлер

Режекторлы филтрлер тек қана берілген екі шекаралық жиіліктерінің арасындағы жиіліктерден басқа барлық сигналдар жиіліктерін тарата алатын филтрлерге жатады. Идеалды режекторлы филтрлердің сипаттамасы 17.25-суретте келтірілген.



17.25-сурет

Мұндай филтрлер жоғары жиілікті филтрлер мен төмен жиілікті филтрлерді параллель жалғау арқылы жасалады. Режекторлы филтрлер үшін келесі шарт орындалуы қажет: $f_{ж.шек} > f_{т.шек}$, яғни жиіліктердің жоғарғы шекаралары жиіліктердің төменгі шекараларынан артық болса, тосқауыл жолағы осы екі мәннің айырымына тең. 17.26-суретте режекторлы филтрдің электрлік сұлбадағы символы келтірілген.



17.26-сурет

Режекторлы филтрлер үшін 17.27-суретте практикалық типтік сипаттамалары келтірілген.



17.27-сурет

Кейде аудио жүйелерде кездесетін 50 кГц-тен жоғары электр беретін желілерден келетін бөгеулер шудың паразитті сигналдарының жиілігі екені анық белгілі. Әдетте мұндай бөгеулер 50 Гц тақ гармоникадан келеді, мысалы, 250 Гц-тен. Нақты дәл келтірілген режекторлы фильтрлер 250 Гц шулы сигналдарды әлсірету үшін фильтрлерді баптап, осы әсерді минимумге келтіру үшін қолданылады. Шекаралық жиілігі жоғары жиілікті фильтр жиілігі 250 Гц-тен жоғары бөгеулерді алып тастайды, алайда сонымен бірге кейбір аудио сигналды құраушы төменгі жиіліктер де жоғалып кетуі мүмкін. Фильтрлердің конструкциясы өте күрделі сұрақтардың біріне жатады. Осы сұрақтарды толығырақ электр тізбектері мен технологиясының теориялары деген тақырыпта қараңыздар.

Келесі жаттығуларды орындаңыздар

102-жаттығу. Фильтр жөнінде қысқаша сұрақтар

1. Фильтрдің анықтамасы.
2. Фильтр үшін шекаралық жиілігі деген не?
3. Екі портты желі деген не?
4. Екі портты желі үшін сипаттамалық импеданс деген не?

5. Шекаралық жиілігінен төмен жиіліктерді сигналдар тарату үшін пайдаланатын желіні қалай атайды?
6. Барлық жиіліктерді сигналдар тарату үшін екі қиылысу жиіліктерінің арасындағы жиіліктен басқасын пайдаланатын желіні қалай деп атайды?
7. Екі қиылысу жиіліктерінің арасындағы жиіліктерді ғана пайдаланатын желі не деп аталады?
8. Шекаралық жиілігінен жоғары жиіліктерді сигналдар тарату үшін пайдаланатын желіні қалай атайды?
9. Төменгі жиілікті фильтрлерді қолданатын бір жерді атаңыздар.
10. Төмен жиілікті фильтрлер үшін (а) мінсіз сипаттаманы және (b) практикалық өшу/жиіліктік сипаттама қатынасын сызыңыздар.
11. Жоғары жиілікті фильтрлер үшін (а) мінсіз сипаттаманы және (b) практикалық өшу/жиіліктік сипаттама қатынасын сызыңыздар.
12. Жолақ фильтрлер үшін (а) мінсіз сипаттаманы және (b) практикалық өшу/жиіліктік сипаттама қатынасын сызыңыздар.
13. Тосқауыл фильтрлердің қолданатын жерлерін келтіріңіздер.
14. Жолақты фильтрлерді пайдаланатын жерді атаңыздар.
15. Режекторлы фильтрлерді пайдаланатын жерді атаңыздар.

103-жаттығу. Фильтрлер тақырыбы бойынша бірнеше дұрыс жауабы бар тест сұрақтары

1. Сигналдарды таратуға арналған желі екі көрсетілген қиылысу жиілігінен басқа жиіліктердің бәрін қабылдайтын фильтрді қалай атайды?

- (a) Төмен жиілікті фильтр
- (b) жоғары жиілікті фильтр
- (c) жолақ фильтр
- (d) режекторлы фильтр (тосқауыл)

2. Сигналдарды таратуға арналған желі қиылысу жиілігінен жоғары жиіліктердің бәрін қабылдайтын фильтрді қалай атайды?

- (a) Төмен жиілікті фильтр
- (b) жоғары жиілікті фильтр
- (c) жолақ фильтр
- (d) режекторлы фильтр (тосқауыл)

3. Сигналдарды таратуға арналған желі шекаралық жиілігінен төмен жиіліктердің бәрін қабылдайтын фильтрді қалай атайды?
 - (a) төмен жиілікті фильтр
 - (b) жоғары жиілікті фильтр
 - (c) жолақ фильтр
 - (d) режекторлы фильтр (тосқауыл)
4. Сигналдарды таратуға арналған желі екі көрсетілген шекаралық жиілігін ғана қабылдай алатын фильтрді қалай атайды:
 - (a) төмен жиілікті фильтр
 - (c) жоғары жиілікті фильтр
 - (с) жолақ фильтр
 - (d) режекторлы фильтр (тосқауыл).
5. Төмен жиіліктік Т-байланысты симметриялық фильтрдің секциясының индуктивтілігі 200 мГн, оның әрбір тізбектік иығында және көлденең иығында сыйымдылығы 0.5 мкФ. Фильтрдің шекаралық жиілігін табыңыз.
 - (a) 1007 Гц
 - (b) 251.6 Гц
 - (c) 711.8 Гц
 - (d) 177.9 Гц
6. Төмен жиіліктік π -байланысты симметриялық фильтрдің секциясының индуктивтілігі тізбектік иығында 200 мГн және оның әрбір көлденең иығында сыйымдылық 400 нФ. Фильтрдің шекаралық жиілігі қандай?
 - (a) 25.16 кГц
 - (b) 6.29 кГц
 - (c) 17.79 кГц
 - (d) 35.59 кГц

7- және 8-сұрақтарға арналған.

Фильтрлер секциясының номиналды импедансы 620 Ом және шекаралық жиілігі 2 МГц болуы қажет.
7. Төмен жиіліктік Т-байланысты симметриялы фильтрдің секциясының құрамы қандай?
 - (a) әрбір тізбектік иықта 98.68 мкГн, көлденең иығында 128.4 нФ
 - (b) әрбір тізбектік иықта 49.34 мкГн, көлденең иығында 256.7 нФ

- (с) әрбір тізбектік иықта 98.68 мкГн , көлденең иығында 256.7 нФ
(д) әрбір тізбектік иықта 49.34 мкГн , көлденең иығында 128.4 нФ
8. Төмен жиіліктік π -байланысты симметриялы фильтрдің секциясының құрамы қандай?
(а) 98.68 мкГн әрбір тізбектік иықта, көлденең иығында 128.4 пФ
(б) 49.34 мкГн әрбір тізбектік иықта, көлденең иығында 256.7 пФ
(с) 98.68 мкГн әрбір тізбектік иықта, көлденең иығында 256.7 пФ
(д) 49.34 мкГн әрбір тізбектік иықта, көлденең иығында 128.4 пФ
9. Жоғары жиіліктік Т-байлансысты симметриялы фильтрдің секциясының сыйымдылығы 400 нФ , оның әрбір тізбектік иығында және оның көлденең иығында индуктивтілігі 200 мГн . Фильтрдің шекаралық жиілігі қандай?
(а) 1592 Гц
(б) 1125 Гц
(с) 281 Гц
(д) 398 Гц
10. Жоғары жиіліктік π -байлансысты симметриялы фильтрдің секциясының оның әрбір тізбектік иығындағы сыйымдылығы 5000 нФ және оның көлденең иығындағы индуктивтілік 500 мГн . Фильтрдің шекаралық жиілігі қандай?
(а) 201.3 кГц
(б) 71.18 кГц
(с) 50.33 кГц
(д) 284.7 кГц

11- мен 12-есептер үшін келесі сұрақтар арналған.

Фильтрлік секциялар арқылы 50 кГц жиіліктен жоғары жиіліктердің бәрі өтуі керек және номиналды импедансы 650 Ом болуы қажет.

11. Жоғары жиіліктік Т-байланысты симметриялы фильтрдің секциясы қалай құрылған:
(а) Әрбір тізбектік иығында 2.45 пФ көлденең иығында 1.03 мГн
(б) Әрбір тізбектік иығында 4.90 нФ көлденең иығында 2.08 мГн
(с) Әрбір тізбектік иығында 2.45 пФ көлденең иығында 2.08 мГн
(д) Әрбір тізбектік иығында 4.90 нФ көлденең иығында 1.03 мГн

12. Жоғары жиіліктік π -байланысты симметриялы фильтрдің секциясы қалай құрылған:

- (a) Әрбір тізбектік иығында 4.90 пФ көлденең иығында 1.04 мГн
- (b) Әрбір тізбектік иығында 4.90 нФ көлденең иығында 2.07 мГн
- (c) Әрбір тізбектік иығында 2.45 пФ көлденең иығында 2.07 мГн
- (d) Әрбір тізбектік иығында 2.45 нФ көлденең иығында 1.04 мГн

ӨТПЕЛІ ТҰРАҚТЫ ТОК

Тараудың соңында менгеретін сұрақтардың тізімі:

- «Өтпелі» деген терминді түсіну
- Конденсатордың, резистордың кернеуі мен токтарының $C - R$ тізбектей жалғанған тұрақты ток тізбегі үшін өтпелі сипаттамасын келтіру
- «Уақыттың тұрақтылығы» деген терминге түсінік беру
- $C - R$ тізбегі үшін уақыттық тұрақтылықты есептеу
- $C - R$ тізбегі үшін өсу мен ыдыраудың өтпелі қисықтарын сызу
- $C - R$ тізбегі үшін $u_C = V(1 - e^{-t/\tau})$, $u_R = Ve^{-t/\tau}$, $i = Ie^{-t/\tau}$ теңдеулерін қолдану
- Конденсаторды зарядсыздандырудағы өтпелі сипаттамаларды түсіну
- Тұрақты ток $L - R$ тізбегі үшін тізбектей жалғанған индуктордың, резистордың кернеуі мен токтарының өтпелі сипаттамаларын түсіну
- $L - R$ тізбегі үшін уақыт тұрақтысын есептеу
- $L - R$ тізбегі үшін өсу және ыдыраудың өтпелі қисықтарын сызу
- $u_R = V(1 - e^{-t/\tau})$, $u_L = Ve^{-t/\tau}$, $i = I(1 - e^{-t/\tau})$ теңдеулерді пайдалана білу
- $L - R$ тізбегі үшін ыдыраудың өтпелі сипаттамаларын түсіну. Индуктивті тізбектерде тоқты аударуды түсіну
- Тізбектің интеграторы мен дифференциаторының көмегі арқасында уақыт тұрақтылығының тік бұрышты толқынға әсерін түсіну

18.1 Кіріспе

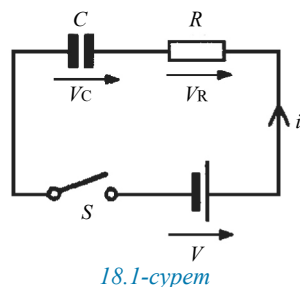
Өзара тізбектей жалғанған C конденсаторы мен R резисторына тұрақты ток кернеуі тікелей берілсе, тура сол уақытта контур арқылы өтетін ток пен C және R -ден өтетін кернеудің белгілі бір қысқа периодта өзгере алатын уақыты туады.

Тура осылай, R кедергісі мен L индуктивтіліктен тұратын сұлбаға тұрақты кернеу көзі тізбектей жалғанғанда, кернеу қосылғаннан кейін тізбектен жүретін токпен қатар L мен R -дегі кернеулердің де өзгере алатын уақыттың қысқа периоды орнайды. Міне, осындай тізбектің өзгерістері **өтпелі** процестер деп аталады.

18.2 Конденсаторды зарядтау

- (a) 18.1-суретте $C - R$ сұлбасының тізбектей жалғанған электрлік тізбегі келтірілген. Тізбектің S ауыстырып қосқышы тұйықталған болса, онда **Кихгофтың кернеу** заңы жазылады:

$$V = v_C + v_R \quad (1)$$



- (b) Аккумуляторлық батареяда V кернеу тұрақты. Конденсатордың кернеуі q/C формуласымен беріледі, мұндағы q – конденсатордың заряды. iR – кернеудің түсуі, мұндағы i – тізбек тогы. Сондықтан кез келген уақытта:

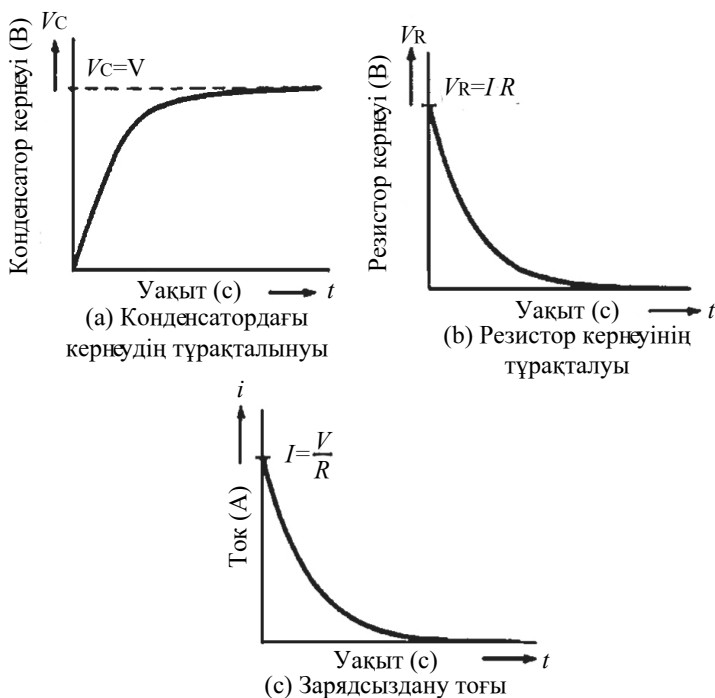
$$V = q/C + iR \quad (2)$$

Тізбектің S қосқышы тұйықталған кезде (шарттың бастапқы мақсаты) конденсатордың бастапқы q_0 -заряды нөлге тең, олай болса, v_{C0} да нөлге тең. (1) теңдеуден $V = 0 + v_{R0}$. Олай болса $v_{R0} = V$. Сондықтан тізбектен өтетін бастапқы ток:

$$i_0 = I = V/R$$

- (c) t_1 секундпен алғанда қысқа уақыт ішінде S қосқышты тұйықтағаннан кейін, конденсатор зарядталады, мысалы, ток ағатындықтан q_1 кулонға зарядталады делік. v_{C1} кернеуі енді (q_1/C) В-пен өрнектеледі. Егер тізбектен өтетін ток 1 ампер болса, онда R -дегі кернеу $i_1 R$ вольтқа дейін түседі. Сондықтан (2) теңдеу енді $V = (q_1/C) + i_1 R$ түріне өзгереді.

- (d) S - қосқышты тұйықтағаннан кейін t_2 - секунд уақыт өткенде, заряд q_2 - кулонға дейін ұлғайды, сондықтан v_C да q_2/C вольтқа ұлғайды. $V = v_C + v_R$ және V тұрақты болғандықтан, v_R мәні $i_2 R$ -ге дейін төмендейді, олай болса v_C ұлғайғанда ток пен v_R -дің мәндері уақыттың артуымен кішірейді.
- (e) Ең соңында, S қосқышты тұйықтағаннан кейін бірнеше секунд өткенде (стационарлы жағдайға дейін) конденсатор толық зарядталып бітеді, мысалы, Q кулонға дейін делік, енді ток ақпайтын және $i = 0$ нөлге тең болып шығады, сонда $v_R = iR = 0$. (1) теңдеуден $v_C = V$ өрнегі шығады.
- (f) v_C , v_R мен i -дің уақытқа байланысты тәуелділігінің графигі 18.2-суретте келтірілген. v_C мен уақыттың арасындағы тәуелділік графигі **өсудің экспоненциалды қисығы** деп, ал график **«конденсатордың кернеуі/уақытқа»** деп сипатталады. v_R мен уақыттың арасындағы тәуелділік **ыдыраудың экспоненциалды қисығы** деп, ал графигі **«резистордың кернеуі/ уақытқа»** және **«резистор тогы/ уақытқа»** деп сәйкесінше сипатталады.

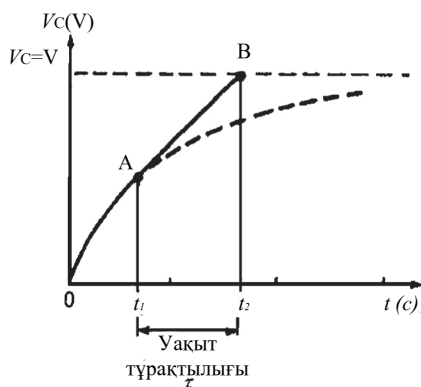


18.2-сурет

(«Экспоненциалды» деген түсінік графиктен алынған қисықтың пішінін математикалық түрде өрнектеу мүмкінділігі 18.4-тараудың бабында теңдеумен көрсетіледі).

18.3 C–R тізбегі үшін уақыт тұрақтысы

- (a) Тұрақты кернеу көзі $C - R$ тізбектей жалғанған сұлбағ аберілгендегі конденсатордың v_C кернеуінің өтпелі қисығы 18.2(a)-суретте келтірілген.
- (b) 18.3-суретте келтіргендей тұрақты қоректендіру көзінің кернеуі айнымалы қоректендіру көзінің кернеуімен t_1 секунд ішінде алмастырылсын делік. Тізбектегі **ток тұрақты** болып қалатындай етіп, кернеуді өзгерту қажет.



18.3-сурет

- (c) Тізбек бойынша ағатын ток тұрақты болғандықтан, осы қисық A нүктесіне түсірілген АВ жанамасының бойымен өтетін болады.
- (d) Конденсатордың v_C кернеуі өзінің ең соңғы V мәніне t_2 секунд ішінде жетсін делік.
- (e) $(t_2 - t_1)$ уақытына сәйкес секунд **тізбектің тұрақты уақыты** деп аталады, оның ' τ ' грекше символы "тау" деп белгіленеді. Уақыттың секундпен алынған тұрақтысы, яғни тізбектей жалғанған $C - R$ сұлбасы үшін:

Тізбектің уақыт тұрақтылығы, $\tau = CR$ секунд

(b) баптағы келтірілген шарт бойынша кернеу айнымалы болсын, өтпелі процесс кезіндегі кез келген уақытта осындай өзгерістер болуы мүмкін, ондай жағдайда $t = 0$ деп алынады, яғни сұлбаны қоректендіру

көзіне жалғаған уақыт моментіне сәйкес. Тізбектің уақыт тұрақтылығы осындай жағдайда анықталса, онда *егер бастапқы өзгеру жылдамдығы сақталып қалса, өтпелі жағдайға сәйкес уақыт өзінің ең соңғы күйіне жете алады.*

18.4 Тізбектей жалғанған C–R сұлбасы үшін өтпелі қисықтар

Өтпелі қисықтардың графигін сызудың екі негізгі түрлері бар:

- (а) **Жанама тәсіл** – бұл тәсіл 1-есепте келтірілген.
 (б) **Бастапқы көлбеу және үш нүкте** әдісі, бұл әдістер өтпелі экспоненциалды қисықтардың келесі қасиеттеріне негізделіп, 2-есепте келтірілген.

1) Өсу графигінде (әдетте стационарлы мәnnің 63% ретінде алынады) бір тұрақты уақытың мәніне тең уақытта өтпелі мән өзінің стационарлы мәнінің 0.632 бөлігін, екі жарым тұрақты уақытың мәніне тең уақытта өтпелі мән өзінің стационарлы мәнінің 0.918 бөлігін өте алады (әдетте өз стационарлы мәнінің 92% қабылдайды), сонда оның стационарлы мәні бес тұрақты уақытқа тең болғаны.

2) Ыдырау графигінде (әдетте бастапқы мәnnің 37% ретінде алынады) бір тұрақты уақытың мәніне тең уақытта өтпелі мән өзінің бастапқы мәнінің 0.368 бөлігіне тең, екі жарым тұрақты уақытта өтпелі мән өзінің бастапқы мәнінің 0.082 бөлігіне тең (бастапқы өз мәнінің 8% әдетте қабылдайды) болғанда бес тұрақты уақыттың нөлге тең уақыт моменті туады. 18.2-суретте көрсетілген өтпелі қисықтарды математикалық теңдеу арқылы келтіруге болады, оған дифференциалдық теңдеулерді шешумен алынған сұлба өкілдік бола алады.

Қисықтардың теңдеулері:

Конденсатордағы кернеудің өсуі,

$$v_C = V(1 - e^{-t/CR}) = V(1 - e^{-t/\tau})$$

Резистор кернеуінің ыдырауы,

$$v_R = Ve^{-t/CR} = Ve^{-t/\tau}$$

Резистор кернеуінің ыдырауы,

$$i = Ie^{-t/CR} = Ie^{-t/\tau}$$

1-есеп. Сыйымдылығы 15 мкФ конденсатор, кернеуі 120 В, кедергісі 47 кОм резистормен тізбектей қоректендіру көзі арқылы қосылған. Тангенциалды график әдісін пайдалана отырып, конденсатордың кернеу уақытының сипаттамаға қатынасының сұлбасын сызыңыз. Осы сипаттамадан уақыт аралығында конденсатордың кернеуі қоректендіру көзіне жалғағаннан кейінгі уақыт тұрақтылығы мен екі секунд желіге қосқаннан кейінгі уақытқа тең. Сонымен қатар конденсатордың кернеуі үшін уақыттың стационар күйінің жарты мәніне дейінгі уақытын табыңыз.

Экспоненциалды қисықты сызу үшін тізбектің уақыттық тұрақтысы мен стационарлық күйдің мәні анықталады.

Тізбектің уақыт тұрақтысы,

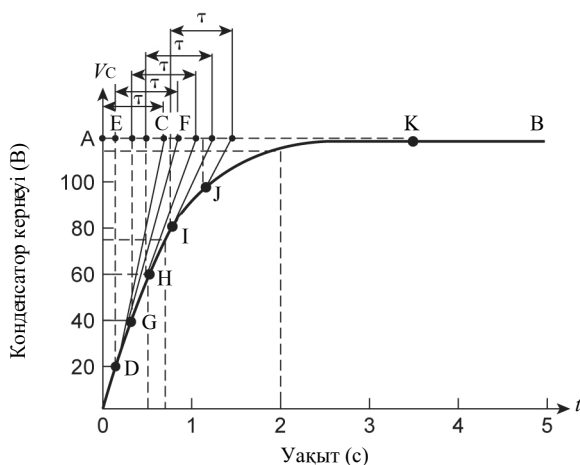
$$= CR = 15 \text{ мкФ} \times 47 \text{ кОм} = 15 \times 10^{-6} \times 47 \times 10^3 = 0.705 \text{ с}$$

Стационарлық күйдің мәні,

$$U_C = U,$$

яғни, $U_C = 120 \text{ В}$

18.4-суретте горизонталь өстің масштабын алғанда оны тұрақты уақыттан 5 есе артық, яғни 3.5 секундқа тең деп салған. Вертикаль өстің



18.4-сурет

ауқымы конденсатор кернеуінің өзгеруіне сәйкес, яғни оның ауқымы 0-ден 120 В-қа дейін өзгергені. Сынған АВ сызық v_C -нің ең соңғы тиісті мәніне сәйкес сызылады.

АВ сызығының бойымен С нүктесі өлшенуі үшін АС-ны **1 т** (тауға) эквивалентті деп алу қажет, яғни $AC = 0.705 c$. АС түзу сызықпен сызылады. График салу үшін бес аралық нүктелерді сызу керек болсын, ОС түзуінде D нүктесінде v_C мәніне 20 В кернеуі сәйкес келетіні таңдалынып алынған. DE вертикалды салынады. EF-тің бір тауға сәйкес мәні алынады, яғни EF 0.705 секундқа тең. DF түзу сызықпен салынады.

Мұның орындалу тәртібі:

(α) Таңдап алынған нүкте арқылы вертикаль түзуді сызу,

(b) Горизонталды түзу арқылы бір тауға сәйкес келетін стационарлық мәнді салу және

(c) v_C -ның 40, 60, 80 және 100 В мәндерінің бәрі үшін бірінші және соңғы нүктелерін қосуды қайталап, нәтижесінде келесі G, H, I мен J нүктелердің орындарын табуға болады.

Конденсатордағы кернеу өзінің стационарлы 120 В мәніне эффективті түрде жете алады, К нүктесі көрсеткендей ол үшін бес уақыттық тұрақтыға сәйкес уақыт кетеді. O, B, G, H, I, J мен K нүктелері арқылы түзетілген қисықты салу конденсатордағы кернеудің өсуінің экспоненциалды қисығын береді.

Конденсатор кернеуінің мәні уақыт тұрақтылығына сәйкес график бойынша 75 В тең. Мұндай сипат барлық өсу экспоненттеріне тән, бір уақыт тұрақтылығын тапқаннан кейін өтпелі процестің мәні өзінің стационарлық мәнінің 0.632 бөлігіне тең бола алады. Осы есеп үшін $0.632 \times 120 = 75.84 B$. Сонымен қатар v_C -ның **115 В** мәні екі секундқа сәйкес келетіні графиктен көрініп тұр. (Осы мәнді $v_C = V(1 - e^{-t/\tau})$ теңдеу арқылы тексеруге болады. Мұндағы $V = 120 B$, $\tau = 0.705 c$, $t = 2 c$. Осы есептеулер бойынша $v_C = 112.97 B$.

Өзінің ең соңғы мәнінің жартысына, яғни 60 В-қа жеткенше, v_C үшін графиктен уақыттың 0.5 секундқа тең екенін табуға болады. (Бұл нәтижелерді теңдеу арқылы да тексеруге болады $v_C = V(1 - e^{-t/\tau})$, мұнда $V = 120 B$, $v_C = 60 B$, сонда $\tau = 0.705 c$, уақыт $t = 0.489 c$).

2-есеп. Сыйымдылығы 4 мкФ конденсатор 24 В дейін зарядталған, содан кейін кедергісі 220кОм резистор арқылы зарядсызданған. Бастапқы көлбеу мен үш нүкте тәсілін

пайдалана отырып, графикте жүріп жатқан өтпелі процестер үшін (a) конденсатордағы «кернеу/уақыт» сипаттамасын, (b) резистордың «кернеуі/уақыт» сипаттамасын, (c) «ток/уақыт» сипаттамасын сызыңыз. Зарядсыздану басталғаннан кейін 1.5 секунд өткенде конденсатор мен резистордағы кернеуді және резистордағы ток мәндерін конденсатордың сипаттамалары бойынша анықтаңыз.

Өтпелі графикті сызу үшін тізбектің уақыт тұрақтылығы мен стационарлық мәнді табу керек.

Уақыт тұрақтылығы:

$$\tau = CR = 4 \times 10^{-6} \times 220 \times 10^3 = 0.88 \text{ c}$$

Бастапқы конденсатордың кернеуі,

$$v_C = v_R = 24 \text{ В}$$

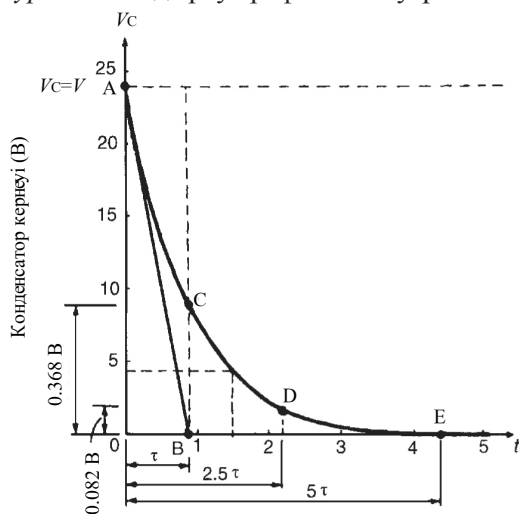
$$i = V / R = \frac{24}{220 \times 10^3} = 109 \text{ мА}$$

Нәтижесінде:

$$v_C = v_R = i = 0$$

(a) Конденсатордағы кернеудің 24 В-тен 0В-ке дейін экспоненциалды төмен түсу уақытына бес тұрақты уақыт сәйкес, яғни $5 \times 0.88 = 4.4 \text{ c}$.

18.5-суреттен ыдырау графикін салу үшін:



18.5-сурет

- (1) Бес уақыттық тұрақтылықты қамти алатын горизонталды шкаланы салу, яғни 4.4 с сиятын масштаб;
- (2) 0-ден 24 В-ке дейін конденсатордағы кернеудің мәндерін қамтитын вертикалды масштабты салып таңдау;
- (3) А нүктесі конденсатор кернеуінің бастапқы мәніне, яғни 24 В сәйкес болуы;
- (4) OB бір уақыттық тұрақтылыққа эквивалентті болғандықтан, AB түзуі салынады, міне осы алғашқы көлбеу;
- (5) Бастапқы мәнімен салыстырғанда өтпелі процестің уақыты бір уақыт тұрақтылығына тең, яғни $0.368B$ арқылы түсірілген вертикаль түзу мен BC арақашықтық 8,83 В-қа тең;
- (6) Өтпелі уақыттың мәні уақыт тұрақтылығының 2.5 бөлігіне тең, яғни $0.082 \times 24 = 1.97 \text{ В}$ екені 18.5-суреттің D нүктесінен көрініп тұр;
- (7) E нүктесі шығатын бес тұрақты уақыт өткеннен кейін өтпелі процесс біртіндеп 4.4 с кейін сөнеді.

A , C , D мен E нүктелері арқылы алынған қисықты түзету ыдыраудың өтпелі екенін көрсетеді. Ыдырау басталғаннан кейін 1.5 с өткенде $v_C \approx 4.4 \text{ В}$ тең болады.

[Бұл шыққан нәтижені теңдеумен тексеруге болады: $v_C = Ve^{-t/\tau}$, мұндағы $V = 24 \text{ В}$, $t = 1.5$, $\tau = 0.88$, $v_C = 4.36 \text{ В}$]

- (b) Резистордағы кернеудің түсуі конденсатор кернеуіне тең, егер конденсатор резистор арқылы зарядсызданатын болса, осы кезде «резистор кернеуі/уақыт» сипаттамасы 18.5-суретте келтірілген сипаттамаға ұқсас. Ыдыраудан кейін қалай болғанда да 1.5 секунд өткенде $v_R = v_C$ тең болғандықтан (7 бапқа сәйкес), $v_R = 4.4 \text{ В}$ екені шығады
- (c) «Ток/уақыт» сипаттамасы (a) сипаттамасы тәрізді салынған, оны 18.6-суреттен және (конденсатордағы кернеу/уақыт) бабынан көруге болады.

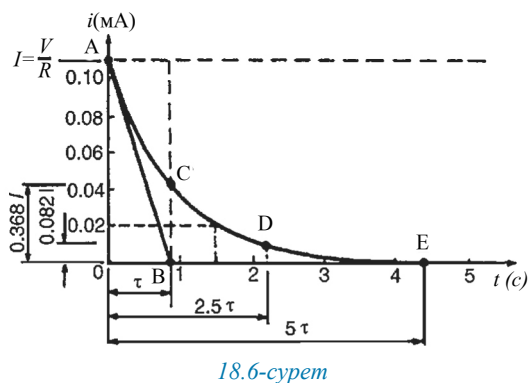
А нүктесі: токтың бастапқы мәні $= 0.109 \text{ мА}$

С нүктесі: 1τ үшін $i = 0.368 \times 0.109 = 0.040 \text{ мА}$

D нүктесі: 2.5τ үшін $i = 0.082 \times 0.109 = 0.009 \text{ мА}$

E нүктесі: 5τ үшін $i = 0$

Сонымен, өтпелі процестің түрі осылайша келтірілген. Сонда 1.5 секунд өткеннен кейін токтың шамасы сипаттама бойынша **0.02 мА**-ге тең болғаны.



[Бұл шыққан нәтижені теңдеумен тексеруге болады: $i = Ie^{-t/\tau}$, мұндағы $I = 0.109 \text{ A}$, $t = 1.5 \text{ c}$, $\tau = 0.88$, $i = 0.0198 \text{ mA}$ немесе $V = 20 \text{ B}$].

3-есеп. Сыйымдылығы 20 мкФ конденсатор кедергісі 50 кОм резистормен тізбектей жалғанған және осы тізбек кернеуі 20 В тұрақты ток қоректендіру көзіне жалғанған. Анықтаңыздар: (а) өтетін токтың бастапқы мәні, (б) тізбектің уақыттық тұрақтылығы, (с) тізбекті қосқаннан кейін 1 секунд өткендегі токтың мәні, (д) тізбекті қосқаннан кейін 2 секунд өткендегі конденсатор кернеуін, (е) тізбекті қосқаннан кейін резистордағы кернеу 15 В тең болғандағы уақытты.

1-есеп сияқты (с), (д) және (е) баптарын график бойынша анықтауға болады немесе төменде келтірілген математикалық есептеулермен де шығаруға болады.

$$V = 20 \text{ B}, C = 20 \text{ мкФ} = 20 \times 10^{-6} \text{ Ф}, R = 50 \text{ кОм} = 50 \times 10^3 \text{ Ом}$$

(а) Тізбектен өтетін бастапқы ток шамасы,

$$I = \frac{V}{R} = \frac{20}{50} = 0.4 \text{ mA}$$

(б) 18.3-тараудан уақыттық тұрақтылық,

$$\tau = CR = (20 \times 10^{-6})(50 \times 10^3) = 1 \text{ c}$$

(с) Ток, $i = Ie^{-t/\tau}$ және мА өлшем бірлігімен алғандағы жұмыс,

$$i = 0.4 e^{-1/1} = 0.4 \times 0.368 = 0.147 \text{ мА}$$

(d) Конденсатордағы кернеу,

$$V_C = V (1 - e^{-t/\tau}) = 20(1 - e^{-2/1}) = 20(1 - 0.135) = 20 \times 0.865 = 18.5 \text{ В}$$

(e) Резистордағы кернеу,

$$v_R = V e^{-t/\tau}$$

$$\text{мұндағы } 15 = 20 e^{-t/1}, 15/20 = e^{-t}, e^{-t} = 20/15 = 4/3$$

Теңдеудің екі жағынан да натурал логарифмді алатын болсақ,

$$t = \ln \frac{4}{3} = \ln 1.3333$$

яғни уақыт,

$$t = 0.288 \text{ с}$$

4-есеп. Тізбек сыйымдылығы 0.5 мкФ конденсатормен тізбектей жалғанған резистордан тұрады және оның тұрақтылық уақыты 12 мс. Анықтаңыздар: (а) резистордың кедергісінің мәнін, (а) кернеуі 10 В қорек көзіне тізбекті қосқаннан кейін 7 мс уақыт өткеннен кейін пайда болған конденсатордың кернеуін.

(a) Тізбектің уақыттық коэффициенті, $\tau = CR$,

Олай болса,

$$R = \frac{\tau}{C} = \frac{12 \times 10^{-3}}{0.5 \times 10^{-6}} = 24 \times 10^3 = 24 \text{ кОм}$$

(b) конденсатордағы кернеудің ұлғаю теңдеуі, $v_C = V(1 - e^{-t/\tau})$.

Осыдан $\tau = 12 \text{ мс} = 12 \times 10^{-3} \text{ с}$, $V = 10 \text{ В}$ және

$$t = 7 \text{ мс} = 7 \times 10^{-3} \text{ с}$$

$$\text{сонда } v_C = 10(1 - e^{-7 \times 10^{-3} / 12 \times 10^{-3}})$$

$$= 10(1 - e^{-0.583}) = 10(1 - 0.558) = 4.42 \text{ В}$$

Осы есепті басқаша жолмен де, мысалы 1-есеп сияқты шығаруға болады, кернеудің ұлғаю сипаттамасы арқылы 7 мс-ғы конденсатор кернеуінің мәнін анықтауға болады.

5-есеп. Тізбек сыйымдылығы 10 мкФ конденсатор мен кедергісі 25 кОм резистордан тұрады және ол кернеуі 100 В қоректендіру көзіне ажыратқыш кілт арқылы жалғанған. Қоректендіру көзімен тізбек жалғанғанда анықтаңыз: (а) уақыттық тұрақтылықты, (б) максимал токты, (с) 0.5 с өткеннен кейінгі конденсатордағы кернеуді, (д) бір тұрақтылық уақытқа сәйкес ток шамасын, (е) 0.1 с өткеннен кейінгі резистордағы кернеуді, (ф) конденсатордың кернеуі 45 В-қа жеткендегі уақытты, (г) кернеудің ұлғаюының бастапқы жылдамдығын.

(а) Тізбектің уақыттық тұрақтылығы,

$$\tau = R \times C = 10 \times 10^{-6} \times 25 \times 10^3 = \mathbf{0.25 \text{ с}}$$

(б) Егер тізбек өзінің бірінші жалғанғанында тізбектің тек кедергісімен ғана шектелсе ток максималды болады, яғни

$$I_m = \frac{V}{R} = \frac{100}{25 \times 10^3} = \mathbf{4 \text{ мА}}$$

(с) Конденсатор кернеуі,

$$v_C = V_m (1 - e^{t/\tau})$$

$t = 0.5 \text{ с}$, болғанда

$$v_C = V_m (1 - e^{t/\tau}) = 100(1 - e^{-0.5/0.25}) = 100(0.8647) = \mathbf{86.47 \text{ В}}$$

(д) Ток,

$$i = I_m e^{-t/\tau}$$

Енді $t = \tau$

Ток,

$$i = I_m e^{-t/\tau} = 4 e^{-\tau/\tau} = 4 e^{-1} = \mathbf{1.472 \text{ мА}}$$

Бір тұрақты уақыттан кейін қоректендіру кернеуімен салыстырғанда конденсатордағы кернеу 63.2% ұлғаяды, ал ток күшінің мәні өзінің бастапқы мәнімен салыстырғанда керісінше 63.2%-ға азайып, 36.8%-ды құрайды. Олай болса, $i = 36.8\%$, сонда $4 = 0.368 \times 4 = 1.472 \text{ мА}$.

(е) Резистор кернеуі,

$$v_R = V e^{t/\tau}$$

Мұндағы $t = 0.1 \text{ с}$,

Резистор кернеуі,

$$v_R = 100e^{-0.1/0.25} = 67.03 \text{ В}$$

(f) Конденсатор кернеуі,

$$v_C = 100(1 - e^{-0.1/\tau})$$

Конденсатор кернеуі 45 вольтқа жеткенде,

$$45 = 100(1 - e^{-t/0.25})$$

Осыдан,

$$\frac{45}{100} = 1 - e^{-t/0.25}$$

$$e^{-t/0.25} = 1 - \frac{45}{100} = 0.55$$

Сондықтан уақыт,

$$-\frac{t}{0.25} = \ln 0.55$$

$$t = -0.25 \ln 0.55 = 0.149 \text{ с}$$

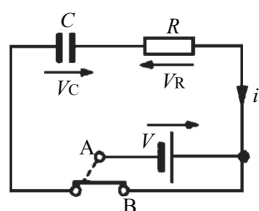
(g) Кернеудің ұлғаюының бастапқы жылдамдығы,

$$\frac{V}{\tau} = \frac{100}{0.25} = 400 \text{ В/с}$$

($t=0$ болғандағы жанаманың градиенті).

18.5 Конденсаторды зарядсыздандыру

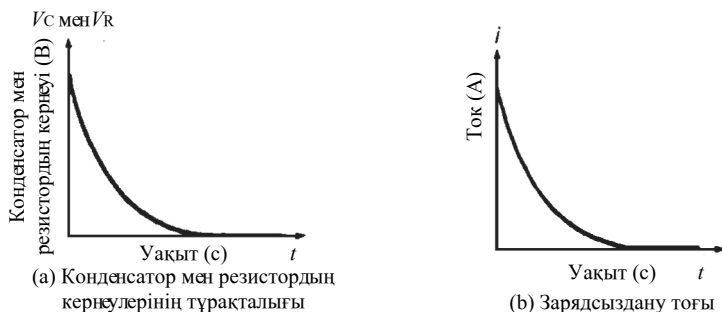
Конденсатор зарядтанғанда 18.7-суретте ажыратқыш кілт А позициясында орналасқан, содан кейін оның орны В позициясына ауыстырылады, сонда конденсаторда сақталып қалған бастапқы уақыттағы электрондар қысқа уақыт аралығында ток түзе алады. Бастапқы уақытта, яғни ажыратқыш кілтті А позициясынан В позициясына ауыстырғанда V_C конденсатордағы кернеудің түсуі $v_R = iR$ резистордағы кернеудің түсуіне тең. Басында $v_C = v_R = V$, теңділігі орындалады және ток $i = I = V/R$ өрнегімен сипатталады. Конденсатор зарядсызданғанда Кирхгоф заңын (18.7-сурет) қолдануға болады.



18.7-сурет

Ал конденсатор зарядсызданғаннан кейін кернеу экспоненциалды нөлге қарай ұмтылады,

яғни $u_C = u_R = 0$. 18.8-суретте осындай кернеу мен токты сипаттайтын өтпелі процесс келтірілген.



18.8-сурет

С – R тізбекті сұлбада зарядсыздану процесін сипаттайтын теңдеу: Зарядсыздану кернеуі:

$$u_C = u_R = V e^{(-t/CR)} = V e^{(-t/\tau)}$$

Зарядсыздану тоғы:

$$i = I e^{(-t/CR)} = I e^{(-t/\tau)}$$

Конденсатор қоректендіру көзінен алынып тасталғанда ол сол күйінде зарядталып қала береді және зарядты ұзақ уақыт сақтай алады. Сақтандыру мақсатында конденсатор сөндірілгеннен кейін автоматты түрде зарядсызданады. Ол үшін конденсаторды кедергісі жоғары резистормен жалғаса болғаны.

6-есеп. Конденсатор 100 В-қа дейін зарядталып, содан кейін кедергісі 50 кОм резистр арқылы зарядсызданады. Тұрақтылық уақыты 0.8 с. Анықтаңыз: (а) конденсатордың сыйымдылығын, (б) кернеу 20 В-ке дейін түскенше кететін уақытты, (с) зарядсыздану басталғаннан 0.5 с өткеннен кейінгі ток шамасын, (d) зарядсызданған 1 с өткеннен кейінгі резисторда кернеудің түсуін.

(1) және (2) есептің (b), (c) мен (d) баптары график арқылы табылады, сонымен қатар математикалық есептеу жолдарымен де шығаруға болады:

$$V = 100 \text{ В}, \tau = 0.8 \text{ с} \quad R = 50 \text{ кОм} = 50 \times 10^3 \text{ Ом}$$

(a) Уақыт тұрақтылығынан,

$$\tau = CR$$

Сыйымдылық ,

$$C = \frac{\tau}{R} = \frac{0.8}{50 \times 10^3} = 16 \text{ мкФ}$$

(b) $v_C = Ve^{(-t/\tau)}$ болғандықтан $20 = 100e^{(-t/0.8)}$

Осыдан,

$$1/5 = e^{(-t/0.8)}$$

Сондықтан $e^{(-t/0.8)} = 1/5$. Теңдеудің екі жағын да логарифмдейміз:

$$t/0.8 = \ln 5$$

Сонда уақыт, $t = 0.8 \ln 5 = 1.29 \text{ с}$

(c) $i = Ie^{(-t/\tau)}$ өрнегінен бастапқы өтетін ток шамасын табуға болады,

$$I = \frac{V}{R} = \frac{100}{50 \times 10^3} = 2 \text{ мА}$$

мА бірлігіндегі жұмыс,

$$i = Ie^{(-t/\tau)} = 2e^{-0.5/0.8} = 2e^{0.625} = 2 \times 0.535 = 1.07 \text{ мА}$$

(d) $v_R = v_C = Ve^{(-t/\tau)} = 100e^{(-1/0.8)} = 100e^{-1.25} = 100 \times 0.287 = 28.7 \text{ В}$

7-есеп. Конденсатор 200 В-ке дейін зарядталған, кедергісі 4 кОм резистормен жалғанған. Анықтаңыз: (a) зарядсызданудың бастапқы ток күшін, (b) тізбектің тұрақтылық уақытын, (c) конденсатордағы кернеу 2 В-қа төмендегенге дейін жұмсалатын уақытты.

(a) Зарядсызданудың бастапқы ток күші,

$$i = \frac{V}{R} = \frac{200}{4 \times 10^3} = 0.05 \text{ А немесе } 50 \text{ мА}$$

(b) уақыт тұрақтылығы,

$$\tau = CR = 0.1 \times 10^{-6} \times 4 \times 10^3 = 0.0004 \text{ с}$$

- (с) конденсатордағы кернеудің мәні 2 В-қа дейін төмендеуі үшін кететін уақыт, яғни $2/200$ немесе бастапқы мәнінің 1 пайызынан кіші болуы керек, 5τ . $5\tau = 5 \times 0.4 = 2 \text{ мс}$

Тұрақты ток тізбегінде конденсатор тізбекті бұзып, тоқты үзеді, тізбекке жалғанғанша, сонда қоректендіру кернеуін өзгерте алады.

Практикалық зертханалық жұмыстар 24-тарауда келтірілген.

Келесі жаттығуды орындаңыздар.

104-жаттығу. Тізбектей жалғанған $C - R$ тізбегі үшін өтпелі қисықтар бойынша қосымша есептер

1. Зарядталмаған конденсатордың сыйымдылығы 0.2 мкФ , кернеуі 100 В қоректендіру тұрақты ток көзіне қосылған. Резистор арқылы оның кедергісі 100 кОм . График түрінде немесе есептеу жолдарымен 10 мс өткеннен кейін конденсатордағы кернеудің шамасы қалай өзгеретінін анықтаңыздар.

[39.35 В]

2. Сұлбада зарядталмаған конденсатор мен кедергісі 50 кОм резистор тізбектей жалғанған және оның уақыт тұрақтылығы 15 мс . График түрінде немесе есептеу жолымен конденсатордың (а) сыйымдылығын, (б) кернеуі 20 В тұрақты ток көзіне 5 мс қосқаннан кейінгі кедергідегі кернеудің түсуін табыңыздар.

[(а) 0.3 мкФ (б) 14.33 В]

3. Сыйымдылығы 10 мкФ конденсатор 120 В-ке дейін зарядталып, кейін кедергісі 1.5 МОм резистор арқылы зарядсызданады. График түрінде немесе есептеу жолдарымен зарядсызданғаннан кейін 2 с өткенде конденсатордың кернеуін анықтаңыз. Сонымен қатар, кернеудің 25 В-ке дейін төмен түсу үшін қанша уақыт өтетінін есептеңіз.

[105.0 В, 23.53 с]

4. Конденсатормен тізбектей вольтметр көмегімен кедергісі 750 кОм резистор мен батарея қосылған. Вольтметрдің көрсеткіші орнықталғанда аккумуляторды тұйықтағышпен алмастыруға болады. Егер осы жағдайға 17 с уақыт жұмсалса,

вольтметрдің көрсеткіші бастапқы мәнінің екіден үшін түсіріп алғанда конденсатордың сыйымдылығы қандай болады?

55.9 мкФ]

5. Зарядталған конденсатордың сыйымдылығы 3 мкФ резистормен жалғанған, 3.9 с ішінде кернеу 70% дейін төмендейді. Резистордың мәнін анықтаңыз.

$[1.08 \text{ МОм}]$

6. Зарядталмаған конденсатордың сыйымдылығы 50 мкФ , кедергісі 1 кОм резистормен жалғанған, тізбекке кернеуі 100 В тұрақты ток көзі жалғанған. Анықтау керек: (a) тізбектен ағатын бастапқы токты, (b) уақыт тұрақтылығын, (c) 50 мс өткеннен кейінгі токтың мәнін, (d) тізбекті тұйықтағаннан кейін 60 мс өткендегі резистордағы кернеуді.

$[(a) 0.1 \text{ А} \text{ (b) } 50 \text{ мс}$
 $(c) 36.8 \text{ мА} \text{ (d) } 30.1 \text{ В}]$

7. Зарядталмаған конденсатордың сыйымдылығы 5 мкФ , кедергісі 30 кОм резистормен кернеуі 110 В тұрақты ток көзімен тізбектей жалғанған. Қоректендіру көзіне 120 мс қосқаннан кейінгі, тізбектің уақыттық тұрақтылығы мен бастапқы токтың зарядын табыңыз.

$[150 \text{ мс}, 3.67 \text{ мА}, 1.65 \text{ мА}]$

8. Сыйымдылығы 80 мкФ зарядталмаған конденсатор кедергісі 1 кОм резистормен қосылған тізбектей, содан кейін қоректендіру көзіне кернеуі 110 В тұйықталып қосылады. Анықтау керек: (a) тізбектің уақыт тұрақтылығын, (b) токтың бастапқы мәнін. (c) 40 мс , 80 мс өткеннен кейін тізбектен ағатын токтың мәндерін де анықтаңыз.

$[(a) 80 \text{ мс}, 0.11 \text{ А} \text{ (b) } 66.7 \text{ мА} \text{ (c) } 40.5 \text{ мА}]$

9. Кедергісі 0.5 МОм резистор сыйымдылығы 20 мкФ конденсатормен тізбектей жалғанған, конденсатор 200 В дейін зарядталған. Батарея тұйықтағышпен шапшаң ауыстырылған. Кем дегенде, алты уақыт тұрақтылығына сай конденсатордағы уақыт бойынша кернеудің өзгеруінің графигін салыңыз. Конденсатордағы кернеудің 75 В дейін төмен түсуіне кететін уақытты графиктен табыңыз.

$[9.8 \text{ с}]$

10. Сыйымдылығы 60 мкФ конденсатор кедергісі 10 кОм резистормен кернеуі 120 В қоректендіру көзі арқылы тізбектей

жалғанған. Есептеңіз: (а) уақыт тұрақтылығын, (b) кернеудің алғашқы үдеу жылдамдығын, (с) зарядтаудың бастапқы тоғын, (d) конденсатордағы кернеудің 50 В жеткен кездегі уақытын.

[(a) 0.60 с (b) 200 В/с
(c) 12 мА (d) 0.323 с]

11. Кернеуі 200 В тұрақты қоректендіру көзі кедергісі 2.5 МОм резистормен және сыйымдылығы 2 мкФ конденсатормен тізбектей қосылған. Есептеңіздер: (а) тұйықтағаннан кейін 4с өткендегі токты, (b) 4 с өткеннен кейінгі резистордағы кернеуді, (с) конденсаторда жинақталған энергияны.

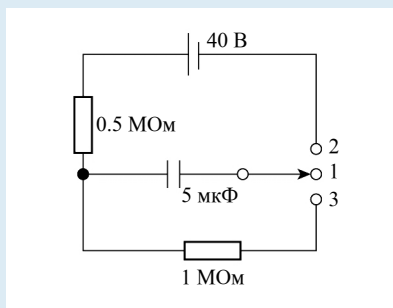
[(a) 35.95 мкА (b) 89.87 В
(c) 12.13 мДж]

12. (а) 18.9-суретте көрсеткен сұлбада тұйықтағыштың орны 1 позициясында болса, онда конденсатор зарядталмайды. Егер уақыт моменті $t = 0$ болғанда тұйықтағышты 2-орынға ауыстырса, есептеңіз: (1) 0.5 МОм резистор арқылы өтетін бастапқы токты, (2) 1.5с өткеннен кейін конденсатордағы кернеуді, (3) конденсатордағы кернеу 12 В жеткендегі уақытты.

(b) Егер тұйықтағыш 1.5 с өткеннен кейін позиция 3-орынды алса, кедергісі 1 МОм резистор арқылы қанша бастапқы ток өтеді және 3.5с өткеннен кейін конденсатордағы жинақталған энергияны (яғни $t=5$ с болғанда) есептеңіз.

(с) Конденсатордан өтетін кернеудің графигін 0 секундтан бастап 5 секундқа дейінгі моменттерді көрсететін графикті салыңыз.

[(a)(1) 80 мкА (2) 18.05 В (3) 0.892 с
(b) (1) 40 мкА (с) 48.30 мкДж]



18.9-сурет

18.6 Тұтану

Тұтанудың ішкі жұмыстарының принциптерін түсінуге $C - R$ сұлбаларын қолдану мысал бола алады. Бірінші: егер камераны қосса, батарея $C - R$ тізбегі арқылы өзінің потенциалымен конденсаторды баяу зарядтай бастайды. Конденсатор толық зарядталғанда, әдетте өзінің қызыл түсі арқылы фототүсірушіге көрсеткіш (қызыл жарық) **тұтанудың** қолдануға даяр екендігін білдіреді. Бекіту тетігіндегі жапқыштың батырмасын басу арқылы тұтану нәтижесінде конденсатор (яғни, резистор) тез зарядсызданады. Жарқыраған жарықты конденсатордан алынған ток береді. Жарқыраған жарықты шығару мақсатында тұтану жылықтау арқылы токты тез тудырады. Тұтануды жаңадан пайдаланудың алдында конденсатор зарядсыздануы керек.

18.7 $L - R$ тізбегіндегі токтың өсуі

$L - R$ тізбектей жалғанған электрлік сұлбасы 18.10-суретте келтірілген. C кілті (ауыстырып қосу) тұйықталғанда, Кирхгофтың кернеу заңы:

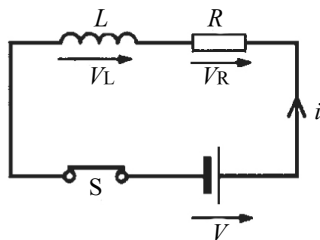
$$V = v_L + v_R \quad (3)$$

(b) Аккумуляторлық батареяларда кернеу тұрақты. Индуктивтіліктегі кернеу бағытталған кернеу болып табылады, яғни

$$v_L = L \times \text{токтың өзгеруі/уақыттың өзгеруі} = L \times di / dt$$

R мен v_R -дегі кернеулердің түсуі iR арқылы беріледі, сондықтан әр уақытта:

$$V = L \times di / dt + iR \quad (4)$$



18.10-сурет

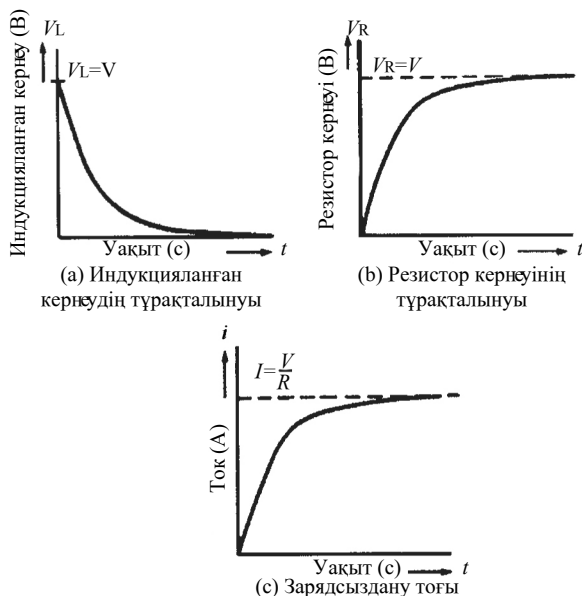
(c) Ажыратқыш кілтті тұйықтаған моментте ток өзгеруінің жылдамдығы сондай, ол орамда кернеуі V -ға тең, бірақ бағыты бойынша қарсы

э.к.к.-ін өндіре алады, олай болса $V = v_L + 0$, яғни $v_L = V$. (3)-теңдеуден, $v_L = V$, сонда $v_R = 0$, және $i = 0$.

- (d) t_1 секунд өткеннен кейін S ажыратқыш кілтті тұйықтағанда тізбектен i_1 ток өте бастайды, сөйтіп бастапқы этаптағы токтың өзгеру жылдамдығы басталады, нәтижесінде резисторда $i_1 R$ кернеудің түсуі орнайды, $V = v_L + v_R$ болғандықтан (тұрақты болып табылады), индукцияланған э.к.к. азаяды (4) теңдеудің түрі өзгереді:

$$V = L \times \frac{di_1}{dt_1} + i_1 R$$

- (e) Шамалы уақыт өтсе де, t_2 секунд уақытта ажыратқыш кілтті тұйықтағанда i_2 ток өте бастайды, резисторда кернеудің кемуі $i_2 R$ дейін ұлғаяды. Сондықтан v_R ұлғаюымен v_L кемиді.
- (f) Демек, түпкі есепте, бірнеше секундтардан кейін ажыратқыш кілтті тұйықтағанда, тізбектегі ток толығымен R -мен шектелгені, токтың өзгеру жылдамдығы мен v_L нөл тең болғаны. Қорыта келгенде, $V = iR$. Мұндай жағдайларда стационарлы токты I деп белгілейді. Сондықтан стационарлы жағдайлар үшін: $I = V/R$, $v_R = IR$ және $v_L = 0$.
- (g) v_L , v_R және i параметрлерінің уақытқа сай тәуелділіктерін сипаттайтын графиктер 18.11-суретте көрсетілген. Және v_L -ның бастапқы



мәні оның ең жоғары мәнін көрсете (онда ол V -ға эквивалентті) отырып, ол бастапқы мәнінен экспоненциалды нөлге дейін сөне бастайды, керісінше, сол уақытта v_R -мен i -ток нөлден өздерінің стационарлы мәндеріне геометриялық прогрессия бойынша V мен $I = V/R$ сәйкесінше өседі.

18.8 L – R тізбегі үшін уақыт тұрақтысы

Тізбектей жалғанған $L - R$ сұлбаның уақыт тұрақтысы тізбектей жалғанған $C - R$ сұлбаның уақыт тұрақтысы сияқты анықталатыны 18.3-тараудан белгілі. Оның шамасы:

Уақыт тұрақтылығы,

$$\tau = L / R \text{ секунд } (с)$$

18.9 L – R тізбегі үшін өтпелі қисықтар

18.4-тарауда айтылғандай, өтпелі қисықтардың «индукцияланған кернеу/ уақыт», «резистор кернеуі/уақыт», «ток/уақыт» сипаттамаларын график түрінде салуға болады. Осындай графикті салу тәсілі 8-есепте және 18.11-суретте көрсетілген.

Әрбір өтпелі қисықтар үшін математикалық теңдеулер келтірілген және олар:

Индукцияланған кернеудің ыдырауы,

$$v_L = V e^{(-Rt/L)} = V e^{(-t/\tau)}$$

Резистор кернеуінің өсуі

$$v_R = V (1 - e^{-Rt/L}) = V (1 - e^{-t/\tau})$$

Токтың өсуі

$$i = I (1 - e^{-Rt/L}) = I (1 - e^{-t/\tau})$$

Бұл теңдеулердің қолдануы 10-есепте көрсетіледі.

8-есеп. Реленің индуктивтілігі 100 мГн және кедергісі 20 Ом. Ол кернеуі 60В тұрақты қоректендіру көзімен жалғанған.

«Бастапқы көлбеу және үш нүкте» әдісін пайдалана отырып, «ток/уақыт» сипаттамасын график түрінде сызу керек және екі тұрақты уақытқа сәйкес жүретін токтың мәнін анықтап, уақыт және токтың 1.5 А-ге дейін өсетін мәніне сәйкес уақытты табыңыздар.

«Ток/уақыт» сипаттамасының графигін салмас бұрын алдын ала уақыт тұрақтысы мен стационарлық ток мәндерін есептеп алу керек.

Уақыт тұрақтылығы,

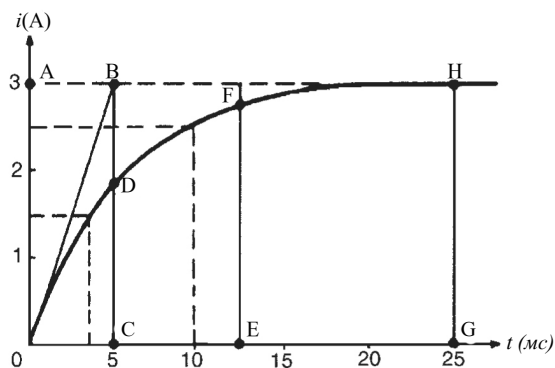
$$\tau = L / R = 10 \times 10^{-3} / 20 = 5 \text{ мс}$$

Токтың соңғы мәні,

$$I = V / R = 60 / 20 = 3 \text{ А}$$

Сипаттамаларды есептеу әдістері **2-есепте** келтірілген.

- (a) Шкалаға, кем дегенде бес (көлденең) тұрақты уақыттың мәні, яғни 25 мс пен (вертикаль бойымен) 3А шамасы сыйуы керек.
- (b) *18.12-суреттен* бастапқы көлбеудің алыну әдісі бойынша: АВ 1 тұрақты уақытқа сәйкес алынады (яғни, 5 мс), содан кейін ОВ қосылады.



18.12-сурет

- (c) 1 тұрақты уақыт периодында, *CD* дегеніміз,

$$I = 632 \times 3 = 1.896 \text{ А}$$

2.5 тұрақты уақыт периодында, *EF* дегеніміз,

$$I = 0.918 \times 3 = 2.754 \text{ А}$$

5 тұрақты уақыт периодында, GH деген,

$$I = 3 \text{ A}$$

(χ) 0 , D , F және H нүктелері арқылы өтпелі қисықта оның тегіс түрі орналасқан, сөйтіп осы график «ток/уақыт» тәуелділігімен сипатталатын болады.

Осы сипаттамадан,

$$t = 2\tau, i \approx 2.6 \text{ A} \text{ екені шығады.}$$

[Бұл нәтижелерді $i = I(1 - e^{-t/\tau})$ теңдеуімен тексеруге болады: мұндағы $I = 3 \text{ A}$, $t = 2\tau$, сонда $i = I(1 - e^{-t/\tau})$ бойынша $I = 2.59 \text{ A}$ тең, олай болса бұл нәтижелер дұрыс болып шыққаны]. Сонымен қатар, ток 1.5 A болғанда, оған тиісті уақыт **3.6 мс** құрайды.

[Бұл есептеуді тағы да $i = I(1 - e^{-t/\tau})$ теңдеуін пайдалану арқылы да тексеруге болады, мұндағы $i = 1.5 \text{ A}$, $I = 3 \text{ A}$ және $\tau = 5 \text{ мс}$, $t = 3.466 \text{ мс}$.]

9-есеп. Орамның индуктивтілігі 0.04 Гн және кедергісі 10 Ом , кернеуі 120 В қоректендіру көзіне қосылған. Анықтаңыз: (a) токтың соңғы мәнін, (b) тізбектің тұрақты уақытын, (c) тұрақты кернеу көзіне жалғанған моменттен бастап тұрақты уақытқа жеткеннен кейінгі уақытқа сай токтың мәнін, (d) соңғы мәнінен 1% шектерінде токтың өсуі үшін күтілетін уақытты.

(a) **Тұрақты токтың соңғы мәні**

$$I = V / R = 120 / 10 = 12 \text{ A}$$

(b) **Тізбектің тұрақты уақыты**

$$\tau = L / R = 0.004 / 10 = 0.0004 \text{ c} = 4 \text{ мс}$$

(c) Өзінің соңғы мәнінен, яғни 12 A -ден τ – уақыты ішінде ток 63.2% шегінде өседі, олай болса 4 мс ішінде $0.632 \times 12 = 7.58 \text{ A}$ -ге ток ұлғаяды.

(d) Соңғы мәнінен 1 пайыз шегінде токтың өсуі үшін күтілетін уақыт $5\tau \text{ c}$, олай болса, $5 \times 4 = 20 \text{ мс}$.

10-есеп. Электрмагнит орамының индуктивтілігі 3Гн және кедергісі 15Ом. Ол кернеуі 120В тұрақты кернеу көзіне қосылған, есептеу керек: (а) тізбектің тұрақты уақытын, (b) орамда ағатын токтың стационарлық мәнін, (с) өзінің соңғы мәнінен 85% дейін ұлғаюы үшін кететін уақытты (d) 0.1 с өткеннен кейін индукцияланған э.қ.к.- ті (е) және 0.3 секунд өткеннен кейінгі токтың мәнін.

(а) Токтың стационарлы мәні,

$$I = V / R = 120 / 15 = 8 \text{ A}$$

(b) Тізбектің уақыт тұрақтысы,

$$\tau = L / R = 3 / 15 = 0.2 \text{ с}$$

Төмендегі (а), (b), (с) баптардағы параметрлер өтпелі график түрінде немесе 8-есепте көрсетілген жолмен анықталына алады.

(с) v_L индукцияланған э.қ.к., $v_L = V e^{-t/\tau}$ теңдеумен беріледі $V = 120\text{В}$, $t = 0$, $\tau = 0.2 \text{ с}$, олай болса,

$$v_L = 120 e^{-t/\tau} = 120 e^{-0.1/0.2} = 120 \times 0.6065 = \mathbf{72.78 \text{ В}}$$

(d) Ток өзінің ең соңғы мәнінен 85% ұлғайғанда: $i = 0.85 I$. Сонда

$$i = I(1 - e^{-t/\tau}),$$

сондықтан

$$0.85 I = I(1 - e^{-t/\tau})$$

$$0.85 = 1 - e^{-t/\tau} \quad \tau = 0.2 \text{ болғандықтан,}$$

$$0.85 = 1 - e^{-t/0.2}$$

$$e^{-t/0.2} = 1 - 0.85 = 0.15$$

$$e^{-t/0.2} = \frac{1}{6.6} = 0.15$$

Бұл теңдеудің әр жағының натурал логарифмдерін қабылдай отырып, аламыз:

$$\ln e^{t/0.2} = \ln 6.6$$

Логарифмдер заңын пайдалана отырып,

$$\frac{t}{0.2} \ln e = \ln 6.6$$

ал егер

$$\ln e = 1,$$

онда **уақыт**,

$$t = 0.2 \ln e = 0.379 \text{ c}$$

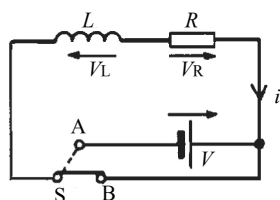
(е) Кез келген моментіндегі токтың шамасы,

$$i = I(1 - e^{-t/\tau})$$

мұндағы $I = 8 \text{ A}$, $t = 0.3 \text{ c}$ және $\tau = 0.2 \text{ c}$,
олай болса,

$$i = 8(1 - e^{-0.3/0.2}) = 8(1 - e^{-1.5}) = 8(1 - 0.2231) = 8 \times 0.7769 = \mathbf{6.213 \text{ A}}$$

18.10 L – R тізбегіндегі токтың өшуі



18.13-сурет

18.13-суретте тізбекті түрде жалғанған $L - R$ тізбегі тұрақты қоректену көзіне қосылғаны көрсетілген, S -тің орны A позициясында орналасқан, уақыттың қысқа аралығында $I = V/R$ ток өтеді, осы жағдай индукторға қатысты магнит өрісін ($\Phi \propto I$) тудырады. Енді S -тің орнын B позициясына орналастырсақ, токтың шамасы төмендеп, магнит өріс күшінің

төмендеуі басталады. v_L кернеудің қалыптасуымен ағындық ілініс басталады, ол $L(di/dt)$ -ға эквивалентті. Ленц заңы бойынша бұл кернеу тізбек бойымен ағатын i токтың мәнін сақтап және оның мәнін R -мен шектеп отырады. $V = v_L + v_R$ болғандықтан, $0 = v_L + v_R$ және $v_L = -v_R$, яғни v_R және v_L мөлшері жағынан тең, бірақ бағыттары бойынша қарсы. Өшіп бара жатқан ток экспоненциалды түрде нөлге ұмтылады, өйткені вибрацияны басу токтың ағысына пропорционал, v_R нөлге экспоненциалды кемиді. $v_L = v_R$ болғандықтан, v_L -да нөлге экспоненциалды кемитін болады. 18.19-суретте көрсетілген қисықтар осы өтпелі процестерді сипаттайтын қисықтармен бірдей.

Өтпелі қисықтардың кемуін көрсететін теңдеулер:

Кернеудің кемуі

$$v_L = v_R = Ve^{(-Rt/L)} = Ve^{(-t/\tau)}$$

Токтың кемуі

$$i = Ie^{(-Rt/L)} = Ie^{(-t/\tau)}$$

11-есеп. Қозу орамы кернеуі 110 В тұрақты ток көзіне жалғанған, қозғалтқыштың кедергісі 15 Ом, уақыт тұрақтылығы 2с. Егер қоректену көзі алынып тасталынса және тұйықтағыштар алмастырылатын болса, индуктивтілік пен тангенс әдісін қолдану арқылы «ток/уақыт» сипаттамасын анықтаңыз. Сипаттамалардың ішінен анықталатыны: (а) қысқа тұйықталғаннан кейін 3 с орамда ағатын токтың шамасы, (b) токтың 5 А-ге дейін кемуіне кететін уақыт.

$\tau = (L / R)$ уақыт тұрақты болғандықтан, $L = R\tau$ индуктивтілік, яғни

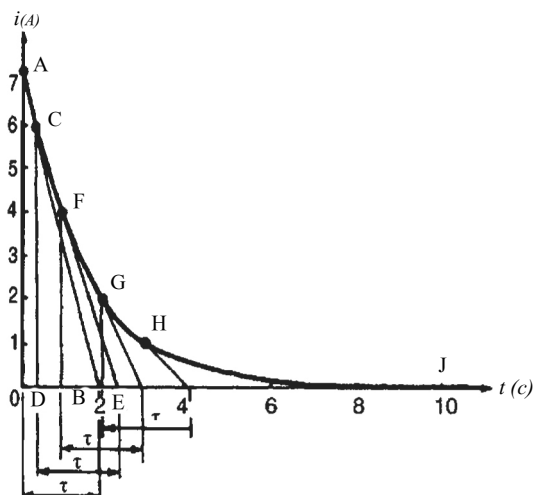
$$L = 15 \times 2 = 30 \text{ Гн}$$

«Ток /уақыт» сипаттамасы тура осындай жолмен 1-есепте құрастырылған.

- 1) Шкала горизонталь бойынша, кем дегенде бес тұрақты уақыттың орнына ие болуы керек, яғни 10 с,

$$I = V / R = 110 / 15 = 7.3 \text{ А вертикаль}$$

- 2) 18.14-суреттен, бастапқы көлбеу ОВ бір уақыт тұрақтысына тең деп алынады, (яғни, 2с) АВ қосылады.
- 3) Мысалы, ток $I = 6 \text{ А}$ болсын, мейлі C нүктесі АВ-да орналассын, сондағы сәйкес токтың шамасы 6А.DE-ні 1 уақыт тұрақтысына тең деп алып, (яғни, 2 с) CE қосу керек.
- 4) Осы мән үшін (3) баптан алынған процедураны оларға F, G және H нүктелерін бере отырып токтардың 4А, 2А және 1А-нің шамалары үшін қайталаңыз.
- 5) Токтың мөлшері нөлге тең болғанда, J нүктесі бес уақыт тұрақтысымен пара-пар.
- 6) A, C, F, G, H және J нүктелері тегіс сызықпен қосылған. «Ток/уақыт» сипаттама қисығы болып табылады.



18.14-сурет

(a) «Ток/уақыт» сипаттасынан $t = 3 \text{ c}$ тең болғанда $I = 1.3$ тең. (Мұндай нәтижені есептеу жолдарымен тексеруге болады). Екі нәтижелердің аралығында айырмашылық C, F, G және H -тың салыстырмалы түрде кішкентай мәндерді қабылдауында болып табылады.

(b) Осы сипаттамадан, егер $I = 5 \text{ A}$ тең болса, онда $t = 0.70 \text{ c}$ болғаны.

[Мұндай нәтиже есептеу жолымен де тексеріле алынады: $i = I e^{-t/\tau}$, $t = 0.766 \text{ c}$ береді]. Тағы да айта кететін мәселе ол есептеу жолымен шығарған нәтижелермен график тәсілінің арасындағы айырмашылықтың үлкен еместігінде және мұндай айырмашылықтар C, F, G және H шамаларының шағын мәндеріне қатысты болатындығында.

12-есеп. Индуктивтілігі 6 Гн және кедергісі R орам кедергісі 10 Ом резистормен тізбектей кернеуі 120 В тұрақты қоректендіру көзіне жалғанған. Тізбектің уақыт тұрақтылығы 300 мс . Стационарлы жағдайларда қоректендіру көзі қысқа тұйықталумен шапшаң алмастырылған. Анықтаңыз: (a) орам кедергісін, (b) тізбекке тұйықтағышты қосқанда бір секунд өткеннен кейін ағатын токтың шамасын және (c) ток үшін өзінің бастапқы мәнінен 10% -ға дейін төмендеуге кететін уақытты.

(a) Уақыт тұрақтылығы,

τ = тізбектің индуктивтілігі/тізбектің жалпы кедергісі

$$\tau = L / R + 10 ;$$

$$R = L / \tau - 10 = 6 / 0.3 - 10 = \mathbf{10 \text{ Ом}}$$

8 және 11-есепте көрсеткен (b) және (c) баптары график түрінде анықталады немесе төменде келтіргендей есептеу жолымен де алынады:

(b) Стационарлы ток үшін,

$$I = V / R = 120 / 10 + 10 = 6 \text{ A}$$

1 секунд өткеннен кейінгі өтпелі ток,

$$i = I e^{-t/\tau} = 6 e^{-1/0.3}$$

Сондықтан

$$i = 6 e^{-3.3} = 6 \times 0.03567 = \mathbf{0.214 \text{ A}}$$

(c) Токтың бастапқы $(10/100) \times 6$ мәнінің 10%-ы, яғни 0.6A болғаны. Төмендегі теңдеуді пайдалану керек:

$$i = I e^{-t/\tau}$$

немесе

$$0.6 = 6 e^{-t/0.3}$$

олай болса,

$$0.6 / 6 = e^{-t/0.3}$$

Осыдан

$$e^{-t/0.3} = 6 / 0.6 = 10$$

Теңдеудің әрбір жағын натурал логарифммен өрнектегенде:

$$t / 0.3 = \ln 10$$

Осыдан уақыт,

$$\mathbf{t = 0.3 \ln 10 = 0.691 \text{ c}}$$

13-есеп. Кедергісі болмашы және индуктивтілігі 200 МГц индуктор кедергісі 1 кОм резистормен және кернеуі 24 В қоректендіру көзімен тізбектей жалғанған. Тізбектің уақыт тұрақтысын және тізбекте ағатын стационарлы токтың мәнін табу керек. (a) бір уақыт тұрақтысына тең уақытта тізбектен ағатын токтың шамасын, (b) екі уақыт тұрақтысына тең уақытта индуктивті орамдағы кернеудің түсуін, (c) үш уақыт тұрақтысына тең уақытта резистордағы кернеудің түсуін анықтаңыз:

Уақыт тұрақтылығы,

$$\tau = L / R = 0.2 / 1000 = 0.2 \text{ мс}$$

Стационарлы ток,

$$I = V / R = 24 / 1000 = 24 \text{ мА}$$

(a) Өтпелі ток,

$$i = I(1 - e^{-t/\tau}) \text{ және } t = 1\tau$$

мА-мен алғандағы:

$$\begin{aligned} i &= 24(1 - e^{-(1\tau/\tau)}) = 24(1 - e^{-1}) = 24(1 - e^{-(1\tau/\tau)}) = 24(1 - e^{(-1)}) \\ &= 24(1 - 0.368) = \mathbf{15.17 \text{ мА}} \end{aligned}$$

(b) Индуктивті орамдағы кернеудің түсуі,

$$v_L = Ve^{-t/\tau}$$

$$t = 2\tau, v_L = 24e^{-2\tau/\tau} = 24e^{-2} = \mathbf{3.248 \text{ В}}$$

(c) Резистордағы кернеудің түсуі,

$$v_R = V(1 - e^{-t/\tau})$$

$$t = 3\tau,$$

$$v_R = 24(1 - e^{-3\tau/\tau}) = 24(1 - e^{-3}) = \mathbf{22.81 \text{ В}}$$

Келесі жаттығуды орындаңыздар.

105-жаттығу. Тізбектей жалғанған $L - R$ тізбек үшін өтпелі процестерге қосымша есептер

1. Индуктивтілігі 1.2 Гн және кедергісі 40 Ом орам кернеуі 200В тұрақты қоректендіру көзіне тізбектей жалғанған. Орамды қоректендіру көзіне қосқаннан кейін 60 мс өткенде «ток/уақыт» тәуелділігіне сүйене отырып, графикті салу арқылы немесе есептеу жолымен тізбектегі токтың шамасын табыңыз.

[4.32 А]

2. Кернеуі 25 В тұрақты қоректендіру көзі индуктивтілігі 1Гн және кедергісі 50м ораммен қосылған. График тәсілі арқылы токтың

экспоненциалды өсуін келтіріңіздер немесе есептеу жолымен қоректендіру көзіне жалғағаннан кейін 100 мс өткенде ағатын токтың шамасын анықтаңыздар.

[1.97 A]

3. Индуктордың кедергісі 20 Ом және индуктивтілігі 4 Гн. Ол кернеуі 50 В тұрақты қоректендіру көзіне жалғанған. Есептеңіздер: (а) 0.1 с өткеннен кейін ағатын токтың шамасын, (б) 1.5 А-ге өскенге дейін қанша уақыт жұмсалады?

[(a) 0.984 A (b) 0.183 c]

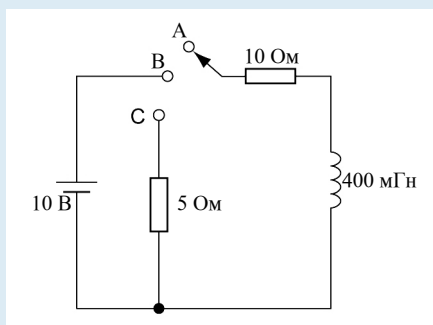
4. Қозу орамы кернеуі 200 В қоректендіру көзіне қосылған. Оның кедергісі 20 Ом және индуктивтілігі 500 мГн. Есептеңіз: (а) Қозу орамының уақыт тұрақтысын, (б) желіге қосудан кейін бір уақыт тұрақтысына сәйкес келетін токтың шамасын, (с) қоректену көзіне қосудан кейін 50 мс өткенде ағатын токтың шамасын.

[(a) 25 мс (b) 6.32 A (c) 8.65 A]

5. Индуктордың индуктивтілігі 9 Гн және оның кедергісі болмашы, ол кедергісі 60 Ом резистормен, кернеуі 240В тұрақты қоректендіру көзімен жалғанған. Есептеу керек: (а) уақыт тұрақтысын, (б) бір тұрақты уақытқа сәйкес токты, (с) токтың ең жоғары мәніне сәйкес келетін уақытты, (d) ток 2.5 А-ге жетуге сәйкес уақытты, (г) ток өзгеруінің бастапқы жылдамдықтарын.

[(a) 0.15 c (b) 2.528 A (c) 0.75 c
(d) 0.147 c (г) 26.67 A/c]

6. 18.15-суретте көрсетілгендей, индуктивті сұлбада, ток өзінің ең жоғарғы мәніне жеткенше А орнынан В орынға қарай ауыстырылады. Есептеу керек: (а) кедергідегі кернеу 8 В-ке жететін уақытты, (б) тізбекте ағатын токтың ең жоғары мәніне сәйкес уақытты, (с) максималды ток аққандағы индукторда



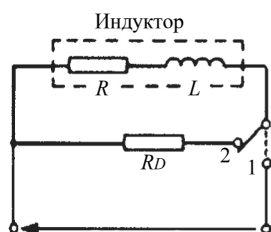
18.15-сурет

жинақталған энергияны, (d) қосқышты C орнына ауыстырғанда токтың шамасы 750 мА -ге дейін төмендегендегі уақытты.

[(a) 64.38 мс (b) 0.20 с
(c) 0.20 Дж (d) 7.67 мс]

18.11 Индуктивтік тізбектерді ауыстырып қосу

Токтың магнитті өрісті қамтамасыз етуіне байланысты индуктивтілік орамның магниттік өрісінде энергия жинақталады. Тұрақты қоректендіру көзі алынып тасталса, ток тез төмендейді, магнитті өріс бұзылып, нәтижесінде үлкен индукцияланған э.қ.к. туады және қосқыш кілт түйісулерінің арасында доға туады немесе орам көршілес орамдарының арасындағы изоляцияны бүлдіреді. Индукциясы жоғары э.қ.к.-тер токтың ағу бағытымен бағыттас, яғни түсірілген кернеудің бағытымен бірдей. Доғаны үнемі қолдап тұру үшін қоректендіру көзінің кернеуіне



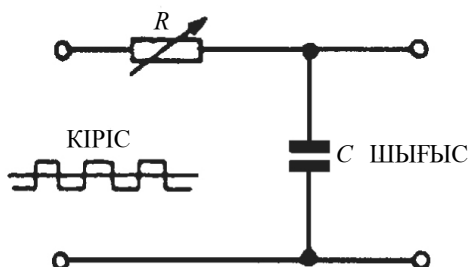
Тұрақты ток көзі
18.16-сурет

қажетті энергияны магнит өрісі тудырып отырады. 18.16-суретте көрсетілгендей, индукцияланған э.қ.к. азайту үшін қоректендіру көзі сөндірілгенде R_D зарядсыз резистор индуктормен параллель жалғанады. R_D -мен R -де магнит өрісінің энергиясы жылу түрінде таралып шашырап кетеді, сондықтан ажыратқыштың түйісулеріндегі ұшқындаудан құтылуға болады.

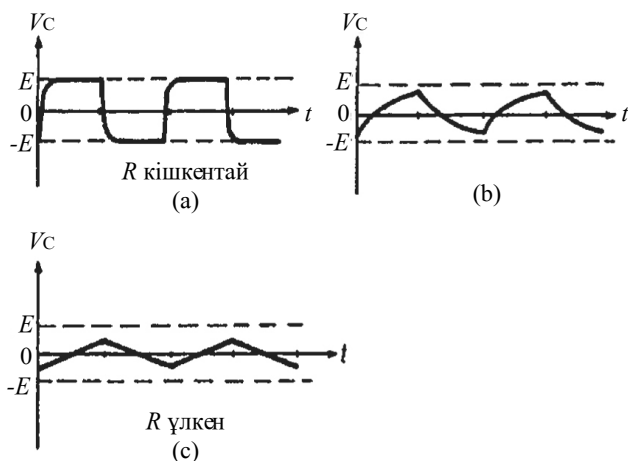
18.12 Тік төртбұрышты сигналдарға уақыт тұрақтысының әсерлері

Тізбектей жалғанған $C - R$ тізбегінде R мен C -нің мәндерін өзгерте отырып, тізбектің уақыт тұрақтысын ($\tau = CR$) да өзгертуге болады. Егер тік бұрышты сигналдар $+E$ -ден $-E$ -ге дейінгі диапазонда $C - R$ сұлбасында қолданылса, мұндай сұлба 18.17-суретте көрсетілген, онда конденсатор кернеуінің шығыс сигналдарының түрлері R -дің мәніне байланысты әртүрлі болып келеді. Егер R -дің мәні кішкентай болса, ($\tau = CR$) мәні де кішкентай, сонда 18.18(a)-суретте көрсетілгендей шығыстық сигналдың түрі синусоидалды болып шығады. Егер R -дің

мәні үлкен болса, 18.18(c)-суретте көрсетілгендей сұлба **интегратор контуры** болып табылады.



18.17-сурет

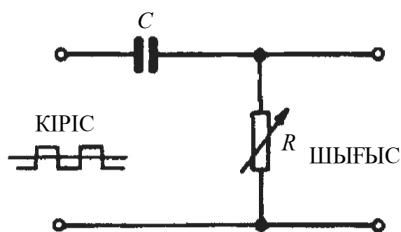


18.18-сурет

Дифференциатор сұлбасы

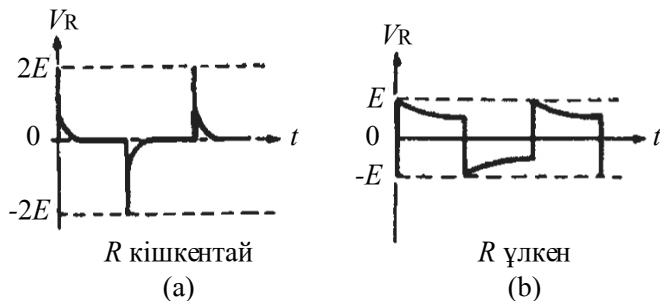
18.19-суретте көрсетілгендей, егер тікбұрышты сигналдар $+E$ -ден $-E$ -ге дейінгі диапазондарында тізбектей жалғанған $C - R$ тізбегіне қолданылса, резисторда кернеу сигналының түсетіні байқалады, сонда R қалай өзгерсе ($\tau = CR$), уақыт тұрақтысына тәуелді шығыс сигналы да тура солай өзгереді.

R -дің шамасы кішкентай болғанда, сигналдың пішіні 18.20(a)-суретте көрсетілгендей болады, кернеу өте тез конденсатор зарядсыздануындағы R кедергісімен өндіріледі.



18.19-сурет

Конденсатордағы кернеудің өзгеруі $+E$ -ден $-E$ -ге дейінгі диапазондарында өтетіндіктен, зарядсыздану тоқтың өзгерісі $2E/R$ тең, міне сондықтан резистордағы кернеу шамасының $2E$ -ге өзгеруі орындалады. Осы сұлбаны **дифференциатор** сұлбасы деп атайды, R -дің шамасы үлкен болғанда сигналдың пішіні 18.20(b)-суретте көрсеткендей болады.



18.20-сурет

106-жаттығу. Өтпелі тұрақты токқа арналған есептер

Сыйымдылығы C конденсатор R Ом резисторымен тізбекті қосылған және тұрақты кернеу көзіне жалғанған.

t -секунд уақыт өткеннен кейін I ампер ток өтеді. Осы деректерді 1-10 сұрақтарға жауап беру үшін пайдаланыңыздар.

1. t -секундтағы резистордағы кернеудің түсуі $U_R = \dots$
2. t -секунд уақыт конденсатордағы кернеу $U_C = \dots$
3. Тізбектегі кернеудің теңдеуі $V = \dots$
4. Тізбектің уақыт тұрақтылығы $\tau = \dots$
5. Тізбектен өтетін токтың соңғы шамасы $I = \dots$
6. Тізбектен өтетін токтың бастапқы шамасы $I = \dots$
7. Конденсатордағы кернеудің соңғы шамасы $\dots$
8. Конденсатордағы кернеудің бастапқы шамасы $\dots$
9. Резистордағы кернеу түсуінің соңғы мәні $\dots$
10. Резистордағы кернеу түсуінің бастапқы мәні $\dots$

Конденсатор заряды V вольт қоректендіру көзінен ажыратылған және 11 резистор арқылы разрядталады. 11-15 сұрақтар үшін осы берілген деректерді пайдаланыңыз.

11. Ағып жатқан токтың шамасы $I = \dots$
12. Жуықтап алғандағы уақыттың шамасы C мен R клеммаларындағы токтың 0-ге дейін түсуі $\dots$ секунд болады.
13. Егер R дің шамасы екі еселенсе, ток үшін уақыт нөлге дейін түседі $\dots$ 12 сұрақтағы уақытпен салыстырғанда.
14. Бір уақыт тұрақтылығына тең уақытта конденсатордағы кернеудің жуықтап алғанда түсуі $\dots$ процент болады.
15. Тізбектің уақыт тұрақтысы $\dots$ секунд.

Индуктордың индуктивтілігі L генри және кедергісі болмашы, осы индуктор тізбектей R резистормен қосылған, тұрақты қоректендіру көзіне жалғанған кернеуі вольт. t секунд уақыт өткеннен кейін ағатын токтың шамасы i ампер. 16-25 сұрақтарға дейін осы деректерді пайдаланыңыздар.

16. $\mathcal{U}_L$ -индукцияның э.к.к. - i $t = 0$ тең болғанда ағатын токқа қарсы $\dots$ сонда
17. Резистордағы кернеудің түсуі $t = 0$ тең болғанда $\mathcal{U}_R = \dots$
18. $t = 0$ тең болғанда ағатын ток $\dots$
19. V , $\mathcal{U}_R$ және $\mathcal{U}_L$ байланыстыратын тендеудің өрнегі $V = \dots$
20. Тізбектің уақыт тұрақтысы L мен R клеммаларында $\dots$
21. Стационарлы токтың мәні практика жүзінде $\dots$ секунд уақытында орналады.
22. Индуктордағы стационарлы кернеу $\dots$ вольт болады.
23. Ағып жатқан токтың соңғы мәні $\dots$ ампер болады.
24. Резистордағы стационарлы кернеу $\dots$ вольт.
25. Индуктивтілік орамдағы индукциаланған э.к.к. өтпелі процесс кезінде ток, уақыт және индуктивтілік $\dots$ вольт бойынша.

Тізбектей жалғанған $L - R$ тізбегі токты ампермен өткізеді, кенеттен қысқа тұйықталу орын алады, сонда ток экспоненциалды

төмендейді. Осы деректерді 26-сұрақтан 30-сұрақтарға дейін пайдаланыңыз.

26. Ток төмендейді ...пайызға дейін, уақыт тұрақтылығына эквивалентті уақыт аралығында.
27. Тізбектегі кернеудің теңдеуі ...
28. L мен R клеммаларындағы тізбектің уақыт тұрақтылығы
29. Токтың нөлге жететін уақыты тең ... секунд.
30. Егер R - дің мәні екі есе азайса, токтың нөлге дейін түсуі үшін кететін уақыт ... 29-есепте келтірілген уақытпен салыстырғанда қандай?
31. Сұлбаның көмегі арқылы конденсатор кернеуінің толқынының (конденсатор кернеуінің сигналының) пішініне $C - R$ тізбегіндегі кедергі өзгерісінің әсерін қысқаша түсіндіру, егер тік бұрышты толқындар берілсе.
32. Тізбектің интеграторы деген термин нені білдіреді?
33. $C - R$ тізбектей жалғанған сұлбада тікбұрышты толқындардың пішінін қысқаша түсіндіру, мұнда R -дің шамасы болмашы болғанда тізбектің дифференциаторы деген терминді қалай түсінуге болады?

107-жаттығу. Бірнеше дұрыс жауабы бар тест сұрақтары

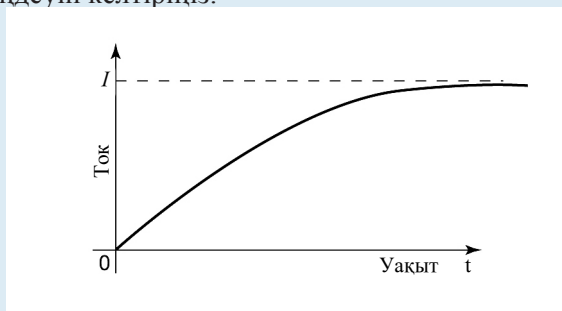
Сыйымдылығы 2 мкФ конденсатор тізбекті түрде 5 МОм резистормен кернеуі 100 В тұрақты ток көзіне жалғанған. 1-ден 7-сұрақтарға дейін төмендегі деректерден тандап алып, дұрыс жауапты пайдаланып келтіріңіз.

- (a) 10 мс (b) 100 В (c) 10 с
 (d) 10 В (e) 20 мА (f) 1 с
 (g) 0 В (h) 50 В (i) 1 мс
 (j) 50 мА (k) 20 мА (l) 0 А

1. Тізбектің уақыт тұрақтылығын анықтаңыз.
2. Конденсатордың соңғы кернеуін анықтаңыз.

3. Резистордың бастапқы кернеуін анықтаңыз.
 4. Резистордың соңғы кернеуін анықтаңыз.
 5. Конденсатордың бастапқы кернеуін анықтаңыз.
 6. Тізбектен өтетін бастапқы токты анықтаңыз.
 7. Тізбектен өтетін соңғы токты анықтаңыз.
 - 8 бен 9-сұрақтарда тізбектей жалғанған $C - R$ тізбегі шапшаң кернеудің тұрақты ток көзіне қосылған. Сонда төмендегі қандай тұжырым дұрыс емес?
 8. (a) V/R өрнегі мен бастапқы токтың шамасы анықталады:
(b) Тізбектің уақыт тұрақтылығы CR өрнегімен беріледі
(c) Ток экспоненциалды өседі
(d) Тізбектің соңғы кернеуі нөлге тең
 9. (a) Конденсатордағы кернеу резистордағы кернеудің түсуіне эквивалентті
(b) Резистордағы кернеудің түсуі экспоненциалды кішірейеді
(c) Конденсатордың бастапқы кернеуі нөлге тең
(d) Резистордағы бастапқы кернеудің түсуі IR өрнегімен анықталады, мұндағы ток күші стационарлы ток болып табылады.
 V вольтқа дейін зарядталатын конденсатор R Ом резистор арқылы разрядталады. Төменгі тұжырымдардың қайсысы дұрыс емес?
 10. (a) V/RA өрнегі арқылы бастапқы токтың шамасы анықталады
(b) Резистордағы кернеудің түсуі мен конденсатордың кернеуіне тең
(c) $C - R$ тізбегінің уақыт тұрақтылығы секунд болып табылады
(d) 11 А соңғы шамасына қарай ток экспоненциалды жоғарылайды
- Индуктордың индуктивтілігі 0.1 Гн оның кедергісі болмашы, ол тізбектей кедергісі 50 Ом резистормен және кернеуі 20 В тұрақты кернеу көзіне жалғанған. 11–15-сұрақтарда осы берілгендерді пайдалана отырып, дұрыс жауапты таңдап алу керек:
- (a) 5 мс (b) 12.6 В (c) 0.4 А (d) 500 мс
(e) 7.4 В (f) 2.5 А (g) 2 мс (h) 0 В
(i) 0 А (j) 20 В

11. Тізбектің уақыт тұрақтылығының мәні қандай?
12. Егер уақыт уақыт тұрақтылығына эквивалентті болса, онда резистордағы кернеудің жуық мәні қандай?
13. Тізбектегі токтың соңғы мәні деген нені білдіреді?
14. Индикатор орамы соңғы стационарлы кернеудің мәні.
15. Индикатордағы кернеудің бастапқы мәні.
16. Тізбектің уақыт тұрақтылығы қандай, егер тізбек те сыйымдылығы 100 пФ конденсатор кедергісі 50 Ом резистормен тізбектей жалғанса:
(a) 0.5 мкс (b) 20 нс (c) 5 мкс (d) 50 мкс
17. Тізбекте 100 мГн индуктивтілік пен 4 Ом кедергі тізбектей жалғанған, осы тізбектің уақыт тұрақтылығын анықтаңыз:
(a) 25 мс (b) 400 с (c) 0.4 с (d) 40 с
18. 18.21-суретте келтірілген график тізбектей жалғанған L – R тізбегінде тұрақты кернеу көзіне жалғанған. Осы графиктің теңдеуін келтіріңіз:



18.21-сурет

$$(c) i = I e^{-Rt/L} \quad (d) i = I (1 - e^{RL/t})$$

$$(c) i = I e^{-Rt/L} \quad (d) i = I (1 - e^{RL/t})$$

19-ТАРАУ

ОПЕРАЦИЯЛЫҚ КҮШЕЙТКІШТЕР

Тараудың соңында меңгеретін сұрақтардың тізімі:

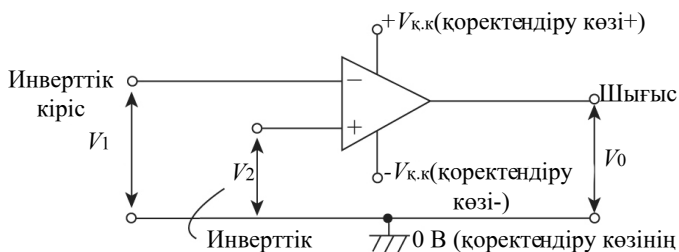
- Операциялық күшейткіштердің (ОК) негізгі қасиеттерін тану
- Кіріс токтардың сәйкессіздігінен туындайтын шығыс кернеудің кателіктерін ескеру; күшейткіштердің кірістерінде ығыстыру кернеуі сияқты ОК параметрлерін түсіну
- Синфаздық қатынасты анықтау және есептеу
- Шығыс кернеудің ұлғаю жылдамдығын бағалай білу
- ОК-дің жұмыс істеу принципін түсіндіру және символдардың сұлбасын сала білу мен келесі операциялық күшейткіштер үшін күшейту коэффициентін есептеу:
- Инвертті немесе терістеуіш,
- Инверті емес немесе терістемеуіш,
- Кернеуді қайталаушы немесе буфер,
- Жинақтау,
- Кернеу компараторы,
- Интегратор,
- Дифференциатор
- Цифрлы-аналогты түрлендіргішті түсіну
- Аналогты-цифрлы-түрлендіргішті түсіну

19.1 Операциялық күшейткішке кіріспе

Операциялық күшейткіш (әдетте **ОК-operational amplifier – opamp** деген терминмен халықаралық техникалық әдебиетте таралған) ең алдымен электронды-есептеуіш машиналармен математикалық теңдеулерді шығару үшін дискретті компоненттерден жасалып, қосу және бөлу сияқты арифметикалық операцияларды (амалдарды) аналогты есептеуіш машиналарымен орындаған. Бүгінгі күндері **ОК** интегралды-сұлбалар (ИС) түрінде шығарылады және оның қолданатын жерлері алуан түрлі, соның ішінде ең маңыздысына жоғары коэффициентті айнымалы кернеу мен тұрақты токты күшейте алатын түрлері жатады. Сонымен **ОК** әрекеттер тіркесі күшейткіштің қосалқы тізбектерін ауыстырып қосу арқылы өзгертілуі мүмкін аналогтық компьютердің элементімен кері байланыс тізбегі жоқ күшейткіш болып табылады. Тұрақты ток күшейткішінің күшейту еселігі үлкен, кіріс кедергісі жоғары, ал шығыс кедергісі төмен болып келеді.

ОК негізгі қасиеттері:

1. Жиіліктердің шамасы ұлғайған сайын азаятын айнымалы токтың төменгі жиіліктері мен тұрақты ток үшін A_0 -ның кернеу бойынша кері байланыссыз күшейту коэффициентінің мәні $10^5 - 10^6$ шамалары арасында кездеседі. Мүлтіксіз (идеалды) **ОК** үшін $A_0 = \infty$, ал нақты **ОК** үшін оның мәндері өте жоғары және децибелмен алғанда 100-120 мәндерінің арасында орналасады, яғни 100-120 дБ.
2. Өте жоғары толық кіріс кедергісі (импедансы) салдарынан, яғни 10^6-10^2 Ом-ға дейінгі шекарада тізбек немесе құрылғы арқылы өтетін ток өте кішкентай болғандықтан әдетте **ОК**-ке берілетін кірістер кернеуінің шығыны өте аз екені шығады.
3. Шығыс импедансының мәні өте төмен болғандықтан мысалы 100 Ом аймағында оның шығысындағы кернеуі кез келген кедергісі бірнеше кОм жүктеменің өзіне эффективті түрде беріле алады. **ОК**-тің **негізгі сұлбасының шартты белгілері** 19.1-суретте келтірілген. Бұл сұлбаның V_0 -деп белгіленген бір шығысы және екі кірісі бар, оның біреуі V_1 - **инвертті** (терістеуіш) **кіріс** (-) деп, ал екінші кіріс V_2 - **инвертті емес** (терістемеуіш) **кіріс** (+) деп аталады.



19.1-сурет

Мұндағы $\pm V_S$ – орташа шығысы бар екі полярлы қоректендіру кернеу көзі; $\pm V_S$ - (яғни $+V_S$, 0 , $-V_S$) қос балансталған тұрақты ток көзімен қоректену салдарынан ОК-пен жұмыс істеу өте ыңғайлы. Қоректендіру көзінің орталық нүктесі 0 В-ке тең. Қоректендіру тізбегінде нөл вольт ортақ контакт болып табылады және ол тізбектің кіріс пен шығыс клеммаларының бәріне де ортақ. Әдетте сұлбада қоректендіру көзінің электр желісіне жалғау жолы ешқандай белгімен көрсетілмейді.

ОК негізінен **дифференциалды кернеудің** күшейткіші болып табылады; V_1 және V_2 кіріс кернеулерінің арасындағы айырым күшейіп отырады. Осындай жағдайдың үш түрі белгілі:

- 1). $V_2 > V_1$ болса, V_2 оң,
- 2). $V_2 < V_1$ болса, V_2 теріс,
- 3) $V_2 = V_1$ болса, V_2 нөл.

Жалпы алғанда: $V_0 = A_0 (V_2 - V_1)$

Немесе
$$A_0 = \frac{V_0}{V_2 - V_1} \quad (1)$$

Мұндағы A_0 -кернеу бойынша үзілген кері байланыссыз күшейту коэффициенті.

1-есеп. Дифференциалды күшейткіштің кернеу бойынша кері байланыссыз күшейту коэффициенті 120-ға тең. Кіріс сигналдарының кернеулері 2.45 В және 2.35 В. Күшейткіштің шығыс кернеуін есептеңіз.

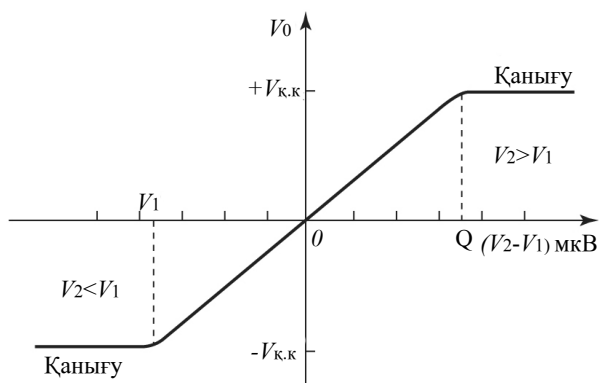
(1) Теңдеуден **шығыс кернеуі**,

$$V_0 = A_0 (V_2 - V_1) = 120(2.45 - 2.35) = (120)(0.1) = \mathbf{12 \text{ В}}$$

Тарату сипаттамасы

V_0 -шығыс кернеуі ($V_2 - V_1$) кіріс кернеулерінің айырымына сәйкес қалай өзгеріп отыратыны вольт-амперлік тәуелділік арқылы типтік сипаттамамен *19.2-суретте* келтірілген.

Тек өте кішкентай $P0Q$ диапазонында ғана шығыс сигналы кіріс сигналына тура пропорционал екені *19.2-суреттен* көрініп тұр, осы диапазонда **ОК** дерлік сызықты тәуелді және күшейткіштің шығысында шамалы болса да минималды ауытқу пайда болады. Осы сызықтық интервалдан тыс диапазонда кіріс сигналы шығыс сигналының қанығуына әкеледі және оның шамасы $+V_s$ тен $-V_s$ кернеу мәндеріне дейін өзгере алады; күшейту коэффициенті көбейген сайын күшейту режиміне сәйкес келетін дифференциалдық кернеудің ауқымы да азая түседі. Сөйтіп, сызықтық қасиеттің шектелуі A_0 кері байланыссыз күшейту коэффициентіне тәуелді болғаны, яғни неғұрлым осы шама жоғары болса, соғұрлым шектелу де жоғарылап, сызықтық тәуелділік кішірейді.



19.2-сурет

Теріс кері байланыс

Шығыс сигналының бір бөлігі (-) кері кіріске қарай қайтуының салдарынан ОК-ті әдетте кері теріс байланыс ретінде пайдаланылады. Ондай сұлбаның түрі *19.5-суретте* келтірілген. Кері байланыс сигналы шығыс кернеуін өндіреді және оның кернеуі кіріс сигналына қарсы. Мұндай жағдайда күшейткіштің жаңа шығысы әлсіреп, **A -үзілген кері байланыстағы күшейту коэффициенті A_0 -кері байланыссыз күшейту коэффициентімен салыстырғанда кіші болып келеді.** Алайда, нәтижесінде күшейту үшін кірістерге кернеудің әлдеқайда кең диапазоны

қолданылатын болады. $A_0 \gg A$ шарты үшін кері теріс байланыс келесі параметрлермен сипатталады:

1) Кернеу бойынша тұрақты және алдын-ала болжай алынатын A -күшейту коэффициентін алу;

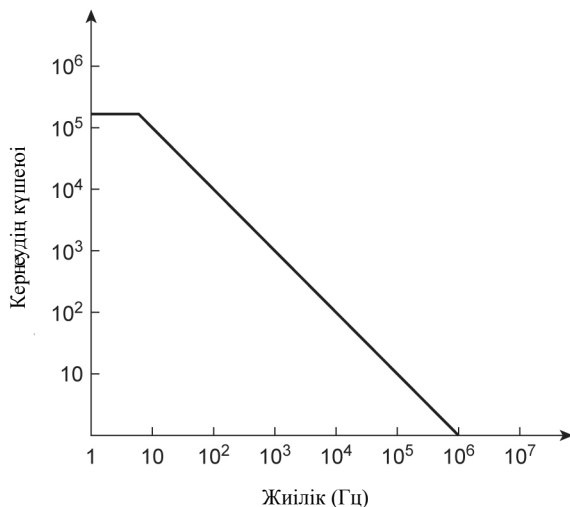
2) Шығыс сигналында ауытқудың төмендеуі;

3) Ең тиімді амплитудалы-жиіліктік сипаттамаларды алу.

Теріс кері байланыстың артықшылығы күшейтудің әсерінен туатын шығындардың жойыла алуында, екі немесе бірнеше сатыларды қолдану нәтижесінде мұндай артықшылықтар **ОК** арқылы ұлғайтылып, орындалады.

Өткізу жолақтары

ОК-ің кернеуінің кері байланыссыз күшейту коэффициенті барлық жиіліктерде бірдей тұрақты болмайды, сыйымдылықтың әсерінен ол жоғары жиіліктерде кішірейеді. «741 ОК» операциялық күшейткіші үшін *19.3-суретте* амплитудалы-жиіліктік сипаттама келтірілген. 10 Гц-тен төмен жиіліктерде күшейту коэффициенттері тұрақты, алайда жиіліктер жоғарылаған сайын күшейту коэффициенті тұрақты жылдамдықпен 6 дБ/октавадан 0-ге дейін кішірейеді (бір декада үшін 20дБ жылдамдыққа эквивалентті).



19.3-сурет

Үзілген контурдың күшейту коэффициенті 1-ге дейін төмендегенде оған сәйкес келетін жиіліктің мәнін **өтпелі жиілік** деп атайды.

Кез келген күшейткіш үшін f_T **өтпелі жиілік (transition)** кернеу бойынша кері байланыстағы күшейту коэффициентімен өткізу жолағының көбейтіндісіне тең:

$$f_T = \text{кернеу бойынша кері байланыстағы күшейту коэффициенті} \times \text{өткізу жолағы} \quad (2)$$

19.3-суретте $f_T = 10^6$ Гц немесе 1 МГц-ке тең; жиіліктері үшін 20 дБ-ге тең өсім (яғни, $20\log_{10} 10$) жиіліктің 100 кГц-ке тең өткізу жолағын бере алады. Ал егер коэффициенттің өсімі 80 дБ-ге дейін жетсе (яғни $20\log_{10} 10^4$) онда өткізу жолағы жиілікті 100 Гц-ке дейін шектейтін болады. Мұнда жиілік логарифмдік өлшеммен бағаланғандықтан оның өлшем бірлігі децибелмен белгіленген, сөйтіп жиіліктің мәндері логарифмдік масштабта дБ-мен көрсетілген.

19.2 ОК-тің кейбір параметрлері

Кіріс ағып кету тогы (I_{Azy})

Кіріс ағып кету тогы дегеніміз – I_{Azy} шығыс кернеуі нөл вольт деңгейіндегі екі кіріс клеммаларының орташа токтары. Әдетте мұндай токтардың шамасы «741 ОК» деп аталатын операциялық күшейткіш үшін 80 нА (яғни 80×10^{-9} А) шамалары маңайында. I_{Azy} **-кіріс ағып кету тогының пайда болу себебі** қоректендіру көзінің эквивалентті кедергісінің әсерінен кернеудің түсуі арқасында энергияның жоғалуы. Мұндай параметр әдетте ОК-ің кірісінде көрсетіледі.

Кіріс ығыстыру тогы (I_{BI})

ОК-ің I_{BI} **-кіріс ығыстыру тогы** дегеніміз – шығысы нөл вольтпен жалғанған екі кіріс токтарының айырымы. «741 ОК» деп аталатын операциялық күшейткіш үшін **кіріс ығыстыру тогының шамасы** әдетте 20 нА маңайында.

Кіріс ығыстыру кернеуі (V_{BI})

Мінсіз ОК үшін екі кіріс клеммаларындағы нөл кернеу шығысындағы нөлге сәйкес болуы керек. Алайда ОК-ің ішкі құрылымына сай теңгермессіздік нәтижесінде шығыс клеммаларындағы кернеудің шамасы нөлден артық болуы мүмкін. V_{BI} **кіріс ығыстыру кернеуі** – бұл ОК-ң шығысындағы кернеу нөлге тең болу үшін оның кірістерінің

арасына берілетін қажетті баланстаушы (ығыстырушы) кернеу. Кіріс дифференциалдық кернеулерінің бір-бірімен сәйкес еместігінен **ығыстыру кернеуі** туады. Оның әсерінен кіріс сигналы жоқ кезінде ОК-ң шығысында тұрақты кернеу пайда болады. «741 ОК» деп аталатын операциялық күшейткіш үшін $U_{\text{ы}}$ кіріс ығыстыру кернеуінің әдеттегі мәні 1 мВ-қа тең болып келеді.

Синфазды сигналдың бәсеңдеу коэффициенті – ССБК

ОК-ің шығысындағы кернеуі екі кірістеріндегі кернеулердің айырымына пропорционал. Мінсіз ОК үшін екі кірістеріндегі кернеулер тең болса, онда шығысындағы кернеу нөлге тең болуы қажет. ОК-ің екі кірістеріне берілетін **сигналдарды синфазды сигналдар** деп атайды және әдетте бұл кернеудің жағымсыз шуынажатады. ОК-ің бірдей синфазды сигналдардың жағымсыз кернеуін бәсеңдету қабілеті (**ССБК**) -**синфазды сигналдың бәсеңдеу коэффициентімен** өлшенеді, сөйтіп, келесі формула арқылы анықталады:

ССБК = $20 \log_{10} \times$ (дифференциалдық кернеуінің күшейту коэффициенті/синфазды сигналдың күшейту коэффициенті) дБ (3)

«741 ОК» үшін ССБК-ің мәні әдетте 90 дБ шамасында сипатталады. Синфазды сигналдардың бәсеңдеу коэффициенті қысқаша **ССБК** деп белгіленеді, ал $A_{\text{ССБК}}$ -**синфазды сигналдың күшейту коэффициенті** келесі формуламен анықталады:

$$A_{\text{ССБК}} = \frac{V_0}{V_{\text{жкс}}} \quad (4)$$

мұндағы $A_{\text{ССБК}}$ – **синфазды сигналдың күшейту коэффициенті**, V_0 – шығыс сигналы, $V_{\text{жкс}}$ – жалпы кіріс сигналы.

2-есеп. Егер ОК-тің дифференциалдық кернеуінің күшейту коэффициенті 150×10^3 -ге және ССБК-ның (синфазды сигналдың бәсеңдеу коэффициентінің) шамасы 90 дБ-ге тең болғандағы оның синфаздық сигналының күшейту коэффициентін анықтаңыз.

(3) тендеуден,

ССБК = $20 \log_{10} \times$ (дифференциалдық кернеуінің күшейту коэффициенті/синфазды сигналдың күшейту коэффициенті) дБ

Олай болса,

$$90 = 20 \log_{10} \times (150 \times 10^3 / \text{синфазды сигналдың күшейту коэффициенті}) \text{ дБ}$$

Осыдан,

$$4.5 = \log_{10} \times (150 \times 10^3 / \text{синфазды сигналдың күшейту коэффициенті}) \text{ дБ}$$

$$10^{4.5} = (150 \times 10^3 / \text{синфазды сигналдың күшейту коэффициенті}) \text{ дБ}$$

Сондықтан,

$$\text{Синфазды сигналдың күшейту коэффициенті} = \frac{150 \times 10^3}{10^{4.5}} = 4.74$$

3-есеп. Дифференциалды ОК-ің кернеуі бойынша кері байланыссыз күшейту коэффициенті 120 және екі клеммадағы жалпы кіріс сигналдары 3.0 В-пен сипатталған. Нәтижесінде шығысындағы сигналдың мәні 24 мВ. Синфазды сигналдың күшейту коэффициенті мен ССБК-ін есептеп табыңыз.

(4) тендеуден синфазды сигналдың күшейту коэффициенті:

$$A_{\text{сскк}} = \frac{V_0}{V_{\text{жск}}} = \frac{24 \times 10^{-3}}{3.0} = 8 \times 10^{-3} = \mathbf{0.008}$$

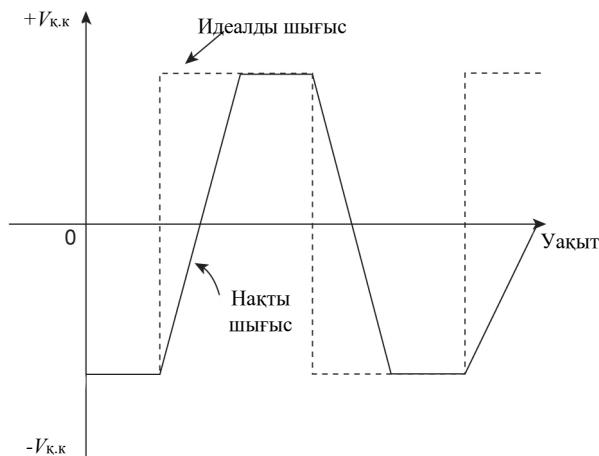
(3) тендеуден ССБК

ССБК = $20 \log_{10} \times$ (дифференциалдық кернеуінің күшейту коэффициенті/синфазды сигналдың күшейту коэффициенті) дБ

$$= 20 \log_{10} \times \left(\frac{120}{0.008} \right) = 20 \log_{10} 15000 = 83.52 \text{ дБ}$$

Шығыс кернеуінің (сигналының) жылдамдығының үдеуі

ОК шығыс кернеуінің (сигналының) жылдамдығының үдеуі дегеніміз – сатылы түрде енетін кіріс кернеудің сигналына шығыс кернеудің максималды дәрежедегі жауабы.



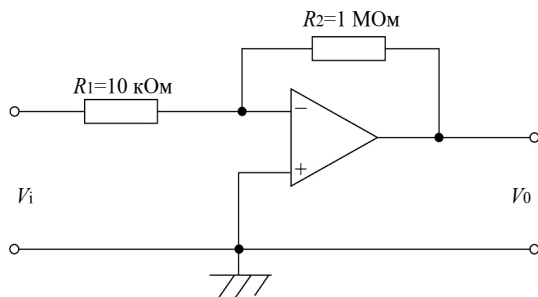
19.4-сурет

Осындай әсерге жауап 19.4-суретте келтірілген. Кірістердегі кернеу жылдамдығының үдеуі максималды мүмкін шамасына жеткенде шығыс кернеу жылдамдығының үдеуі мүлдем тоқталады. Үзік сызықтар арқылы мінсіз ОК параметрлері, ал тұтас сызықтар арқылы нақты ОК-тің параметрлері келтірілген. Неғұрлым шығыс кернеуі кірістеріндегі кернеу өзгеруіне баяу жауап қатса, соғұрлым сигналдың ауытқуы үлкен. Күшейткіштің шығыс кернеуінің жылдамдығының өзгеруі шекті шама, оның өлшем бірлігі вольт/микросекундпен алынады және оның әдеттегі мәні **0.5 В/мкс**.

19.3 Ок инвертті (кері) күшейткіш

Инвертті күшейткіштің принципиялды сұлбасы 19.5-суретте келтірілген, V_i -кіріс кернеуі (тұрақты немесе айнымалы ток көзінің сигналы). Инвертті кіріске R_i -кіріс резисторын жалғау арқылы күшейтілу әрекеті орындалады. V_0 -шығыс кернеуі кіріс кернеуге қарсы фазада болады. Инвертті емес (+) клемма 0 В кернеуге жалғанады. $R_{кб}$ -кері

байланыстың резисторы арқылы теріс кері байланыс қамтамасыз етіліп, шығыс кернеудің бір бөлігі инвертті клеммаға қайта кері беріледі.



19.5-сурет

ОК-тің күшейту коэффициенті

Мінсіз **ОК** үшін кейбір жорамал ұйғарымдар жасауға болады:

- 1) Әрбір кіріс клеммасы қоректендіру сигналынан нөл тоқты қабылдай алады, яғни кіріс импеданстары шексіз болғаны, ($R_i = \infty$, $I_i = 0$);
- 2) Егер **ОК** қанықпаса екі кірістің де потенциалдары бірдей болып келеді, яғни 19.5-суретте көрсеткендей $V_A = V_B$.
19.5-суретте $V_B = 0$, олай болса $V_A = 0$ және X нүктесі **потенциалды жерленген нүкте** деп аталады. Олай болса,

$$I_1 = \frac{V_i - 0}{R_{кб}}$$

$$I_2 = \frac{0 - V_0}{R_{кб}}$$

Алайда, (1) ұйғарымнан $I_1 = I_2$. Олай болса

$$\frac{V_i}{R_i} = \frac{-V_0}{R_{кб}}$$

Мұндағы теріс таңба V_i оң болғанда V_0 -дің теріс болатынын көрсетеді және керісінше.

A-кері байланысы бар күшейту коэффициенті келесі формуламен анықталады:

$$A = \frac{V_0}{V_i} = \frac{-R_{кб}}{R_i} \quad (5)$$

Осы формуладан күшейткіштің күшейту коэффициенті тек екі резистордан ғана тәуелді екені көрініп тұр. Бұл резисторлардың шамалары өте дәл болып келеді және олар бір үлгіден басқа үлгіге өткенде үнемі өзгеріп отыратын **ОК**-ің сипаттамасына тәуелді емес.

Мысалы, егер $R_i = 10k$ және басқа резистор $R_{\kappa\sigma} = 10k$ болса, онда кері байланыстың күшейту коэффициенті тең болады:

$$A = \frac{-R_{\kappa\sigma}}{R_i} = \frac{-100 \times 10^3}{10 \times 10^3} = -10$$

Олай болса, кірістердегі 100 мВ кернеуі шығыс кернеуін 1 В -қа өзгертіп отырады.

Кіріс кедергі

X нүктесі потенциалды жерлендірілген нүкте болғандықтан (яғни кернеуі 0 В), R_i -кіріс кедергіні инвертті ($-$) теріс кіріс клеммасымен 0 В арасында орналастырған жөн. Кіріс кедергісі өте жоғары **ОК-ке** R_i -кіріс кедергі паралель жалғанған, яғни сонда R_i әсерлі болғаны. Сондықтан сұлбаның кіріс кедергісін меңгеру үшін R_i -кіріс кедергісін өзгертсе болғаны.

4-есеп. 19.5-суретте инвертті күшейткіш келтірілген. Оның кедергілерінің мәндері $R_i = 1 \text{ кОм}$ және $R_{\kappa\sigma} = 2 \text{ кОм}$. Егер кіріс кернеуі (а) $+0.4 \text{ В}$; (б) -1.2 В болса, шығыс кернеуді табыңыз.

(1) теңдеуден,

$$V_0 = \left(\frac{-R_{\kappa\sigma}}{R_i} \right) V_i$$

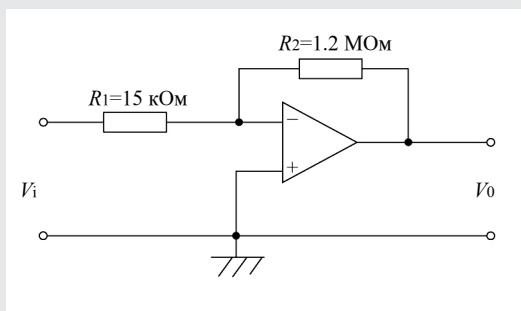
(а) $V_i = +0.4 \text{ В}$ болғанда

$$V_0 = \left(\frac{-2000}{1000} \right) (+0.4) = -0.8 \text{ В}$$

(б) $V_i = -1.2 \text{ В}$

$$V_0 = \left(\frac{-2000}{1000} \right) (-1.2) = +2.4 \text{ В}$$

5-есеп. 19.6-суретте ОК келтірілген, 20°C -та оның кіріс ығысу тогының шамасы 100 нА . Есептеңіз: (а) кернеу бойынша күшейту коэффициентін, (б) кіріс ығысу тогынан туатын шығыс ығысу кернеуін; (с) кіріс ағып кету тогының әсерін минимумге дейін қалай жеткізуге болатынын келтіріңіз.



19.6-сурет

19.6 мен 19.5-суреттерді салыстырыңыздар, $R_i = 10\text{ кОм}$ және $R_{кб} = 1\text{ МОм}$.

(а) Кернеудің күшейту коэффициенті,

$$A = \frac{-R_{кб}}{R_i} = \frac{-1 \times 10^6}{10 \times 10^3} = -100$$

(б) $I_{Азү}$ – кіріс ағып кету тогы **ОК**-ің кіріс клеммасында көрсетілетін қоректендіру көзінің кедергісіне кернеудің түсуі эквивалентті емес, бұл жолы R_i мен $R_{кб}$ параллель жалғанған. Олай болса, $I_{Азү}$ – кіріс ағып кету тогы 100 нА -ге тең болғанда $V_{Ы}$ -кіріс ығысу кернеуі төмендегі формуламен анықталады:

$$V_{Ы} = I_{азү} \left(\frac{R_i R_{кб}}{R_i + R_{кб}} \right) = (100 \times 10^{-9}) \left(\frac{10 \times 10^3 \times 1 \times 10^6}{(10 \times 10^3) + (1 \times 10^6)} \right) = (10^{-7}) (9.9 \times 10^3) = 9.9 \times 10^{-4} = \mathbf{0.99\text{ мВ}}$$

(с) Кіріс ағып кету тогының әсерін минимумге дейін жеткізуге болады, егер екі кіріске енгізілген кедергілер бірдей «көрінетін» болса. Бұл дегеніміз 19.6-суретке сай ((б) бабынан алынған) кедергінің **9.9 кОм мәні жерлендіру клеммасы мен инверстік емес (+) клеммаларының арасында орналасуы қажет.**

6-есеп. Кернеу бойынша күшейту коэффициенті 40дБ, кері байланыстағы өткізу жолақтары 5 кГц және кіріс кедергісі 10 кОм шарттары үшін инвертті күшейткішті дайындаңыздар.

Кернеу бойынша **ОК**-ің күшейту коэффициенті:

Децибелмен алғандағы коэффициент $= 20\log_{10} A$ (A – күшейту коэффициенті)

10-тараудан,

Олай болса, $40 = 20\log_{10} \times A$

Осыдан $2 = \log_{10} \times A$

$$A = 10^2 = 100$$

19.5-сурет пен (5) теңдеуден: $A = \left| \frac{R_{\kappa\delta}}{R_i} \right|$

яғни,

$$100 = \frac{R_{\kappa\delta}}{10 \times 10^3}$$

Олай болса, $R_{\kappa\delta} = 100 \times 10 \times 10^3 = 1 \text{ МОм}$

19.1-тараудағы (2) теңдеуден,

Өтпелі жиілік = күшейту коэффициенті $\times$ өткізу жолағы =

$$= 100 \times 5 \times 10^3 = 0.5 \text{ МГц немесе } = 500 \text{ кГц}$$

Келесі жаттығуды орындаңыздар.

108-жаттығу. ОК арналған қосымша есептер

1. Дифференциалды күшейткіштің кернеу бойынша күшейту коэффициенті 150 тең, егер кіріс сигналдары 3.55 В және 3.40 В болса, күшейткіштің шығыс кернеуі қандай?

[22.5 В]

2. Егер **ОК-ның** синфазды күшейту коэффициенті 6.0 және ССБК 80 Дб-ге тең болса, **ОК** үшін дифференциалды кернеудің күшейту коэффициентін есептеңіз.

[6×10^4]

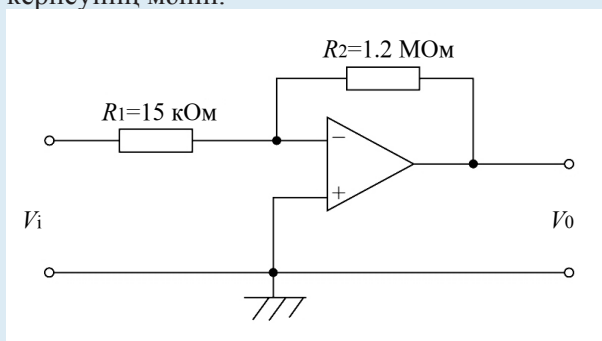
3. Дифференциалды күшейткіштің кернеуі бойынша үзілген кері байланыстағы күшейту коэффициенті 150-ге тең, екі кірістің жалпы кіріс сигналы 4.0 В . Нәтижесінде шығыс сигналы 15 мВ тең. Синфазды күшейтуді және ССБК анықтаңыздар.

$$[3.75 \times 10^{-3}, 92.04\text{ Дб}]$$

4. 19.5-суреттен инверттік күшейткіш келтірілген. (а) 0.6 В , (b) -0.9 В шарттары үшін: кіріс кернеулері тең болғандағы шығыс кернеулерін анықтаңыз.

$$[(a) - 1.0\text{ В} (b) + 1.5\text{ В}]$$

5. 19.7-суретте ОК келтірілген, 20°C -та оның кіріс ығысу тогының мәні 90 нА . Есептеңіздер: (а) кернеу бойынша күшейту коэффициентін, (b) кіріс ығысу тогына сай шығыс ығысу кернеуінің мәнін.



19.7-сурет

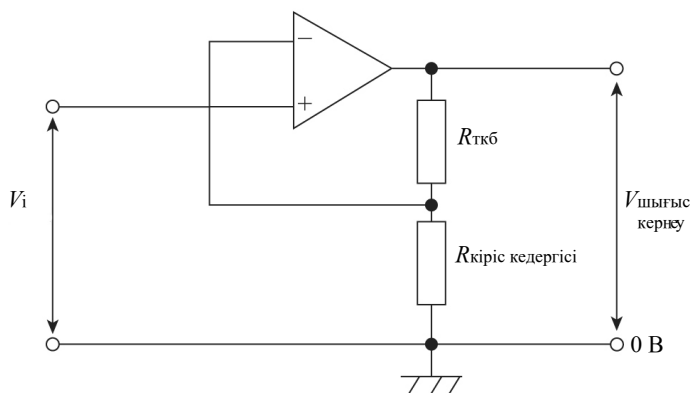
$$[(a) - 80 (b) 1.33\text{ мВ}]$$

6. (а) Теріс кері байланыстағы кедергінің мәнін, (b) кернеу бойынша күшейту коэффициенті 45 Дб және үзілген кері байланыстағы өткізу жолағы 10 кГц , сонда кіріс кедергісі 20 кОм -ға тең болатындай етіп, инверттік күшейткіш үшін өтпелі жиілікті анықтаңыздар.

$$[(a) 3.56\text{ М} (b) 1.78\text{ МГц}]$$

19.4 Инверттік емес (терістемеуіш) ок

19.8-суретте инверттік емес күшейткіштің негізгі сұлбасы келтірілген. Мұнда V_i -кіріс кернеуі (тұрақты ток көзі немесе айнымалы ток көзі) ОК-ің инверттік емес (+) клеммасына жалғанған. Осының арқасында кіріс сигналымен бір фазада болатын V_0 -шығыс сигналы туады. Теріс кері байланыс V_0 шығыс кернеуінің бір бөлігін қайтадан инверттік (–) клеммаға қайтаруынан алынады, мұндағы V_0 шығыс кернеуінің қайту бөлігінің мәні $R_{кб}$ мен R_i арқылы түзіледі де кернеуді бөлу R_i -де орындалады.



19.8-сурет

Күшейткіштің күшейту коэффициенті

19.8-суретте кері байланыстың коэффициенті берілген:

$$\beta = \frac{R_i}{R_i + R_{кб}}$$

Оперциялық күшейткіш үшін A_0 -кернеу бойынша күшейту коэффициентімен A_0 үзілген кері байланыстағы күшейту коэффициенті арасындағы байланысты келесі формуламен анықтауға болады:

$$A = \frac{A_0}{1 + \beta A_0}$$

мұнда $A_0 = 10^5$, олай болса βA_0 1-мен салыстырғанда өте үлкен болғандықтан, жуықтағанда жоғарыда келтірілген өрнек келесі түрге өзгереді:

$$A = \frac{A_0}{\beta A_0} = \frac{1}{\beta} \quad (6)$$

Олай болса,

$$A = \frac{V_0}{V_i} = \frac{R_i + R_{\kappa\sigma}}{R_i} = 1 + \frac{R_{\kappa\sigma}}{R_i} \quad (7)$$

Мысалы, $R_i = 10 \text{ кОм}$ және $R_{\kappa\sigma} = 100 \text{ кОм}$ сонда,

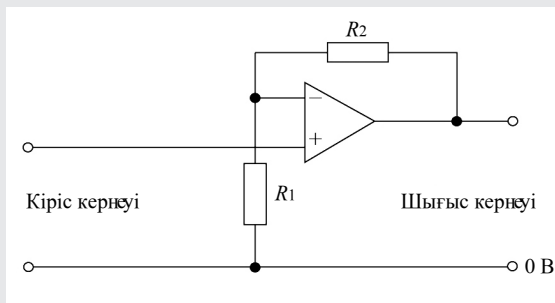
$$A = 1 + \frac{R_{\kappa\sigma}}{R_i} = 1 + \frac{R_2}{R_1} = 1 + \frac{10 \times 10^3}{4.7 \times 10^3}$$

Сонымен күшейту коэффициенті тек R_i мен $R_{\kappa\sigma}$ мәндерінен ғана тәуелді болғаны және ол A_0 үзілген кері байланыстағы күшейту коэффициентіне тәуелсіз.

Кіріс толық кедергісі

Сұлбаның (+) инвертті емес кірісінде «виртуалды» жерлендіру контактісі болмағандықтан кірістік кедергі инвертті күшейткішпен салыстырғанда әлдеқайда жоғары (әдетте оның мәні 50 МОм). Сонымен қатар $R_{\kappa\sigma}$ немесе R_i өзгеруіне байланысты күшейту коэффициенті өзгергенімен кіріс толық кедергісі өзгеріске ұшырамайды. Егер кіріс клеммасына берілетін сигнал толық кедергісінің мәні өте жоғары болып келетін қоректендіру көзінен шықса, онда инверттік емес күшейткіші бар сұлба жақсы үйлесімді бере алады.

7-есеп. 19.9-суреттен ОК үшін $R_i = 4.7 \text{ кОм}$ және $R_{\kappa\sigma} = 10 \text{ кОм}$. Егер кіріс кернеуі -0.4 В болса, анықтаңыз: (а) кернеу бойынша күшейту коэффициентін, (б) шығыс кернеуін.



19.9-сурет

19.8-суретте келтірілген ОК 19.9-суретте көрсеткендей ОК инвертті емес күшейткішпен бірдей бола алады.

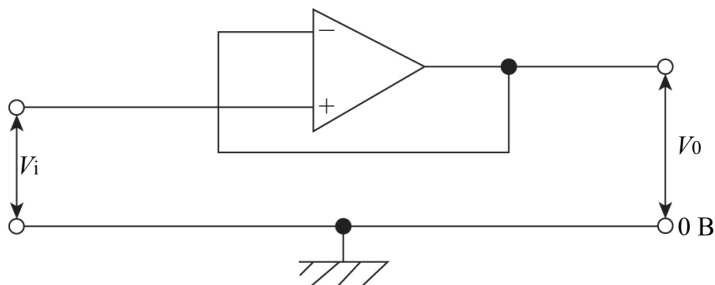
(а) (7) теңдеуден **кернеу бойынша күшейту коэффициенті**,

$$A = 1 + \frac{R_{кб}}{R_i} = 1 + \frac{R_2}{R_1} = 1 + \frac{10 \times 10^3}{4.7 \times 10^3} = 1 + 2.13 = 3.13$$

(b) (7) теңдеуден **шығыс кернеуі**, $V_o = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) V_i = -1.25 \text{ В}$

19.5 Кернеуді қайталаушы операциялық күшейткіш

Кернеуді қайталау инвертті емес күшейткіштің жеке түрі болып келеді, мұнда 100% теріс кері байланыс 19.10-суретте көрсеткендей шығыс клеммадан тікелей (–) инвертті кіріс клеммасына қосылады. 19.8-сурет бойынша $R_{кб}$ нөлге, ал R_i шексіздікке тең.



19.10-сурет

(6) теңдеуден $A = 1/\beta$ (A_0 өте үлкен болғанда). Барлық шығыс сигналдар қайтадан кіріс сигналдарына қайтқанда $\beta = 1$ және $A \approx 1$ тең болады. Сонымен, кернеу бойынша күшейту коэффициенті жуықтап алғанда бірге тең және бірнеше милливольт дәлділікпен алынғанда $V_o = V_i$ теңдігі орындалады. Транзисторлы эмиттерлі қайталаушыға эквивалентті болғандықтан 19.10-суреттегі сұлба **кернеуді қайталаушы** деп аталады, яғни V_o -шығыс кернеуі V_i -кіріс кернеуін қайталайды деген сөз. Ол өте үлкен кіріс толық кедергімен және өте төмен шығыс толық кедергімен сипатталады. Ең маңыздысы оны **буферлік күшейткіш**

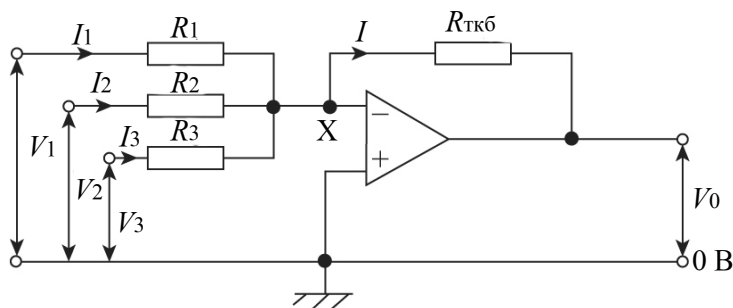
ретінде қолдануға болады, міне осындай жағдайда ток бойынша күшейту орындалып, сонда жүктеменің толық кедергісі төмен, ал қоректендіру көзінің толық кедергісі жоғары мәндерге ие бола алады.

Мысалы, ол аналогты вольтметрлердің кіріс каскадында қолданылады, мұнда тізбек әртүрлі әсерлерден ауытқымас үшін мүмкіндігін шекіріс толық кедергі максималды болуы қажет; шығыс кернеуі толық кедергісі салыстырмалы төмен жылжымалы орамы бар магнитэлектрлік өлшеуіш аспабымен өлшенеді.

19.6 Қосындылау операциялық күшейткіші

Сұлбада X «виртуалды» жерлендіру контактысы болғандықтан бірнеше кернеулерді (тұрақты ток көзі немесе айнымалы ток көзі) қосу үшін **ОК-ті** мульти-инвертті кірістері бар **күшейткіш ретінде** пайдалануға болады. Ал мұның өзі үзілген контур үшін кернеу бойынша кері байланысты күшейту коэффициентінің A_0 өте жоғары мәніне байланысты. Мұндай сұлбалар аудиожүйелердегі араластырғышта, электрогитараларда, микрофондардың шығыс клеммаларын бірлестіруде, пикаптар сияқты датчик бергіштерінде, аналогты есептеу машиналарында математикалық қосу амалдарын жасағанда пайдалынады. *19.11-суретте* **ОК** қосындылау күшейткіші үш резистор R_1 , R_2 және R_3 арқылы өтетін үш кіріс кернеулерімен V_1 , V_2 , V_3 берілген. Инвертті (–) кіріс токты өткізбейтіндіктен барлық ток $R_{кб}$ арқылы өтетін болады, сонда токты қосындылау келесі түрде жазылады:

$$I = I_1 + I_2 + I_3$$



19.11-сурет

Х контактысы «виртуалды» жерлендіруді білдіретін болса, (яғни 0 Вольт болса) онда:

$$\frac{-V_0}{R_{\kappa\delta}} = \frac{V_1}{R_1} + \frac{V_2}{R_2} + \frac{V_3}{R_3}$$

Олай болса,

$$V_0 = - \left(\frac{R_{\kappa\delta}}{R_1} V_1 + \frac{R_{\kappa\delta}}{R_2} V_2 + \frac{R_{\kappa\delta}}{R_3} V_3 \right) = - R_{\kappa\delta} \left(\frac{V_1}{R_1} + \frac{V_2}{R_2} + \frac{V_3}{R_3} \right) \quad (8)$$

Сонымен егер әрбір кіріс резисторларынан $R_{\kappa\delta}$ үлкен болса, онда үш кіріс сигналы қосылып күшейтіледі, сонда сигналдар қосыла алатын болады. Керісінше егер $R_{\kappa\delta}$ әрбір кіріс резисторларынан кіші болса, онда кіріс кернеулері қосылып, әлсізденеді.

Мысалы, егер

$$\frac{R_{\kappa\delta}}{R_1} = 4, \quad \frac{R_{\kappa\delta}}{R_2} = 3, \quad \frac{R_{\kappa\delta}}{R_3} = 1$$

және

$$V_1 = V_2 = V_3 = +1 \text{ В}$$

болса, онда

$$V_0 = - \left(\frac{R_{\kappa\delta}}{R_1} V_1 + \frac{R_{\kappa\delta}}{R_2} V_2 + \frac{R_{\kappa\delta}}{R_3} V_3 \right) = -(4 + 3 + 1) = -8 \text{ В}$$

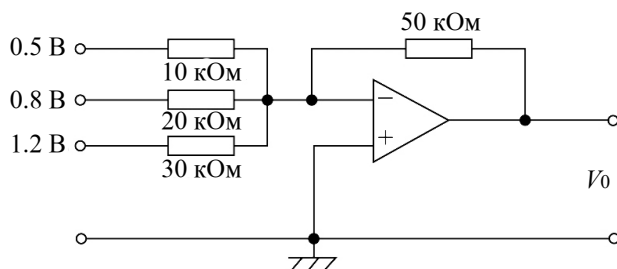
Егер $R_1 = R_2 = R_3 = R_i$ болса, онда кіріс кернеулері бірдей дәрежеде күшейе де немесе әлсірей де алады және

$$V_0 = - \frac{R_{\kappa\delta}}{R_i} (V_1 + V_2 + V_3)$$

Егер $R_i = R_{\kappa\delta}$ онда $V_0 = (V_1 + V_2 + V_3)$.

Жерлендіру контактысы де күшейткіштің **қосындылау нүктесі** деп аталады. Кіріс сигналдары бір-бірінен оқшауланғандықтан, тіпті барлық резисторлар бір инвертты (–) кіріске жалғанса да, әрбір сигнал өздерін басқа сигналдар жоқ сияқты жеке-жеке оқшау ұстайды.

8-есеп. 19.12-суретте келтірілген сұлба бойынша операциялық күшейткіште сигналдарды қосу барысында V_0 шығыс кернеуінің шамасын анықтаңыз.



19.12-сурет

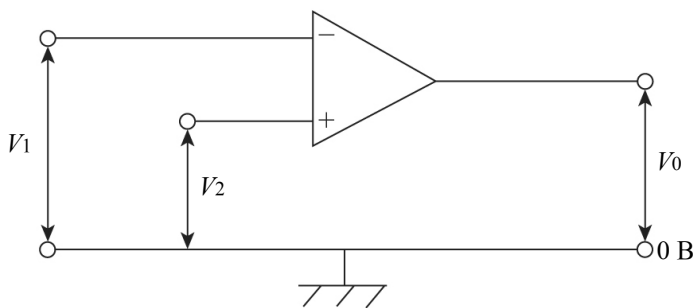
(8) теңдеуден

$$\begin{aligned}
 V_0 &= -R_{\kappa\phi} \left(\frac{V_1}{R_1} + \frac{V_2}{R_2} + \frac{V_3}{R_3} \right) = \\
 &= -(50 \times 10^3) \left(\frac{0.5}{10 \times 10^3} + \frac{0.8}{20 \times 10^3} + \frac{1.2}{30 \times 10^3} \right) = \\
 &= -(50 \times 10^3) (5 \times 10^{-5} + 4 \times 10^{-5} + 4 \times 10^{-5}) = \\
 &= -(50 \times 10^3) (13 \times 10^{-5}) = -6.5 \text{ В}
 \end{aligned}$$

19.7 Компаратор

Операциялық күшейткіштің 19.13-суретте көрсетілгендей екі кіріс клеммалары бір мезгілде пайдалынатын болса, онда (1) теңдеуден шығыс кернеуі келесі формуламен сипатталады:

$$V_0 = A_0(V_2 - V_1)$$



19.13-сурет

$V_2 > V_1$ болса, онда V_0 оң шамамен сипатталады және оның максималды мәні $+V_s$ қоректендіру көзінің мәнімен шектеледі, сонда $(V_2 - V_1) \geq V_s / A_0$ өрнегімен сипатталатын болады. Осыдан кейін **ОК** өзінің қанығу дәрежесіне жетеді. Мысалы, егер қоректендіру кернеуі $V_s = +9 \text{ В}$ және $A_0 = 10^5$ болса, онда қанығу процесі келесі шарт бойынша орындалады:

$$(V_2 - V_1) \geq \frac{9}{10^5}$$

яғни V_1 -дің мәнінен V_2 -нің мәні 90 мкВ - болса, онда шығыс кернеуі $V_0 \approx 9 \text{ В}$ тең болады.

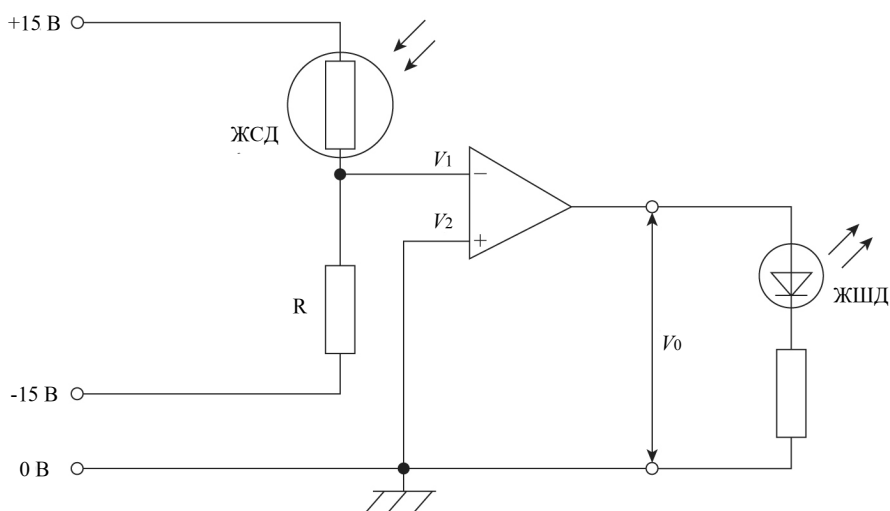
$V_1 > V_2$ болғанда V_0 шығыс кернеуі теріс және оның максималды мәні қоректендіру көзінің оң мәнімен шектеледі, егер V_1 -нің мәні V_2 мәнінен V_s / A_0 -шамасына асса, яғни $(V_2 - V_1) \geq V_s / A_0$ өрнегі орындалса, яғни жоғарыда келтірілген мысал сияқты санмен алғанда 90 мкВ -қосса, онда $V_0 \approx -V_s = -9 \text{ В}$ шамасына тең болып шығады.

$(V_2 - V_1)$ айырымының шамалы өсімінің өзі V_0 шығыс кернеуі үшін $+V_s$ мен $-V_s$ қоректендіру кернеулерін қайта косуды талап етеді, осындай әрекеттің арқасында V_2 -мен салыстырғанда V_1 -дің үлкен немесе кіші екенін **ОК** арқылы анықтауға мүмкіншілік туады, олай болса **ОК** екі кернеуді салыстыра отырып, дифференциалды күшейткіш ретінде қолданылады. Мұндай жағдай электронды цифрлы вольтметрде пайдалынады.

9-есеп. Кернеуі $\pm 15 \text{ В}$ қоректендіру көзіне жалғанған **ОК-ті**, жарық сезгіш резисторын (ЖСР-жарық сезгіш резистор), жарық фотоэлементін (ЖСД) пайдалана отырып, жарықты басқару сигнализациясының сұлбасын дайындаңыз.

19.14-суретте үлгіге сай жарық басқару сигнализациясының сұлбасы келтірілген. R резистор мен жарық сезгіш резисторы (фотоэлемент) $+15 / -15 \text{ В}$ қоректендіру көзі арқылы кернеу бөлгішті құрайды. **ОК** инвертті (–) кірісте V_1 кернеуді, ал инвертті емес (+) кірісте кернеуі 0 В -ке тең V_2 -ні салыстырады. Қараңғыда фотоэлементтің кедергісі R -мен салыстырғанда әлдеқайда жоғары, сондықтан 30-В тыңкөп бөлігі кернеуді бөлгіш арқылы фотоэлементке беріледі, соның әсерінен V_1 -дің шамасы нөлден

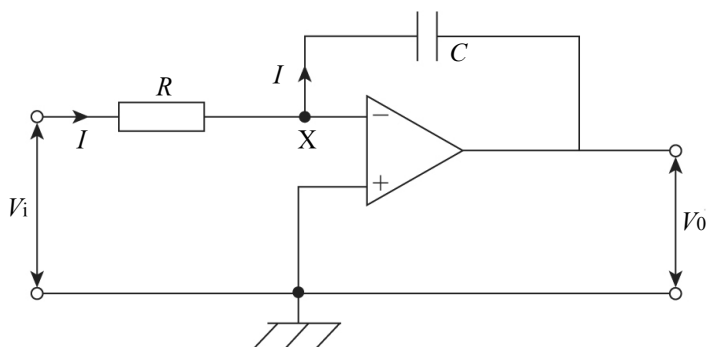
төмен түседі. Енді $V_2 > V_1$ және V_0 шығыс кернеуін қайтадан -15 В -ан $+15\text{ В}$ -қа дейін ұлғайтсақ, жарық шығаратын диодтар жарық бере алады.



19.14-сурет

19.8 Интегратор

19.15-суретте келтірілген интегратор күшейткіштің сұлбасы 19.5-суретте келтірілген инвертті күшейткішпен бірдей, бірақ енді кері байланыс резистор арқылы емес конденсатор арқылы орындалатын болады.



19.15-сурет

Шығыс кернеу келесі өрнекпен анықталады:

$$V_0 = -\frac{1}{CR} \int V_i dt \quad (9)$$

19.15-суретте көрсеткендей сигнал (–) инвертті кіріске түссе, V_0 теріс, ал егер V_i оң немесе керісінше болса, онда (9) теңдеудің таңбасы теріс болып шығады.

Х нүктесі «виртуалды» жерлендірілген контакт болғандықтан 19.15-суретте көрсеткендей оның кернеуінің мәні нөл вольт, R кедергісінен сол жағындағы кернеу V_i -ге, ал оң жағындағы C конденсатордың кернеуі V_0 -ге тең болады. **ОК**-ің инвертті (–) кірісіне бірде-бір кіріс ток енбейді деп болжап көрейік, онда барлық ток C конденсатор арқылы өтіп, оны зарядтайын болады. Егер V_i тұрақты кернеу болып табылса, онда токтың тұрақты мәнін келесі өрнекпен жазуға болады $I = V_i / R$. C конденсаторы тұрақты жылдамдықпен зарядталады, конденсатордың сыртқы бетіндегі потенциалы (оның ішкі жағы нөлге тең болғандықтан $= V_0$ тең) кері байланыстың тізбегіндегі токты жұтып алатындай зарядталады. Егер t уақыт аралығында Q конденсатордың заряды болса, және оның потенциалы (шығыс кернеу) осы уақыт аралығында нөлден V_0 -ға дейін өссе:

$$Q = -V_0 C = It$$

6-тараудан
$$V = -\frac{1}{CR} V_i t$$

яғни

$$V = -\frac{1}{CR} V_i t$$

яғни

Тура осындай нәтиже келесі өрнек арқылы да алынады:

$$V_0 = -\frac{1}{CR} \int V_i dt$$

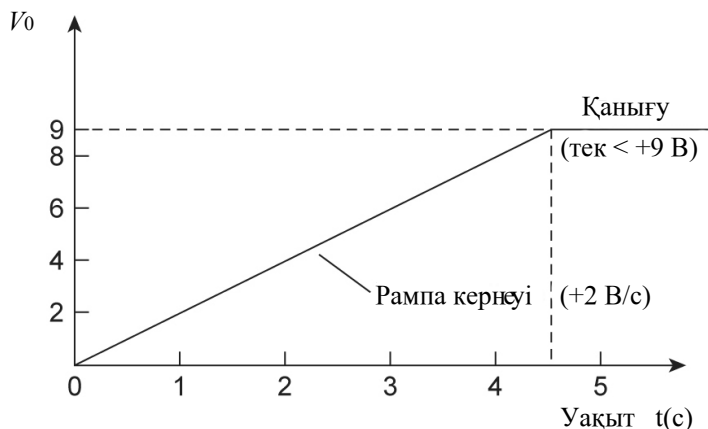
мұндағы V_i – тұрақты шама.

Мысалы, айталық, егер кіріс кернеуі $V_i = -2 B$ және $CR = 1 c$ болса, онда

$$V_0 = -(-2)t = 2t$$

19.16-суретте көрсеткендей V_0/t графигі $V_0/2t$ тең болған жағдайда $y = mx + c$ теңдеуінің сызықтық тәуелділігі болып табылады. Сонда $y = V_0$, $x = t$, $m = 2$ градиент және түзу сызық вертикаль осьті $c = 0$ кесіп

өтеді. 19.16-суретте көрсеткендей $+2B/c$ -те V_0 үнемі өсіп отырады, ал егер қоректендіру көзінің кернеуі айталық $\pm 9 B$ болса, онда ОК қаныққанда $4.5 c$ кейін $V_0 + 9 B$ -ке жетеді.



19.16-сурет

10-есеп. Кедергісі $R = 200 \text{ кОм}$ және сыйымдылығы $C = 2.5 \text{ мкФ}$ ОК ің интеграторына шамасы -0.75 В тұрақты кернеу беріледі. Конденсатордың ең алғашқы заряды нөлге тең деп алынған. Кіріс сигналы 100 мс өткеннен кейін шығыс сигналдың мәнін анықтаңыз.

(9) теңдеуден шығыс сигналы (кернеу),

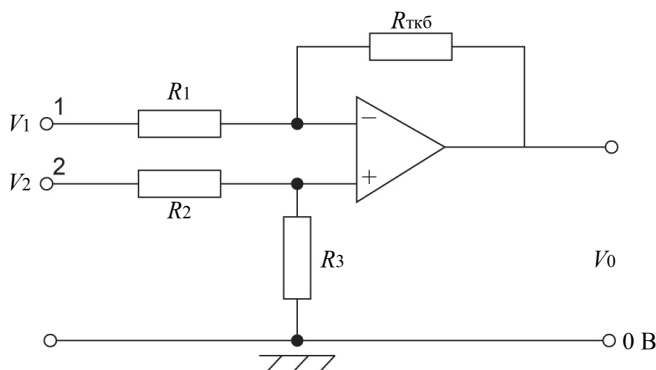
$$\begin{aligned}
 V_0 &= -\frac{1}{CR} \int V_i t \\
 &= -\frac{1}{(2.5 \times 10^{-6})(200 \times 10^3)} \int (-0.75) dt \\
 &= -\frac{1}{0.5} \int (-0.75) dt = -2[-0.75 t] = +1.5 t
 \end{aligned}$$

100 мс уақыт өткеннен кейін:
шығыс кернеуі,

$$V_0 = (1.5)(100 \times 10^{-3}) = \mathbf{0.15 \text{ В}}$$

19.9 ОК дифференциалды күшейткіші

Дифференциалды күшейткіштің сұлбасы 19.17-суретте келтірілген. V_1 мен V_2 кернеулері екі кіріс клеммаларға келтірілген және осы екі клемма арасындағы кернеулердің айырымы ұлғайып отырады.



19.17-сурет

1) 1 клеммаға $V_1 B$ ал 2-ші клеммаға $0 B$ берілсін. **ОК-ің** инвертті (–) және инвертті емес (+) кірістерінің потенциалдар айырымы іс жүзінде нөлге тең, сондықтан инверттелетін клемма нөл потенциал болуы керек. Сонда $I_1 = V_1 / R_1$. **ОК-ің** кіріс кедергісі өте жоғары болғандықтан осы ток кері байланыстың $R_{кб}$ резисторы арқылы өтеді. Шығыс кернеуі болып табылатын $R_{кб}$ арқылы кернеудің түсуі

$$V_0 = \frac{V_1}{R_1} R_{кб}$$

Олай болса кернеу бойынша кері байланыстағы күшейту коэффициенті анықталады:

$$A = \frac{V_0}{V_1} = -\frac{R_{кб}}{R_1} \quad (10)$$

2) Егер 2-ші клеммаға V_2 ал 1-ші клеммаға $0 B$ потенциалы түсірілсе, онда инвертті емес клеммада кернеу келесі өрнекпен анықталады:

$$-\left(\frac{R_3}{R_2 + R_3}\right) V_2 \text{ В}$$

Осы кернеу тағы инвертті (–) клеммада да пайда болады – олай болса, R_1 -гі кернеу тең:

$$-\left(\frac{R_3}{R_2 + R_3}\right)V_2 \text{ В}$$

Енді шығыс кернеуі

$$V_0 = \left(\frac{R_3}{R_2 + R_3}\right)V_2 + \left[-\left(\frac{R_3}{R_2 + R_3}\right)V_2\right]\left(\frac{-R_{\kappa\delta}}{R_1}\right)$$

Кернеу бойынша күшейту коэффициенті

$$A = \frac{V_0}{V_2} = \left(\frac{R_3}{R_2 + R_3}\right) + \left[-\left(\frac{R_3}{R_2 + R_3}\right)\right]\left(\frac{-R_{\kappa\delta}}{R_1}\right)$$

сондықтан

$$A = \frac{V_0}{V_2} = \left(\frac{R_3}{R_2 + R_3}\right)\left(1 + \frac{R_{\kappa\delta}}{R_1}\right) \quad (11)$$

3). Соңында егер кернеу 1 мен 2 клеммаларға түсірілсе, онда V_1 мен V_2 сәйкесінше болса, екі кернеу арасындағы айырым күшейтіледі.

Егер $V_1 > V_2$ болса, онда

$$V_0 = (V_1 - V_2)\left(-\frac{R_{\kappa\delta}}{R_1}\right) \quad (12)$$

Егер $V_2 > V_1$ болса, онда

$$V_0 = (V_2 - V_1)A\left(\frac{R_3}{R_2 + R_3}\right)\left(1 + \frac{R_{\kappa\delta}}{R_1}\right) \quad (13)$$

11-есеп. Дифференциалды күшейткіште 19.17-суретте көрсетілген $R_1 = 10 \text{ кОм}$, $R_2 = 10 \text{ кОм}$, $R_3 = 10 \text{ кОм}$, $R_{\kappa\delta} = 100 \text{ кОм}$. V_0 шығыс кернеуін анықтау керек:

Егер:

(a) $V_1 = 5 \text{ мВ}$ және $V_2 = 0$

(b) $V_1 = 0$ және $V_2 = 5 \text{ мВ}$

(c) $V_1 = 50 \text{ мВ}$ және $V_2 = 25 \text{ мВ}$

(d) $V_1 = 25 \text{ мВ}$ және $V_2 = 50 \text{ мВ}$

(a) (10) тендеуден

$$V_0 = -\frac{R_{\kappa\delta}}{R_1}V_1 = -\left(\frac{100 \times 10^3}{10 \times 10^3}\right)(5) \text{ мВ} = -50 \text{ мВ}$$

(b) (11) теңдеуден

$$V_0 = \left(\frac{R_3}{R_2 + R_3} \right) \left(1 + \frac{R_{\kappa\delta}}{R_1} \right) V_2 = \left(\frac{100}{110} \right) \left(1 + \frac{100}{10} \right) (5) \text{ мВ} = +50 \text{ мВ}$$

(c) $V_1 > V_2$ болса, онда (12) теңдеуден

$$V_0 = (V_1 - V_2) \left(-\frac{R_{\kappa\delta}}{R_1} \right) = (50 - 25) \left(-\frac{100}{10} \right) \text{ мВ} = -250 \text{ мВ}$$

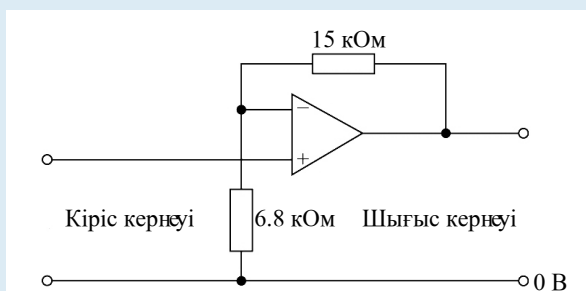
(d) $V_2 > V_1$ болса, онда (13) теңдеуден

$$\begin{aligned} V_0 &= (V_2 - V_1) \left(\frac{R_3}{R_2 + R_3} \right) \left(1 + \frac{R_{\kappa\delta}}{R_1} \right) = (50 - 25) \left(\frac{100}{100 + 10} \right) \left(1 + \frac{100}{10} \right) \text{ мВ} \\ &= (25) \left(\frac{100}{110} \right) (11) = +250 \text{ мВ} \end{aligned}$$

Келесі жаттығуды орындаңыздар.

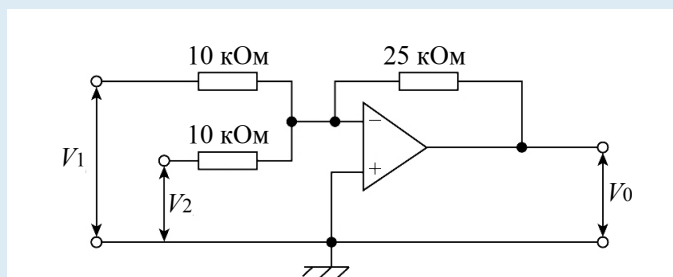
109-жаттығу. Операциялық күшейткіштерге қосымша есептер

- ОК үшін кіріс кернеу *19.18-суретте* көрсеткендей -0.5 В тең, анықтау керек (a) кернеу бойынша күшейтуді, (b) шығыс кернеуді.
 $[(a) \ 3.21 \ (b) \ -1.60 \text{ В}]$



19.18-сурет

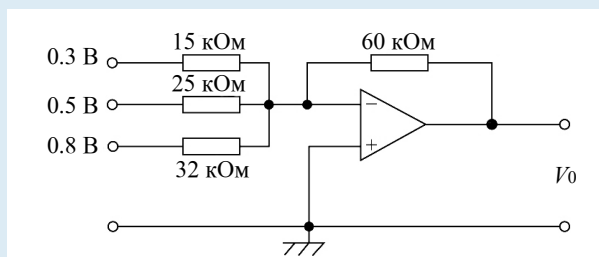
- Егер (a) $V_1 = +1 \text{ В}$ және $V_2 = +3 \text{ В}$, (b) $V_1 = +1 \text{ В}$ және $V_2 = -3 \text{ В}$ болса *19.19-суретіндегі* V_0 шығыс кернеудің мәнін анықтаңыз.
 $[(a) \ -10 \text{ В} \ (b) \ +5 \text{ В}]$



19.19-сурет

3. 19.20-суретте келтірілген сұлбадағы **ОК** үшін қосылысу шығыс кернеуін анықтаңыз.

$$[-3.9 \text{ В}]$$



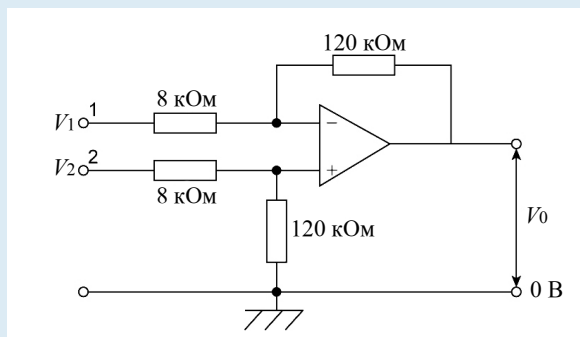
19.20-сурет

4. Интеграторлы **ОК**-ті күшейту үшін оған 1.25 В тұрақты кернеу түсірілген, оның кедергі компоненттерінің мәні 125 кОм, ал сыйымдылығының мәні 40 мкФ. 120 мс өткеннен кейін шарт бойынша конденсатордың ең бастапқы заряды нөл деп алынғандағы шығыс кернеуін есептеңіз.

$$[0.3 \text{ В}]$$

5. 19.21-суретте көрсетілгендей шығыс кернеудің мәнін есептеңіз, егер (a) $V_1 = 4 \text{ мВ}$ және $V_2 = 0$ (b) $V_1 = 0$ және $V_2 = 6 \text{ мВ}$ (c) $V_1 = 40 \text{ мВ}$ $V_2 = 30 \text{ мВ}$ (d) $V_1 = 25 \text{ мВ}$ және $V_2 = 40 \text{ мВ}$ болса.

$$[(a) -60 \text{ мВ} \quad (b) +90 \text{ мВ} \\ (c) -150 \text{ мВ} \quad (d) +225 \text{ мВ}]$$



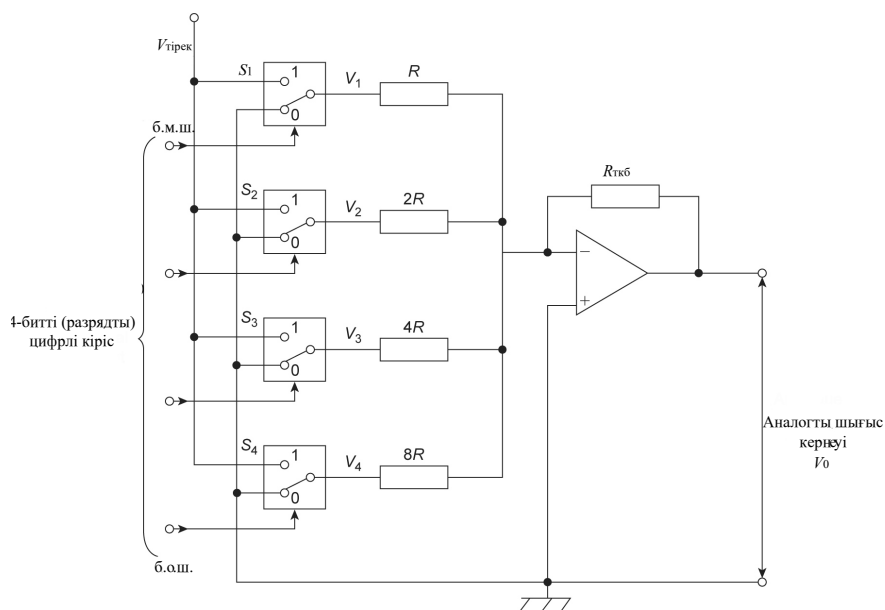
19.21-сурет

19.10 Цифрлы аналогты түрлендіру

Кейде цифрлы сигналдарды аналогты сигналдарға түрлендіру жағдайлары туады. Мысалы, графиктік кескіндерді экранда сызу жағдайлары цифрлы компьютер үшін үнемі қажет болып тұрады; сол себептен Ц/А түрлендіргішті пайдалану қажеттілігі туады; компьютерден келетін екі деңгейлі цифрлы шығыс кернеу осы Ц/А түрлендіргіш арқылы үздіксіз кернеуге айналады. Енді осы үздіксіз кернеу (үнемі өзгеріп отыратын аналогты кернеу) электронды-сәулелі түтікшенің басқарушы клеммасына жалғанып, экранда графикті шығару үшін электрон шоғының ауытқуын тудырады.

Қос резисторлар кіретін кірісте 4 битті Ц/А түрлендіргіші 19.22-суретте келтірілген.

R $2R$ $4R$ $8R$ резисторлардың шамалары екілік масштабқа сәйкес ұлғайып отырады – осыдан түрлендіргіштің аттарының аталуы анықталады. $R_{\kappa\delta}$ кері байланысты резисторы бар сұлбада **қосындылау күшейткіші** ретінде тізбекте ОК пайдалынады (ОК 19.6-тарауды қараңыз). Цифрлік электронды басқару кілттері S_1 ден S_4 дейін белгіленіп, суретте келтірілген. Басқарудың кіріс биті 1-ге және жерлену (0 V) нөлге тең болғанда әрбір комутатор резисторды тізбектей оның тұрақталған $V_{\text{тірек}}$ -**тіректі** кернеуімен қосады. V_1 мен V_4 кіріс кернеулері 4 битті кіріс резисторлар арқылы ОК-ке қосылады, олай болса, ол екі шаманың біреуіне ғана ие бола алады, не $V_{\text{тірек}}$ немесе нөл вольтқа.



19.22-сурет

(8) теңдеуден аналогты шығыс кернеу,

$$V_0 = - \left(\frac{R_{кб}}{R_1} V_1 + \frac{R_{кб}}{2R_2} V_2 + \frac{R_{кб}}{4R_3} V_3 + \frac{R_{кб}}{8R} V_4 \right)$$

$R_{кб} = R = \kappa \text{ Ом}$ болсын, сонда:

$$V_0 = - \left(0 + 0 + 0 + \frac{1}{8}(-8) \right) = +1 \text{ В}$$

4 битті 0001 кіріс (яғни ондық санақ жүйесіндегі 1-ге сәйкес деген мағына). $8R$ кедергіні тұрақты $V_{тірек}$ тіректік кернеуге S_4 кілті жалғайды, яғни $V_4 = V_{тірек}$ және $R, 2R, 4R$ кедергілерін 0 вольтпен S_1, S_1, S_1 кілттері қоса алды, сондықтан $V_1 = V_2 = V_3 = 0$. Тіректік кернеудің шамасы $V_{тірек} = -8 \text{ В}$ болсын делік, сонда шығыс кернеуі

$$V_0 = - \left(0 + 0 + 0 + \frac{1}{8}(-8) \right) = +1 \text{ В}$$

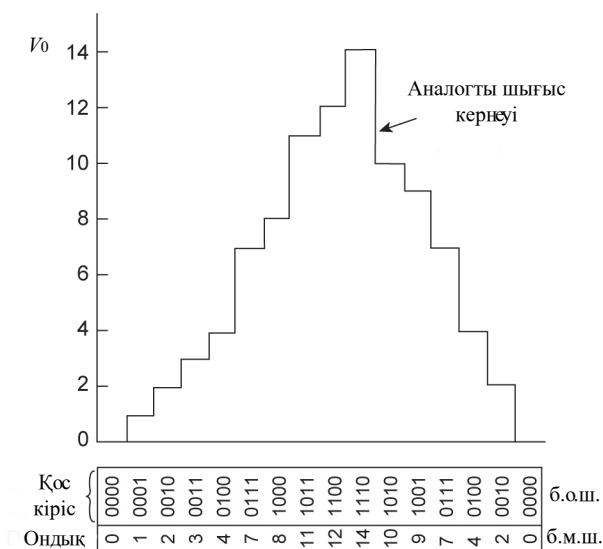
Кірісте 4 битті 0101 екілік саны (яғни ондық санақ жүйесінде 5-ке пара-пар). $2R$ мен $8R$ -ді S_2 және S_4 кілттері $V_{тірек}$ тіректік кернеумен

жалғағанда $V_2 = V_4 = V_{\text{тірек}}$ жағдайы туатын болады. Ал S_1 және S_3 кілттері R мен $4R$ -ді 0 вольтпен жалғағанда $V_1 = V_3 = 0$ жағдайы туады.

Тағы да егер $V_{\text{тірек}} = -8$ В болса, шығыс кернеу

$$V_0 = -\left(0 + \frac{1}{2}(-8) + 0 + \frac{1}{8}(-8)\right) = +5 \text{ В}$$

Егер кіріс 4 битті 0111 екілік санымен (ондық санақ жүйесінде 7-ге сәйкес) сипатталса, онда шығыс кернеу 7 В болып, тура солай әрі қарай жалғаса береді. Осы мысалдардан V_0 -аналогты шығыс кернеулерінің цифрлы кіріске тура пропорционал екені көрініп тұр. V_0 -ның сигналының пішіні, яғни формасы «сатылы» түрде сипатталады, сигналдың сатылы формасы екілік кіріс сигналға тәуелді. Осындай сигналдың типтік түрі 19.23-суретте келтірілген.



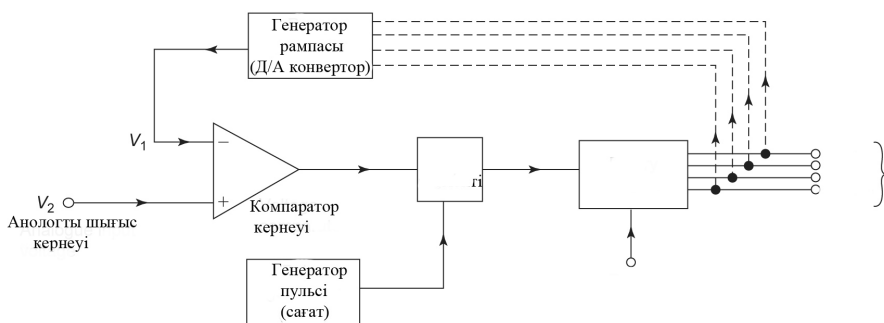
19.23-сурет

19.11 Аналогты цифрлы түрлендіргіш А/Ц

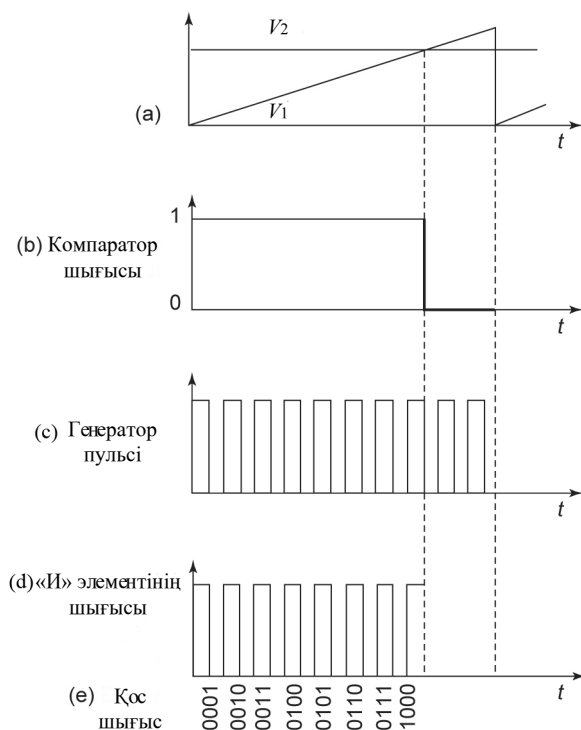
Цифрлы вольтметрдің кірісі аналог түрінде орындалады, ал оның көрсеткіштері цифрлы форматта келтіріледі. Бұл мысал аналогты цифрлы түрлендіргішті қажет етеді, себебі аналогты сигнал цифрлы сигналға түрлендірілуі керек.

А/Ц түрлендіргіші типті 4 битті санауыштың блок-сұлбасы 19.24-суретте келтірілген. Бұл жағдайда да кернеуді салыстыру үшін кернеу компараторы ретінде тағы да ОК қолданылады (19.7-тарауды қараңыз). 19.25(a)-суретте келтірілген V_2 -аналогты кіріс кернеуі тұрақты қоректендіру көзінің тұрақты кернеуі түрінде инвертті емес (+) кіріске, ал V_1 -ара тәрізді кернеу сол кезде инвертті (-) кіріске беріледі.

Компаратордың шығыс сигналы «И» логикалық элементтің бір кірісіне түсіп V_1 мен V_2 теңескенше немесе V_2 -ден артық болғанша «1»-ді (яғни «жоғары») береді, сонан кейін 19.25(b)-суретте келтіргендей шығыс сигнал нөлге «0»-ге («ең төмен») түседі. «И» логикалық элементтің басқа кірісіне импульс генераторынан белгілі бір тұрақты жүйелікпен 19.25(c)-суретте көрсеткендей импульстер беріледі. «И» логикалық элементтің екі шығысы да «жоғары» болғанда қақпақ «ашылып» «жоғары» шығысты бере алады, 19.25 (d)-суретте көрсетілгендей импульсті бере алады, яғни «И» логикалық элементі «ашылды» деген сөз. Егер ара тәрізді кернеу түзу сызықтық тәуелділікпен өсетін болса, онда V_2 -нің мәніне V_1 -ің жетуіне жұмсалатын уақыт аналогты кернеуге пропорционалды. «И» логикалық элементтердің шығыс импульстері 19.2(e)-суретте келтіргендей екілік кодты санауышпен тіркеліп отырып, V_2 аналогты кіріс кернеуінің цифрлы эквиваленті болып табылады. Іс жүзінде рампа генераторы дегеніміз Ц/А түрлендіргіштердің ара тәріздес кернеу генераторы болып табылады, оның цифрлық кірісі екілік санауыштан алынатыны үзік сызықтармен 19.24-суретте келтірілген. Санауыш екілік тізбектілікпен орындалғандықтан Ц/А түрлендіргіштің шығысында сигналдың сатысы тең қадаммен (яғни рампа) алынады (19.23-суретте бірінші бірнеше қадамдарында көрсеткендей).



19.24-сурет



19.25-сурет

Келесі жаттығуларды орындаңыздар.

110-жаттығу. Операциялық күшейткіштерге қысқаша сұрақтар

1. ОК-ің негізгі үш қасиеттерін түсіндіріңіздер.
2. Үлгіге сай кернеудің сипаттамасын сызыңыздар, ОК-ің шығыс кернеуінің кіріс кернеуіне байланысты өзгеру тәуелділігін көрсететін сұлбаны сызыңыздар.
3. Егер ОК-көтеріс кері байланысты қолданса, ол қандай әсер көрсетеді?
4. Үлгіге сай «күшейту коэффициенті/өткізу жолағы» қатынасы ОК-тің қандай сипаттамасына сай?

5. ОК арқылы кіріс тогының ағып кетуі, кіріс ығысу тогы және кіріс ығысу кернеуі сияқты параметрлерді түсіндіріңіз.
6. Синфазды қатынас деген не?
7. Инвертті ОК-тің жұмыс істеу принципін түсіндіріңіз.
8. Инвертті күшейткіштерде күшейту коэффициенті формуламен анықталады.
9. Инвертті емес ОК ің жұмыс істеу принципін түсіндіріңіз.
10. Инвертті емес күшейткіштерде күшейту коэффициенті формуламен анықталады.
11. Қайталаушы кернеу ОК-ің жұмыс істеу принципін келтіріңіз.
12. Қосындылау күшейткішінің жұмыс істеу принципін келтіріңіз.
13. Үш кірісі бар қосындылау күшейткіші үшін V_0 шығыс кернеуі қандай формуламен анықтайды: $V_0 = \dots$
14. Кернеу компараторы рөліндегі ОК-ің жұмыс істеу принципін келтіріңіз.
15. Интегратор рөліндегі ОК-ің жұмыс істеу принципін келтіріңіз.
16. Интегратор рөліндегі ОК-ің V_0 шығыс кернеуі қандай формуламен анықталады?
17. Дифференциалды ОК-нің жұмыс істеу принципін келтіріңіз.
18. Цифрлы аналогты түрлендіргіштің өлшенген екілік резисторының жұмыс істеу принципін келтіріңіз.
19. Аналогтиптес түзеткіштің 4 битті санаушының жұмыс істеу принциаін келтіріңіз.

111-жаттығу. “Операциялық күшейткіштер” тақырыбы бойынша бірнеше дұрыс жауабы бар тест сұрақтары

1. Дифференциалды күшейткіштің кернеуі бойынша кері байланыссыз күшейту коэффициенті 100 тең. Кіріс сигналдары 2.5 В және 2.4 В. Күшейткіштың шығыс кернеуі қандай?

(a) -10 В (b) 1 мВ

(c) 10 В (d) 1 кВ

2. ОК үшін төменгі тұжырымдардың қайсысы дұрыс?

(a) төменгі жиілікті кернеу бойынша кері байланыссыз өте жоғары күшейту коэффициентімен, төмен кіріс толық кедергісімен және төмен шығыс кедергімен сипатталады

(b) төменгі жиілікті кернеу бойынша кері байланыссыз өте жоғары күшейту коэффициентімен, үлкен кіріс толық кедергісімен және төмен шығыс кедергімен сипатталады

(c) жоғары жиілікті кернеу бойынша кері байланыссыз өте жоғары күшейту коэффициентімен, үлкен кіріс толық кедергісімен және төмен шығыс кедергімен сипатталады

(d) жоғары жиілікті кернеу бойынша кері байланыссыз өте жоғары күшейту коэффициентімен, төмен кіріс толық кедергісімен және жоғары шығыс кедергімен сипатталады

3. Дифференциалды күшейткіштің кернеу бойынша күшейту коэффициенті 120×10^3 және синфазды қатынасы 100 дБ . Операциялық күшейткіштің синфазды күшейту коэффициенті тең:

(a) 1.2×10^3 (b) 1.2

(c) 1.2×10^{-5} (d) 1.2×10^{-5}

2. 19.26-суретте көрсетілген ОК-гі шығыс кернеуі қандай:

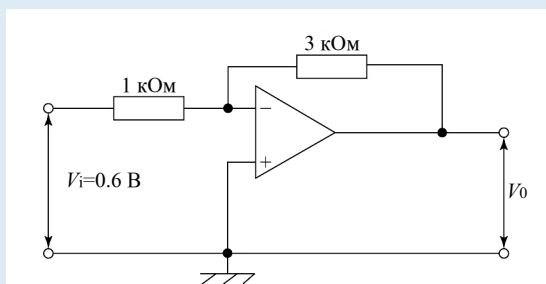
(a) -0.2 В (c) $+0.2\text{ В}$

(c) $+0.2\text{ В}$ (d) -1.8 В

3. 19.26-суреттегі 3 кОм резистордың кедергісі 0.1 МОм -мен ауыстырылған. Егер ОК-тің кіріс ағып кету тогы 80 нА болса, онда шығыс ығысу кернеуі қандай:

(a) 79.2 мкВ (b) 8 мкВ

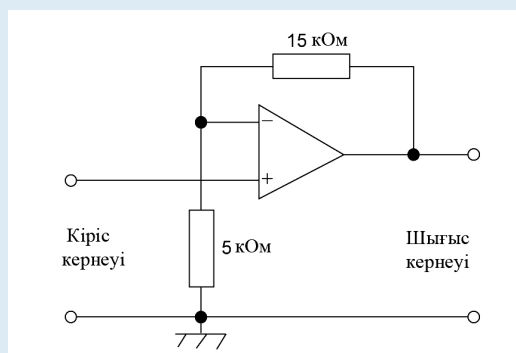
(c) 8 мВ (d) 80.2 нВ



19.26-сурет

4. 19.27-суреттегі ОК үшін кернеу бойынша күшейту коэффициенті қандай болады?

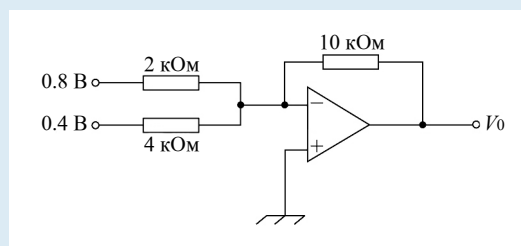
(a) -3 (b) $+4$ (c) $+3$ (d) -4



19.27-сурет

5. 19.28-суреттегі сұлба бойынша шығыс кернеуді анықтаңыз:

(a) -1.2 B (b) $+5 \text{ B}$
 (c) -5 B (d) -5 B



19.28-сурет

6. Кедергісі 100 кОм және сыйымдылығы 10 мкФ -мен сипатталатын интеграторлы ОК-ке мәні -1.0 В тең тұрақты кернеу қолданылады осы. Кіріс кернеуі берілгеннен кейін 10 мс өткендегі шығыс кернеудің мәні қандай?

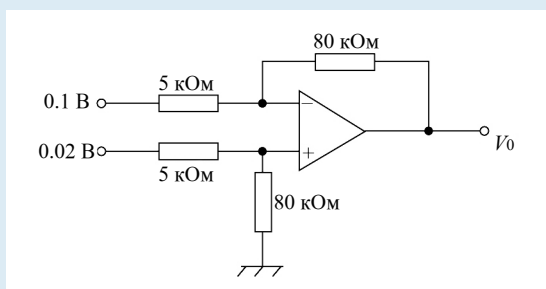
(a) $+10\text{ мВ}$ (b) -1 мВ

(d) $+1\text{ мВ}$ (d) $+1\text{ мВ}$

7. 19.29-суретте көрсетілген дифференциалды күшейткіштің шығыс кернеуі қандай?

(a) $+1.28\text{ мВ}$ (b) 1.92 мВ

(c) -1.28 мВ (d) $+5\text{ мкВ}$



19.29-сурет

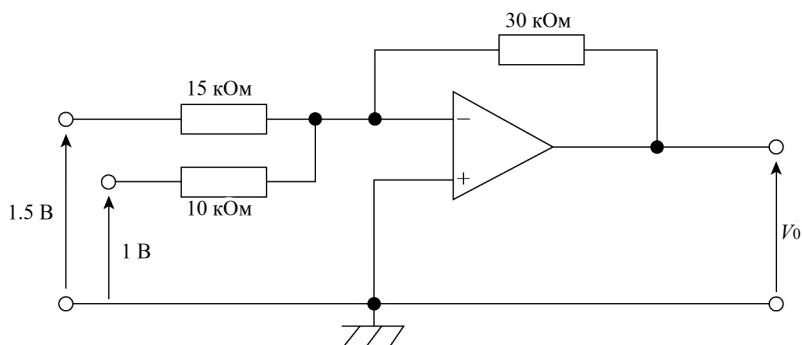
8. Қандай тұжырым дұрыс емес:

- (a) Цифрлы компьютерге Ц/А түрлендіргіші қажет
- (b) ОК-те теріс кері байланыста алдын ала табылатын және тұрақты кернеудің күшейту коэффициенті пайдалынады
- (c) Цифрлы вольтметрге Ц/А қажет
- (d) Үзілген контурда күшейту коэффициентінің мәні нөлге дейін төмендегендегі жиілік өтпелі жиілік деп аталады.

ТЕКСЕРУ ТЕСТІ 5

15-19-тараулар бойынша сұрақтар қамтылған.

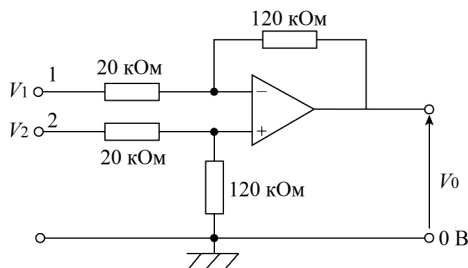
1. Егер тізбектей жалғанған индуктивті тізбектің тұтынатын қуаты кернеуі 100 В , жиілігі 100 Гц қоректендіру көзіне қосылса, оның мәні 250 Вт , тогы 5 А тең болады. Есептеңіз: (а) толық кедергіні, (b) реактивті кедергіні, қуат коэффициентін, (d) ток пен кернеу арасындағы фазалық ығысуды. (9)
2. Орамның кедергісі 20 кОм , индуктивтілігі 200 мГн оған параллель сыйымдылығы 4 мкФ конденсатор, кернеуі 50 В , жиілігі айнымалы ток көзіне қосылған. Есептеңіз: (а) резонансты жиілікті, (b) динамикалық кедергіні, (c) резонанстағы токты, (d) резонанстағы Q -факторды, яғни сапалылықты. (10)
3. Тізбектей жалғанған орамның кедергісі 30 Ом индуктивтілігі 50 мГн және конденсатордың сыйымдылығы 2500 нФ резонанс жағдайындағы сапалылықты анықтаңыз. (4)
4. Электромагнитті орамның индуктивтілігі 110 мГн кедергісі 5.5 Ом ол тұрақты ток көзіне қосылған, кернеуі 110 В , есептеңіздер: (а) орам арқылы өтетін ток шамасын, (b) тізбектің уақыт тұрақтылығын, (c) 0.01 с өткеннен кейінгі э.к.к.-ің индукциясын, (d) өзінің соңғы мәнінен 75% көтеруге кететін уақытты, (f) 0.02 с өткеннен кейінгі токтың мәнін. (11)
5. Бір фазалы қозғалтқыштың қуаттылық коэффициенті 0.65 , оған сәйкес ток күші 30 А , кернеуі 300 В , жиілігі 50 Гц қоректендіру көзінен кешігіп отырады, сонда есептеңіз: конденсатор тұтынатын токтың шамасы қозғалтқышпен параллель жалғанғанда; қуаттылық коэффициентін 1 -ге дейін көтеру үшін, қуаттылық коэффициентін жөндегеннен кейін қоректендіру көзінің ток шамасын. (7)
6. $RT5.1$ -суретте келтірілген қоспалау ОК-ің V_0 шығыс кернеуінің мәнін анықтаңыз. (3)



RT5.1-сурет

7. RT5.2-суретте дифференциалды күшейткіш келтірілген, келесі шарттар үшін V_0 -шығыс кернеуді анықтаңыздар:

- (a) $V_1 = 4 \text{ мВ}$ және $V_2 = 0$
- (b) $V_1 = 0$ және $V_2 = 5 \text{ мВ}$
- (c) $V_1 = 20 \text{ мВ}$ және $V_2 = 10 \text{ мВ}$



RT5.2-сурет

8. Филтрлі секцияның толқындық кедергісі нөлдік жиілікте 600 Ом және қиылу жиілігі 2.5 МГц . Төменгі жиілікті Т секциялық филтрді, төменгі жиілікті n -секциялық филтрді осы талаптарды қамтамасыз ету үшін құрастыру керек.
- (6)
9. Қиылу жиілігі мен номиналды импедансы жоғары жиіліктік n -байланысты секциясы үшін 5 нФ конденсатор сыйымдылығы тізбектей жалғанған әрбір шунттың иығында индуктивтілік 1 мГн , n -секциялық филтрді құрастыру керек.

(4)

**«Электр және электроника негіздері» оқулығындағы
негізгі формулалар**

Тұрақты ток теориясы

$$T = \frac{1}{f} \quad f = \frac{1}{T}$$

$$I = \sqrt{\frac{i_1^2 + i_2^2 + i_3^2 + \dots + i_n^2}{n}}$$

Синусоида үшін: $I_{\text{орт}} = \frac{2}{\pi} I_{\text{макс}}$
 $0.637 I_{\text{макс}}$

$$I = \frac{1}{\sqrt{2}} I_{\text{макс}} \quad 0.707 I_{\text{макс}}$$

пішін коэффициенті

$$= \frac{\text{орташа квадрат мән}}{\text{орташа шама}}$$

амплитуда коэффициенті

$$= \frac{\text{максимум}}{\text{орташа квадрат мән}}$$

Негізгі синусоидалды кернеу,

$$u = V_{\text{макс}} \sin(\omega t \pm \varphi)$$

Бір фазалы тізбек,

$$X_L = 2\pi fL$$

$$X_C = \frac{1}{2\pi fC}$$

$$Z = \frac{V}{I} = \sqrt{(R^2 + X^2)}$$

Тізбекті резонанс,

$$f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

$$Q = \frac{V_L}{V} \text{ немесе}$$

$$\frac{V_C}{V} = \frac{2\pi f_r L}{R} = \frac{1}{2\pi f_r C R} = \frac{1}{R} \sqrt{\frac{L}{C}}$$

$$Q = \frac{f_r}{f_2 - f_1}, \quad (f_2 - f_1) = \frac{f_r}{Q}$$

(LR-C) – тізбегі үшін параллель резонанс:

$$f_r = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{1}{LC} - \frac{R^2}{L^2}}$$

$$R_D = \frac{L}{CR}, \quad R_D = \frac{L}{CR},$$

$$Q = \frac{2\pi f_r L}{CR} = \frac{I_C}{I_r}$$

$$P = VI \cos \varphi$$

$$I^2 R$$

$$S = VI$$

$$Q = VI \sin \varphi$$

Қуат коэффициенті

$$= \cos \varphi = \frac{R}{Z}$$

Желі сүзгіші:**Төменгі жиіліктік Т немесе π :**

$$f_c = \frac{1}{\pi \sqrt{LC}}$$

$$R_0 = \sqrt{\frac{L}{C}}$$

$$v_R = V(1 - e^{-Rt/L})$$

$$i = I(1 - e^{-Rt/L})$$

Токтың ыдырауы: $v_L = v_R = Ve^{-Rt/L}$

$$i = Ie^{-Rt/L}$$

Операциялық күшейткіштер:

ССКК =

$$\left(\frac{\text{кернеу бойынша күшейту коэффициенті}}{\text{синфазды күшейту}} \right) \text{дБ}$$

$$\text{Инвертер: } A = \frac{V_o}{V_i} = \frac{-R_f}{R_i}$$

$$\text{Инвертер емес: } A = \frac{V_o}{V_i} = 1 + \frac{R_f}{R_i}$$

Қосындылағанда:

$$V_o = -R_f \left(\frac{V_1}{R_1} + \frac{V_2}{R_2} + \frac{V_3}{R_3} \right)$$

$$\text{Интегратор: } V_o = -\frac{1}{CR} \int V_i dt$$

Дифференциал:

$$V_1 > V_2 : V_o = (V_1 - V_2) \left(-\frac{R_f}{R_1} \right)$$

$$V_2 > V_1 : V_o = (V_2 - V_1)$$

$$\left(\frac{R_3}{R_2 + R_3} \right) \left(1 + \frac{R_f}{R_1} \right)$$

$$C = \frac{1}{\pi R_0 f_c}, \quad L = \frac{R_0}{\pi f_c}$$

Fl-суретті қараңыз:

Төменгі жиіліктік Т немесе π :

$$f_c = \frac{1}{4\pi \sqrt{LC}}, \quad R_0 = \sqrt{\frac{L}{C}}$$

$$C = \frac{1}{4\pi R_0 f_c}, \quad L = \frac{R_0}{C}$$

F2-суретті қараңыз:

Өтпелі тұрақты ток:

C-R тізбегі үшін $\tau = CR$

Зарядтау: $v_C = V(1 - e^{-t/CR})$

$$v_r = Ve^{-t/CR}$$

$$i = Ie^{-t/CR}$$

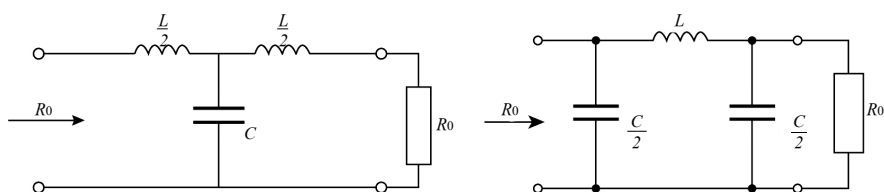
Зарядсыздану:

$$v_C = v_R = Ve^{-t/CR}$$

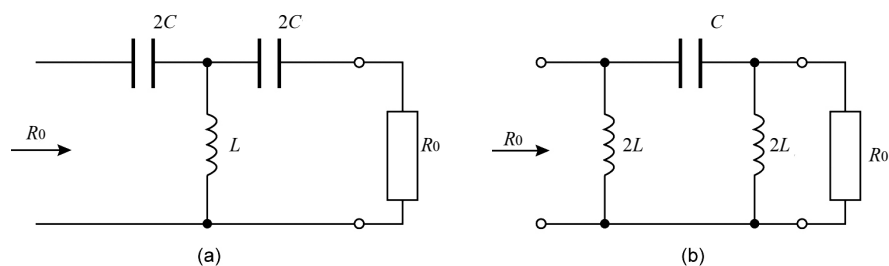
$$i = Ie^{-t/CR}$$

L-R тізбегі $\tau = \frac{L}{R}$

Токтың өсуі: $v_L = Ve^{-Rt/L}$



F1-сурет



F2-сурет

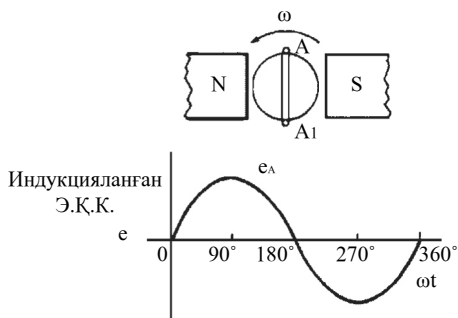
ҮШ-ФАЗАЛЫ ЖҮЙЕ

Тараудың соңында меңгеретін сұрақтардың тізімі:

- Бір-фазалы қоректендіру көзін сипаттау
- Үш-фазалы қоректендіру көзін сипаттау
- Жұлдызша жалғауды түсініп, $I_{жс} = I_{\phi}$ және $V_{жс} = \sqrt{3}V_{\phi}$ формулаларын пайдалана білу
- Жұлдызша жалғанған жүктеменің толық сұлбасының векторын салу
- Үшбұрыштап жалғауды түсініп, $V_{жс} = V_{\phi}$ және $I_{жс} = \sqrt{3}I_{\phi}$ формулаларды пайдалана білу
- Үшбұрыштап жалғанған жүктеменің толық диаграммасының векторын салу
- $P = \sqrt{3} V_{жс} I_{жс} \cos\varphi$ формуланы пайдалана отырып, үш-фазалы жүйе үшін қуатты есептеу
- Бір, екі, үш-ваттметрлі әдіс арқылы үш-фазалы жүйеде қуатты анықтау
- «Жұлдызша» және «үшбұрыштап» жалғанған сұлбаларды салыстыру

20.1 Кіріспе

Ұлттық жүйе желісінде электр энергиясының өнімі, тасымалдануы мен таратылуы айнымалы үш-фазалы токпен орындалады. Біртекті магнит өрісінде айналатын бір орам үшін индукцияланған кернеу *бір-фазалы кернеу* деп аталады және ол *20.1-суретте* келтірілген.



20.1-сурет

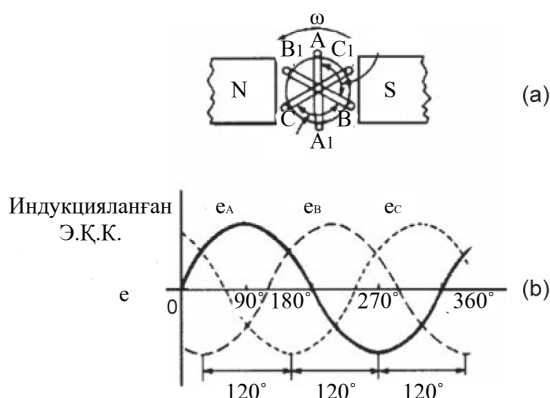
Тұтынушылардың көбі осындай энергияны бір фазалы қоректендіру көзінен қабылдайды. Бір фазалы жүйені алғанда (әдетте қызыл түс) *жанды* – және *нейтрал* (әдетте қара түсті) өткізгіш деп аталатын екі сым қолданылады. Қорғағыш арқылы сырты қапталған жасыл түсті нейтрал сым жермен тұйықталады. Бір фазалы айнымалы қоректендіру көзінің стандартты кернеуі 240 В. Бір-фазалы блоктардың көпшілігі үш фазалы желі арқылы жұмыс істейді (*20.5-сурет*).

20.2 Үш-фазалы қоректендіру көзі

Бір-біріне қатысты 120° жасай орналасқан үш орам біртекті магнит өрісінде айналғанда *20.2(a)-суретте* көрсеткендей үш-фазалы қоректендіру көзін өндіре алады. Осының нәтижесінде бір-бірінен тәуелсіз, кернеулері бірдей, үш қоректендіру көздері пайда болады, олар *20.2(b)-суретте* көрсетілген.

1. Әрбір фазаның кернеулерін тану үшін олар әр түрлі түстермен ажыратылады: А-қызыл, В-сары, С-көгілдір.

2. **Үш фазалы ізділікті** анықтау барысында өткізгіштердің бірізділігі алынады және ол қызыл түсті өткізгіштен басталады. Ұлттық стандартты фазалардың кезектілік қатары: А, В, С.



20.2-сурет

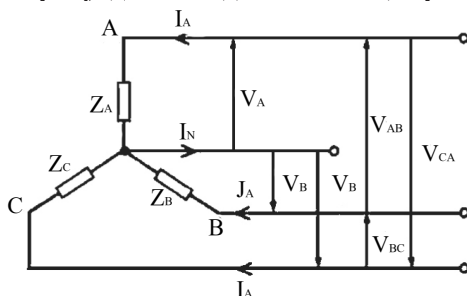
Үш фазалы айнымалы қоректендіру көзін желіге қосу үш өткізгіштер арқылы жүзеге асырылады; Оларды қызыл, сары және көгілдір үш түске боялған **‘линиялар’** деп атайды. Осы өткізгіштердегі токтарды ($I_{ж}$) **желілік** токтары деп, ал олардың арасындағы потенциалдар айырымын ($V_{ж}$) **желілік кернеуі** деп атайды. **Нейтрал** деп аталатын (қара түске боялып, сырты қапталып тұйықталған) төртінші өткізгіш үш фазалы қоректендіру көзімен жиі жалғанады. 20.2-суретте келтірілген үш фазалы орамдар бір-бірінен тәуелсіз сақталса, онда жүктемеге (қозғалтқыш сияқты) қоректендіру көзін (генератор сияқты) қосу үшін алты сым қажет. Үш фазалы жүйені қосу үшін сымдар санын азайту керек. Сымдар санын азайтудың екі жолы бар:

- Тізбекті **«жұлдызша»** жалғау;
- Тізбекті **«үшбұрыштап»** (немесе **«торлап»**) жалғау. Үш фазалы токтың қоректендіру көзі болып табылатын генераторлар жұлдызша жалғанады, ал үш фазалы трансформаторлар, қозғалтқыштар және тағы басқа жүктемелер жұлдызша да, үшбұрыштап та жалғана алады.

20.3 «Жұлдызша» жалғау

- 20.3-суретте жүктеменің **тізбекке «жұлдызша» қосылған** түрі келтірілген, желінің үш сымының әрқайсысы жүктемемен қосылып, жүктеменің шығысымен бірге N-ге жалғанған, сөйтіп осы нүктеде **нейтрал нүкте** немесе **«жұлдызша»** түзілген.

2. V_A , V_B және V_C кернеулері **фазалық кернеулер** деп немесе **нейтрал желілік кернеуі** деп аталады. **Фазалық кернеулер** V_ϕ деп белгіленеді.



20.3-сурет

3. V_{AB} , V_{BC} және V_{CA} кернеулері **желілік кернеулері** деп аталады.
 4. 20.3-суретте келтіргендей фазалық токтар (әдетте I_ϕ деп белгіленеді) мен I_A , I_B және I_C желілік токтарының әсерлік мәндері тең болғандықтан олар жұлдызша қосыла алады:

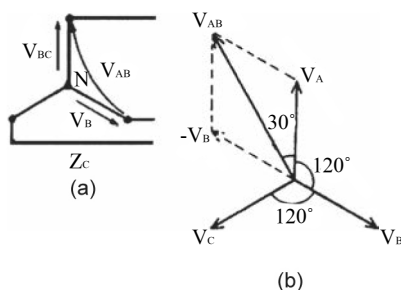
$$I_{\text{ж}} = I_\phi$$

5. Теңестірілген жүйе үшін:

$$I_A = I_B = I_C, \quad V_A = V_B = V_C \\ V_{AB} = V_{BC} = V_{CA}, \quad Z_A = Z_B = Z_C$$

және нейтрал өткізгіштегі ток, $I_N = 0$.

Жұлдызша қосылған жүйе теңестірілген жағдайда нейтрал сымның қажеті болмағандықтан ол жиі қолданылмайды.

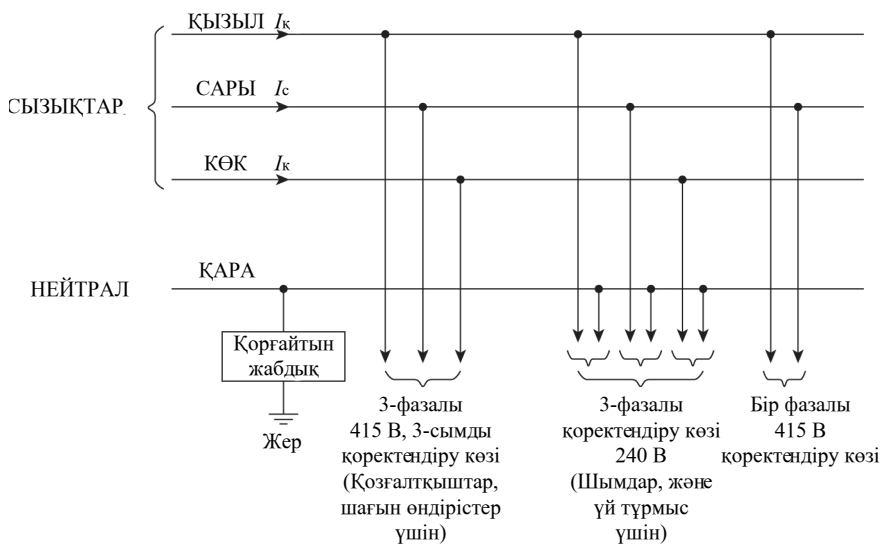


20.4-сурет

6. 20.4(a)-суретте V_{AB} желілік кернеуі $V_{AB} = V_A - V_B$ өрнегімен берілген (мұнда V_B теріс, себебі ол V_{AB} кері жаққа бағытталған).

20.4(b)-суреттегі векторлық диаграммада V_B кері векторы (үздік сызықтармен келтірілген) V_A векторына қосылған (яғни $V_{AB} = V_A + (-V_B)$). Тригонометрия теңдеуі бойынша немесе $V_{AB} = \sqrt{3}V_A$ формуласы арқылы есептеумен жұлдызша қосылған тізбек үшін желілік кернеуі тең:

$$V_{\text{ж}} = \sqrt{3}V_\phi$$



20.5-сурет

(Жұлдызша қосылған жүйе толық векторлық диаграмма үшін төмендегі үш есеп арқылы келтірілген).

- Нейтрал өткізгішпен үш фазалы қоректендіру көзінің жұлдызша қосылуы екі кернеуді де пайдалануға мүмкіншілік бере алады – **фазалық кернеу** мен **желілік кернеуді**. Жүктемесі теңестірілмеген желіде 4-сымды жүйе іске қосыла алынады. Ұлыбританияда электр энергиясын тұтынушыларға жеткізу стандарты 415/240 В, 50 Гц, 3-фазалы, 4-сымды айнымалы тоқты жалғау сұлбасы 20.5-суретте келтірілген.

20 ғасырда Ұлыбританияда тұрмыстық, шаруашылық орындарында **айнымалы токтың қоректендіру көзінің кернеуі 240 В** (орташа квадрат), ал жиілігі 50 Гц шамасында жұмыс істеді. 1988 жылы жалпы еуропалық келісім бойынша кернеулерді пайдаланудың ұлттық айырмашылықтары болуы мүмкін деген шарттар орындалды. Ұлттық пайдалану кернеулерінің шектері 220-240 В, ол орташа алғанда **230 В** тең болды.

Нәтижесінде 1995 жылдан бастап, Ұлыбританияда стандартты, номиналды кернеудің мәні ішкі бір фазалы қоректендіру көздері үшін 230 В ал жиілік 50 Гц деп алынды. Алайда электрэнергияны жабдықтаушылар (жеткізушілер) кернеуді берген кезде оны асимметриялық түрде де

қолдануы мүмкін, яғни $230+10\%/-6\%$ (216.2 В тен 253 В дейін). Ескі стандарт бойынша бір-фазалы қоректендіру көздері үшін $240\text{В} \pm 6\%$ (225.6 В -тан 254.6 В -қа дейін) болғандықтан **қазір жаңа стандарт** бойынша электр энергиясын таратушылар үшін енді кернеуді өзгертудің себептері болмады деуге болады.

Ұлыбританияда үш фазалы кернеу көп жылдар бойы $415 \text{ В} \pm 6\%$ (яғни 390 В -ан 440 В) болды. Еуропаның стандарты бұл шамаларды $400 \text{ В} + 10\% / - 6\%$ (яғни 376 -тан 440 В) өзгертті. Бүгінгі күні қоректендіру көзінің кернеуі 415 В шектерінде жатадады. Есептеулердің бәрі қоректендіру көздерінің кернеуі $240 \text{ В} / 415 \text{ В}$ шамаларына негізделген және әлі көптеген жылдар бойы жалғасады.

1-есеп. Әрқайсысының кедергілері 30 Ом нан, кернеуі 415 В үш фазалы қоректендіру көзіне үш жүктеме жұлдызша қосылған. Табыңыз: (а) жүйенің фазалық кернеуін; (b) фазалық токты; (с) желілік тогын.

Кернеуі 415 В үш-фазалы қоректендіру көзі үшін $V_{\text{ж}}$ желілік кернеу шамасының мәнін 415 В екенін білдіреді.

(а) Жұлдызша жалғау үшін: $V_{\text{ж}} = \sqrt{3}V_{\phi}$ олай болса фазалық кернеу, $I_{\phi} = I_{\text{ж}} / \sqrt{3} = 415 / \sqrt{3} = \mathbf{239.6 \text{ В}}$ немесе $\mathbf{240 \text{ В}}$, үтірден кейін үш орын дәлділікпен алынады.

(b) Фазалық ток, $I_{\phi} = V_{\phi} / R_{\phi} = 240/30 = 8 \text{ А}$

(с) Жұлдызша жалғау үшін, $I_{\phi} = I_{\text{ж}}$. Олай болса желілік тогы $I_{\text{ж}} = \mathbf{8 \text{ А}}$.

2-есеп. Жүктеме әрқайсысының кедергілері 30 Ом нан және индуктивтілігі 127.3 мГн бір-бірімен жұлдызша қосылған үш бірдей орамнан тұрады. Егер желілік тогы 5.08 А , ал қоректендіру көзінің жиілігі 50 Гц болса, кернеудің шамасын есептеңіз.

Индуктивтілік кедергі

$$X_{\text{ж}} = 2\pi fL = 2(50)(127.3 \times 10^{-3}) = 40 \text{ Ом}$$

Әрбір фазаның кедергісі

$$Z_{\phi} = \sqrt{R^2 + X_{\text{ж}}^2} = \sqrt{30^2 + 40^2} = 50 \text{ Ом}$$

Желілік тогы,

$$I_{\text{ж}} = I_{\phi} = \frac{V_{\phi}}{Z_{\phi}}$$

Жұлдызша жалғау үшін

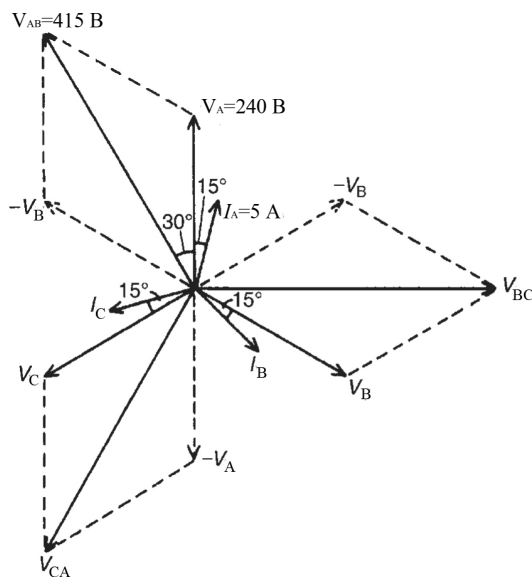
$$V_{\phi} = I_{\phi} Z_{\phi} = (5.08)(50) = 254 \text{ В}$$

Олай болса фазалық кернеу,

$$V_{\text{ж}} = \sqrt{3} V_{\phi} = \sqrt{3} (254) = 440 \text{ В}$$

3-есеп. Теңестірілген, үш сымды, жұлдызша қосылған үш фазалы жүктеменің фазалық кернеуі 240 В, желілік тогы 5.0 А және қуаттың қалдық коэффициенті 0.966. Толық векторлық диаграмманы салыңыз.

20.6-суретте векторлық диаграмма көрсетілген.



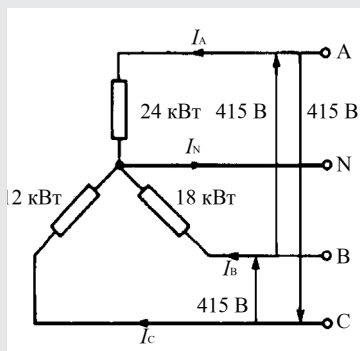
20.6-сурет

Векторлық диаграмманы салудың процедурасы:

1. Бір-бірімен салыстырғанда 120° жасай орналасқан $V_A = V_B = V_C = 240 \text{ В}$ үш векторды салыңыз. (Айта кету керек, V_A тік жоғары қарай орналасқан – алайда мұның ешқандай маңызы жоқ, өйткені оны барлық бағыттарда да орналастыруға болады).
2. $\cos\varphi=0.966$ қуаттың коэффициенті кешігіп отырады. Сондықтан жүктеменің фазалық бұрышы $\cos^{-1}0.966$ берілгендіктен ол 15° кешігіп отырады. Олай болса, $I_A = I_B = I_C = 5 \text{ А}$, ал осыған сәйкес $V_A = V_B = V_C$ -нің кешігуі 15° .

$V_{AB} = V_A - V_B$ (желілік кернеу векторлары). Олай болса V_B (бағытын өзгертсе немесе аударып қосса) мен V_A векторлық қосылғаны. Сонымен V_{AB} - желілік кернеуін өлшегенде оның фазалық кернеуден $\sqrt{3}$ есе артық екені шығады (яғни $\sqrt{3} \times 240 = 415 \text{ В}$) және V_{AB} - желілік кернеуі V_A -ны 30° бұрышқа бұра алады. Тура осындай өрнектерді V_{BC} мен V_{CA} үшін де жазуға болады: $V_{BC} = V_B - V_C$ және $V_{CA} = V_C - V_A$.

4-есеп. Кернеуі 415 В , төрт сымды үш фазалы жүйе жұлдызша үш резистивті жүктемемен *20.7-суретте* көрсетілгендей қосылған. Анықтаңыз: (а) әрбір желілік токты, (б) нейтрал сымдағы токты.



20.7-сурет

(а) Жұлдызша қосылған жүйе үшін $V_{\text{ж}} = \sqrt{3}V_{\phi}$, олай болса

$$V_{\phi} = \frac{V_{\text{ж}}}{\sqrt{3}} = \frac{415}{\sqrt{3}} = 240 \text{ В}$$

Резистивті жүктеме үшін ток $I = P/V$ қуаттың кернеуге қатынасымен анықталады:

$$I_A = \frac{P_A}{V_A} = \frac{24000}{240} = 100 \text{ A}$$

$$I_B = \frac{P_B}{V_B} = \frac{18000}{240} = 75 \text{ A}$$

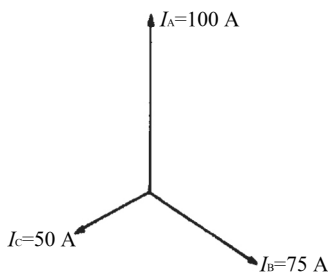
$$I_C = \frac{P_C}{V_C} = \frac{12000}{240} = 50 \text{ A}$$

- (b) 20.8-суретте векторлық диаграммада токтың үш желісі келтірілген. Әрбір жүктеменің резистивті тогы фазалық кернеумен бір фазада болғандықтан олар өзара 120° градуска ығысқан. **Нейтрал сымдағы** ток $I_N = I_A + I_B + I_C$ векторлық анықталады. 20.9-суретте токтың үш желісі векторлық қосылған.

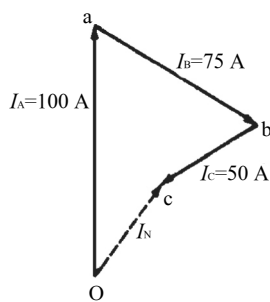
oa сызығының шамасы мен бағытын I_A сипаттайды. oa мен ab сызықтарының шамасы мен бағытын I_B сипаттайды. ab , bc сызықтарының ұштарының шамасы мен бағытын I_C сипаттайды. oc сызығы қорытынды вектор.

I_N өлшегендегі шама, $I_N = 43 \text{ A}$

Сонымен қатар I_A -ны 90° градус депесептеу керек.



20.8-сурет



20.9-сурет

I_C мен I_B -нің мәндері 210° және 330° градустары үшін есептелінеді.

Сонымен барлық горизонталь құраушысы:

$$= 100\cos 90^\circ + 75\cos 330^\circ + 50\cos 210^\circ = 21.65$$

Барлық вертикаль құраушысы:

$$= 100\cos 90^\circ + 75\cos 210^\circ = 37.50$$

Олай болса, қорытынды ток шамасы, $I_N = \sqrt{21.65^2 + 37.50^2} = 43.3 \text{ A}$

Келесі жаттығуды орындаңыздар

112-жаттығу. Жұлдыз шажалғауға арналған қосымша есептер

1. Әрқайсысының кедергілері 50 Омнан үш жүктеме бір-бірімен жұлдызша үш фазалы, кернеуі 400 В қоректендіру көзіне қосылған. Анықтаңыз: (a) фазалық кернеуді; (b) фазалық токты; (c) желілік тогын.

[(a) 213 В (b) 4.62 А (c) 4.62 А]

2. Жүктеме үш бірдей орамнан тұрады, олар жұлдызша қосылған, әрқайсысының кедергісі мен индуктивтіліктері сәйкесінше 50 Ом және 159.2 мГн. Егер желінің жиілігі 50 Гц, ал желілік тогы 3 А болса анықтаңыз: (a) фазалық кернеуді; (b) желінің кернеуін.

[(a) 212 В, (b) 367 В]

3. Үш бірдей конденсатор қоректендіру көзінің кернеуі 400 В, жиілігі 50 Гц үш фазалы жүйемен жұлдызша қосылған. Егер желілік тогы 12 А болса, әрбір конденсатордың сыйымдылығы қандай болғаны?

[165.4 мкФ]

4. Әрқайсысының кедергісі 6 Ом, индуктивтілігі ЛН үш орам үш фазалы, жиілігі 50 Гц, кернеуі 450 В қоректендіру көзімен жұлдызша жалғанған. Егер желілік тогы 30 А болса, L шамасының мәнін табыңыз.

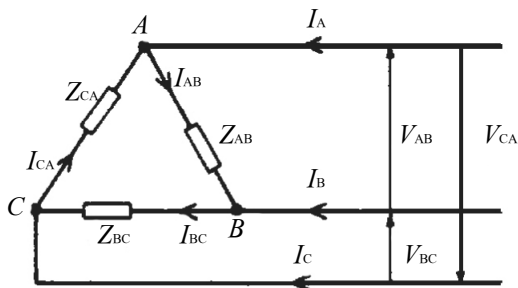
[16.78 мГн]

5. Кернеуі 400 В, үш фазалы, 4-сымды жүйе үш резистивті жүктемемен жұлдызша жалғанған. Резистивті жүктемелердің қуаттары қызыл, сары және көгілдір фазаларына 15 кВт, 20 кВт және 25 кВт сәйкесінше. Әрбір төрт өткізгіштен өтетін ток күшін анықтаңыз.

$[I_A = 64.95 \text{ A}, I_B = 86.60 \text{ A}, I_C = 108.25 \text{ A}, I_N = 37.50 \text{ A}]$

20.4 Үшбұрыштап жалғау

1. Тізбектерде қоректендіру көзі мен жүктемені «үшбұрыштап» немесе **торлы** түрде жалғау 20.10-суретте келтірілген. Мұнда бір жүктеменің соңы екінші жүктеменің бас жағына жалғанады.



20.10-сурет

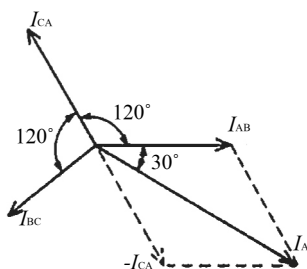
2. V_{AB} , V_{BC} және V_{CA} желілік кернеулері сәйкесінше фазалық кернеулер болып келетінін 20.10-суреттен көруге болады, олай болса сұлбада үшбұрыштап жалғауда фазалық кернеу мен желілік кернеулердің әсерлік мәндері тең деген сөз:

$$V_{\text{ж}} = V_{\phi}$$

20.10-суретінен Кирхгоф заңына сай ток күші $I_A = I_{AB} = I_{CA} = I_{AB} + (-I_{CA})$ тең. 20.11-векторлық диаграммадан тригонометрия теңдеулері бойынша немесе есептеу арқылы $I_A = \sqrt{3} I_{AB}$, яғни үшбұрышпен жалғанған тізбек үшін:

$$I_{\text{ж}} = \sqrt{3} I_{\phi}$$

5-есеп. Әрқайсысының кедергілері 30 Омнан, индуктивтілігі 127.3 мГн үш бірдей орам үш фазалы, кернеуі 440 В, жиілігі 50 Гц қоректендіру көзімен үшбұрыштап қосылған. Анықтаңыз: (а) фазалық ток пен (б) желілік токты.



20.11-сурет

Фазалық кедергі, $Z_\phi = 50 \text{ Ом}$ (2-есептен) үшбұрышпен жалғану үшін,
 $V_\phi = V_{\text{ж}}$

(a) Фазалық ток,

$$I_\phi = \frac{V_\phi}{Z_\phi} = \frac{V_{\text{ж}}}{Z_\phi} = \frac{440}{50} = 8.8 \text{ А}$$

(b) Үшбұрыш жасап жалғану,

$$I_{\text{ж}} = \sqrt{3} I_\phi = \sqrt{3} (8.8) = 15.24 \text{ А}$$

Жүктемені үшбұрышпен жүйеге жалғағанда желілік тогы қоректендіру көзінен жұлдызша жалғанумен салыстырғанда үш есе артық токты алатын болды.

6-есеп. Үш бірдей конденсатор кернеуі 415 В, жиілігі 50 Гц, үш фазалы қоректендіру көзімен үшбұрышпен қосылған. Егер желілік тогы 15 А болса, әрбір конденсатордың сыйымдылығы қандай?

Үшбұрыштап жалғау үшін, $I_{\text{ж}} = \sqrt{3} I_\phi$.
 Олай болса фазалық ток,

$$I_\phi = \frac{I_{\text{ж}}}{\sqrt{3}} = \frac{15}{\sqrt{3}} = 8.66 \text{ А}$$

Фаза үшін сыйымдылықтық кедергі,

$$X_C = \frac{V_\phi}{I_\phi} = \frac{V_{\text{ж}}}{I_\phi}$$

$V_{\text{ж}} = V_{\phi}$ болғандықтан,

$$X_C = \frac{415}{8.66} = 47.92 \text{ Ом}$$

$$X_C = 1/2\pi fC,$$

Осыдан сыйымдылық,

$$C = \frac{1}{2\pi fX_C} = \frac{2}{2\pi(50)(47.92)} \quad \Phi = 66.43 \text{ мкФ}$$

7-есеп. Әрбіреуінің кедергісі 3 Омнан, индуктивтілік кедергісі 4 Омнан үш орам (1) жұлдызша және (2) үшбұрышпен кернеуі 415 В, үш фазалы қоректендіру көзіне қосылған. Әрбір сұлба үшін есептеңіз: (желілік кернеуі мен фазалық кернеуді, (b) желілік тогы мен фазалық токты.

1. Жұлдызша жалғау үшін:

$$I_{\text{ж}} = I_{\phi} \text{ және } I_{\text{ж}} = \sqrt{3} V_{\phi}$$

(a) 415 В, үш фазалы қоректендіру көзі дегеніміз бұл желілік кернеуі,

$$V_{\text{ж}} = 415 \text{ В.}$$

Фазалық кернеу,

$$V_{\phi} = \frac{V_{\text{ж}}}{\sqrt{3}} = \frac{415}{\sqrt{3}} = 240 \text{ В}$$

Бір фазаның кедергісі,

$$Z_{\phi} = \sqrt{R^2 + X_{\text{ж}}^2} = \sqrt{3^2 + 4^2} = 5 \text{ Ом}$$

Фазалық ток,

$$I_{\text{ж}} = V_{\phi} / Z_{\phi} = 240/5 = 48 \text{ А}$$

Желілік ток,

$$I_{\text{ж}} = I_{\phi} = 48 \text{ А}$$

1. Үшбұрыштап жалғану үшін,

$$V_{\text{ж}} = V_{\phi}$$

$$I_{\text{ж}} = \sqrt{3} I_{\phi}$$

Желілік кернеуі,

$$V_{\text{ж}} = 415 \text{ В}$$

Фазалық кернеуі,

$$V_{\phi} = V_{\text{ж}} = 415 \text{ В}$$

Фазалық ток,

$$I_{\phi} = \frac{V_{\phi}}{Z_{\phi}} = \frac{415}{5} = 83 \text{ А}$$

Желілік ток,

$$I_{\text{ж}} = \sqrt{3} I_{\phi} = \sqrt{3} (83) = 144 \text{ А}$$

Келесі жаттығуды орындаңыздар.

113-жаттығу. Үшбұрыштап жалғануға арналған қосымша есептер

1. Үш жүктеме әрқайсысының кедергісі 50 Ом, кернеуі 400 В, үш фазалы қоректендіру көзімен үшбұрыштап жалғанған. Анықтаңыз: (а) фазалық кернеуді; (б) фазалық тоқты; (с) желілік тогын.
[(a) 400 В, (b) 8 А, (c) 13.86 А]
3. Әрқайсысының кедергілері 75 Омнан, индуктивтілігі 318.4 мГн үш индуктивті жүктеме үшбұрышпен кернеуі 415 В, жиілігі 50 Гц, 3 фазалы жүйемен жалғанған. Анықтаңыз: (а) фазалық кернеуді, (б) фазалық тоқты, (с) желілік тогын.
[(a) 415 В, (b) 3.32 А, (c) 5.75 А]
2. Үш бірдей конденсатор кернеуі 400 В, жиілігі 50 Гц 3 фазалы жүйемен үшбұрышпен қосылған, егер желілік тогы 12 А болса, әрбір конденсатордың сыйымдылығын анықтаңыз.
[55.13 мкФ]
3. Үш орамның әрқайсысының кедергілері 6 Омнан, индуктивтілігі ЛН кернеуі 415 В, жиілігі 50 Гц 3 фазалы жүйемен үшбұрышпен қосылған. Егер желілік тогы 30 А болса L-дің мәні қандай?
[73.84 мГн]

4. 3 фазалы үшбұрыштап жалғанған генератор 65 А желілік тогын қамтамасыз етеді, сонда желілік кернеуі 380 В жүктемемен теңеседі. Есептеңіз: (а) айнымалы ток генераторының фазалық кернеуін, (b) генератордың фазалық тогын, (с) жүктеменің фазалық тогын.

[(a) 219.4 В, (b) 65 А, (c) 37.53 А]

5. Сыйымдылықтары 24 мкФ үш конденсатор кернеуі 400 В, жиілігі 50 Гц 3 фазалы жүйемен жұлдызша қосылған. Осы сұлбаны үшбұрыштап қосқанда тура осындай ток алу үшін қандай сыйымдылық қажет?

[8 мкФ]

20.5 Үш фазалы жүйедегі қуат

Үш фазалы жүктеменің тұтыну қуаты әр фазаның тұтыну қуаттарының қосындысынан тұрады. Егер жүктеме теңестірілсе, онда жалпы қуат P формуламен анықталады:

$P = 3 \times$ – бір фазаның тұтынатын қуаты.

Бір фазаның тұтынатын қуаты,

$$= I_{\phi}^2 R_{\phi}$$

немесе $V_{\phi} I_{\phi} \cos \varphi$ (V_{ϕ} мен I_{ϕ} арасындағы бұрыштық фаза φ).

Жұлдызша жалғану үшін,

$$V_{\phi} = \frac{V_{ж}}{\sqrt{3}} \text{ мен } I_{\phi} = I_{ж}$$

Олай болса,

$$P = 3 \frac{V_{ж}}{\sqrt{3}} I_{ж} \cos \varphi = \sqrt{3} V_{ж} I_{ж} \cos \varphi$$

Үшбұрыштап жалғану үшін,

$$V_{\phi} = V_{ж} \text{ мен } I_p = \frac{V_{ж}}{\sqrt{3}}$$

Олай болса,

$$P = 3 V_{ж} \frac{V_{ж}}{\sqrt{3}} \cos \varphi = \sqrt{3} V_{ж} I_{ж} \cos \varphi$$

Ендеше жұлдызша қосылса да, үшбұрыштап қосылса да теңестірілген жалпы қуат келесі формуламен анықталады:

$$P = \sqrt{3} V_{\text{ж}} I_{\text{ж}} \cos \varphi \text{ Вт}$$

немесе

$$P = 3 I_{\phi}^2 R_{\phi} \cos \varphi \text{ Вт}$$

Жалпы вольт-ампер,

$$S = \sqrt{3} V_{\text{ж}} I_{\text{ж}} \text{ вольт-ампер}$$

8-есеп. 3 фазалы, кернеуі 415 В қоректендіру көзіне 12 Омды үш резисторлар жұлдызша қосылған. Резисторларға жұмсалатын жалпы қуаттың мөлшерін анықтаңыз.

Жұмсалған қуат,

$$P = \sqrt{3} V_{\text{ж}} I_{\text{ж}} \cos \varphi \text{ немесе } P = 3 I_{\phi}^2 R_{\phi}$$

Желілік кернеуі,

$$V_{\text{ж}} = 415 \text{ В}$$

және фазалық кернеу,

$$V_{\phi} = \frac{415}{\sqrt{3}} = 240 \text{ В}$$

(жұлдызша қосылған резисторлар).

Фаза тогы,

$$I_{\phi} = \frac{V_{\phi}}{Z_{\phi}} = \frac{V_{\phi}}{R_{\phi}} = \frac{240}{12} = 20 \text{ А}$$

Үшбұрыштап қосылу үшін,

$$I_{\text{ж}} = I_{\phi} = 20 \text{ А}$$

Таза резистивті жүктеме үшін қуат,

Коэффициент $= \cos \varphi = 1$

сондықтан қуат:

$$P = \sqrt{3} V_{\text{ж}} I_{\text{ж}} \cos \varphi = \sqrt{3} (415)(20)(1) = 14.4 \text{ кВт}$$

немесе қуат:

$$P = 3 I_{\phi}^2 R_{\phi} = 3(20)^2(12) = 14.4 \text{ кВт}$$

9-есеп. Үш фазды айнымалы қозғалтқыштың кіріс қуаты 5 кВт. Электр қозғалтқышының кернеуі мен ток күші 400 В және 8.6 А сәйкесінше болса, жүйенің қуат коэффициентін табыңыз.

Қуат $P=5000$ Вт.

Желілік кернеуі,

$$V_{ж} = 440 \text{ В}$$

Желілік тогы,

$$I_{ж} = 8.6 \text{ А}$$

Қуат,

$$P = \sqrt{3} V_{ж} I_{ж} \cos \varphi$$

Олай болса, **қуат коэффициенті**

$$= \cos \varphi = \frac{P}{\sqrt{3} V_{ж} I_{ж}} = \frac{5000}{\sqrt{3} (400)(8.6)} = \mathbf{0.839}$$

10-есеп. Әрқайсысының кедергілері 10 Омнан, индуктивтілігі 42 мГн үш бірдей орам (а) үшбұрыштап, (б) жұлдызша үш фазалы, жиілігі 50 Гц, кернеуі 415 В қоректендіру көзіне жалғанған. Әр жағдай үшін жұмсалған қуатты есептеңіз.

(а) **Жұлдызша жалғанған,**

Индуктивті кедергі,

$$X_{ж} = 2\pi fL = 2\pi(50)(42 \times 10^{-3}) = 13.19 \text{ Ом}$$

Фазалық кедергі,

$$Z_{\phi} = \sqrt{R^2 + X_L^2} = \sqrt{10^2 + 13.19^2} = 16.55 \text{ Ом}$$

Желілік кернеуі,

$$V_{ж} = 415 \text{ В}$$

Фазалық кернеу,

$$V_{\phi} = V_{ж} / \sqrt{3} = 415 / \sqrt{3} = 240 \text{ В}$$

Фазалық ток,

$$I_{\phi} = V_{\phi} / Z_{\phi} = 240 / 16.55 = 14.50 \text{ А}$$

Желілік тогы,

$$I_{\phi} = I_{\phi} = 14.50 \text{ А}$$

Қуат коэффициенті,

$$= \cos\varphi = R_{\phi} / Z_{\phi} = 10/16.55 = 0.6042$$

қалып отырады.

Қуаттың жұмсалуды,

$$P = \sqrt{3} V_{ж} I_{ж} \cos\varphi = \sqrt{3} (415)(14.50)(0.6042) = 6.3 \text{ кВт}$$

(Басқаша жолмен шығаруға болады:

$$P = 3I_{\phi}^2 R_{\phi} = 3(14.50)^2(10) = 6.3 \text{ кВт}$$

қалып отырады).

(b) Үшбұрыштап жалғанған,

$$V_{ж} = V_{\phi} = 415 \text{ В}; \quad Z_{\phi} = 16.55 \text{ Ом}; \quad \cos\varphi = 0.6042$$

қалып отырады.

Фазалық ток,

$$I_{\phi} = V_{\phi} / Z_{\phi} = 415/16.55 = 25.08 \text{ А}$$

Желілік тогы,

$$I_{ж} = \sqrt{3} I_{\phi} = \sqrt{3} (25.08) = 43.44 \text{ А}$$

Қуаттың жұмсалуды,

$$P = \sqrt{3} V_{ж} I_{ж} \cos\varphi = \sqrt{3} (415)(43.44)(0.6042) = 18.87 \text{ кВт}$$

(Басқаша жолмен шығаруға болады: $P = 3I_{\phi}^2 R_{\phi} = 3(25.08)^2(10) = 18.87 \text{ кВт}$)

Сонымен жүктеме үшбұрыштап қосылғанда қуаттың жұмсалуды жұлдызша қосуден салыстырғанда үш есе артық, олай болса желілік тогы да үш есе артық жұмсалғаны.

11-есеп. Кернеуі 415 В, үш фазалы айнымалы ток қозғалтқышының қуаты 12.75 кВт, ал қуат коэффициенті 0.77 қалып отырады, п.э.к. 85 %. Егер қозғалтқышты үшбұрыштап жалғаса (a) тұтынатын қуатты, (b) желілік тогын, (c) фазалық токты анықтаңыз.

(a) п.э.к. = шығыс қуаты/тұтынатын қуат.

Олай болса, $85/100 = 12750/\text{тұтынатын қуат}$.

Осыдан

$$\text{Тұтынатын қуат} = \frac{12750 \times 100}{85} = 15000 \text{ Вт немесе } \mathbf{15 \text{ кВт}}$$

(b) Қуат,

$$P = \sqrt{3} V_{ж} I_{ж} \cos \varphi,$$

олай болса **желілік тогы**,

$$I_{ж} = \frac{P}{\sqrt{3} V_{ж} \cos \varphi} = \frac{15000}{\sqrt{3} (415) (0.77)} = 27.10 \text{ A}$$

(c) Үшбұрыштап қосқанда,

$$I_{ж} = \sqrt{3} I_{\phi},$$

Сонда, **фазалық ток**

$$I_{\phi} = \frac{I_{ж}}{\sqrt{3}} = \frac{27.10}{\sqrt{3}} = 15.65 \text{ A}$$

Келесі жаттығуды орындаңыздар.

114-жаттығу. Үш фазалы жүйедегі қуатқа арналған қосымша есептер

1. Қоректендіру көзінің кернеуі 440 В, 3 фазалы жүйені резистрлермен (a) жұлдызша және (b) үшбұрыштап қосқанда 20 Ом кедергісі үшін қуат қандай болуы керек?

[(a) 9.68 кВт (b) 29.04 кВт]

2. 112-жаттығудың 2-есебі үшін қуатты қайта табыңыз.

[1.35 кВт]

3. Теңестірілген желілік қуат үшбұрыштап жалғанған, қуаттың кешігу коэффициенті 0.94, кернеуі 400 В, желілік тогы 8 А. Жүктеменің толық векторлық диаграммасын салыңыз. Жүктеменің қуаты қандай?

[5.21 кВт]

4. Үш индуктивті жүктеменің әрқайсысының кедергісі 4 Ом. Реактивті кедергісі 9 Ом 3 фазалы жүйеге қосылғанда 1.2 кВт қуатты тұтынады. Есептеңіз: (a) жүктеме қуатының коэффициентін, (b) фазалық токты, (c) желілік тогын, (d) қоректендіру көзінің кернеуін.

[(a) 0.406 (b) 10 А (c) 17.32 А (d) 98.53 В]

5. Қозғалтқыштың кіріс кернеуі, тогы мен қуаты 415 В, 16.4 А және 6 кВт сәйкесінше. Қуат коэффициентін табыңыз.

[0.509]

6. 3 фазалы тұрақты ток қозғалтқышының шығыс қуаты 11.25 кВт, 3 фазалы кернеуі 440 В жүйеге қосылған. Қуаттың коэффициенті 0.8, пайдалы әсер коэффициенті 84%. Егер қозғалтқыш сұлбада үшбұрышпен жалғанатын болса (а) тұтығатын қуатты, (б) желілік тогын, (с) фазалық токты анықтаңыз.

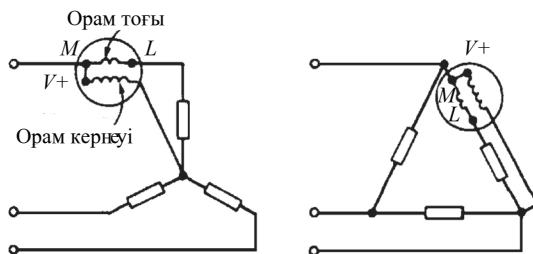
[(a) 13.39 кВт (b) 21.97 А (c) 12.68 А]

20.6 Үш фазалы жүйедегі қуатты өлшеу

Үш фазалы жүйедегі қуатты өлшеуді келесі әдістермен орындауға болады:

1. Теңестірілген жүктеме үшін бір-ваттметр әдісі.

20.12-суретте ваттметрді жұлдызша және үшбұрыштап жалғаудың екі түрі келтірілген.



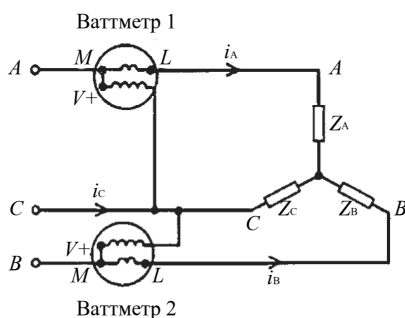
20.12-сурет

Жалпы қуат = $3 \times$ ваттметрдегі көрсеткіш.

2. Симметриялы және асимметриялы жүктемелер үшін екі ваттметр әдісі.

20.13-суретте жүктемені үшбұрыштап жалғау тәсілінен жұлдызша жалғау түріне келтірілген осындай сұлба көрсетілген. Жүктемені үшбұрыштап жалғау тәсілі де тура осылай орындалады.

Жалпы қуат = ваттметрдің көрсеткішінің қосындысы = $P_1 + P_2$



20.13-сурет

Қуат коэффициенті төмендегі формуламен табылады:

$$\operatorname{tg} \varphi = \sqrt{3} \left(\frac{P_1 - P_2}{P_1 + P_2} \right)$$

(12, 15-тен 18-ге дейінгі есептерді қараңыз).

Жүктеменің қуат коэффициенті салдарынан бір-ваттметрлі әдіспен ‘кері’ көрсеткіштің мәнін оқи аламыз. Мұндай жағдайларда алынған мәндер теріс деп алынатын болады (17-есепті қараңыз)

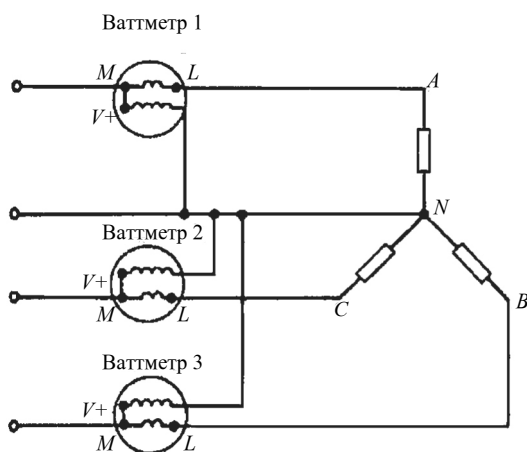
3. Үш фазалы, 4-сымды жүйе үшін симметриялы және асимметриялы жүктемелердің сұлбалары 20.14-суретте келтірілген.

$$\text{Жалпы қуат} = P_1 + P_2 + P_3$$

12-есеп. (а) 3 фазалы, 3 сымды жүйе екі ваттметрдің көмегімен қуаттың қосындысын табу керек. Ваттметрдегі көрсеткіштерді қосу арқылы қуаттың қосындысын есептеуге болады. Осы сұлбаны салыңыз. (b) Векторлық диаграмманы екі ваттметр үшін жүктемені теңестіру жолымен келтіру. (c) Вектор арқылы сұлбаның бөліктерін салу, (d) Тек ваттметрдің көрсеткіші арқылы ғана 3 фазалы жүйе қуат коэффициентін табу үшін формуланы шығару.

- (a) 20.15-суретте екі ваттметрді тізбекке қосу арқылы қуатты өлшеу жүктемесін жұлдызша қосу арқылы келтіріліген. Жалпы лездік қуат, $p = e_A i_A + e_B i_B + e_C i_C$ және кез келген үш-фазалы жүйе үшін $i_A + i_B + i_C = 0$. Олай болса, $i_C = i_A - i_B$, осыдан:

$$p = e_A i_A + e_B i_B + e_C (-i_A - i_B) = (e_A - e_C) i_A + (e_B - e_C) i_B$$

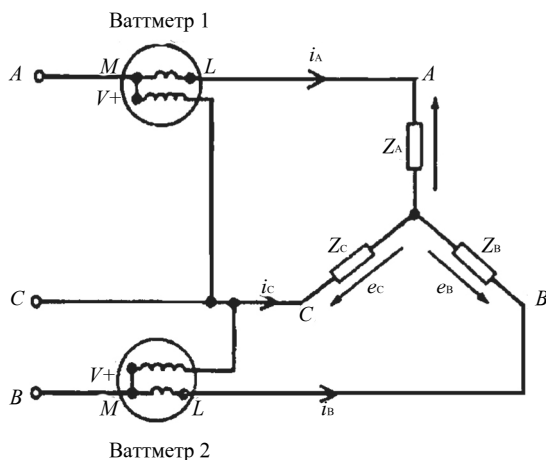


20.14-сурет

Алайда, $(e_A - e_C)$ потенциалдар айырымы болғандықтан ол 20.15-суретте 1-ші ваттметр мен және $(e_B - e_C)$ потенциалдар айырымы болғандықтан 2-ші ваттметрмен берілген. Сондықтан жалпы лездік қуат,

$$P = (\text{1-ші ваттметрдің көрсеткіші}) + (\text{2-ші ваттметрдің көрсеткіші});$$

$$P = P_1 + P_2,$$



20.15-сурет

Ваттметрлердің жылжымалы жүйесі қалыпты жиіліктердің өзгермелі қасиеттеріне лайық тез ілесе алмағандықтан олар бір цикл үшін

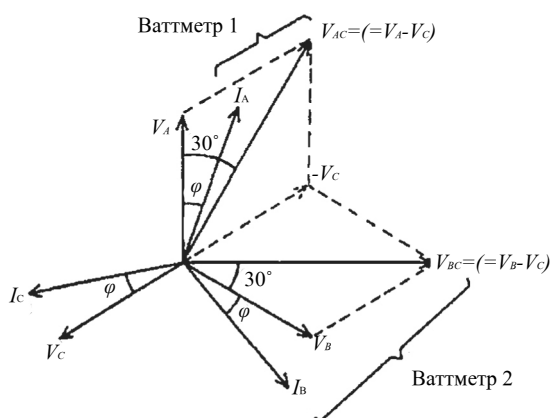
қуаттың орташа шамасын ғана көрсете алады. Олай болса жалпы қуат симметриялы және асимметриялы жүктемелер үшін тең:

$$P = P_1 + P_2.$$

(b) Теңелген жүктемелер үшін екі ваттметр әдісімен векторлық диаграмма 20.16-суретте келтірілген. Мұндағы

$$V_{AC} = V_A - V_C$$

$$V_{BC} = V_B - V_C \text{ (векторлық)}$$



20.16-сурет

(с) 1-ші ваттметр көрсеткіші,

$$V_{AC} I_A \cos(30^\circ - \varphi) = P_1$$

2-ші ваттметр көрсеткіші,

$$V_{BC} I_B \cos(30^\circ + \varphi) = P_2$$

Болғандықтан,

$$\frac{P_1}{P_2} = \frac{V_{AC} I_A \cos(30^\circ - \varphi)}{V_{BC} I_B \cos(30^\circ + \varphi)} = \frac{\cos(30^\circ - \varphi)}{\cos(30^\circ + \varphi)}$$

теңелген жүктеме үшін.

Олай болса:

$$I_A = I_B \quad V_{AC} = V_B$$

$$\frac{P_1}{P_2} = \frac{\cos 30^\circ \cos \varphi + \sin 30^\circ \sin \varphi}{\cos 30^\circ \cos \varphi - \sin 30^\circ \sin \varphi}$$

(бұрыштық формулаларды біріктіре отырып, алуға болады, сілтеме: «Инженерлік математика»).

Бәрін $\cos 30^\circ \cos \varphi$ бөлу арқылы:

$$\frac{P_1}{P_2} = \frac{1 + \operatorname{tg} 30^\circ \operatorname{tg} \varphi}{1 - \operatorname{tg} 30^\circ \operatorname{tg} \varphi} = \frac{1 + \frac{1}{\sqrt{3}} \operatorname{tg} \varphi}{1 - \frac{1}{\sqrt{3}} \operatorname{tg} \varphi} \frac{\sin \varphi}{\cos \varphi} = \operatorname{tg} \varphi$$

Көбейту арқылы,

$$P_1 - \frac{P_1}{\sqrt{3}} \operatorname{tg} \varphi = P_2 + \frac{P_2}{\sqrt{3}} \operatorname{tg} \varphi$$

Олай болса,

$$P_1 - P_2 = (P_1 + P_2) \frac{\operatorname{tg} \varphi}{\sqrt{3}}$$

Осыдан

$$\operatorname{tg} \varphi = \sqrt{3} \left(\frac{P_1 - P_2}{P_1 + P_2} \right)$$

φ , $\cos \varphi$, олай болса **қуат коэффициенті** осы формуладан анықталуы мүмкін.

13-есеп. Генератор кернеуі 400 В, 3 фазалы жүйемен жұлдызша жүктемемен қосылған, оның әрбір фазасының кедергісі 30 Ом және индуктивтік кедергісі 40 Ом. Есептеңіз: (а) генератор жеткізетін токты, (б) кВт-пен алғандағы генератордың шығыс қуаты мен жүктеме арасындағы шығынды ескермеуге болады.

20.17-суретте генератор мен жүктеменің сұлбасы келтірілген.

(а) Жүктемені ескеру:

Фазалық ток,

$$I_\phi = V_\phi / Z_\phi$$

$V_\phi = V_{\text{ж}}$ үшбұрыштап жалғау. Олай болса,

$$V_\phi = 400 \text{ В}$$

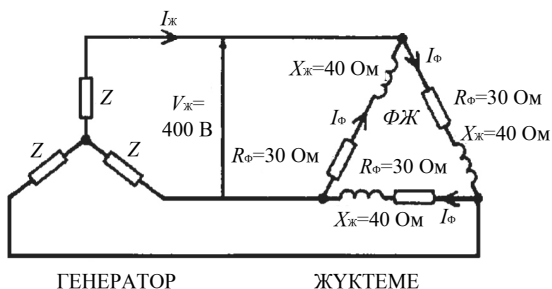
Фазалық кедергі,

$$Z_{\phi} = \sqrt{R_{\phi}^2 + X_{\phi}^2} = \sqrt{30^2 + 40^2} = 50 \text{ Ом}$$

Сондықтан $I_{\phi} = V_{\phi} / Z_{\phi} = 400 / 50 = 8 \text{ А}$

Желілік тогы үшін үшбұрыштап жалғау,

$$I_{\text{ж}} = \sqrt{3 I_{\phi}} = \sqrt{3(8)} = 13.86 \text{ А}$$



20.17-сурет

Олай болса айнымалы ток генераторынан келетін ток 13.86 А.

(b) Генератордың шығыс қуаты жүктемеде таралатын қуатқа тең, яғни

$$P = \sqrt{3} V_{\text{ж}} I_{\text{ж}} \cos \varphi$$

Мұндағы

$$\cos \varphi = R_{\phi} / Z_{\phi} = 30 / 50 = 0.6 \cos \varphi$$

Олай болса,

$$P = \sqrt{3}(400)(13.86)(0.6) = 5.76 \text{ кВт}$$

Генератор қуаты кВА,

$$S = \sqrt{3} V_{\text{ж}} I_{\text{ж}} = \sqrt{3} (400)(13.86) = 9.60 \text{ кВА}$$

14-есеп. Фазаның әрқайсысының кедергісі 30 Омнан, сыйымдылығы 80 мкФ, конденсатор тізбектей үшбұрышпен жүктемеге қосылған. Қоректендіру көзінің кернеуі 400 В, жиілігі 50 Гц, 3 фазалы. Олай болса есептеңіз: (a) фазалық тоқты, (b) желілік тогын, (c) жалпы қуатты, (d) кВА-мен алғандағы жүктеменің қуатын. Жүктеме үшін векторлық диаграмманы салыңыз.

(а) Сыйымдылық кедергісі,

$$X_C = \frac{1}{2\pi fC} = \frac{1}{2\pi(50)(80 \times 10^{-6})} = 39.79 \text{ Ом}$$

Фазалық кедергі,

$$Z_\phi = \sqrt{R_\phi^2 + X_C^2} = \sqrt{30^2 + 39.79^2} = 49.83 \text{ Ом}$$

Қуат коэффициенті,

$$= \cos\varphi = R_\phi / Z_\phi = 30 / 49.83 = 0.602$$

Олай болса,

$$\varphi = \cos^{-1} 0.602 = 52.99^\circ$$

Фазалық ток,

$$I_\phi = V_\phi / Z_\phi \quad V_\phi = V_{\text{ж}}$$

Үшбұрыштап жалғау. Сондықтан

$$I_\phi = 400 / 49.83 = 8.027 \text{ А}$$

(b) Желілік тогы,

$$I_{\text{ж}} = \sqrt{3} I_\phi$$

үшбұрыштап қосу.

Сондықтан

$$I_{\text{ж}} = \sqrt{3} (8.027) = 13.90 \text{ А}$$

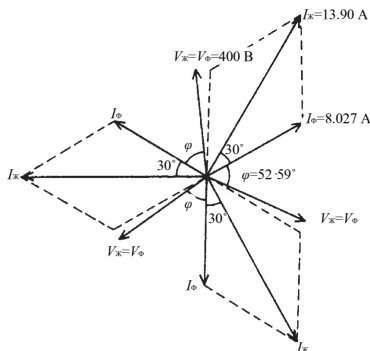
(c) Жалпы жұмсалған қуат,

$$P = \sqrt{3} V_{\text{ж}} I_{\text{ж}} \cos\varphi = \sqrt{3} (400)(13.90)(0.602) = \mathbf{5.797 \text{ кВт}}$$

(d) Жалпы кВА,

$$S = \sqrt{3} V_{\text{ж}} I_{\text{ж}} = \sqrt{3} (400)(13.90) = \mathbf{9.630 \text{ кВА}}$$

20.18-суретте көрсеткендей жүктеме үшін векторлық диаграмма.



20.18-сурет

15-есеп. Екі ваттметр тәсілімен кіріс қуатын өлшеу үшін 3 фазалы теңестірілген жүктемемен екі ваттметр тәсілі қосылған. Егер аспаптың көрсеткіштерінің мәндері 8 кВт пен 4 кВт болса (а) жалпы тұтынатын қуатты, (б) жүктеменің қуат коэффициентін табыңыз.

(а) Жалпы тұтынатын қуат, $P_1 + P_2 + P_3 = 8 + 4 = 12 \text{ кВт}$

$$(б) \quad \operatorname{tg} \phi = \sqrt{3} \left(\frac{P_1 - P_2}{P_1 + P_2} \right) = \sqrt{3} \left(\frac{8 - 4}{8 + 4} \right) = \sqrt{3} \left(\frac{4}{12} \right) = \sqrt{3} \left(\frac{1}{3} \right) = \frac{1}{\sqrt{3}}$$

Олай болса,

$$\phi = \operatorname{tg}^{-1} \frac{1}{\sqrt{3}} = 30^\circ$$

Қуаттың коэффициенті,

$$= \cos \phi = \cos 30^\circ = 0.866$$

16-есеп. 3 фазалы қозғалтқышқа екі ваттметр қосылған жалпы қуаттың шамасы 12 кВт. Қуаттың коэффициенті 0.6. Әрбір ваттметрдегі көрсеткіштің мәнін табыңыз.

Егер екі ваттметр P_1 мен P_2 көрсетіп отырса, сонда сәйкесінше

$$P_1 + P_2 = 12$$

$$\operatorname{tg} \phi = \sqrt{3} \left(\frac{P_1 - P_2}{P_1 + P_2} \right) \quad (1)$$

Сонда қуаттың коэффициенті $= 0.6 = \cos \phi$

$$\phi = \cos^{-1} 0.6 = 53.13^\circ \quad 53.13^\circ = 1.3333$$

Бұрыш

$$1.3333 = \sqrt{3} \left(\frac{P_1 - P_2}{12} \right)$$

Сондықтан

$$P_1 - P_2 = \frac{12(1.3333)}{\sqrt{3}}$$

$$P_1 - P_2 = 9.237 \text{ кВт}$$

Осыдан,

$$2P_1 = 21.237$$

$$P_1 = \frac{21.237}{2} = 10.62 \text{ кВт}$$

Сондықтан 1-ші ваттметрдің көрсеткішінде **10.62 кВт** оқылады. (1) теңдеуден 2-ші ваттметрдің көрсеткішін оқуға болады: **(12 – 10.62) = 1.38 кВт**

17-есеп. 3 фазалы симметриялы жүктеменің тұтынатын қуатын өлшегенде екі ваттметрдің көрсеткіштерінің мәндері 10 кВт және 3 кВт сәйкесінше. Шамды өшіру шкаласындағы көрсеткіш 3 кВт-ты көрсетті. (а) Қуатты, (б) жүктеменің қуат коэффициентін анықтаңыз.

Ваттметрдегі реверсті ажыратқыш арқылы 3 кВт көрсеткішінің шын мәні теріс –3 кВт болып оқылады.

(а) Толық тұтынатын қуат,

$$P = P_1 + P_2 = 10(-3) = 7 \text{ кВт}$$

$$(b) \quad \operatorname{tg} \phi = \sqrt{3} \left(\frac{P_1 - P_2}{P_1 + P_2} \right) = \sqrt{3} \left(\frac{10 - (-3)}{10 + (-3)} \right) = \sqrt{3} \left(\frac{13}{7} \right) = 3.2167$$

Бұрыш,

$$\phi = \operatorname{tg}^{-1} 3.2167 = 72.73^\circ$$

Қуаттың коэффициенті,

$$= \cos \phi = \cos 72.73^\circ = \mathbf{0.297}$$

18-есеп. Әрқайсысының кедергісі 8 Ом, индуктивтілік кедергісі 8 Ом бірдей үш орам (а) жұлдызша (б) үшбұрышпен 3 фазалы, кернеуі 415 В жүйеге қосылған. Әрбір тізбек үшін екі ваттметрдегі көрсеткіш екі ваттметр тәсілімен қалай есептелінеді?

(а) «Жұлдызша» жалғау:

$$V_{\text{ж}} = \sqrt{3}V_{\phi} \quad I_{\text{ж}} = I_{\phi}$$

Фазалық кедергі,

$$V_{\phi} = \frac{V_{\text{ж}}}{\sqrt{3}} = \frac{415}{\sqrt{3}}$$

$$Z_{\phi} = \sqrt{R_{\phi}^2 + X_{\text{ж}}^2} = \sqrt{8^2 + 8^2} = 11.31 \text{ Ом}$$

Фазалық ток,

$$I_{\phi} \frac{V_{\phi}}{Z_{\phi}} = \frac{\frac{415}{\sqrt{3}}}{11.31} = 21.18 \text{ А}$$

Толық қуат,

$$P = 3I_{\phi}^2 R_{\phi} = 3(21.18)^2(8) = 10766 \text{ Вт}$$

Егер P_1 және P_2 ваттметрден оқылатын болса, онда

$$P_1 + P_2 = 10766 \quad (1)$$

$R_{\phi} = 8 \text{ Ом}$ болғандықтан $X_{\text{ж}} = 8 \text{ Ом}$ фазалық бұрыш $\varphi = 45^\circ$ (үшбұрыштың кедергісінен).

Олай болса,

$$\operatorname{tg} \varphi = \sqrt{3} \left(\frac{P_1 - P_2}{P_1 + P_2} \right)$$

Осыдан

$$\operatorname{tg} 45^\circ = \frac{\sqrt{3}(P_1 - P_2)}{10766}$$

$$P_1 - P_2 = \frac{(10766)(1)}{\sqrt{3}} = 6216 \text{ Вт} \quad (2)$$

(1) мен (2) теңдеулерді бір-біріне қосу арқылы

$$2P_1 = 10766 + 6216 = 16982 \text{ Вт}$$

$$P_1 = 8491 \text{ Вт}$$

(1)-ші теңдеуден,

$$P_2 = 10766 - 8491 = 2275 \text{ Вт}$$

Егер орам жұлдызша жалғанса ваттметрдегі көрсеткіште 8.491 кВт және 2.275 кВт мәндері оқылады.

(b) **Үшбұрышпен жалғау:**

$$V_{ж} = V_{\phi} \quad V_{ж} = \sqrt{3} I_{\phi}$$

Фазалық ток

$$I_{\phi} = \frac{V_{\phi}}{Z_{\phi}} = \frac{415}{11.31} = 36.69 \text{ A}$$

Жалпы қуат

$$P = 3I_{\phi}^2 R_{\phi} = 3(36.69)^2 (8) = 32310 \text{ Bm}$$

Олай болса

$$P_1 + P_2 = 32310 \text{ Bm} \quad (3)$$

$$\operatorname{tg} \phi = \sqrt{3} \left(\frac{P_1 - P_2}{P_1 + P_2} \right) \quad 1 = \frac{\sqrt{3} (P_1 - P_2)}{32310}$$

$$P_1 - P_2 = \frac{32310}{\sqrt{3}} = 18650 \text{ Bm} \quad (4)$$

(1) пен (4) теңдеулерді бір-біріне қосу арқылы:

$$2P_1 = 50960$$

Осыдан $P_1 = 25480 \text{ Bm}$

(3) теңдеуден,

$$P_2 = 32310 - 25480 = 6830 \text{ Bm}$$

Орамдар үшбұрыштап жалғанғанда ваттметрдің көрсеткіштері 25.48 кВт және 6.83 кВт деп оқылатын болады.

Келесі жаттығуды орындаңыздар.

115-жаттығу. Үш фазалы тізбек үшін қуатты өлшеуге арналған есептер

1. 3 фазалы теңестірілген жүйе жүктемемен екі ваттметр қосылған, сонда кіріс қуатын анықтау қажет. Ваттметрдің көрсеткіштері 9.3

кВт және 5.4 кВт. (а) Жалпы шығыс қуатты мен (b) жүктеменіңе қуат коэффициентін анықтаңыз.

[(a) 14.7 кВт (b) 0.909]

2. 3 фазалы қозғалтқыштың шығыс қуаты екі ваттметр тәсілімен анықтағанда 8 кВт болуы керек. Егер жүйе қуатының коэффициенті 0.85 болса әрбір ваттметрдегі көрсеткіштің мәні қандай?

[5.431 кВт, 2.569 кВт]

3. Теңестірілген жүктеменің кіріс қуатын өлшеу үшін екі ваттметр тәсілі қолданылады. Ваттметрдің көрсеткіштерінің мәндері 7.5 кВт және 2.5 кВт, бір орамды санауышқа жалғағанда қуаттың мәні 2.5 кВт тең болды. (а) Жалпы қуат пен (b) жүктеме қуатының коэффициентін анықтаңыз:

[(a) 5 кВт, (b) 0.277]

4. Үш бірдей орамның әрқайсысының кедергілері 4.0 Омнан, индуктивтік кедергілері 3.46 Омнан, 3 фазалы, кернеуі 400 В қоректендіру көзімен (а) жұлдызша және (b) үшбұрышпен жалғанған. Екі ваттметр әдісімен қуатты есептеу үшін әрбір тізбектегі ваттметр көрсеткіштерін келтіріңіздер.

[(a) 17.15 кВт, 5.73 кВт, (b) 51.46 кВт, 17.18 кВт]

5. Әрбір фазаның кедергісі 15 Омнан, индуктивтілік кедергісі 20 Ом тұратын 3 фазалы жүйе генератор арқылы үшбұрышпен жүктемеге қосылған. Қоректендіру көзінің кернеуі 400 В болса, (а) генератордан түсетін токты, (b) кВт пен алғанда шығыс қуатын есептеңіз, генератордың желідегі ешқандай шығындары ескерілмейді.

[(a) 27.71 А, (b) 11.52 кВт]

6. 3 фазалы жүйенің әрбір фазасы кедергісі 40 Ом-нан тұратын жүктемемен және сыйымдылығы 40 мкФ конденсатормен тізбектей үшбұрыштап қосылған. Егер қоректендіру көзінің кернеуі 415В, жиілігі 50 Гц, 3 фазалы жүйе берілсе (а) фазалы токты, (b) желілік тогын, (c) жалпы қуатты анықтаңыз.

[(a) 4.66 А, (b) 8.07 А, (c) 2.605 кВт]

20.7 Жұлдызша және үшбұрыштай жалғауды салыстыру

1. Бір қоректендіру көзіне жалғанған жүктемедегі энергияның шығыны жұлдызша немесе үшбұрыштап жалғануына байланысты әртүрлі болады, «үшбұрыштап» қосқанда «жұлдызша» жалғаумен салыстырғанда энергияның шығыны үш есе артады.
2. «Жұлдызша» немесе «үшбұрыштап» қосқанда сұлбаның қуаттары бірдей болса фазалық токтары да бірдей, ($Q = 3I_{\phi}^2 R_{\phi}$ болғандықтан) олай болса «үшбұрыштап» жалғанған сұлбаның «жұлдызша» жалғанған сұлбамен салыстырғанда желілік тогы артық. Тура осындай фазалық токты «үшбұрышпен» жалғанған жүйеде жұлдызша жалғау үшін жұлдызша жүйедегі желілік кернеуін үшбұрышты жүйедегі желілік кернеуімен салыстырғанда $\sqrt{3}$ есеге артық өзгерту қажет. Олай болса, берілген қуатқа сай **үлкен желілік токтар үшбұрышпен жалғанған** (көлденең қимасы үлкен өткізгіш болуы керек), ал үлкен желілік **кернеулермен** (жақсы оқшауландырылған) **жұлдызша жалғану** байланысты болғаны.

20.8 Үш фазалы жүйелердің артықшылықтары

Үш фазалы жүйенің бір фазалы жүйемен салыстырғандағы артықшылықтары:

1. Берілген энергияның мөлшерін жеткізу үшін 3 фазалы жүйеге өткізгіштердің көлденең қимасының ауданы үлкен емес, сондықтан мыс болсын, алюминий болсын шығындары аз кетеді. Олай болса мұндай жабдықтар арзан.
2. Екі кернеу пайдаланылады (20.3-тараудың 7-бабын қараңыз).
3. 3-фазалы қозғалтқыштар өте сенімді, салыстырмалы түрде арзан, бір фазалы қозғалтқыштармен салыстырғанда көп күтімді талап етпейді.

Келесі жаттығуларды орындаңыздар**116-жаттығу. Үш-фазалы жүйелерге қысқаша сұрақтар**

1. Үш фазалы коректену көзінің өндірілуін қысқаша келтіріңіз
2. Үш фазалы жүйе үшін Ұлттық стандартты келтіріңіз
3. Үш фазалы айнымалы ток жүйесінің анықтамасын беріңіз
4. «Жұлдызша» қосу кезінде токтар мен кернеулердің векторлық диаграммалары қалай құрылады?
5. Үш фазалар бірдей жүктелгенде «жұлдызша» сұлбасындағы желілік және фазалық токтар мен кернеулердің арасындағы қатынастар қандай болады?
6. Үш фазалар бірдей жүктелгенде «үшбұрыштап» жалғанған сұлбада желілік және фазалық токтар мен кернеулердің арасындағы қатынастар қандай болады?
7. Ұлыбританияда электр энергиясын тұтынушыларға жеткізу стандартының сипаттамалары?
8. Үш фазалары бірдей және әр түрлі жүктелген үш фазалы жүйенің қуатын қандай өрнек сипаттай алады?
9. Симметриялық үш фазалы қабылдағыштардың қуат коэффициенті және оны жоғарылату тәсілдері қандай?
10. Үш фазалы желіні жерлендіргіштеу (жерге қосу) және **нөлдеу** деген не? Олар не үшін қолданылады?
11. Қандай жағдайда нейтрал сым «жұлдызшалап» қосқанда ескерілмейді.
12. Үш фазалы тізбек пен бір фазалы тізбектің айырмашылықтарымен үш артықшылықтары.

117-жаттығу Үш фазалы жүйеге бірнеше дұрыс жауабы бар тест сұрақтары

Үш жүктеме әрқайсысының кедергілері 10 Омнан, кернеуі 400 В үш фазалы жүйеге жұлдызша қосылған. Төменде келтірілген жауаптардан дұрысын таңдаңыз:

- (a) $\frac{40}{\sqrt{3}}$ A, (b) $\sqrt{3}$ (16) кВт, (c) $\frac{400}{\sqrt{3}}$ B,
 (d) $\sqrt{3}$ (40) A, (e) $\sqrt{3}$ (400) B, (f) 16 кВт,
 (g) 400 B, (h) 48 кВт, (i) 40 A

1. Желідегі кернеу
2. Фазалық кернеу
3. Фазалық ток
4. Желілік тогы
5. Жүктеменің жалпы қуаты
6. Келесі тұжырымдардың қайсысы дұрыс емес?

(a) Бір қуаттың мәнінде жүктемелер үшбұрышпен жалғанғанда желілік кернеуі әлдеқайда жоғары және тура сол қуаттың мөлшерінде жұлдызша жалғануымен салыстырғанда желілік тогы аздау;

(b) Екі ваттметр тәсілімен қуатты өлшегенде қуат коэффициенті бірге тең болса, ваттметрдегі көрсеткіштің мәндері қандай болады;

(c) Бір фазалы жүйеде айнаымалы токты тарату үшін екі сым қолданылады, ал үш фазалы жүйеде үш сым немесе төрт сым қолданады;

(d) Ұлттық стандарт бойынша фазалардың бірізділігі үш фазалы қоректендіру көзіне жалғағанда A, B, C болып алынады.

Үш жүктеменің әрқайсысының кедергілері 16 Ом-нан, индуктивтілік кедергісі 12 Ом, қоректендіру көзімен үшбұрыш жасап қосылған. Үш фазалы жүйенің кернеуі 400 В. Төменде келтірілген 7-ден 12-сұрақтарға дейінгі жауаптардың тізбегінен дұрысын таңдаңыз:

- (a) 4 Ом, (d) $\sqrt{3}$ (400) B, (c) $\sqrt{3}$ (6.4) кВт, (d) 20 A,
 (e) 6.4 кВт, (f) $\sqrt{3}$ (20) A, (g) 20 Ом, (h) 20 B/ $\sqrt{3}$,
 (i) 400 B/ $\sqrt{3}$, (j) 19.2 кВт (к) 100 A, (l) 400 B,
 (м) 28 Ом

7. Фазаның кедергісі.
8. Желінің кернеуі.
9. Фазалық кернеу.
10. Фазалық ток.
11. Желілік тогы.
12. Жүктеменің жалпы қуатының жұмсалуды.
13. Фазалық кернеуді үш фазалы жүйеге үшбұрышпен симметриялық жүктемеге қосқан. Желідегі кернеу қандай:
(a) **720 B** (b) **440 B**
(c) **340 B** (d) **240 B**
14. 4-сымды үш фазалы жүйе жұлдызша жалғанған және осы жүйенің желілік тогы 10 А. Фазалық ток қандай:
(a) **40 A** (b) **10 A**
(c) **20 A** (d) **30 A**
15. Желілік кернеуі 4-сымды үш фазалы жүйеге жұлдызша қосылған. Жүйенің қуаты 11 кВт, фаза кернеуін табыңыз:
(a) **19.05 кВ** (b) **11 кВ**
(c) **6.35 кВ** (d) **7.78 кВ**
16. Қуатты өлшеу үшін екі ваттметр тәсілі арқылы теңестірілген үш фазалы жүйеде P_1 және P_2 үшін ваттметрдегі көрсеткіштердің мәндері алынған. Сонда қуат коэффициенті қандай формуламен анықталады:
- (a) $\sqrt{3} \left(\frac{P_1 + P_2}{P_1 - P_2} \right)$, (b) $\sqrt{3} \left(\frac{P_1 - P_2}{P_1 + P_2} \right)$,
(c) $\left(\frac{P_1 - P_2}{\sqrt{3} P_1 + P_2} \right)$, (d) $\left(\frac{P_1 + P_2}{\sqrt{3} P_1 - P_2} \right)$
17. 4 сымды үш фазалы жүйенің фазалық кернеуі жұлдызша 110 В жүктемемен қосылған. Сонда желідегі кернеу қандай болғаны?
(a) **440 B** (b) **330 кВ**
(c) **191 кВ** (d) **110 кВ**

ТРАНСФОРМАТОРЛАР

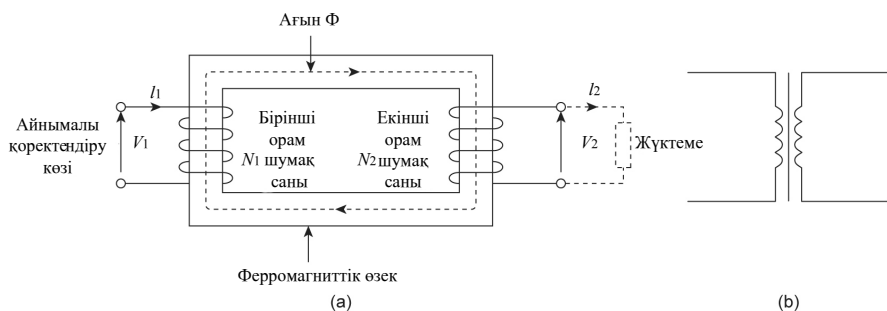
Тараудың соңында меңгеретін сұрақтардың тізімі:

- Трансформатордың жұмыс істеу принципі
- Трансформатор параметрлерінің номиналды рұқсат етілетін шамалары
- Трансформаторларға қатысты есептеулерге мына $V_1 / V_2 = N_1 / N_2 = I_2 / I_1$ формулаларды қолдана білу
- Трансформатордың бос жұмыс режимі кезіндегі векторлық диаграмманы құрастыру және оның ортасындағы «өзек» деп аталатын компоненттің магниттелінуі мен компоненттің бос жұмыс режимі кезіндегі шығымдары
- Трансформаторға қатысты негізгі электрқозғаушы күш – ә.қ.к. $E = 4.44 f \Phi_m N$ және осы формуланы есептеулерде қолдану
- Орамдағы кернеудің түсу шамасын шамалы деп алғанда жүктемесі бар трансформатордың индуктивтік контур үшін векторлық диаграммасын құрастыру
- Трансформаторлардың құрылысын сипаттау
- Трансформатордың кедергісімен реактивті кедергілерін өлшеп, анықтау
- Кернеуді өзгерту тәсілдерін түсініп білу
- Трансформаторлардағы шығындары мен оның тиімділігін есептеу
- Кедергілердің сәйкестігі туралы концепция және оны қалай жүзеге асыруға болады
- $R_1 = (N_1 / N_2)^2 R_L$ өрнегін қолданып, есептеулер жүргізу
- Автотрансформатордың тиімді ерекше жақтарымен кемшіліктері және оларды қолдану салаларын сипаттау
- Бөлу міндетін атқарушы трансформаторды сипаттау
- Үш фазалық трансформаторды сипаттау
- Кернеу мен ток трансформаторларын сипаттау

21.1 Кіріспе

Трансформатор – айнымалы токтың кернеулері мен ток шамаларын өзгерту үшін (9-тарауды қараңыз) өзара индукция құбылысын пайдаланатын статикалық электрмагниттік құрылғы. Шынында да айнымалы ток пен кернеулерді тарату мен үлестіру кезінде ең маңызды мәселе ол айнымалы кернеу қандай жеңілдікпен трансформатор арқылы өзінің мәнін оңай ұлғайта немесе кішірейте алатындығында. Трансформатордың жұмыс істеу принципі электрмагниттік индукция құбылысына және параметрлік эффектіге негізделген.

Сонымен, айнымалы кернеуді арттыру немесе төмендету қабілеті трансформатордың негізгі атқаратын міндеті болып табылады. Трансформаторлардағы шығындар өте төмен болғандықтан, олардың тиімділігі өте жоғары. Сонымен қатар, статикалық қасиетіне байланысты олар ұзақ уақыт бойы тұрақты болып, бүлінбей жұмыс істей алады. Трансформаторлардың өлшемдері, яғни қуаттылығы әртүрлі болуы мүмкін, қуаттылығы ең төмен трансформаторлар электрондық құрылғыларда, ал электрстанцияларда қуаты өте жоғары трансформаторлар қолданылады. Қуаттылығының әртүрлілігіне қарамастан барлық трансформаторлардың жұмыс істеу принциптері ұқсас.



22.1-сурет

22.1 (а)-суретте ортақ ферромагниттік өріс арқылы екі электрлік тізбек жалғанған трансформатор бейнеленген. **Бірінші реттік орамдары** деп аталатын бірінші орам (трансформатордың кірісі) айнымалы кернеу көзіне, ал екінші орамы жүктемеге қосылады. Мұндай трансформатордың құрылымдық сұлбасы 21.1 (b)-суретте көрсетілген.

Екінші орам тізбектен ажыратылған болсын, ал бірінші орамға айнымалы V_1 кернеуі берілсін, сонда пайда болатын шамалы токтың I_0 салдарынан трансформатордың өзекшесінде магнит ағыны туады.

Магнит ағыны бірінші және екінші орамдар арасын байланыстырады, өзара индукция нәтижесінде E_1 және E_2 (э.к.к.) электрлік қозғаушы күштері пайда болады. N -орамдарда индукцияланған (мәжбүрленген) электр қозғаушы күш (э.к.к.) шамасы $E = -N(d\Phi/dt)$ вольтпен сипатталады; мұнда $(d\Phi/dt)$ қатынасы ағынның өзгеру жылдамды. Мінсіз трансформаторларда, бірінші және екінші орамдардағы ағындар жылдамдығы бірдей, демек, $E_1/N_1 = E_2/N_2$, яғни **индукцияланған электрқозғалтқыш күш тұрақты** болады.

Егер шығындар болмайды деп ұйғарсак, онда $E_1 = V_1$ немесе $E_2 = V_2$
Демек,

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{N_1}{N_2} \quad \text{немесе} \quad \frac{V_1}{V_2} = \frac{N_1}{N_2} \quad (1)$$

(V_1/V_2) кернеулер қатынасы немесе орамдар (N_1/N_2) қатынасы трансформатордың “**трансформациялау коэффициенті**” деп аталады.

Егер N_2 орамдар саны N_1 орамдар санынан аз болса, онда $V_2 < V_1$ болғандықтан құрылғыны **төмендетуші трансформатор** деп атайды. Керісінше, егер $N_2 > N_1$ болса, онда $V_2 > V_1$ онда құрылғыны **жоғарылатушы трансформатор** деп атайды.

21.2 Трансформаторлардың жұмыс атқару принциптері

Егер екінші ретті орамға жүктеме параллель жалғанса, I_2 ток ағыны пайда болады. Орамдарды қыздыруға немесе орамдағы ағындардың таралуына шығындалатын энергия жұмсалмаса, онда мұндай трансформаторды **мінсіз** деп атайды, олай болса мінсіз трансформаторда шығын болмағандықтан, оның тиімділігі 100% деп есептелінеді. Осы себептен трансформатордың кіріс және шығыс қуат шамалары $V_1 I_1 = I_2 V_2$ тең болғандықтан мінсіз трансформаторларда екінші ретті орамдарда ток шамасы да бірдей.

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{I_2}{I_1} \quad (2)$$

(1) мен (2) өрнектерді біріктіретін болсак:

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{N_1}{N_2} = \frac{I_2}{I_1} \quad (3)$$

Егер трансформатор қатты қызып кетпесе трансформациялау коэффициенттерін вольтамперлік түрде құрастыруға болады. Мысалы, *21.1(a)-суретіндегі* трансформациялау коэффициенттері $V_1 I_1$ немесе $I_2 V_2$, мұндағы I_2 толық жүктеме жағдайындағы екінші орамдағы ток.

1-есеп. Трансформатор бірінші орамы 500 шумаққа, ал екінші орамы 3000 шумаққа ие болсын. Егер бірінші орамдағы кернеу шамасы 240 В болса, екінші орамдағы кернеу қанша болар еді? Қарастыратын трансформатор мінсіз деп есептелінсін.

Біздің білүмізше, мұндай трансформатордағы кернеулер қатынасы **трансформациялау коэффициентімен** анықталады, яғни

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{N_1}{N_2} \text{ немесе } \frac{240}{V_2} = \frac{500}{3000}$$

осыдан, екінші орам үшін

$$V_2 = \frac{(240)(3000)}{500} = 1440 \text{ В} = \mathbf{1.44 \text{ кВ}}$$

2-есеп. Шумақтар санының қатынасы 2:7 құрайтын мінсіз трансформаторға қоректендіру көзінен 240 В кернеу берілсін. Трансформатордан шығатын кернеуді анықтаңыз.

Есеп шартындағы 2:7 қатынас бойынша трансформатордың бірінші орамдағы 2 шумағы екінші орамдағы 7 шумаққа сәйкес екендігі шығады, олай болса ол жоғарлатушы трансформатор. Демек, $(N_1/N_2) = (2/7)$. Мінсіз трансформатор үшін $(N_1/N_2) = (V_1/V_2)$ қатынас орынды екені мәлім, осыдан $(2/7) = (240/V_2)$.

Сонымен екінші орамдағы кернеу шамасы:

$$V_2 = \frac{(240)(7)}{2} = \mathbf{840 \text{ В}}$$

3-есеп. Қоректендіру көзінің кернеуі 240 В, трансформатордың трансформациялау коэффициенті 8:1 қатынасындай және бастапқы ток шамасы 3 А. Екінші орамдағы кернеу мен ток шамасын есептеңіз.

Қарастырылатын қатынас 8:1, демек $(N_1/N_2) = (1/8)$, яғни бұл төмендетуші трансформатор болғаны:

$$\left(\frac{N_1}{N_2} \right) = \left(\frac{V_1}{V_2} \right)$$

Осыдан екінші орамдағы кернеу

$$V_2 = V_1 \left(\frac{N_1}{N_2} \right) = 240 \left(\frac{1}{8} \right) = 30 \text{ В}$$

Ток шамаларының қатынасы,

$$\left(\frac{N_1}{N_2} \right) = \left(\frac{I_2}{I_1} \right)$$

Осыдан екінші орамдағы ток,

$$I_2 = I_1 \left(\frac{N_1}{N_2} \right) = 3 \left(\frac{8}{1} \right) = 24 \text{ А}$$

4-есеп. 240 В электрлік желіге қосылған мінсіз трансформатор шам үшін 150 Вт қуат пен 12 В кернеуді береді. Трансформатордың трансформациялау коэффициентімен желіден жұмсалатын ток мөлшерін анықтаңыз.

$$V_1 = 240 \text{ В}, \quad V_2 = 12 \text{ В}$$

$$I_2 = (P/V_2) = (150/12) = 12.5 \text{ А}$$

$$\text{Трансформациялау коэффициенті} = \frac{N_1}{N_2} = \frac{V_1}{V_2} = \frac{240}{12} = 20$$

$$\left(\frac{V_1}{V_2} \right) = \left(\frac{I_2}{I_1} \right)$$

Осыдан,

$$I_1 = I_2 \left(\frac{V_2}{V_1} \right) = 12.5 \left(\frac{12}{240} \right)$$

Сонымен желіден жұмсалатын ток шамасы келесі қатынас бойынша анықталады:

$$I_1 = \frac{12.5}{20} = 0.625 \text{ А}$$

5-есеп. Орташа кернеуі 120В мінсіз трансформатордың екінші орамы кедергісі 12 Ом резистор арқылы жалғанған. Қоректендіру тогының шамасы 4 А деп есептеп, бірінші орамдағы кернеуді анықтаңыз.

Екінші орамдағы ток,

$$I_2 = (V_2 / R_2) = (120/12) = 10 \text{ A}.$$

$$(V_1 / V_2) = (I_2 / I_1),$$

Осыдан бірінші орамдағы кернеу,

$$V_1 = V_2 \left(\frac{I_2}{I_1} \right) = 120 \left(\frac{10}{4} \right) = \mathbf{300 \text{ V}}$$

6-есеп. 2.5 кВ кернеуімен қоректендірілген, номиналды (нақты) қуаты 5кВ-А бір фазалы трансформатордың трансформациялық коэффициенті 10:1 қатынасындай. Шығындарды ескермей (а) толық жүктеме жағдайындағы екінші орам тогын, (б) толық жүктемені кВ-А-мен беру үшін екінші орам арқылы қосуға болатын жүктеменің минималды кедергісін, (с) мейлінше толық жүктемені В-А-мен беру үшін бірінші орамдағы тог мөлшерін анықтаңыз:

$$(a) N_1 / N_2 = 10/1 \quad V_1 = 2.5 \text{ кВ} = 2500 \text{ В}$$

$$\left(\frac{N_1}{N_2} \right) = \left(\frac{V_1}{V_2} \right)$$

осыдан екінші орам кернеуі,

$$V_2 = V_1 \left(\frac{N_2}{N_1} \right) = 2500 \left(\frac{1}{10} \right) = 250 \text{ В}$$

Вольт-ампермен сипаттағанда трансформациялау коэффициенті $V_2 I_2$ (толық жүктеме есебінен), яғни $5000 = 250 I_2$

Сондықтан толық жүктеме қосылған жағдайда екінші орам тогы

$$I_2 = (5000 / 250) = 20 \text{ A}.$$

(b) Жүктеме кедергісінің минималды шамасы,

$$R_{ж} = \left(\frac{V_2}{V_1} \right) = \left(\frac{250}{20} \right) = 12.5 \text{ Ом}$$

(c) $\left(\frac{N_1}{N_2} \right) = \left(\frac{I_2}{I_1} \right)$

Осыдан бірінші орамдағы ток,

$$I_1 = I_2 \left(\frac{N_1}{N_2} \right) = 20 \left(\frac{1}{10} \right) = 2 \text{ А}$$

Келесі жаттығуларды орындаңыздар

118 жаттығу. Трансформатор жұмысына байланысты қосымша есептер

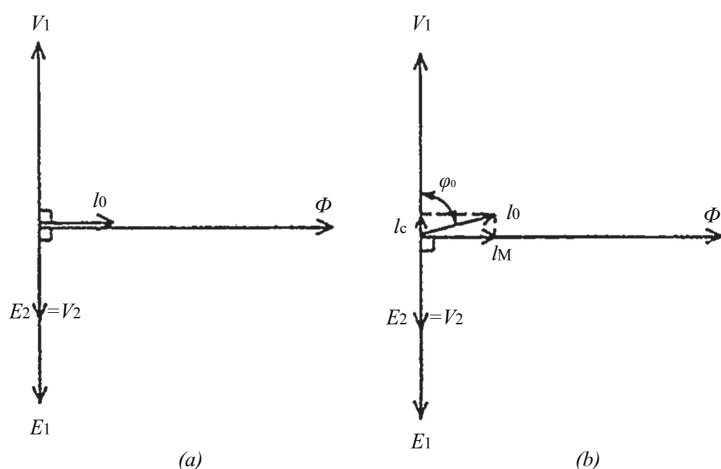
1. Трансформатордың бірінші орамындағы шумақтар саны 600, ол 1.5 кВ қоректендіру көзіне жалғанған. Шығыс кернеуі 240 В болуы үшін трансформатордың екінші орамындағы шумақтар саны қанша болуы керек? Шығындар ескерілмейтін болсын. [96]
2. Трансформациялық коэффициент 2:9 қатынасымен сипатталсын және трансформатор 220 В кернеуімен қоректендірілсін. Сонда оның шығыс кернеуін анықтаңыз. [990 В]
3. Трансформатордың бірінші орамында 800, ал екінші орамында 2000 шумақ болсын. Бірінші орам кернеуі 160 В деп есептеп, екінші орам кернеуін анықтаңыз. [400 В]
4. Трансформациялық коэффициент 3:8 қатынасымен сипатталсын, мінсіз трансформатордан шыққан кернеу шамасы 640 В болсын. Осыған қажетті кіріс кернеуін анықтаңыз. [240 В]

5. Трансформациялық коэффициенті 12:1 қатынасымен сипатталсын, мінсіз трансформаторға 192 В берілсін. Екінші орамдағы кернеуді анықтаңыз.
[16В]
6. Трансформатордың бірінші орамына 415 В кернеу берілген, ал шумақ саны 750 болсын. Шығыс кернеу шамасы 1.66 кВ болу үшін екінші орамында қанша шумақ саны болуы керек.
[3000 шумақ]
7. Мінсіз трансформатордың бірінші орамындағы ток 4 А болса, оның трансформациялау коэффициенті 15:1. Екінші орам үшін кернеуімен тогын есептеңіз.
[12 В 60А]
8. Бірінші орамына 4 кВ кернеу берілген төмендетуші трансформаторға 10 кВт жүктеме жалғанса, оның трансформациялау коэффициенті 20:1. Шығындарды ескермей, екінші орамдағы ток шамасын анықтаңыз.
[50А]
9. Трансформатордың бірінші қатынасы екінші шумақтар орамы 1:15 деп сипатталсын. Бірінші орам кернеуі 240 В деп есептеңіз. Егер ток күші 3 А болса, екінші орам үшін кернеуі мен тогын есептеңіз. Шығындар ескерілмейтін болсын.
[16 В, 45 А]
10. 10 кВА, бірінші фазалық трансформатордың трансформациялау коэффициенті 12:1 қатынасымен сипатталсын және кернеуі 2.4 кВ болсын. Осыған қажетті (а) екінші жүйедегі толық тоқты (б) ең аз кедергі жүктемесін табу үшін, кВА деңгейінсіз арттырылып, екінші орамдағы шумақтар параллель жалғансын. (с) бірінші тоқты табыңыз.
[(а) 50 А (б) 4 Ом (с) 4.17 А]
11. Кедергісі 20 Ом, екінші шумақ арқылы бір фазалы қуатқа жалғансын. Трансформатордың екінші орамына 150 В кернеу берілген. Ток көзін 5 А деп алып, бірінші орамдағы кернеуді және трансформациялау коэффициентін есептеңіз. Шығындар ескерілмейтін болсын.
[225 В, 3:2]

21.3 Жүктемесіз трансформатордың векторлық диаграммасы

Трансформатордың бірінші және екінші орамдары үшін өзекшедегі ағын ортақ болуына байланысты векторлық диаграммада оны сүйемелі вектор түрінде қарастырамыз. Жүктемесі жоқ мезгілде I_0 -бірінші орам тогы, шығындарды елемеуге болады деп есептегенде ток келтірілген кернеуден 90° кешігіп отырады. Шығындар болмаған жағдай үшін векторлық диаграмма 21.2 (a)-суретінде бейнеленген, мұнда I_0 токмагнит ағынын тудырады. Негізгі индукцияланған электр қозғаушы E_1 күш V_1 кернеумен фазалары 180° қарсы болғанымен шамасы бойынша бірдей (Ленц заңына сәйкес). Трансформатордың екінші орамындағы индукцияланған электр қозғаушы күшінің трансформациялау коэффициентінің қатынасы 2:1.

Практикалық тұрғыдан қарастырылатын трансформатордың жүктемесіз жұмыс істеуіне сәйкес келетін векторлық диаграмма 21.2 (b)-суретте бейнеленген.



21.2-сурет

Егер шығындарды ескеретін болсақ, онда жүктеме болмаған I_0 болмаған кезде ток I_0 екі құраушылардың векторлық қосындысы түрінде болады:

1. I_M фазасы бойынша сәйкес келетін магниттік компоненті және
2. I_{II} өзекшесіндегі шығындар (құйынды токтар). 21.2 (b)-сурет бойынша:

Бос жұмыс режиміндегі ток, $I_0 = \sqrt{I_M^2 + I_{II}^2}$. $I_M = I_0 \sin \varphi_0$,
 $I_{II} = I_0 \cos \varphi_0$

Бос жұмыс режиміндегі қуат коэффициенті $= I_0 \cos \varphi_0 = (I_{II} / I_0)$

Өзекшедегі шығындар (яғни, болат шығындары) $= V_1 I_0 \cos \varphi_0$

7-есеп. 2400В/400В бір фазалы трансформатордың бос жұмыс режиміндегі ток шамасы 0.5 А, ал өзекшесіндегі шығындары 400 Вт болсын. Өзекше компоненттеріндегі магниттеліну мен шығындар шамасын анықтаңыз. Есептеулер кезінде жүктемесіз трансформатор сұлбасын қолданыңыз.

$$400 = (2400)(0.5) \cos \varphi_0$$

$$\cos \varphi_0 = \frac{400}{(2400)(0.5)} = 0.3333$$

$$\varphi_0 = \cos^{-1} 0.3333 = 70.53^\circ$$

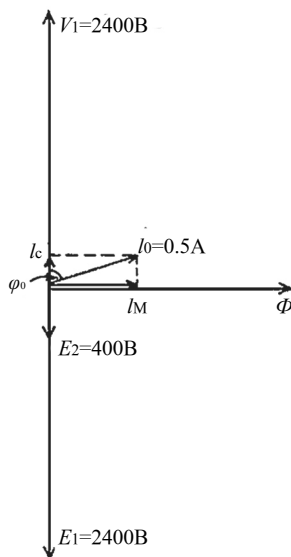
Қарастыратын векторлық диаграмма
 21.3-суретте бейнеленген.

Магниттеліну компоненті,

$$I_M = I_0 \sin \varphi_0 = 0.5 \sin 70.53^\circ = 0.471 \text{ А}$$

Шығындар компоненті,

$$I_{II} = I_0 \cos \varphi_0 = 0.5 \cos 70.53^\circ = 0.167 \text{ А}$$



21.3-сурет

8-есеп. Трансформатор кернеуі 240 В, жиілігі 50 Гц сәйкес қоректендіру көзіне қосылған болсын, оған қажетті ток шамасы 0.8 А. Трансформатор арқылы жалғанған шаң сорғыштың тұтынатын қуаты 72 Вт болсын, сонда оның: (а) болат шығындарын, (б) бос жұмыс режиміндегі қуат коэффициентін, (с) магниттеліну тогын анықтаңыз.

$$I_0 = 0.8 \text{ A}, \quad V = 240 \text{ B}$$

(a) Тұтынатын қуат пен өзекшедегі шығындар $= 72 = V_1 I_0 \cos \varphi_0$

Сондықтан $72 = 240 I_0 \cos \varphi_0$ және болаттың шығындалуы,

$$I_{III} = I_0 \cos \varphi_0 = 72/240 = 0.30 \text{ A}$$

(b) Бос жұмыс режиміндегі қуат коэффициенті,

$$\cos \varphi_0 = \frac{I_C}{I_0} = \frac{0.3}{0.8} = 0.375$$

(c) 21.2 (б)-суретіндегі үшбұрыштан Пифагор теоремасы бойынша

$I_0^2 = I_{III}^2 + I_M^2$ осыдан магниттеліну тогы

$$I_M = \sqrt{I_0^2 - I_C^2} = \sqrt{0.8^2 - 0.3^2} = 0.74 \text{ A}$$

Келесі жаттығуды орындаңыздар

119 жаттығу. Бос жұмыс режиміндегі векторлық диаграммаға арналған есептер

- 500В/100В бір фазалық трансформаторға толық жүктемені жалғайтын болсақ, оның бірден тұтынатын ток мөлшері 4А. Шығындарды ескермей, (a) екінші токтың толық жүктемесін мен (b) трансформатор қуатын анықтаңыз.

[(a) 20А (b) 2кВ-А]

- 3300В/440В бір фазалы жүктемесіз трансформатордың бірден тұтынатын ток шамасы 0.8А ал болат шығындары 500 Вт. Жүктемесіз бос жұмыстың векторлық диаграммасын суреттеңіздер, магниттеліну шамасы мен шығындарды анықтаңыз.

[0.786А, 0.152А]

- Трансформатор тогы 1А, оның бірінші орамына кернеуі 300 В, жиілігі 50 Гц қоректендіру көзі қосылған. Шаң сорғыш машинаның тұтынатын қуаты 120Вт, сонда есептеңіз: (a) токтың болат шығындарын, (b) қуат коэффициентін және (c) магниттеліну тогын.

[(a) 0.40А (b), 0.40 (c) 0.917А]

21.4 Трансформатор теңдеуі мен электр қозғаушы күші (Э.Қ.К.)

Трансформатордың орамына синустық айнымалы кернеу берілген кезде орта бойында орнатылған өзекте магнит ағыны пайда болады. Φ_m ағынның максималды шамасы, ал f оның жиілігі болсын. Бір цикл уақыт аралығындағы айнымалы ағын периоды T болсын, $T = 1/e$ секунд. Бір цикл аралығында ток ағыны нөлден бастап $(1/4)$ максималды шамасына дейін артады, демек бір цикл уақыт бойынша секундына $(1/4 f)$ рет қайталанып отырғаны.

Сонымен, ағынның орташа жылдамдығы

$$= (\Phi_m / (1/4 f)) = 4 f \Phi_m B \delta / c$$

$1 B \delta / c = 1 B$, әрбір айналым сайын индукцияланған орташа электр қозғаушы күш шамасы — э.қ.к. $= 4 f \Phi_m$.

Олай болса, орташа кВ-Адраттық мән = коэффициент × орташа мән $= 1.11 \times$ орташа мән. Сондықтан әрбір орамда орташа квадрат э.қ.к. өндіріледі.

$$E_1 = 4.44 f \Phi_m N_1 B \quad (4)$$

Сондықтан э.қ.к.-ің орташа квадрат мәні бірінші орамда өндіріледі

$$E_1 = 4.44 f \Phi_m N_2 B \quad (5)$$

(4) теңдеуді (5 теңдеуге бөлгенде:)

$$\left(\frac{E_1}{E_2} \right) = \left(\frac{N_1}{N_2} \right)$$

21.2-тарауда осындай теңдеу алынған болатын.

9-есеп. Жүктемесі 100 кВ-А, 4000В/200В, жиілігі 50 Гц бір фазалы трансформатордың 100 шумағы бар, сонда (а) бірінші мен екінші тоқты, (б) бірінші орамдағы шумақ санын, (с) ағынның максимал шамасын анықтаңыз.

$$V_1 = 4000 \text{ В}, N_1 = 100, N_2 = 100, N_2 = 100 \text{ шумақ}$$

(а) трансформатордың номиналды қуаты,

$$= V_1 I_1 = V_2 I_2 = 100000 \text{ В} \cdot \text{А}$$

Олай болса, бірінші токтың шамасы

$$I_1 = \frac{100000}{V_1} = \frac{100000}{4000} = 25 \text{ А}$$

Екінші токтың шамасы,

$$I_2 = \frac{100000}{V_2} = \frac{100000}{200} = 500 \text{ А}$$

(b) (3)-теңдеуден $V_1 I_1 = V_2 I_2$, осыдан, бірінші орамадағы шумақтар саны

$$N_1 = (V_1 / V_2)(N_2) = (4000 / 200)(100) = 2000 \text{ шумақ}$$

(с) (5) теңдеуден,

$$E_2 = 4.44 f \Phi_{\text{макс}} N_2$$

осыдан максималды ағын,

$$\Phi_{\text{макс}} = E / 4.44 f N_2 = 200 / (4.44)(50)(100)$$

($E_2 = V_2$ шамаларын тең деп болжап)

$$= 9.01 \times 10^{-3} \text{ Вб немесе } 9.01 \text{ мВб}$$

(4) теңдеуді басқа жолмен де қолдануға болады.

$$E_1 = 4.44 f \Phi_{\text{макс}} N_1$$

осыдан,

$$\Phi_{\text{макс}} = 4000 / (4.44)(50)(2000)$$

($E_1 = V_1$ шамаларын тең деп болжап) = **9.01 мВб жоғарыда келтіргендей.**

10-есеп. Бір фазалы жиілігі 50 Гц трансформатордың бірінші орамында 25 шумақ, ал екінші орамында 300 шумағы болсын. Өзекшенің көлденең қимасының ауданы 300 см^2 .

Бірінші орам 250 В кернеу көзіне жалғанғанда (а) активті зонадағы ағынның максималды мәнін, (б) екінші орамдағы индукцияланған кернеуді анықтаңыз.

(а) (4) теңдеуден э.к.к.,

$$E_1 = 4.44 f \Phi_{\text{макс}} N_1 B$$

олай болса,

$$250 = 4.44(50)\Phi_{\text{макс}} (25)$$

ағынның максималды тығыздығы,

$$\Phi_{\text{макс}} = \frac{250}{(4.44)(50)(25)} B\sigma = 0.04505 B\sigma$$

Алайда, $\Phi_{\text{макс}} = B_{\text{макс}} \times A$, мұндағы $B_{\text{макс}}$ = өзекшедегі максималды ағын тығыздығы және A = көлденең қимасының ауданы.

Сондықтан,

$$B_{\text{макс}} \times 300 \times 10^{-4} = 0.04505$$

Осыдан максималды ағын тығыздығы

$$B_m = \frac{0.04505}{300 \times 10^{-4}} = 1.50 \text{ Тл}$$

(б)

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{N_1}{N_2}$$

осыдан

$$V_2 = V_1 \left(\frac{N_2}{N_1} \right)$$

олай болса, екінші орамда кернеу өндіріледі

$$V_2 = (250) \left(\frac{300}{25} \right) = 3000 \text{ В немесе } 3\text{В},$$

11-есеп. Бір фазалы 500 В/100 В, жиілігі 50 Гц трансформатор өзекшесінде максимум ағын тығыздығы 1.5 Тл және өзектің

көлденең қимасының ауданы 50 см^2 . Бірінші және екінші орамдардағы шумақтар санын анықтаңыз.

Трансформатор үшін э.к.к.-нің өрнегі $E = 4.44 f \Phi_m N$ және максимал ағынының тығыздығы,

$$\Phi_{\text{макс}} = B \times A = (1.5)(50 \times 10^{-4}) = 75 \times 10^{-4} \text{ Вб}$$

$$E_1 = 4.44 f \Phi_{\text{макс}} N_1$$

болғандықтан бірінші орамадағы шумақ,

$$N_1 = \frac{E_1}{4.44 f \Phi_{\text{макс}}} = \frac{500}{(4.44)(50)(75 \times 10^{-4})} = 300$$

$$E_2 = 4.4 f \Phi_{\text{макс}} N_2$$

болғандықтан екінші орамадағы шумақ саны

$$N_2 = \frac{E_2}{4.44 f \Phi_{\text{макс}}} = \frac{100}{(4.44)(50)(75 \times 10^{-4})} = 60$$

12-есеп. 500 В/225 В, жиілігі 50 Гц бір фазалы трансформатордың өзекшесінің максималды ағын тығыздығы 1.4 Тл. Есептеңіз: (а) бірінші және екінші орамдағы шумақ санын, (б) өзектің көлденең қимасының ауданын.

(а) Бір орамның э.к.к.,

$$= \frac{E_1}{N_1} = \frac{E_2}{N_2} = 15$$

Олай болса бірінші орамдағы шумақ саны

$$N_1 = \frac{E_1}{15} = \frac{4500}{15} = 300$$

екінші орамдағы шумақ саны

$$N_2 = \frac{E_2}{15} = \frac{225}{15} = 15$$

(b) $E_1 = 4.44 f \Phi_{\max} N_1$ э.к.к., олай болса осыдан

$$\Phi_{\max} = \frac{E_1}{4.44 f N_1} = \frac{4500}{(4.44)(50)(300)} = 0.0676 \text{ Вб}$$

Енді ағынның тығыздығы $\Phi_m = B_m \times A$, мұндағы A өзекшенің көлденең қимасының ауданы.

$$\text{Олай болса аудан, } A = \left(\frac{\Phi_{\max}}{B_{\max}} \right) = \left(\frac{0.0676}{1.4} \right) = 0.0483 \text{ м}^2 \text{ немесе } 483 \text{ см}^3$$

Келесі жаттығуды орындаңыздар.

120-жаттығу. Трансформатордың э.к.к. арналған қосымша есептер

1. 60 кВ-А, 1600 В/100 В, жиілігі 50 Гц бір фазалы трансформатор екінші орамында 50 шумағы бар. Есептеңіз: (а) бірінші және екінші токты, (б) бірінші орамдағы шумақ санын, (с) максимал ағын тығыздығын.

[(a) 37.5A, 600A (b) 800 (c) 9.0мВб]

2. Бір фазалы трансформатордың бірінші мен екінші орамдарының шумақ сандары 520-ға тең. Өзекшенің көлденең қимасының ауданы 270 см². Бірінші орамының кернеуі 300 В қоректендіру көзіне жалғанған, сонда (а) максималды ағын тығыздығын, (б) екінші орамның кернеуін анықтаңыз.

[(a) 1.25Тл(b) 3.90 кВ]

3. Бір фазалы трансформатордың сипаттамалары: 800 В/100 В, жиілігі 50 Гц, максималды ағын тығыздығы 1.294 Тл және өзекшенің көлденең қимасының ауданы 60 см². Бірінші және екінші орамдағы шумақтар санын есептеңіз.

[464; 58]

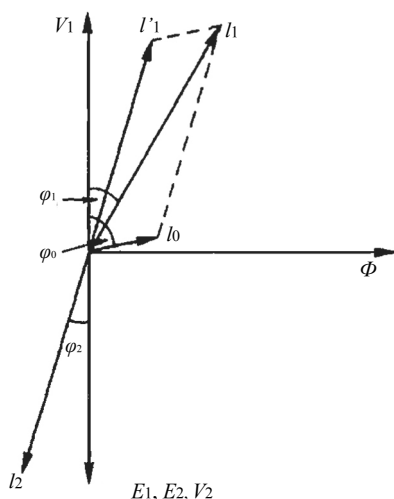
4. Бір фазалы трансформатордың сипаттамасы 3.3 кВ/110 В, жиілігі 50 Гц, сонда трансформатордың бір орамының э.к.к. 22 В тең, ал

максималды ағын тығыздығы 1.25 Тл.: (а) бірінші және екінші орамдағы шумақ сандарын, (б) өзектің көлденең қимасының ауданын есептеңіз.

[(a) 150.5 (b) 792.8cm²]

21.5 Трансформатор жүктемесінің векторлық диаграммасы

Трансформатордағы орамның кернеулерінің түсуі аз болса, V_2 клемманың кіші кернеуі E_2 индукцияланған екінші орамдағы э.қ.к. тең болып келеді. Тура сондай екінші клемма үшін де $V_1 = E_1$ өрнегін алуға болады. Бірінші және екінші орамдардың шумақ сандары бірдей деп болжағанда $E_1 = E_2$, жүктеменің фазасы φ_2 бұрышына қалып отырады. 21.4-суреттегі векторлық диаграммада I_2 -ток V_2 -ден φ_2 бұрышына қалып отырады. Екінші орамға жүктеме параллель қосылса, I_2 тогы екінші орамда да аға бастайды. Осындай жолмен алынған э.қ.к.-і өзектегі ағын тығыздығын азайтатын тенденция тудырады.



21.4-сурет

Олай болса бірінші ток ұлғая бастайды, сонда магниттік қозғаушы күш қайта өңделеді. Жүктеменің кез келген түріне қарамастан бірінші және екінші магниттік қозғаушы күштер – м.қ.к. бірдей, бірақ қарсы бағытта және өзекшедегі ағын тығыздығы тұрақты болып қалады. I_1 -ді

кейде токты «теңестіру» деп атайды, бірақ қарсы бағытта 21.4-суретте көрсеткендей ток I_2 -ге тең болады. Трансформатордың I_0 -бос жүрісінің тогы V_1 кернеуінен φ_0 -қа бұрышқа қалып отырады (21.3-тарауды қараңыз).

I_1' пен I_0 -дің векторлық қосындысы I_1 коректендіру көзінің тогын береді және I_1' мен V_1 арасындағы фазалық бұрыш φ_1 түрінде келтіріледі.

13-есеп. Бір фазалы трансформатордың бірінші орамында шумақ саны 2000, ал екінші орамында шумақ саны 800. Егер қуат коэффициенті 0.2 қалып отыратын болса, жүктеменің бос жүрісінің ток күші 5 А-ге тең болады. Орамдардағы кернеудің түсуін болмашы деп алатын болсақ, егер екінші токтың шамасы 100 А, ал қуат коэффициенті 0.85 қалып отыратын болса, онда негізгі ток пен қуат коэффициентін анықтаңыз.

I_1' бірінші ток компоненті магниттің қозғаушы күшін қамтамасыз етеді. Сонда

$$I_1' N_1 = I_2 N_2$$

Яғни

$$I_1' (2000) = (100)(800)$$

Осыдан

$$I_1' = \frac{(100)(800)}{2000} = 40 \text{ А}$$

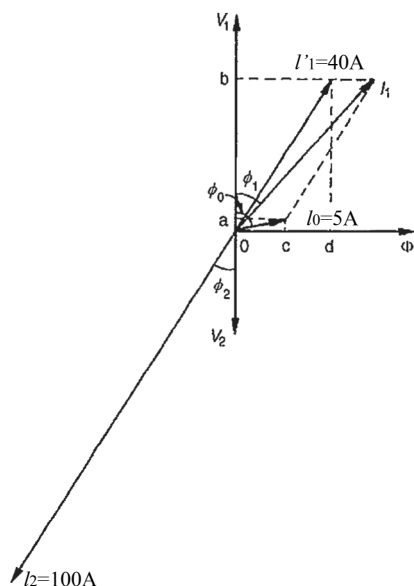
Егер қуат коэффициенті 0.85 болса, онда $\cos \varphi_2 = 0.85$.

Осыдан

$$\varphi_2 = \cos^{-1} 0.85 = 31.8^\circ.$$

Егер жүктеменің қуат коэффициенті 0.2 болса, онда $\cos \varphi_0 = 0.2$ және $\varphi_0 = \cos^{-1} 0.2 = 78.5^\circ$ болғаны.

Векторлық диаграмма 21.5-суретте келтірілген, $I_2 = 100 \text{ А}$ бұрышқа және $\varphi = 31.8^\circ$ V_2 $I_1' = 40 \text{ А}$ антифазада екені көрініп тұр.



21.5-сурет

Жүктеме тогы $I_0 = 5 \text{ A}$ бұрышы $\varphi_0 = 78.5^\circ$ V_1 ток векторлық I_1 қосынды I_1' мен I_0 . $I_1 = 44 \text{ A}$ бұрышы $\varphi_1 = 37^\circ$.

Есептеу нәтижесі:

$$\begin{aligned} I_1 \cos \varphi_1 &= 0a + 0b = I_0 \cos \varphi_0 + I_1' \cos \varphi_2 \\ &= (5)(0.2) + (40)(0.85) = 35.0 \text{ A} \end{aligned}$$

және

$$\begin{aligned} I_1 \sin \varphi_1 &= 0c + 0d = I_0 \sin \varphi_0 + I_1' \sin \varphi_2 \\ &= (5)\sin 78.5^\circ + (40)\sin 31.8^\circ = 25.98 \text{ A} \end{aligned}$$

Олай болса $I_1 = \sqrt{35.0^2 + 25.98^2} = 43.59 \text{ A}$ мәні және тангенс бұрышы $\varphi_1 = (25.98 / 35.0)$, осыдан, $\varphi_1 = \text{tg}^{-1} (25.98 / 35.0) = 36.59^\circ$. Олай болса, бірінші қуат коэффициенті $= \cos \varphi_1 = \cos 36.59^\circ = 0.80$

Келесі жаттығуды орындаңыздар.

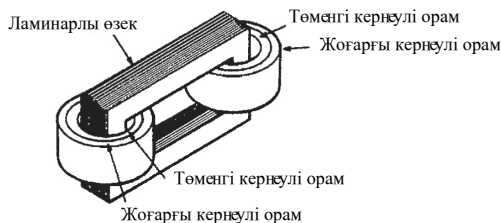
121-жаттығу. Трансформатордың жүктемелеріне арналған есептер

1. Бір фазалы трансформатордың бірінші орамында 2400 шумақ, ал екінші орамында 600 шумақ бар. Оның бос жүрісінің тогы 4 А, қуат коэффициенті 0.25. Трансформатор орамдарының кернеу түсуі болар-болмас деп алынатын болса, бірінші ток пен қуат коэффициентін екінші ток 50 А болғанда және қуат коэффициенті 0.8-ге қалып отырғандағы мәнін есептеңіздер.

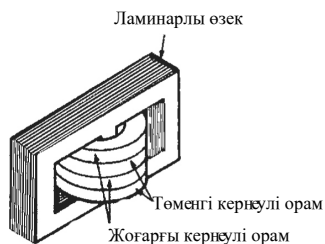
[23.26 А 0.73]

21.6 Трансформатордың құрылысы

1. 21.6-суретте бір фазалы екі орамды трансформаторлардың екі түрі көрсетілген – **өзекше типтес** және **қабықша типтес**. Өзекше типтес немесе стерженьдік трансформаторлар көбіне үлкен немесе кіші қуаттарға арналып жасалады. Олардың конструкциялары қабықша типтес түріне қарағанда қарапайым, изоляциялануы мен орамдарын жөндеу жұмыстары әлдеқайда оңай.



(a) Өзек типті



(b) Ұяшық типті

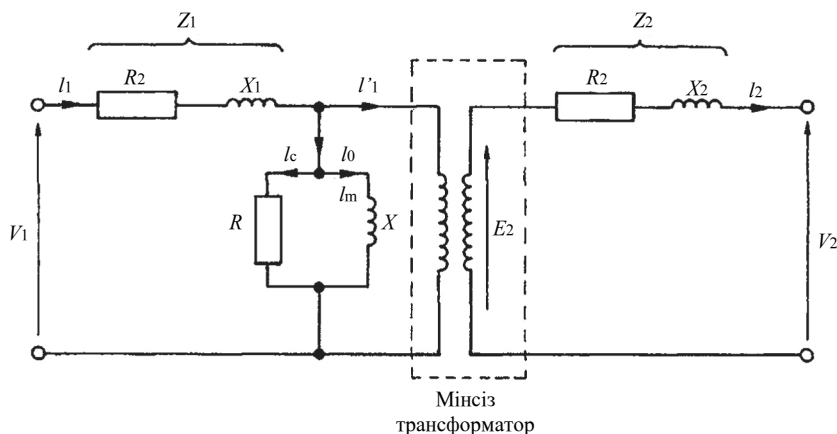
21.6-сурет

Олардың артықшылығы орам шумақтарына кететін сымдардың жұмсалуды аз болуында. Қабықша типтес трансформаторлардың көпшілігінің қуаты үлкен емес, олардың массалары да аз және құны да төмен.

2. **Күштік трансформаторлар** номиналды қуаты бірнеше мегавольт ампер (МВ-А) мен 50 Гц жиілікте істей алады және оның өзекшесінің негізгі материалы ретінде жалпақ электртехникалық болат немесе қаттауланған кремнийлі болат алынады. Жалпақ тілімшелері құйынды токтарды тежеп, төмендетіп отырса, кремнийлі болат гистерезис шығынын минимумға дейін жеткізе алады. Ірі трансформаторлар негізінен электр энергиясын тарату жүйелерінде және өндірістерде токтың коректендіру көзі ретінде пайдалынады. Қуаты аз трансформаторлардың қолданылатын жерлері өте көп, мысалы оған дәнекерлеу, коректендіру көздерін түзету, үй қоңырауларының сұлбасында т.т.с. жерлерде пайдалануы жатады.
3. **Төмен жиіліктегі (ТЖ) трансформаторлар**, қуаты бірнеше МВ-А ден 20 МВ-А дейін, жұмыс істейтін жиілігі 15 Гц дейін, өзекшесі қаттауланған кремнийлі болаттан жасалған. Дыбыс жүйесінде күшейткіш түрінде кейде ережеден тыс ТЖ трансформаторлары қолданылады.
4. **Радиожіліктік трансформаторлар (РЖ)** – МГц аймақтарында жұмыс істей алатын, өзекшесінің материалы әртүрлі болып келетін құрылғы. Өзекше материалдары: ауа өзекшесі, ферритті өзекше, шаң өзекшесі болулары мүмкін. Ферриттер дегеніміз – кремнийлі болатқа ұқсас магниттік қасиеті бар керамикалық материал, алайда оның меншікті кедергісі өте жоғары. Шаң өзекше карбонильді темірдің немесе пермаллойдтың (магнитті никель-темір құймасы) өте ұсақ бөлшектерінен тұрады және олардың әрбір бөлшектері бір-бірінен оқшауландырылған. Жоғары жиілікті сигналдар трансформаторы радио мен теледидар қабылдағыштарында қолданылады.
5. Трансформатордың **орамдары** эмальданған мыс немесе алюминийден жасалады.
6. Трансформаторларды суыту тәсілі оның номиналдық қуатының шамасынан тәуелді. Қуаты аз болатын трансформаторларды табиғи ауамен, ал қуаты жоғары трансформаторларды май арқылы суытады.

21.7 Трансформатордың эквиваленттік сұлбасы

21.7-сурет трансформатордың эквивалентті сұлбасын көрсетеді. R_1 мен R_2 бірінші және екінші орамдардың кедергілері, ал X_1 мен X_2 бірінші және екінші орамдарының кемуінен туған реактивті кедергілері.

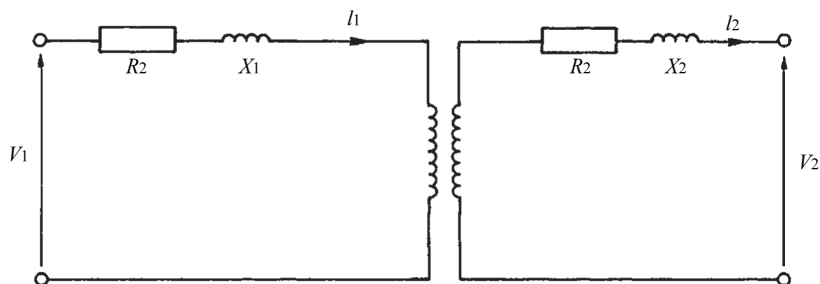


21.7-сурет

Өзекшенің шығыны, гистерезис пен құйынды толқындар, ал өзекшедегі бірінші токтың компонент шығыны I_{III} -тогын қабылдайтын R кедергісіне тәуелді.

X -реактивті кедергі I_M магниттелген токты қабылдайды.

21.8-суретте сұлбаның жеңілдетілген түрі келтірілген. Бұл сұлбада X -реактивті кедергілер ескерілмеген, бос жүрістің тогы I_0 әдетте, тіпті толық жүктеме кезінің өзінде 3-5 пайызды ғана құрай алады. Активті және реактивті кедергілерді трансформатордың бір жағында орналастырғаны ыңғайлырақ.



21.8-сурет

R_2 кедергісі 21.8-суретте R'_2 кедергісімен бірінші сұлбада ауыстырылуы мүмкін, сонда R'_2 жұмсалатын қуат бірінші тоқты өткізгенде R_2 кедергісі арқылы өтетін екінші токтың шамасына тең,

$$I_1^2 R'_2 = I_2^2 R_2$$

Осыдан,

$$R'_2 = R_2 \left(\frac{I_2}{I_1} \right)^2 = R_2 \left(\frac{V_1}{V_2} \right)^2$$

Бірінші сұлбадағы R_3 -жалпы эквиваленттік кедергі бірінші мен екінші сұлбалардың кедергілерінің қосындысына тең, олай болса трансформатордың кедергісіне деген сөз, яғни

$$\begin{aligned} R_3 &= R_1 + R'_2 \\ R_3 &= R_1 + R_2 \left(\frac{V_1}{V_2} \right)^2 \end{aligned} \quad (6)$$

Тура осындай амалды эквивалентті реактивті кедергі үшін де бірінші тізбекке қолдануға болады:

$$\begin{aligned} X_3 &= X_1 + X'_2 \\ \text{яғни,} \quad X_3 &= X_1 + X_2 \left(\frac{V_1}{V_2} \right)^2 \end{aligned} \quad (7)$$

Бірінші мен екінші орамның Z_3 эквивалентті импедансы бірінші деп аталып, келесі түрде беріледі:

$$Z_3 = \sqrt{R_3^2} + X_3^2 \quad (8)$$

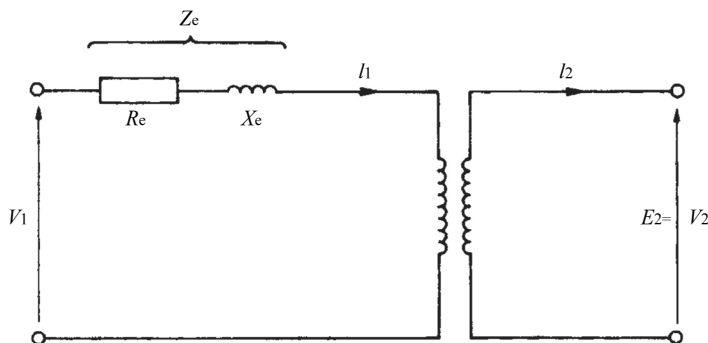
I_1 мен $I_1 Z_e$ кернеу түсуінің арасындағы φ_e фазалық бұрыш

$$\cos \varphi_e = \frac{R_3}{Z_3} \quad (9)$$

21.9-суретте трансформатор үшін жеңілдетілген сұлба келтірілген.

14-есеп. Трансформатордың бірінші орамында 600 шумақ және екінші орамында 150 шумақ бар болсын. Бірінші мен екінші кедергілері 0.25 Ом және 0.01 Ом сәйкесінше, ал реактивті кедергілерінің шығындары 1.0 Ом, 0.04 Ом сәйкесінше.

(а) Бірінші орамның эквивалентті кедергісін, (б) бірінші орамның эквивалентті реактивтілігін, (с) импеданстың фазалық бұрышын анықтаңыз.



21.9-сурет

(а) (6) тендеуден эквивалентті кедергі:

$$R_9 = R_1 + R_2 \left(\frac{V_1}{V_2} \right)^2$$

Олай болса,

$$R_9 = 0.25 + 0.01 \left(\frac{600}{150} \right)^2 = 0.41 \text{ Ом}$$

Сондықтан,

$$\frac{N_1}{N_2} = \frac{V_1}{V_2}$$

(б) (7) тендеуден эквивалентті реактивті кедергі

$$X_9 = X_1 + X_2 \left(\frac{V_1}{V_2} \right)^2$$

Олай болса,

$$X_9 = 1.0 + 0.04 \left(\frac{600}{150} \right)^2 = 1.64 \text{ Ом}$$

(с) (8) тендеуден эквивалентті импеданс,

$$Z_9 = \sqrt{R_9^2 + X_9^2} = \sqrt{0.41^2 + 1.64^2} = 1.69 \text{ Ом}$$

(d) (9) теңдеуден,

$$\cos \varphi_3 = \frac{R_3}{Z_3} = \frac{0.41}{1.69}$$

Олай болса,

$$\varphi_3 = \cos^{-1} \frac{0.41}{1.69} = 75.96^\circ$$

Келесі жаттығуларды орындаңыздар

122-жаттығу. Трансформатордың эквиваленттік сұлбасы

1. Трансформатордың бірінші орамында 1200 шумақ ал екінші орамында 200 шумақ болсын. Бірінші орамның кедергісі 0.2 Ом ал екінші орамның кедергісі 0.02 Ом. Реактивті кедергілері сәйкесінше: 1.2 Ом және 0.05 Ом. (а) бірінші орамның эквивалентті, реактивті және жәй кедергісін; (б) кедергінің фазалық бұрышын есептеңіз.

[(a) 0.92, 3.0, 3.14 (b) 72.95°]

21.8 Трансформаторды реттеу

Трансформатордың екінші ораммен жүктелген клеммаларына V_2 екінші кернеуі түседі. Қуат коэффициенті кішірейгендіктен кернеу ұлғая бастайды. Мұндай құбылыс **трансформаторды реттеу** деп аталады және ол E_2 бос жүріс кернеуінің пайызы түрінде өрнектеледі. Толық жүктеме үшін:

$$\text{Реттеу} = \left(\frac{E_2 - V_2}{E_2} \right) \times 100\% \quad (10)$$

$(E_2 - V_2)$ кернеудің түсуі орамның кедергісі мен реактивті кедергілерінен туатын құбылыс. Шағын трансформаторлар үшін кернеудің реттелуі әдетте 3%, ал ірі трансформаторлар үшін ол 1%-ды құрайды.

15-есеп. Бір фазалы трансформатордың сипаттамасы 5 кВ-А, кернеуі 200 В/400 В жүктемені қосқанда екінші клеммадағы кернеу 387.6 В.

(10) теңдеуден:

$$\begin{aligned}\text{Реттеу} &= \left(\frac{E_2 - V_2}{E_2} \right) \times 100\% = \left(\frac{400 - 387.6}{400} \right) \times 100\% = \\ &= \left(\frac{12.4}{400} \right) \times 100\% = 3.1\%\end{aligned}$$

16-есеп. Трансформатордың бос жүрісінің кернеуі 240 В. Тарамдарды жүктемемен ауыстырып қосқыш трансформатордың 2.5% кіші реттеуіне негізделген. Трансформатор жұмыс істей алатын жүктеменің кернеуін анықтаңыз.

$$\begin{aligned}\text{Реттеу} &= \left(\frac{E_2 - V_2}{E_2} \right) \times 100\% \\ 2.5 &= \left(\frac{240 - V_2}{240} \right) \times 100\% \quad \frac{(2.5)(240)}{100} = 240 - V_2\end{aligned}$$

Олай болса,

$$6 = 240 - V_2$$

Осыдан **жүктеме кернеуі**,

$$V_2 = 240 - 6 = 234 \text{ В}$$

Келесі жаттығуды орындаңыздар.

123-жаттығу. Реттеуге арналған қосымша есептер

1. 6 кВ-А, 100 В/500 В, клеммадағы екінші кернеуі 487.5 В бір фазалы трансформатор жүктемемен қосылған. Трансформатордың реттеуін есептеңіз.

[2.5%]

2. Трансформатордың бос жүрісінің кернеуі 110 В. Реттеуі 3% кем болғанда трансформатордың тарамдары жүктемемен ауыстырылып қосылады. Трансформатордың жұмыс істеуі үшін сәйкес келетін жүктемедегі кернеуді табыңыз.

[106.7 В]

21.9 Трансформатордың шығыны және пайдалы әсер коэффициенттері

Трансформаторлар үшін жүктеме әсерінен туатын шығынның екі түрі бар, мыстағы және болаттағы шығындары сияқты.

- (a) **Мыс шығыны** трансформатордың бірінші орамы екінші орамына қуат бергенде бірінші және екінші орамдар сымдарында **электр шығындары** немесе **мыс шығындары** пайда болады. Мұны мыс шығыны немесе **қысқа тұйықталу шығыны** деп атайды. Орамдағы сымдар мыстан жасалатыны белгілі. Сондықтан орамдағы сымдар қуат алғанда энергияның шамалы бөлігі қызу нәтижесінде шығындалады. Егер R_1 мен R_2 бірінші және екінші орамдардың кедергілері болса, онда **мыстың жалпы шығыны** тең:

$$I_1^2 R_1 + I_2^2 R_2$$

- (b) **Болат шығыны** трансформатор бос жүрісі кезінде электр энергиясы тұтынушыға берілмейді. Оның тұтынатын энергиясы көбіне құйынды токтар мен гистерезистердің магнитөткізгіштегі қуатының шығынын теңгеру үшін жұмсалады. Бұл шығынды **болат шығыны** немесе **бос жүрістің шығыны** деп атайды.

- (1) **Гистерезис шығыны.** Магнит ағыны трансформатор өзекшесін қыздырып, гистерезис шығынын тудырады. Мұндай шығын гистерезис тұзағының ауданына пропорционал, олай болса никель-темір құймасы шығынды төмендету үшін негізделіп, осы құйма гистерезис тұзағының ауданын кішірейте алады.
- (2) **Құйынды ток шығыны.** Трансформатордың орамдары мен оның өзекшесіндегі э.қ.к. әсерінен құйынды токтардың шығыны туады. Мұндай э.қ.к. циркуляцияланған токтарды тудырады, соның арқасында құйынды токтар пайда болады. Өзекшенің трансформатордағы кедергі өте азғантай, сондықтан құйынды токтар әжептеуір қуаттың үлкен шығындарына әкелуі мүмкін, сондықтан трансформаторлар қатты қызып кете алады. Құйынды токтар өзекше жасалған материалдың меншікті кедергісіне тәуелді, сондықтан осы ыңғайсыз құбылысты азайтуға болады, мысалы өзекшені қаттау арқылы (яғни қабаттар мен тілімшелерге бөлу арқылы), олай болса өзекшені өте жұқа қабатпен оқшауландырса болғаны. Осындай жолмен құйынды токтар төмендетіліп, шығын азаяды.

Трансформатордың пайдалы әсер коэффициенті,

$$\eta = \frac{\text{шығыс қуат}}{\text{кіріс қуат}} = \frac{\text{кіріс қуат} - \text{шығын}}{\text{кіріс қуат}}$$

$$\eta = 1 - \frac{\text{шығыс}}{\text{кіріс қуат}}$$

Трансформатордың **пайдалы әсер коэффициенті** салыстырмалы жоғары және үлкен қуатты трансформаторларда ол 95-98%-ға жетеді.

Қуаты аз трансформаторларда п.э.к. 50-ден 70%-ға дейін төмендейді. Жүктеме өзгергенде пайдалы қуат пен электрлік шығындардың өзгеруінен трансформатордың п.э.к.-і де өзгереді. Алайда жүктеменің өзгеру диапазонының үлкендігіне қарамастан ол өзінің үлкен мәнін сақтай алады. Егер трансформаторлар жүктелмесе, пайдалы қуат азайып, ал болаттың шығыны еш өзгеріссіз қалғандықтан оның п.э.к.-і төмендейді.

$$\text{Шығыс қуаты} = V_2 I_2 \cos \varphi_2$$

Жалпы шығын = мыстың шығыны + болаттың шығыны,

Кіріс қуаты = Шығыс қуаты + шығын

17-есеп. Трансформатордың номиналды қуаты 200 кВ-А, толық жүктемелі, мыстың шығыны 1.5 кВт, болаттың шығыны 1 кВт. Толық жүктелген трансформатордың қуат коэффициенті 0.85. Олай болса трансформатордың п.э.к.-ін табыңыз.

$$\eta = \frac{\text{шығыс қуаты}}{\text{кіріс қуаты}} = \frac{\text{кіріс қуаты} - \text{шығын}}{\text{кіріс қуаты}} = 1 - \frac{\text{шығын}}{\text{кіріс қуаты}}$$

Толық жүктеме жағдайында шығыс қуаты $= VI \cos \varphi = (200)(0.85) = 170 \text{ кВт}$

$$\text{Толық шығын} = 1.5 + 1.0 = 2.5 \text{ кВт}$$

$$\text{Кіріс қуаты} = \text{шығыс қуаты} + \text{шығын} = 170 + 2.5 = 172.5 \text{ кВт}$$

$$\text{Олай болса п.э.к.} = \left(1 - \frac{2.5}{172.5} \right) = 1 - 0.01449 = 0.9855 \text{ немесе } \mathbf{98.55 \%}$$

18-есеп. Егер жүктеме екі есе азайса, қуаттың коэффициенті 0.85 болса, 17-есепті қайта шығарыңыз, сонда трансформатордың п.э.к.-і қандай?

$$\text{Жартылай жүктеменің шығыс қуаты} = (1/2)(200)(0.85) = 85 \text{ кВт.}$$

Мыстың шығыны (немесе $I^2 R$ шығыны) токтың квадратына пропорционал. Жартылай жүктеме үшін **мыстың шығыны**:

$$(1/2)^2 (1500) = 375 \text{ Вт}$$

$$\text{Болаттың шығыны} = 1000 \text{ Вт (тұрақты)}$$

$$\text{Толық шығын} = 375 + 1000 = 1375 \text{ Вт немесе } 1.375 \text{ кВт.}$$

$$\text{Жартылай жүктеме үшін кіріс қуаты} = \text{Жартылай жүктеме үшін шығыс қуаты} + \text{шығын} = 85 + 1.375 = 86.375 \text{ кВт}$$

Олай болса, п.э.к.,

$$= \left(1 - \frac{1.375}{86.375} \right) = 1 - 0.01592 = 0.9841$$

немесе **98.41 %**

19-есеп. Трансформатордың қуаты 400 кВ-А, бірінші орамының кедергісі 0.5 Ом, екінші орамының кедергісі 0.001 Ом. Болаттың шығыны 2.5 кВт, бірінші және екінші кернеулері сәйкесінше 5 кВ және 320 В. Егер қуаттың коэффициенті 0.85 болса, онда трансформатордың (а) п.э.к.-ін, (б) жартылай жүктемесін анықтаңыз.

$$(a) P_{\text{еттеу}} = 400 \text{ кВ} - A = V_1 I_1 = V_2 I_2.$$

Олай болса бірінші ток,

$$I = \frac{400 \times 10^3}{V_1} = \frac{400 \times 10^3}{5000} = 80 \text{ А}$$

Олай болса екінші ток,

$$I_2 = \frac{400 \times 10^3}{V_2} = \frac{400 \times 10^3}{320} = 1250 \text{ А}$$

Жалпы мыстың шығыны,

$$= I_1^2 R_1 + I_2^2 R_2,$$

(мұндағы $R_1 = 0.5 \text{ Ом}$ және $R_2 = 0.001 \text{ Ом}$)

$$= (80)^2 (0.5) + (1250)^2 (0.001) = 3200 + 1562.5 = 4762.5 \text{ Вт}$$

Толық жүктеменің толық шығыны=мыстың шығыны + болаттың шығыны

$$= 3200 + 1562.5 = 7262.5 \text{ Вт} = 7.2625 \text{ кВт}$$

Толық жүктеменің толық шығыс қуаты $= V_2 I_2 \cos \varphi_2 =$

$$(400 \times 10^3)(0.85) = 340 \text{ кВт.}$$

Кіріс қуаты=шығыс қуаты+шығын=340+7.2625=347.2625 кВт

П.э.к.,

$$\eta = \left(1 - \frac{7.2625}{347.2625} \right) \cdot 100\% = 97.91\%$$

(б) Мыстың шығыны токтың квадратына пропорционал сонда мыстың толық шығыны

$$= 4762.5 \times \left(\frac{1}{2} \right)^2 = 1190.625 + 2500 = 3690.625 \text{ Вт} = 3.691 \text{ кВт}.$$

Жартылай жүктеменің толық шығыны=3.691 кВт.

Жартылай жүктеменің шығыс қуаты = $1190.625 + 2500 = 3690.625 \text{ В}$
 3.691 кВт

Жартылай жүктеменің кіріс қуаты=шығыс қуат+шығын=

$$= 170 \text{ кВт} + 3.691 \text{ кВт} = 173.691 \text{ кВт}$$

Олай болса жартылай жүктеме үшін п.э.к.,

$$\eta = \left(1 - \frac{3.691}{173.691} \right) \times 100\% = 97.87\%$$

Пайдалы әсер коэффициентінің ең үлкен шамасы

П.э.к.-інің төмендеуі шамадан тыс артық жүктелуден де болады. Ал максимал мәнге жету үшін жүктеме үнемді болып табылуы керек. Егер мыс шығынының өзгерісі болатын тұрақты шығынына тең болса, трансформатордың п.э.к.-і максималды бола алады.

20-есеп. Трансформатордың қуаты 500 кВ-А толық жүктеменің мыс шығыны 4 кВт ал болатын шығыны 2.5 кВт болсын. (а) Шығыс қуаттың максимум болғандағы трансформатордың п.э.к.-ін, (б) қуаттың коэффициенті 0.75 болғандағы максималды п.э.к.-ті анықтаңыз.

(а) П.э.к. максимал болғанда жүктеме x болсын, сонда сәйкес мыстың шығыны = $(4 \text{ кВт})(x^2)$ өрнегімен анықталсын. Мыс шығынына сәйкес максимум п.э.к.=болаттын шығыны. Олай болса, $4x^2 = 2.5$ осыдан $x^2 = 2.5 / 4$ және $x = \sqrt{2.5 / 4} = 0.791$.

Олай болса, трансформатордың максимум п.э.к.-і кВ-А шығыс қуаты = $0.791 \times 500 = 395.5 \text{ кВт}$.

(б) Жалпы шығынның максималды п.э.к. = $2 \times 2.5 = 5 \text{ кВт}$

Шығыс қуаты = $395.5 \text{ кВт} - A \times 0.75 = 396.625 \text{ кВт}$

Кіріс қуаты = шығыс қуаты + шығын = $296.625 + 5 = 301.625 \text{ кВт}$

Максималды п.э.к.

$$\eta = \left(1 - \frac{\text{шығыс}}{\text{кіріс қуат}} \right) \times 100\% = \left(1 - \frac{5}{301.625} \right) \times 100\% = 98.34\%$$

Келесі жаттығуларды орындаңыздар

124-жаттығу. Пайдалы әсер коэффициентіне арналған есептер

1. Бір фазалы трансформатордың кернеулерінің қатынасы 6:1 жылу мен вентиляция орамына 540В кернеу түсірілген. Қуат коэффициенті 0.8 екінші орам жүктемені 30 А толық ток күшімен қалып отыра қамтамасыз ете алады. Шығынды есепке алмағанда, табу керек: (а) трансформаторды сипаттау, (б) жүктемеге берілетін қуат, (в) бірінші токты.

[(а) $2.7 \text{ кВ} - A$, (б) 2.16 кВт , (с) 5 А]

2. Бір фазалы трансформатордың қуаты 40 кВ-А. Трансформатордың толық жүктемесі үшін мыстың шығыны 800 Вт және болат шығыны 500 Вт. Табу керек: қуат коэффициенті 0.8 болғанда толық жүктеме кезінде трансформатордың п.э.к.-і

[96.10%]

3. 2-есептің шартына сай қуат коэффициенті 0.8 болғанда, бірақ жүктеменің тура жартысы үшін трансформатордың п.э.к.-ін табыңыз.

[95.81%]

4. Трансформатордың номиналды қуаты 100 кВ-А, кернеулерінің қатынасы 2000В/400В, жиілігі 50 Гц бір фазалы трансформатордың болат шығыны 600 Вт, толық жүктеме кезіндегі мыстың шығыны 1600 Вт. Қуат коэффициенті 0.8 ал жүктеменің қуаты 60кВт болғанда п.э.к. табыңыз.

[97.56%]

5. Номиналды қуат 15 кВ-А трансформатор үшін келесі шарттарды орындап, п.э.к. табыңыз:

(а) толық жүктеме кезіндегі п.э.к.

(б) қуат коэффициенті 0.8 болғандағы толық жүктеменің п.э.к.

(с) қуат коэффициенті 0.8 болғандағы толық жүктеменің жартысы

п.э.к.

Болат шығынын 200 Вт деп және толық жүктеменің мыс шығынын 300 Вт деп алуға болады.

6. Трансформатордың қуаты 300 кВ-А, оның бірінші орамының кедергісі 0.4 Ом, ал екінші орамының кедергісі 0.0015 Ом. Болат шығыны 2 кВт, бірінші мен екінші кернеулер 4.кВ және 200 В

сәйкесінше. Қуат коэффициенті 0.78, трансформатордың пайдалы әсер коэффициентін табыңыз, (а) толық жүктеме үшін, (б) жартылай толық жүктеме үшін.

[(а) 96.84% (б) 97.17%]

7. Трансформатордың қуаты 250 кВ-А, толық жүктеме кезінде мыс шығыны 3 кВт, болат шығыны 2 кВт. (а) Трансформатордың шығыс қуатының кВ-А-мен алғандағы максималды болғандағы п.э.к.-ін, (б) қуат коэффициенті 0.8 болғандағы максималды п.э.к.-ін есептеңіз:

[(а) 204.1 кВ – А (б) 97.61%]

21.10 Сәйкестік кедергісі

Жүктеменің әртүрлі кедергілері бастапқымен тең немесе дерлік тең болса, онда ішкі кедергіні **сәйкестік кедергі** деп атайды. Кедергінің сәйкестігіне мысал ретінде таратқышпен қабылдағыш антенналарын (толқын жинама) алуға болады немесе хабарлағыш, дауыс зорайтқышты күшейткішке қосу жағдайларында байланыс трансформаторы қуатты максималды тарата алады.

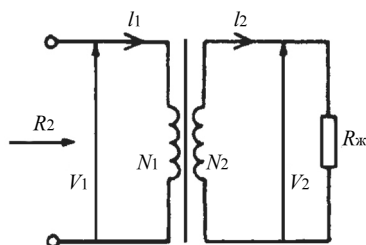
Тұрақты ток генераторы мен аккумуляторлардың ішкі кедергілері әдетте кішкентай. Осындай жағдайларда, егер жүктеменің кедергілерін қоректендіру көзінің ішкі кедергісіне дейін минималды азайтатын болсақ, онда қоректендіру көзі асыра тиеледі.

Қоректендіру көзінен жүктемеге максималды қуатты жеткізу әдісі үшін жүктеме кедергісімен қоректендіру көзінің ішкі кедергілерін ‘сәйкестендіру’ қажет. Жүктеме мен қоректендіру көзінің арасында **кедергілерді сәйкестендіру** үшін қолданылатын **құрылғы** ретінде трансформаторды қарастыруға борлады.

Осындай себептермен қолданылатын трансформаторлардың сұлбасы 21.10-суретте келтірілген.

21.10-суреттен келесі өрнектерді алуға болады:

$$R_{ж} = \frac{V_2}{I_2} \text{ және } R_1 = \frac{V_1}{I_1}$$



21.10-сурет

Мінсіз трансформатор үшін,

$$V_1 = \left(\frac{N_1}{N_2} \right) V_2$$

және

$$I_1 = \left(\frac{N_2}{N_1} \right) I_2$$

Сонымен R_1 эквивалентті кедергі трансформатордың кіріс кедергісі келесі формуламен анықталады:

$$R_1 = \frac{V_1}{I_1} = \frac{\left(\frac{N_1}{N_2} \right) V_2}{\left(\frac{N_2}{N_1} \right) I_2} = \left(\frac{N_1}{N_2} \right)^2 \left(\frac{V_2}{I_2} \right) = \left(\frac{N_1}{N_2} \right)^2 R_{ж}$$

яғни,

$$R_1 = \left(\frac{N_1}{N_2} \right)^2 R_{ж}$$

Трансформация коэффициентінің өзгеруінің салдарынан трансформатордың эквивалентті кіріс кедергісі қуаттың максималды мәніне ие болу үшін жүктеменің ішкі кедергісімен 'сәйкеседі'.

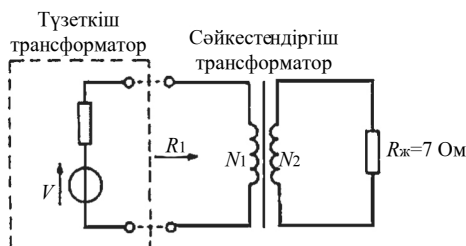
21-есеп. Трансформация коэффициенті 4:1 тең трансформатор кедергісі 100 Ом жүктеме береді. Трансформатордың эквивалентті кіріс кедергісін анықтаңыз.

Эквивалентті кіріс кедергісі тең:

$$R_1 = \left(\frac{N_1}{N_2} \right)^2 R_{ж} = \left(\frac{4}{1} \right)^2 (100) = \mathbf{1600 \text{ Ом}}$$

22-есеп. Күшейткіштің шығыс каскадының шығыс кедергісі 112 Ом. Жүктеменің 7 Ом кедергісіне сәйкес келетін трансформатордың оңтайлы (оптималды) трансформация коэффициентін есептеңіз.

21.11-суретте есептің берілгені бойынша сұлба келтірілген.



21.11-сурет

Трансформатордың эквивалентті кіріс кедергісі R_1 қуатты максималды түрде беру үшін 112 Ом-ға тең болуы қажет.

$$R_1 = \left(\frac{N_1}{N_2} \right)^2 R_{\text{ж}}$$

Сондықтан,

$$\left(\frac{N_1}{N_2} \right)^2 = \frac{R_1}{R_{\text{ж}}} = \frac{112}{7} = 16$$

яғни

$$\frac{N_1}{N_2} = \sqrt{16} = 4$$

Олай болса, шумақтардың оптималды қатынасы 4:1

23-есеп. Трансформатор арқылы шығыс кедергісі 150 Ом, трансформатордың трансформация коэффициенті 5:1 тең болса, қуатты максималды бере алу үшін егер жүктеме күшейткішке жалғанса, жүктеме кедергісінің оптималды мәнін есептеу керек.

Қуатты максималды беру үшін трансформатордың эквивалентті кіріс кедергісі 150 Ом болуы қажет.

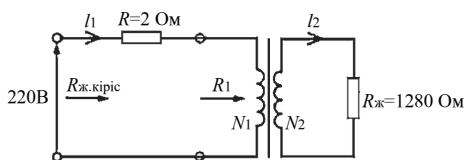
$$R_1 = \left(\frac{N_1}{N_2} \right)^2 R_{\text{ж}}$$

Осыдан,

$$R_{\text{ж}} = R_1 \left(\frac{N_2}{N_1} \right)^2 = 150 \left(\frac{1}{5} \right)^2 = 6 \text{ Ом}$$

24-есеп. Кернеулер қатынасы 220В/1760 В, мінсіз бір фазалы трансформатор кернеуі 220 В қоректендіру көзімен кедергісі 2 Ом кәбілмен жалғанған. Егер екінші орамдағы жүктеменің кедергісі 1.28 кОм болса, (а) бірінші токты, (б) жүктеме кедергісінен шашырайтын қуатты анықтаңыз.

Осындай жағдайдың сұлбасы 21.12-суретте келтірілген.



21.12-сурет

(а) Шумақтар қатынасы немесе трансформатордың трансформация коэффициенті,

$$\left(\frac{N_1}{N_2} \right) = \left(\frac{V_1}{V_2} \right) = \left(\frac{220}{1760} \right) = \left(\frac{1}{8} \right)$$

Трансформатордың эквивалентті кіріс кедергісі,

$$R_1 = \left(\frac{N_1}{N_2} \right)^2 R_{ж} = \left(\frac{1}{8} \right)^2 (1.28 \times 10^3) = 20 \text{ Ом}$$

Жалпы кіріс кедергі,

$$R_{ж. кіріс} = R + R_1 = 2 + 20 = 22 \text{ Ом}$$

Бірінші ток,

$$I_1 = \frac{V_1}{R_{ж. кіріс}} = \frac{220}{22} = 10 \text{ А}$$

(б) Мінсіз трансформатор үшін,

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{I_2}{I_1}$$

Осыдан

$$I_2 = I_1 \left(\frac{V_1}{V_2} \right) = 10 \left(\frac{220}{1760} \right) = 1.25 \text{ А}$$

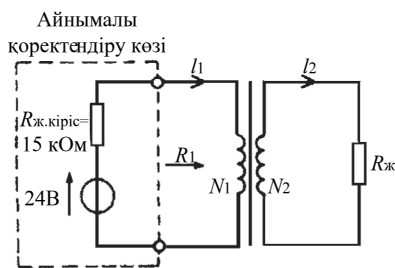
$R_{ж}$ жүктеме резисторындағы кедергіде жұмсалатын қуат,

$$P = I_2^2 R_L = (1.25)^2 (1.28 \times 10^3) = 2000 \text{ Вт}$$

немесе **2 кВт**

25-есеп. Кернеуі 24 В айнымалы қоректендіру көзінің ішкі кедергісі 15 кОм трансформация коэффициенті 25:1 тең мінсіз трансформатордың жүктемесімен сәйкестендірілген. (а) Жүктеменің кедергісінің мәнін, (б) жүктемедегі қуаттың шашырауын анықтаңыз.

Есептің берілгені бойынша сұлба 21.13-суретте келтірілген.



21.13-сурет

- (а) Қуатты максималды беру үшін R_1 кедергісі 15 кОм-ға эквивалентті болуы қажет.

$$R_1 = \left(\frac{N_1}{N_2} \right)^2 R_{ж}$$

Осыдан, жүктеменің кедергісі,

$$R_{ж} = R_1 \left(\frac{N_2}{N_1} \right)^2 = (15000) \left(\frac{1}{25} \right)^2 = 24 \text{ Ом}$$

- (б) Қоректендіру көзі сәйкестеруші трансформатормен қосылғанда жалпы кіріс кедергісі анықталады: $R_{кіріс} + R_1$ яғни $15 \text{ кОм} + 15 \text{ кОм} = 30 \text{ кОм}$.

Бірінші ток,

$$I_1 = \frac{V}{30000} = \frac{24}{30000} = 0.8$$

$$N_1 / N_2 = I_2 / I_1$$

$$I_2 = I_1 (N_1 / N_2) = (0.8 \times 10^{-3}) (25 / 1) = 20 \times 10^{-3}$$

$R_{ж}$ жүктемедегі қуаттың жұмсалуды,

$$P = I_2^2 R_L = (20 \times 10^{-3})^2 (24) = 9600 \times 10^{-6} \text{ Вт} = 9.6 \text{ мВт}$$

Келесі жаттығуды орындаңыздар.

125-жаттығу. Кедергілерді сәйкестендіру сұрақтарына арналған қосымша есептер

1. Жүктеменің кедергісі 50 Ом трансформатордың трансформация коэффициенті 8:1. Трансформатордың эквивалентті кіріс кедергісін анықтаңыз.
[3.2 кОм]
2. Кедергісі 270 Ом жүктемені кедергісі 30 Ом жүктемеге келтіру үшін трансформатордың трансформация коэффициенті қандай болуы керек?
[3:1]
3. Егер трансформация коэффициенті 7:2 тең трансформатормен кедергісі 147 Ом жүктеме күшейткішке қосылған болса максималды қуат алу үшін жүктеменің оптималды кедергісі қандай болуы керек.
[12 Ом]
4. Бір фазалы кернеулер қатынасы 240 В/2880 В мінсіз трансформатор кернеуі 240 В қоректендіру көзімен кедергісі 3 Ом кәбіл арқылы жалғанған. Егер екінші орамның жүктемесінде кедергі 720 Ом болса, (а) бірінші токты, (b) жүктеме кедергісіндегі жұмсалған қуатын табыңыз.
[(a) 78.13 Ом, (b) 5 мВт]
5. 768 Ом жүктеменің кедергісі күшейткіштің кедергісімен сәйкестендірілуі тиісті. Күшейткіштің эффективті шығыс кедергісі 12 Ом. Қосушы трансформатордың трансформация коэффициентін анықтаңыз.

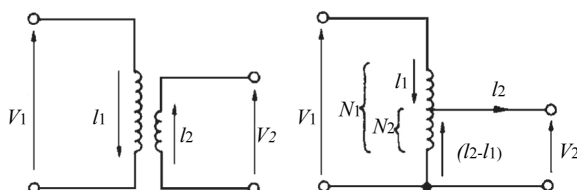
[1:8]

6. Айнымалы ток көзінің кернеуі 20 В, ішкі кедергісі 20 кОм бір фазалы, 16:1 трансформатордың жүктемесімен сәйкестендірілген. (а) Жүктеменің кедергісінің мәнін, (б) жүктемедегі қуаттың жұмсалуды анықтаңыз.

$$[(a) 78.13 \text{ Ом}, (b) 5 \text{ мВт}]$$

21.11 Автотрансформатор

Төмендеткіш автотрансформаторлардың негізгі сұлбасы 21.14(а)-суретте келтірілген. Ал жоғарылатқыш трансформатор 21.14(б)-суретінде келтірілген. Автотрансформатордың орамының бір бөлігі бірінші тізбекке, екінші бөлігі екінші тізбекке жататынын суреттен оңай байқауға болады.



21.14-сурет

Екінші ток бірінші токтың бөлігі екендігін осы соңғы жағдай көрсетіп отырғандықтан, екіншідегі ток ($I_2 - I_1$) тең. Осы секцияда ток кіші болғандықтан, орамның көлденең қимасының ауданын кішірейтуге болады, олай болса қажетті материалдың мөлшері азаятын болады, сөйтіп экономия жасауға болады. 21.15-суретте автотрансформатордың сұлбадағы белгісі келтірілген.



21.15-сурет

26-есеп. Бір фазалы автотрансформатордың кернеу қатынасы 320В:250В, кернеудің қоректендіру көзі 250 В, жүктеменің номиналды қуаты 20 кВ·А. Трансформаторды мінсіз деп санап, орамның әрбір секциясындағы токты анықтаңыз.

Номиналдық қуат,

$$= 20 \text{ кВ} \cdot \text{А} = V_1 I_1 = V_2 I_2$$

Сондықтан бірінші ток,

$$I_1 = \frac{20 \times 10^3}{V_1} = \frac{20 \times 10^3}{320} = 62.5 \text{ А}$$

Екінші ток,

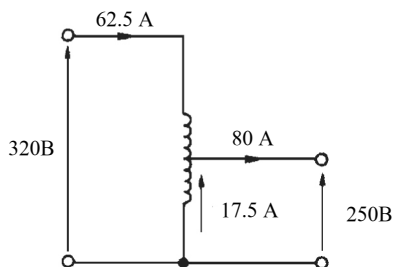
$$I_2 = \frac{20 \times 10^3}{V_2} = \frac{20 \times 10^3}{250} = 80 \text{ А}$$

Сондықтан жалпы орамдағы ток = 80–62.5=17.5 А

Трансформатордың әрбір секциясындағы орамдардан ағатын ток 21.16-суретте келтірілген.

Мыс шығынын автотрансформаторда сақтау

Бірдей қуат пен кернеулердің қатынасы үшін автотрансформаторда мыстың шығыны екі трансформатормен салыстырғанда кіші. Төмендегі мысалдармен түсіндіріп көрейік.



21.16-сурет

Бүкіл мыс немесе бүкіл көлем орамға қажет шумақтардың саны мен сымның көлденең қимасының ауданына тура пропорционал. Ал мыстың өзі пропорционал NI .

Автотрансформатордағы мыстың көлемі,

$$\propto (N_1 - N_2) I_1 + N_2 (I_2 - I_1)$$

(21.14 (ә)-сурет)

$$\propto N_1 I_1 - N_2 I_1 + N_2 I_2 - N_2 I_1$$

$$\propto N_1 I_1 + N_2 I_2 - 2 N_2 I_1$$

$$\propto 2 N_1 I_1 - 2 N_2 I_1$$

Сондықтан,

$$(N_2 I_2 = N_1 I_1)$$

Қосорамды трансформатордағы мыстың көлемі

$$\propto N_1 I_1 + N_2 I_2 \propto 2 N_1 I_1$$

(тағы да $N_2 I_2 = N_1 I_1$). Олай болса,

Мыс көлемі автотрансформатордағы/қосорамды трансформатордағы

$$\text{мыстың көлемі} = \frac{2 N_1 I_1 - 2 N_2 I_1}{2 N_1 I_1}$$

$$= \frac{2 N_1 I_1}{2 N_1 I_1} - \frac{2 N_2 I_1}{2 N_1 I_1}$$

$$= 1 - \frac{N_2}{N_1}$$

Егер $\frac{N_2}{N_1} = x$ болса

(Авторансформатордағы мыстың көлемі) = $(1-x)$ (қосорамды трансформатордағы мыстың көлемі) (12)

$$x = (4/5)$$

Егер $x = (4/5)$ деп алсақ, онда авторансформатордағы мыстың

көлемі = $\left(1 - \frac{4}{5}\right)$ (қосорамды трансформатордағы мыстың көлемі) = $\frac{1}{5}$ (қосорамды трансформатордың көлемі)

Олай болса, экономиясы 80%. Тура осындай жолмен егер $x = (1/4)$ деп алғандағы экономия 25% болады сонымен т. с. с. жалғаса береді. N_2 мен N_1 -ге жақындаған сайын мыстың экономиясы өседі.

27-есеп. Автотрансформатор мен қосорамды трансформаторлар үшін олардағы мыс көлемінің экономиясын келесі шарттар үшін салыстырыңыздар: (а) 200В:150В трансформаторы; (б) 500 В:100 В трансформаторы.

(а) 200В:150В трансформаторы үшін,

$$x = \frac{V_2}{V_1} = \frac{150}{200} = 0.75$$

(12) теңдеуден автотрансформатордағы мыстың көлемі $= (1 - 0.75)$ (қосорамды трансформатордағы мыстың көлемі) $= (0.25)$ (қосорамды трансформатордағы мыстың көлемі) $= 25\%$ (қосорамды трансформатордағы мыстың көлемі)

Олай болса, экономия 75%

(б) 500 В:100 В трансформаторы үшін

$$x = \frac{V_2}{V_1} = \frac{100}{500} = 0.2 ,$$

Олай болса, автотрансформатордағы мыстың көлемі $= (1 - 0.2)$ (қосорамды трансформатордағы мыстың көлемі) $= 0.8$ (қосорамды трансформатордағы мыстың көлемі) $= 80\%$ қосорамды трансформатордағы мыс.

Олай болса экономия 20%.

Келесі жаттығуды орындаңыздар.

126-жаттығу. Автотрансформаторлар үшін қосымша есептер.

1. Бір фазалы автотрансформатордың кернеу қатынастары 480 В:300 В және 300 В кернеу 30 кВ-А жүктемені қамтамасыз ете алады. Трансформаторды мінсіз деп алып, орамдағы әрбір секцияның тогын есептеңіз.

$$[I_1 = 62.5 \text{ A}, I_2 = 100 \text{ A}, (I_2 - I_1) = 37.5 \text{ A}]$$

2. Автотрансформатормен қосорамды трансформаторларды салыстыра отырып, мыстың экономиясын келесі шарттар үшін есептеңіз: (a) 300 В: 240 В трансформатор; (b) 400 В: 100 В трансформатор.

[(a) 80% (b) 25%]

Автотрансформаторлардың артықшылықтары

Автотрансформаторлардың қосорамды трансформатормен салыстырғандағы артықшылықтары:

1. Мыстың аз көлемін пайдаланғандықтан шығын үнемделеді.
2. Көлемдері ықшамды сол себептен салмақтары аз.
3. I^2R шығынының азаю себебінен п.э.к.-і жоғары.
4. Егер жылжымалы түйіспе (контакт) пайдаланылса, онда шығыс кернеуін сатысыз қолдануға болады.
5. Кернеуді реттеудің пайызы кіші.

Автотрансформаторлардың кемшіліктері

Автотрансформаторлардың бірінші және екінші орамдары электрлік түрде дербес емес, егер трансформатор тізбектен ажыратылса, онда екінші орамда бірінші орамның толық кернеуі пайда болады.

Автотрансформаторларды қолдану

Автотрансформаторлар асинхронды қозғалтқыштардың кернеуін төмендету үшін қолданылады (23-тарауды қараңыз). Сонымен қатар жуықтап алғанда кернеулері жақын жүйелерді қосу үшін де автотрансформаторлар қолданылады.

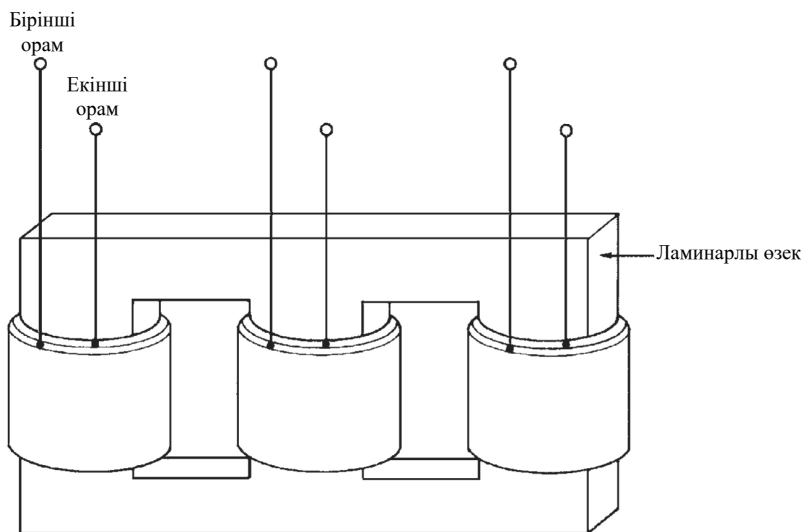
21.12 Айырғыш трансформаторлар

Трансформаторлар тек кернеу мен ток көзін ғана қоректендіріп қоймайды, сонымен қатар олар осы шамаларды түрлендіре де, өзгерте де алады және электрдің бір тізбегін оның басқа тармақтарынан оқшауландыру рөлін де атқара алады. Егер бірінші мен екінші

орамдардың арасында электрлік жалғану болмаса, онда осындай қызметті трансформаторлар орындай алады. Айырғыш трансформаторлар бұл бірнеше маңызды қосымшалары бар 1:1 трансформаторлары болып табылады. Осы қосымшаларға ванна бөлмелеріндегі ұстаралар, розеткалар, тағы басқа электр құралдары жатады.

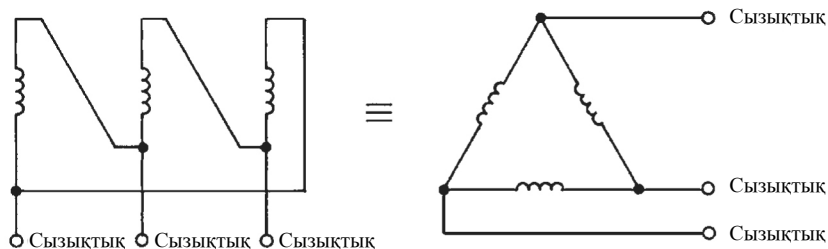
21.13 Үш фазалы трансформаторлар

Көбінесе іс жүзінде бір магниттік өткізгіште орындалған үш фазалы трансформаторлар қолданылады. Үш фазалы қосорамды трансформаторлар негізгі типті қуаттарды беруге арналған. Әрбір трансформатор бір-бірінен тәуелсіз, үш фазалы жүйенің әрбір фазасына қосылған кәдімгі бір фазалы трансформатор секілді жұмыс істейді. *21.17-суретте* көрсеткендей үш орам да бір өзекте орналасқан, соның салдарынан болаттың шығыны үнемделеді.

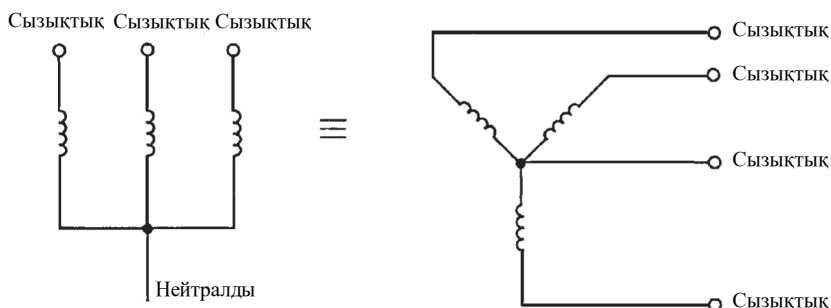


21.17-сурет

Үш фазалы жүйені түрлендіру үшін орамдары жұлдызшалап немесе үшбұрыштап (*21.18 (а)-сурет*) қосылған (*21.18-сурет*) үш фазалы трансформаторлар тобын пайдалануға болады. Үш фазалы трансформатордың орамдарын көбіне жұлдызшалап (*21.18(ә)-сурет*) немесе үшбұрыштап қосады.



(a) Үшбұрышты байланыс



(b) Жұлдызша байланыс

21.18-сурет

Күштік трансформаторларының орамдарын қосудың стандарттық сұлбалары мен олардың әртүрлі варианттарын қосудың мүмкін жағдайлары беріледі. Трансформаторды әртүрлі пайдалану себептерімен ондағы орамдарды бір-бірімен түрлі-түрлі жалғайды, мысалы жұлдызша-жұлдызша, үшбұрыштап-үшбұрыштап, жұлдызша-үшбұрыштап.

28-есеп. Үшфазалы трансформатордың бірінші орамы 500 шумақтан, ал екінші орамы 50 шумақтан тұрады. Қоректендіру көзінің кернеуі 2.4 кВ болса, бос жүріс режиміндегі линияның екінші кернеуін табыңыз, егер орамдар келесі түрлерде жалғанса: (a) жұлдызша-үшбұрыштап; (b) үшбұрыштап-жұлдызша.

(a) Жұлдызша-үшбұрыштап қосылған орамдар үшін: $V_{ж} = \sqrt{3}V_{\phi}$ (20-тарауды қараңыз). Фазаның бірінші кернеуі

$$V_{\phi} = \frac{V_{ж1}}{\sqrt{3}} = \frac{2400}{\sqrt{3}} = 1385.64 \text{ В}$$

Үшбұрыштап-жұлдызша қосылған түрі үшін,

$$V_{\text{ж}} = V_{\phi}$$

$$N_1 / N_2 = V_1 / V_2$$

осыдан фазаның екінші кернеуі

$$V_{\phi 2} = V_{\phi 1} \left(\frac{N_2}{N_1} \right) = (1385.64) \left(\frac{50}{500} \right) = 138.6 \text{ В}$$

(b) Үшбұрыштап-жұлдызша қосылған,

$$V_{\text{ж}} = V_{\phi}$$

олай болса, фазаның бірінші кернеуі,

$$V_{\phi 1} = 2.4 \text{ кВ} = 2400 \text{ В}.$$

Фазаның екінші кернеуі,

$$V_{\phi 2} = V_{\phi 1} \left(\frac{N_2}{N_1} \right) = (2400) \left(\frac{50}{500} \right) = 240 \text{ В}$$

Жұлдызша-үшбұрыштап қосылған, $V_{\text{ж}} = \sqrt{3} V_{\phi}$ линиядағы екінші кернеу,

$$V_{\text{ж} 2} = \sqrt{3} (240) = 416 \text{ В}$$

Келесі жаттығуды орындаңыздар.

127-жаттығу. Үш фазалы трансформаторға есеп

1. Үш фазалы трансформатордың бірінші орамында 600 шумақ, екінші орамында 150 шумақтары бар. Егер қоректендіру көзінің кернеуі 1.5 кВ болса, егер орамдар бір-бірімен (a) үшбұрыштап-жұлдызша, (b) жұлдызша-үшбұрыштап қосылған болса, жүктемесіз линия кернеуін анықтаңыз.

[(a) 649.5В (b) 216.5В]

21.14 Ток трансформаторлары

100 А-ден жоғары токтарды өлшеу үшін әдетте ток трансформаторын қолданады. Жылжымалы орамы бар, толық шкала бере алатын тұрақты ток амперметрі өте кішкентай, небары бірнеше миллиампер. Өте үлкен токтарды өлшеу кезінде сұлбаға шунттаушы резистор енгізіледі (10-тарау). Алайда шунтталған резисторлардың өзі үлкен токтарды өлшеуге әлдері келмейді. Айнымалы токты өлшеген кезде шунтты пайдалануға болмайды, аспаптан өтетін ток кедергіден тәуелді, ал бұл соңғының өзі жиілікке тәуелді болғандықтан.

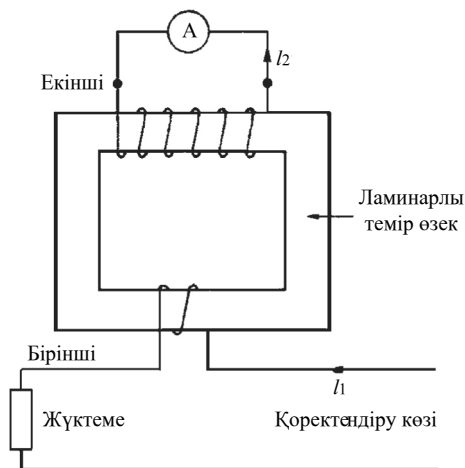
Қосорамды трансформаторда:

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{N_2}{N_1}$$

Осыдан,
Екінші ток,

$$I_2 = I_1 \left(\frac{N_2}{N_1} \right)$$

Ток трансформаторында бірінші ток бір немесе екі шумақтан, ал екінші ток бірнеше жүздеген шумақтардан тұрады. Осындай ток трансформаторының түрі *21.19-суретте* келтірілген.



21.19-сурет

Мысалы, егер бірінші орамда 2 шумақ ал екінші орамда 200 шумақ болса, онда бірінші ток 500 А тең.

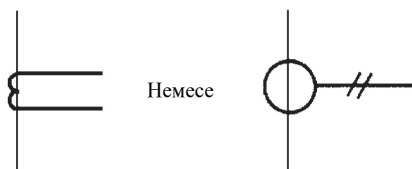
Екінші ток,

$$I_2 = I_1 \left(\frac{N_2}{N_1} \right) = (500) \left(\frac{2}{200} \right) = 5 \text{ A}$$

Ток трансформаторы амперметрді негізгі тізбектен айырып, амперметрдің стандартты толық масштабын пайдалануға мүмкіндік береді, яғни 1 А, 2 А немесе 5 А ауытқуларды көтере алатын. Өте үлкен токтар үшін трансформатордың өзекшесі өткізгіштің немесе шинаның айналасында орнатылуы мүмкін. Олай болса, бірінші ток дегеніміз тек бір шумақ деген сөз.

Амперметрді алып тастағанға дейін екінші орамда қысқа тұйықтауды жасау өте маңызды. Оның себебі, егер ток бірінші орамда ағатын болса, онда екінші орамда өте жоғары кернеу өндірілуі мүмкін, онда бұл өте қауіпті, сондықтан ол ажыратылып тасталуы керек.

Ток трансформаторының символы *21.20-суретте* келтірілген.



21.20-сурет

29-есеп. Ток трансформаторының бірінші орамында бір шумақ ал екінші орамында 60 шумақ бар. Екінші орам амперметрге жалғанған, оның кедергісі 0.15 Ом. Екінші орамның кедергісі 0.25 Ом. Егер ток бірінші орамда 300 А болса, анықтаңыз: (а) амперметр көрсеткішін, (б) амперметрдегі потенциалдар айырымын, (с) ВА өлшемімен екінші орамдағы жалпы жүктемені.

(а) Амперметрдегі көрсеткіш,

$$I_2 = I_1 \left(\frac{N_1}{N_2} \right) = 300 \left(\frac{1}{60} \right) = 5 \text{ A}$$

(б) Амперметрдегі потенциалдар айырымы $= I_2 R_A$, (мұндағы R_A амперметрдің кедергісі) $= (5)(0.15) = 0.75 \text{ В}$.

(с) Екінші тізбектің жалпы кедергісі $= 0.15 + 0.25 = 0.40 \text{ Ом}$

Екінші орамда өндірілген э.қ.к.

$$= (5)(0.40) = 2.0 \text{ В.}$$

Екінші орамдағы жалпы жүктеме қуаты,

$$= (2.0)(5) = 10 \text{ В-А.}$$

Келесі жаттығуларды орындаңыздар

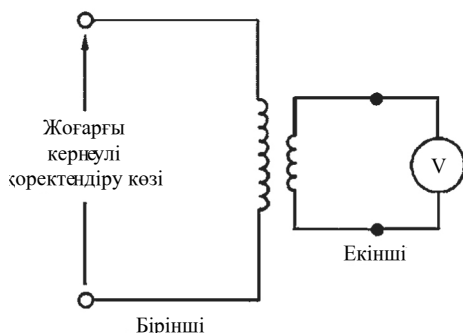
128-жаттығу. Ток трансформаторына арналған қосымша есептер

1. Ток трансформаторының бірінші орамында 2 шумақ, ал екінші орамында 260 шумақ бар. Екінші орам кедергісі 0.2 Ом амперметрмен жалғанған. Екінші орамның кедергісі 0.3 Ом. Бірінші орамдағы токтың шамасы 650 А болса табыңыз: (а) амперметрдегі көрсеткішті, (б) амперметрдегі потенциалдар айырымын, (с) екінші орамдағы В-А-мен алғандағы жалпы жүктемені.

[(а) 5А(б) 1В (с) 7.5В-А]

21.15 Кернеу трансформаторы

500 В-тан жоғары кернеулерді өлшеу үшін кернеу трансформаторын пайдалану дұрыс. Мұндай кернеу трансформаторлары әдетте бірінші орамында шумақтары өте көп, кернеуі өте жоғары қоректендіру көзіне жалғанған, екінші орамында шумақтар саны аз болып келетін кәдімгі қосорамды трансформатор болып келеді. 21.21-суретте осындай трансформатордың түрі келтірілген.



21.21-сурет

болғандықтан

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{N_1}{N_2}$$

екінші кернеу,

$$V_2 = \frac{V_1 N_2}{N_1}$$

21.21-суретте келтірілген аспаптың бірінші орамында 4000 шумақ ал екінші орамында 20 шумақ болса, онда бірінші орамда кернеу 22 кВ болса, онда екінші орамдағы кернеу:

$$V_2 = V_1 \left(\frac{N_2}{N_1} \right) = (22000) \left(\frac{20}{4000} \right) = 110 \text{ В}$$

Келесі жаттығуларды орындаңыздар.

129-жаттығу. Трансформаторларға арналған қысқаша сұрақтар

1. Трансформатордың анықтамасы.
2. Трансформатордың екінші орамында кернеу қалай индукцияланады.
3. Трансформатордың символы сұлбада қалай белгіленеді.
4. Трансформатордағы кернеулердің қатынасы мен шумақтардың санының арасындағы байланысты түсіндіріңіз.
5. Трансформатордың қуаты қандай.
6. Трансформатордың жұмыс істеу принципін қысқаша түсіндіріңіз.
7. Бос жүріс режиміндегі трансформатордың векторлық диаграммасын салыңыз.
8. Трансформатордың э.қ.к. формуласын келтіріңіз.
9. Индуктивті жүктемесі бар мінсіз трансформатор үшін векторлық диаграмманы келтіріңіз.
10. Трансформатордың құрылысына байланысты екі түрін атаңыз.
11. Күштік трансформаторлар үшін қандай негізгі материалдар қолданылады.

12. Трансформаторлардың өзекшесін дайындайтын қандай үш материалды білесіздер.
13. Ток трансформатор мен кернеу трансформаторларының типтік пайдалынатын мақсаттарын айтыңыздар.
14. Трансформатордағы суыту қалай орындалады?
15. Бірінші орамның эквивалентті, активті және реактивті кедергілерін атаңыздар.
16. Трансформаторды реттеу деген нені білдіреді?
17. Трансформатордағы шығынның екі түрін атаңыздар.
18. Гистерезистегі шығын деген не? Трансформаторда осы шығыннан қалай құтылуға болады?
19. Құйынды ток деген не? Трансформаторларды оны қалай төмендетуге болады?
20. Трансформатордың п.э.к. қалай есептеліп табылады?
21. Трансформатор үшін максималды эффективтілік деген нені білдіреді?
22. Кедергінің сәйкестенуі деген мағынаны түсіндіріңіз.
23. Автотрансформатор дегеніміз не?
24. Трансформатор үшін эквивалентті кедергіні келтіру, егер жүктеменің кедергісі $R_{ж}$ ал трансформатор коэффициенті $N_1 : N_2$ болса.
25. Трансформаторды қолданатын жерлерді атаңыз.
26. Трансформаторлардың артықшылықтары мен кемшіліктері.
27. Автотрансформаторларды қолданатын жерлер.
28. Трансформатордың оқшаулануы деген не?
29. Үш фазалы трансформаторды түсіндіріңіз.
30. Ток трансформаторы не үшін керек?
31. Кернеу трансформаторы не үшін керек?
32. Үш фазалы трансформатордың құрылымы қандай?
33. Трансформатордың орамдары қалай бір бірімен жалғана алады?

130-жаттығу. Трансформатор (қысқаша сұрақтар)

1. Трансформатордың екінші орамының N_2 шумағының э.қ.к.-ің, магнит ағынының тығыздығы $-B_m$ -ның, өзекшенің магниттік аймақтарының және f жиілігінде жұмыс істейтін трансформатордың формулалары қандай:

(a) $E_2 = 4.44 N_2 B_m a f B$

(b) $E_2 = 4.44 \frac{N_2 B_m f}{a} B$

(c) $E_2 = \frac{N_2 B_m f}{a} B$

(d) $E_2 = 1.11 N_2 B_m a f B$

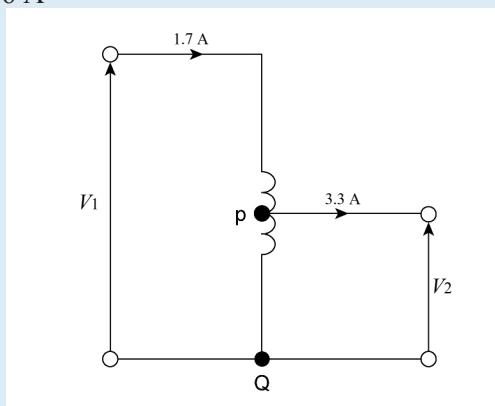
2. 21.22-суретте келтірілген автотрансформатордағы PQ секциясындағы токты табыңыз:

(a) 3.3 A

(b) 1.7 A

(c) 5 A

(d) 1.6 A



21.22-сурет

3. Жоғарлатқыш трансформатордың трансформатор коэффициенті 10. Егер шығыс ток 5 A болса, кіріс ток қандай болғаны:

(a) 50 A;

(c) 2.5 A;

(b) 5 A;

(d) 0.5 A

4. Кернеу қатынастары 440 В/110 В трансформатордың бірінші орамында 1000 шумақ бар. Екінші орамының шумағы қанша:
 - (a) 550
 - (b) 250
 - (c) 4000
 - (d) 25
5. Автотрансформатордың артықшылықтары:
 - (a) жоғарылатқыш коэффициенті өте жоғары
 - (b) болат шығыны кемиді
 - (c) мыс шығыны кемиді
 - (d) шумақтар арасындағы сыйымдылықты азайтады
6. 1 кВ/250 В трансформатордың екінші орамында 500 шумағы бар. Бірінші орамындағы шумақтардың саны қанша:
 - (a) 2000
 - (b) 125
 - (c) 1000
 - (d) 250
7. Трансформатордың өзекшесін оқшауландыру не себептен:
 - (a) гистерезистегі шығынды азайту үшін
 - (b) орамның индуктивтілігін кішірейту үшін
 - (c) құйын токтары әсерінен туатын шығынды азайту үшін
 - (d) құйындық тоқты болдырмас үшін.
8. Желі трансформаторының кіріс қуаты 200 Вт. Егер бірінші ток 2.5 А, екінші кернеу 2 В болса, трансформаторда шығын ескерілмесе, шумақтардың қатынасы қандай:
 - (a) 40:1 төмендетеді
 - (b) 40:1 жоғарлатады
 - (c) 80:1 төмендетеді
 - (d) 80:1 жоғарлатады
9. Трансформатордың бірінші орамында 800 шумақ, екінші орамында 100 шумақ оралған. Екінші орамнан 40 В кернеу алу үшін екінші орамға қанша кернеу түсірілуі керек:
 - (a) 5 В
 - (b) 320 В
 - (c) 2.5 В
 - (d) 20 В

Трансформатордың сипаттамасы: қуаты 100 кВ-А, кернеу қатынастары 250 В/10 кВ бір фазалы, толық жүктемелі, мыстың шығыны 800 Вт, болаттың шығыны 500 Вт. Бірінші орам 120 шумақтан тұрады. 10-16 сұрақтарға дейін келесі жауаптардан дұрысын тандап алыңыз:

- | | | |
|--------------|------------|---------------|
| (a) 81.3 кВт | (b) 800 Вт | (c) 97.32% |
| (d) 80 кВт | (e) 3 | (f) 4800 |
| (f) 1.3 кВт | (h) 98.40% | (i) 100 кВт |
| (j) 98.28% | (к) 200 Вт | (l) 101.3 кВт |
| (m) 96.38% | (n) 400 Вт | |

10. Толық бос жүрістің шығыны

11. Қуат коэффициенті 0.8 болғанда толық жүктемедегі шығыс қуаты

12. Қуат коэффициенті 0.8 ендеше шығыс қуатының п.э.к.

13. Трансформатор жартылай жүктелген, мыстың шығыны

14. Қуат коэффициенті 0.8 ендеше жартылай жүктемеде шығыс қуаты

15. Қуат коэффициенті 0.8 ендеше трансформатордың п.э.к.-і

16. Екінші орамадағы шумақтар саны нені білдіреді?

17. Төменгі сұрақтардың қайсысы дұрыс емес

(a) мінсіз трансформаторларда шумақтардағы кернеу осы берілген орам үшін тұрақты

(b) бір фазалы трансформаторларда гистерезистегі шығын жиілікке пропорционал

(c) екінші ток бірінші токпен салыстырғанда үлкен болса, онда ол жоғарылатқыш трансформатор

(d) трансформаторда құйын ток арқылы шығын төмендейді, егер өзекшені қабаттап жасаса

18. Трансформатордың коэффициенті 1:0.5 оған 200 В кернеу беріледі, бірінші тогы 3 А. Қандай тұжырым дұрыс емес.

(a) осы қатынас жоғарылатқыш трансформаторды көрсетеді

(b) екінші кернеу 40 В

(c) екінші ток 15 А

(d) трансформатордың номиналы 0.6 кВ-А

(e) екінші кернеу 1 кВ

(f) екінші ток 0.6 А

19. Трансформатордағы болат шығыны не себептен кездеседі:
- (a) тек құйын токтың әсерінен
 - (b) ағынның шығынынан
 - (c) құйын ток пен гистерезис тұзағының әсерлерінен
 - (d) бірінші және екінші орамдардың кедергілерінен
20. Ішкі эффективті кедергісі 10 Ом жүктеме күшейткішпен трансформатор арқылы сәйкестендірілуі керек. Трансформатор шумақтар сандарының қатынасының сипаттамасы 1:10. Қуатты максималды жүктемеге беру үшін кедергінің қажетті шамасы қандай:
- (a) 100 Ом
 - (b) 1 кОм
 - (c) 100 мОм
 - (d) 1 мОм

Тексеру тесті 6

Осы тесте 20, 21-тараулардың сұрақтары қамтылған әрбір сұрақтың жауаптары жақша ішінде берілген.

1. Үш бірдей орамы 40 Ом кедергісімен және 30 Ом индуктивтілік кедергісімен (1) жұлдызшалап (2) көректендіру көзі 400 В үшбұрыштап жалғанған. Әрбір жүйе үшін (a) сызықты және фазалық кернеуін (b) фазалық және сызықтық тогын (c) толық қуатын есептеңіз.
- (12)
2. Шығыс қуатын анықтау үшін екі ваттметр үш фазалы жүктемеге сәйкестендіру әдісімен жалғанған. Егер құралдар көрсекіші 10 кВт және 6 кВт болса, онда оған қажетті (a) қуатын (b) жүктемедегі қуат коэффициентін анықтаңыздар.
- (5)
3. Желіге мінсіз трансформатор шумағындағы кернеуі 250 В, көректендіру көзінің кернеуі 25 В шамның қуаты 200 Вт жалғанған. Трансформатордың қатынасын, тогын, көректендіру көзіне кеткен шығынын анықтаңыздар.
- (5)

4. Бір фазалы трансформатор үшін екінші орамда 200 кВА, 800 В/320 В, 50 Гц, 120 шумағы берілсін. (а) бірінші және екінші тоқты (b) бірінші шумақтағы орам санын (с) ағынның максималды мәнін анықтаңыздар.
(9)
5. Егер жүктемеде екінші кернеу клеммалары 194 В, ал бір фазалы трансформатор шумақтарының кернеуі 100 В/200 В болғандағы 8 кВА реттеу коэффициентін анықтаңыздар.
(3)
6. 500 кВА трансформатор деңгейі толық жүктеме үшін мыс шығыны 4 кВт және болат шығыны 3 кВт. Тиімді трансформатор үшін (а) толық жүктеме мен 0.80 қуат коэффициентін (b) жартылай жүктеме мен 0.80 қуат коэффициентін анықтаңыздар.
(10)
7. Егер трансформатор қатынасы 6:1, шығыс кедергісі 288 Ом күшейткішке жалғанған. Максималды қуатты қамтамасыз ету үшін жүктемедегі кедергінің тиімді мәнін анықтаңыздар.
(3)
8. Бір фазалы автотрансформатор 250 В: 250 В қатынасы бар және 15 кВА жүктемеде қоректендіру көзі 200 В. Мінсіз трансформаторды анықтау үшін әрбір токтың шумағын анықтаңыздар.
(3)

22-ТАРАУ

ТҰРАҚТЫ ТОК ЭЛЕКТР
МАШИНАЛАРЫ**Тараудың соңында меңгеретін сұрақтардың тізімі**

- Генератор мен қозғалтқыштардың айырмашылығын айыра білу
- Коммутация туралы түсінік
- Тұрақты ток машиналарының құрылысы
- Толқындық орам мен тұзақтық орамның айырмашылығы
- Тұрақты ток машиналарында параллель, тізбекті орамдарды жалғай білу
- Якорь реакциясы туралы түсінік
- Якорьдегі орамның индукцияланған э.к.к.-ін формуламен есептеу
 $E = 2p\Phi nZ/c$
- Тұрақты ток генераторының құрылысы мен сипаттамасы
- Генератордағы индукцияланған э.к.к.-н $E = V + I_a R_a$ формуламен есептеу
- Тұрақты ток генераторларын қолданатын жерлер
- Тұрақты ток машиналарының шығыны мен п.э.к.-ін есептеу
- Тұрақты ток машиналарының кері э.к.к.-ін $E = V - I_a R_a$ формуласы арқылы есептеу
- Қозғалтқыштың айналдырушы моментін $T = E I_a / 2\pi n$ мен $T = p\Phi Z I_a / \pi c$ формулалары арқылы есептеу
- Тұрақты ток қозғалтқыштарын сипаттау
- Тұрақты ток қозғалтқыштарының қолданатын жерлері
- Тұрақты ток машинасының стартеры
- Тұрақты ток машинасының қозғалтқышының жылдамдығын бақылау әдісі
- Тұрақты ток машинасының қозғалтқыштарының қаңқасының түрлері

22.1 Кіріспе

Өзінің қолданылу саласына қарай тұрақты токтың электр машиналары механикалық энергияны электр энергиясына түрлендіретін (яғни машинаның электр клеммаларына кернеу беріледі) электр **генераторлары** (генераторлар – электр энергиясының көзі болып табылады) және электр энергиясын механикалық энергияға түрлендіретін **электр қозғалтқыштары** деп бөлінеді. Бұл механикалық энергия іс жүзінде өндірісте қандай да болмасын орындаушы механизмдерді (станокты, жүкарбаны, трамвайды, троллейбусты, электрпойызды және т.б.) іске қосу үшін қызмет етеді.

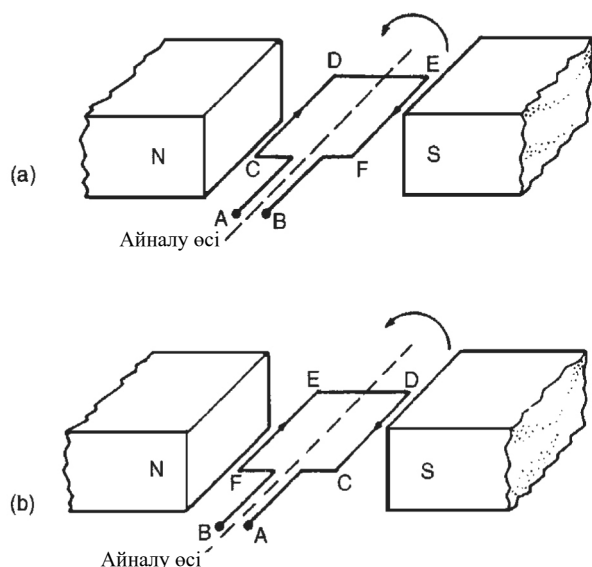
8.4-тарауда қозғалтқыштардың жұмыс істеу принциптері келтірілген болатын. Электр машинасының кірісіне механикалық энергия берілсе, (мысалы дизельдік қозғалтқыш білік арқылы машинамен жалғанған болса), онда машина өзінің шығысында электр энергиясын (машинаның электр шықпаларында пайда болатын кернеулер төмендетіледі) беретін болады және мұндай машинаны **генератор** деп атайды. Олай болса, генератор механикалық энергияны электр энергиясына түрлендіретін машина. 9.2-тарауда генератордың жұмыс істеу принциптері келтірілген.

22.2 Коммутатордың әсері

Электрқозғалтқыштарда өткізгіштер біртекті магнит өрісінде айналып тұрады. *22.1(a)-суретте* келтіргендей бір орамы бар өткізгіш екі тұрақты магниттің ортасына орналасқан. *22.1 (a)-суретте* көрсеткендей A және B нүктелеріне кернеу түсірілген.

Тұрақты екі магниттердің магнит өрісімен тұзақтың ішінен өтетін токтың әсерінен туатын магнит өрістерінің өзара әсері арқылы орамға әсер ететін F күші пайда болады. Бұл F күші I -ток күшіне, B -магнит өрісінің индукциясына (ағын тығыздылығына) және өткізгіштің тиімді ұзындығына тура пропорционал, яғни $F = Bil$. F күші екі бөліктен тұрады: біреуі тік төмен C -дан D -ға қарай аққан токтың әсерінен, ал екіншісі тік жоғары E -ден F -ке қарай (Флемингтің сол қол ережесіне сай) аққан токтың әсерінен. Егер тұзақ өзінің сол бағытында әрі қарай айнала беретін болса, онда ол осы еркін айналыстың әсерінен осьтен 180° градусқа бұрылып айналады, сондағы көрініс *22.2-суретте* келтірілген.

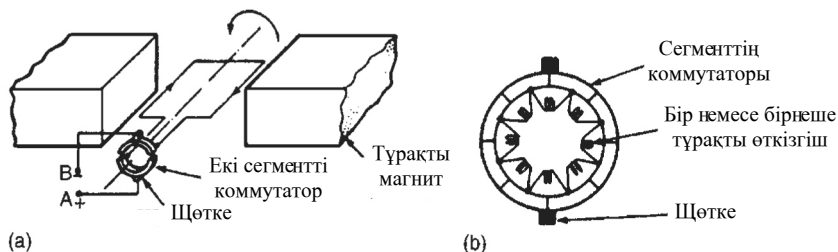
Айналу бағытын өзгертпей тура сол бағытта жалғастыру үшін *22.1(b)-суретінде* көрсеткендей ток енді D -дан C -ға және F -тен E -ге қарай кері



22.1-сурет

бағытта ағуы керек. Токтың ағу бағытымен сәйкестенетін мұндай кері бұрылым **коммутация** деп аталатын процеспен байланысты.

22.2(a)-суретке сүйене отырып, (a) *A* мен *B*-ға тұрақты токтың кернеуі берілсе, онда бір тұрақты өткізгіш айнала бастайды, сонда ток әруақытта (ток коммутатордан өткізгіштің бойымен тұрақты магниттің *N* полюсіне қарай ағады) тұрақты магниттің *N*-полюсінде күштік әсерді төмен қарай және (коммутатордан өткізгіштің бойымен тұрақты магниттің *S* полюсіне қарай ағады) *S*-полюсінде күштік әсерді жоғары қарай тудырады. Сонымен осы күштердің арқасында тогы бар орам сағат тіліне қарсы бағытта үнемі айналып отыруына мәжбүр болады. 22.2-суретте



22.2-сурет

көрсеткендей құрылғы (а) *екі сегментті коммутатор* деп аталады және стационарлы орналасқан щөткелер (әдетте көміртегі блоктары) арқылы айналмалы сегментке кернеу беріледі, сөйтіп, айналу кезінде мыстан жасалған коммутаторлар бойымен щөткелер жылжи бастайды. Тұрақты ток машиналарында іс жүзінде өткізгіштің көптеген түрлері кездеседі. Осы өткізгіштер көп сегментті коммутаторларға бекітілген. Көпсегментті коммутатордың сұлбасы *22.2(b)-суретте* келтірілген. Щөткелердің ұшқындануы машина коммутациясының кемшілігін білдіреді, керісінше коммутацияның жақсы жұмыс істеуі үшін ұшқынданудың мүлдем болмағаны жөн, сонда щөткелер сегментацияларда жақсы жалғанған болып есептеледі. Ұшқындану дәрежесі электр машиналарына арналған мемлекеттік стандарттық шкала бойынша бағаланады. Коммутацияның сапасы белгілі дәрежеде машинаның жұмыс істеу қабілетін мен оны пайдалануда үлкен сенімділікті анықтайды. Ұшқынның пайда болуы көптеген себептерге байланысты, мысалы коллектордың ұрылуы, оның эллипстілігі, бетінің бұжырлығы, коллектор пластиналарының және щөтке ұстағышының дірілі және т.б. Бұл себептердің бәріщөткелердің дірілдеуіне әкеледі, сондықтан қысқа уақытта щөтке мен коллектор түйіспесінде ажырау туады, нәтижесінде қысқа уақытта электр доғасы пайда болады. Осындай жағымсыз жағдайлардан құтылу үшін немесе оларды азайту үшін **қосымша полюстерді** (әрбір негізгі қостүйіспелер арасында орналасқан қосымша полюстер) енгізуге тура келеді. Ал мұндай өзгерістерді щөткенің кедергісін ұлғайтумен немесе коммутатордың бірнеше сегменттерімен жылжи алатын щөткелер арқылы жүзеге асыруға болады.

22.3 Тұрақты ток машиналарының құрылыстары

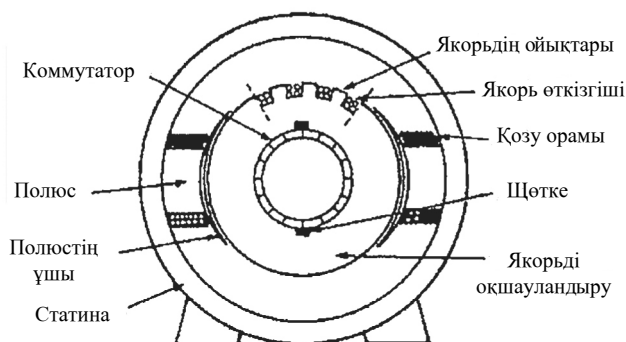
22.3-суретте тұрақты ток машиналарының негізгі бөліктері келтірілген:

(а) Қозғалмайтын негізгі бөлігі **статор** деп аталады және оның құрылысы:

(1) болаттан жасалған қозғалмайтын шығыршық – **тұғыр** деп аталады және оған келесі тетіктер бекітіледі:

(2) шығыршық бойымен орналасқан магниттік **полюстері** мен

3) **қоздыру орамдары** полюстің өзегіне өте көп өткізгіш оралған; осы өткізгіш арқылы ағатын ток электрмагнитті өрісті тудырады (*22.1 мен 22.1-суреттердегі* тұрақты магнит өрісінен өзгеше);



22.3-сурет

(b) машинаның айналмалы бөлігі **якорь**. Якорь мойынтірекке бекітіліп, статорда орналасады;

(4) болаттан немесе шойыннан қатталған цилиндр **өзек**, осы өзектің жиегінде ойылған тесіктерде өткізгіштер орналасқан;

(5) якорьдің орамдары, яғни бір немесе көп қабатты орамдар жүйесі;

(6) және коммутатор (22.2-тарауды қараңыз).

Орамның якорі коммутатормен жалғануына байланысты екі топқа бөлінуі мүмкін: **толқындық орамы** және **тұзақтық орамы**.

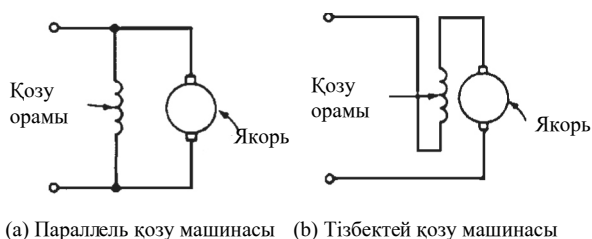
Станина – тұғыр, машинаның не білдектің қозғалмайтын бөлігі.

(a) Толқындық орамдар екі параллель орамнан тұрады. Поллюстер санына тәуелсіз секциялар тізбектей қосылған. Толқындық орамның әрбір орамы тізбекке тоқтың жартысын әкеледі (тасиды). Толқындық орамы бар электр машиналары шығысындағы ток өте төмен және кернеулері жоғары жағдайлар үшін қолданылады.

(b) Тұзақтық орам үшін секция топтары параллель орамдар құрайды, олардың саны машина поллюстерінің санына тең. Жалпы ток осы параллель поллюстарға тепе-тең бөлінеді. Мұндай генераторлар шығыс кернеуі өте төмен жағдайлар үшін үлкен ток өндіре алады.

22.4 Поллюстердің қозу орамдарын параллель, тізбектей және аралас жалғау

Тұрақты ток машинасының негізгі поллюстерінің қозу орамдары якорьдің орамымен параллель қосылса, 22.4-суретте көрсеткендей мұндай машина **параллельді қозу машинасы** деп аталады. Ал егер 22.4(b)-суретте көрсетілгендей негізгі поллюстердің қозу орамдары



22.4-сурет

якорьдің орамымен тізбектей жалғанса, онда мұндай машинаны **тізбектей козу** машинасы деп атайды. Машинаның полюстерінің козу орамдары бірімен-бірі тізбектей де және параллель де жалғана алады, онда мұндай жалғануды **аралас козу** деп атайды. Аралас козу типтес машиналарында магнит ағыны екі орам арқылы, яғни параллель және тізбектей жүзеге асырылады. Мұндай машиналар күрделі (компаундты) электр машиналарына жатады.

Электр машинасының жалғану түріне сай, яғни тізбектей ме, параллель ме, әлде аралас па, жүктеме түскен кезде олардың қасиеттерінің сипаттамалары әртүрлі болып отырады. Әр түрлі шарттарға байланысты тұрақты ток машиналарының іс-әрекеті график түрінде келтіріледі, оларды қисықтық сипаттамалар немесе жәй ғана **сипаттамалар** деп атайды. Тарауларда келтірілген сипаттамалар теоретикалық болып келеді, себебі олар якорь реакциясының әсерін ескермейді (бос жүріс).

Якорь реакциясының әсері – дегеніміз якорь орамының магнит өрісін тудыруы. Генератор ретінде жұмыс істеген машинада якорь реакциясы нәтижесінде шығыс кернеуі төмендейді, ал қозғалтқыш түрінде істеген машинада якорь реакциясының нәтижесі айналу жылдамдығының ұлғаюына әкеледі.

Якорь реакциясының әсерін жеңу үшін магниттік өрісті компенсациялау қажет (полюстің бетіндегі паздарда орналасқан орамдарды компенсациялау деген сөз).

22.5 Якорь орамындағы өндірілген экк

Z = якорь орамының саны,

Φ = бір козу полюсінің магнит ағыны (Вебермен берілген),

p = полюстер жұбының саны

n =якорьдің айналу жылдамдығы (айн/с).

Якорь орамында өндірілген э.к.к. параллель тармақтың біреуінде өндірілетін э.к.к. эквивалентті. Әрбір өткізгіш бір айналымда $2p$ полюсті қиып өтеді, сөйтіп бір айналымды $2p\Phi$ вебер козудың магнит ағынын қиып өтеді. Сондықтан бір секундта $= 2p\Phi n$ магнит ағыны қиып өткенде орташа э.к.к. өндіріледі. Мұндай орташа э.к.к. якорь орамының бір активті өткізгішінде қозады және келесі формуламен анықталады:

$$2 p \Phi n B$$

(1 вольт=секундына 1 веберді білдіреді).

c оң және теріс щөткелерден өтетін өткізгіштердің параллель секцияларының саны болсын.

$c = 2$ толқындық орам үшін,
 $c = 2p$ тұзақтық орамдар үшін.

Әрбір паздағы тізбектей жалғанған өткізгіштер саны $= Z/c$.

Щөткелер арасында жалпы э.к.к. $= 2pn\Phi/c$

Ендеше өндірілген э.к.к.

$$E = 2p\Phi n Z / c \quad (1)$$

Z, p және c машиналар үшін тұрақты шамалар болғандықтан

$$E \propto \Phi n \quad (2)$$

Алайда, $2\pi n$ бұрыштық шама болғандықтан, ω радиан секундпен өлшенеді, олай болса, э.к.к. өндірілген Φ пен ω пропорционал.

1-есеп. 8-өсті толқындық түрде қосылған якорь орамында 600 өткізгіш бар, айналу жылдамдығы 625 айн/мин, онда полюстегі ағын 20 мВб болса, қанша э.к.к. өндірілетінін анықтаңыз.

$Z = 600, c = 2$, (толқындық түрде жалғанған якорь орамы) $p = 4$ жұп, $n = 625/60$ айн/с, және $\Phi = 20 \times 10^{-3}$ Вб

Өндірілген э.к.к.-нің E кернеуі,

$$E = 2 p \Phi n Z / c = \frac{2(4)(20 \times 10^{-3}) \left(\frac{625}{60} \right)}{2} = 500 \text{ В}$$

2-есеп. 4 полюсті генератор якорінің тұзақтық орамының 50 ұясы бар, әрбір ұяда 16 өткізгіш оралған. Полюстегі пайдалы ағынның шамасы 30 мВб. 240 В э.к.к. өндіру үшін машина қандай жылдамдықпен айналуы қажет?

$$E = 240 \text{ В}, c = 2p \text{ тұзақтық орам үшін, } Z = 50 \times 16 = 800 \quad \Phi = 30 \times 10^{-3} \text{ Вб}$$

Сонда өндірілген э.к.к.-і тең:

$$E = 2 p \Phi n Z / c = \frac{2 p \Phi n Z}{2 p} = \Phi n Z$$

Осы өрнекті түрлендіре отырып, жылдамдықты табуға болады:

$$n = \frac{E}{\Phi Z} = \frac{240}{(30 \times 10^{-3})(800)} = 10 \text{ айн} / c \text{ немесе } 600 \text{ айн/мин}$$

3-есеп. 8-полюсті тұзақтық орамы бар якорьдің 1200 өткізгіші бар, полюстегі ағыны 0.03 Вб-ге тең. Машинаның айналу жылдамдығы 500 айн/мин тең болғанда өндірілетін э.к.к. есептеңіз.

Өндірілетін э.к.к.,

$$E = \frac{2 p \Phi n Z}{c} = \frac{2 p \Phi n Z}{2 p} = \Phi n Z$$

тұзақтық орамы бар якорь үшін, осыдан,

$$E = \Phi n Z = (0.03) \left(\frac{500}{60} \right) (1200) = 300 \text{ В}$$

4-есеп. Егер якорь толқындық ораммен жалғанса, 3-есептегі шартты пайдалана отырып, қанша э.к.к. өндірілгенін есептеңіз.

Өндірілген E э.к.к.-і:

$$E = 2 p \Phi n Z / c = \frac{2 p \Phi n Z}{2 p} = \Phi n Z$$

толқындық ораммен жалғану үшін $c = 2$

Олай болса,

$$= p \Phi n Z = (4)(\Phi n Z) = (4)(300) = 1200 \text{ В}$$

5-есеп. Параллель жалғанған тұрақты ток генераторы тұрақты жылдамдықпен айнала отырып, қозу тогының тұрақты мәнінде 150 В кернеуді өндіре алады. Егер қозу тогы 20% кемісе және магнит ағынын қозу тогына пропорционал деп алғанда өндірілетін кернеудің өзгеру шамасын табыңыз.

Сонымен өндірілген э.к.к.-нің E -сі $\Phi \omega$ -ға, яғни Φn -ге пропорционал, мұндағы Φ – магнит ағыны, n – айналу жылдамдығы. Осыдан $E = k \Phi n$, мұндағы k – тұрақты.

n_1 жылдамдығы мен Φ_1 үшін, $E_1 = k \Phi_1 n_1$

n_2 жылдамдығы мен Φ_2 үшін, $E_2 = k \Phi_2 n_2$

Енді екі теңдеулерді бір-біріне бөлеміз:

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{k \Phi_1 n_1}{k \Phi_2 n_2} = \frac{\Phi_1 n_1}{\Phi_2 n_2}$$

Бастапқы шарттар бойынша $E_1 = 150 \text{ В}$, $\Phi = \Phi_1$, $n_1 = n_2$. Ағынды 20 пайызға азайтса, 80/100 немесе 0.8 алғашқы мәнінен кіші, олай болса жаңа ағын $\Phi = 0.8 \Phi_1$. Егер генератор үшін жылдамдықтар тұрақтысын $n_1 = n_2$ деп алсақ, онда

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{\Phi_1 n_1}{\Phi_2 n_2} = \frac{\Phi_1 n_1}{0.8 \Phi_1 n_2} = \frac{1}{0.8},$$

олай болса,

$$E_2 = 150 \times 0.8 = 120 \text{ В}.$$

Ендеше ағынның шамасы 20 пайызға кішірейгенде өндірілетін э.к.к.-ің шамасы да **150 В-тан 120 В дейін** азаяды.

6-есеп. Тұрақты ток генераторының айналу жылдамдығы 30 айн/с сонда ол кернеуі 200 В э.к.к.-ін өндіре алады. Енді осы генератор кернеуі 250 В э.к.к.-ін өндіру үшін жылдамдығы 20 айн/с болғанда полюстегі ағын қанша пайызға ұлғаяды?

(2) теңдеуден $E \propto \Phi \omega$ өрнек арқылы өнділілетін э.к.к.-ін табамыз, сонда

$$\omega = 2\pi n, E \propto \Phi n$$

$$E_1 = 200 \text{ В}, n_1 = 30 \text{ айн/с} \text{ болсын,}$$

сонда осындай жылдамдықта әрбір полюстегі ағын Φ_1 -мен сипатталынады.

$$E_1 = 250 \text{ В}, n_2 = 20 \text{ айн/с} \text{ болсын,}$$

сонда осындай жылдамдықта әрбір полюстегі ағын Φ_2 -мен сипатталынады

$$\text{Сонда} \quad E \propto \Phi \omega$$

$$\text{осыдан} \quad \frac{E_1}{E_2} = \frac{\Phi_1 n_1}{\Phi_2 n_2}$$

$$\frac{200}{250} = \frac{\Phi_1 (30)}{\Phi_2 (20)}$$

$$\Phi_2 = \frac{\Phi_1 (30)(250)}{(20)(200)} = 1.875 \Phi_1$$

Олай болса полюстегі ағынның ұлғаюы 87.5 %тең болғаны.

Келесі жаттығуларды орындаңыздар

131-жаттығу. Э.Қ.К. өндіруге есептер

1. Тұрақты ток машинасындағы 4-полюсті толқындық түрде жалғанған якорьдің 750 өткізгіші бар және айналу жылдамдығы 720 айн/мин. Егер полюстағы пайдалы ағын 15 мВб болса, қанша э.к.к. өндіріледі?

[270 В]

2. 6 полюсті генератордың 40 ұясы бар, оның әр бір ұясында 20 өткізгіш якорьге оралған. Полюстегі ағынның шамасы 25 мВб. Машина кернеуі 300 В э.қ.к. өндіргенде оның жылдамдығы қандай болуы керек?

[15 айн/с немесе 900 айн/мин]

3. Тұрақты ток машинасының 4 полюсті якорінің 1000 өткізгіші бар, полюстегі ағын шамасы 20 мВб. Якорь үшін (а) толқындық орам арқылы; (б) тұзақты орам арқылы 600 айн/мин жылдамдығындағы өндірілген э.қ.к. есептеңіз.

[(а) 400 В (б) 200 В]

4. Тұрақты ток генераторы кернеуі 150 В э.қ.к.-ін өндіргенде оның жылдамдығы 25 айн/с. Енді осы генератор үшін жылдамдығы 20 айн/с пен кернеуі 180 В э.қ.к.-ін өндіргендегі ағынның неше пайызға ұлғайғанын анықтаңыз.

[50%]

22.6 Тұрақты ток генераторы

Тұрақты ток генераторларын олардың полюстерінің магнит өрістерінің қозу әдістеріне байланысты жүйелеп келесі топтарға бөледі:

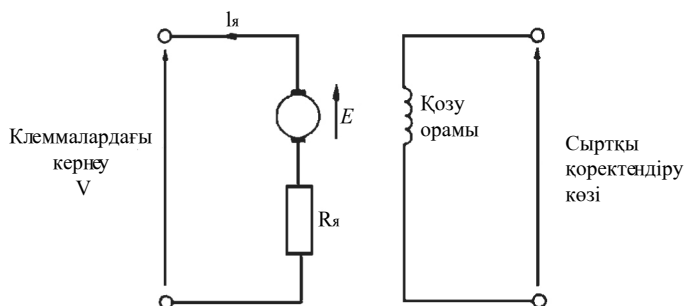
- 1. Қозуы тәуелсіз генераторларда** магниттік ағын тұрақты ток көзі арқылы қоректені алатын қозу орамымен өндіріледі.
- 2. Өздігінен қозу генераторларында** полюстердің орамдары генератордың өз кернеуімен қоректенеді.

Қозу орамын сұлбаға қосу түріне сай генераторларды параллель, тізбекті және аралас қозу генераторлары деп ажыратады.

22.7 Тұрақты ток қозғалтқыштарының типтері мен сипаттамалары

(а)Тәуелсіз қозу генераторы

Тәуелсіз қозу генераторының әдеттегі танымалы сұлбасы 22.5-суретте келтірілген. Жүктеме якорьдің клеммаларына жалғанғанда, одан ток аға бастайды. Ал кернеу якорьдің кедергісіне сай $R_{\text{я}}$ шамасына төмендейді.



22.5-сурет

Клеммадағы кернеу

$$V = E - I_a R_a$$

немесе

Өндірілген э.к.к.-ің кернеуі

$$E = V + I_a R_a \quad (3)$$

7-есеп. Егер генератор 200 В э.к.к. өндірсек және оның якорь тогы 30 А-ге тең болса, якорь кедергісін 0.30 Ом деп алып, генератордың клеммаларындағы кернеудің шамасын анықтаңыз.

22.5-суретке сай клеммалардағы кернеу

$$V = E - I_a R_a = 200 - (30)(0.30) = 200 - 9 = 191 \text{ В}$$

8-есеп. Генератор кедергісі 60 Ом жүктемеге жалғанған және ток күші 10 А. Егер якорьдің кедергісі 1 Ом болса, (а) клеммалардағы кернеуді; (б) өндірілген, яғни индукцияланған э.к.к.-ін анықтаңыз.

Клеммалардағы кернеу:

$$V = I_a R_{\text{ж}} = (8)(60) = 480 \text{ В}$$

Өндірілген э.к.к., (3) теңдеуден,

$$E = V + I_a R_a = 480 + (8)(1) = 488 \text{ В}$$

9-есеп. Тәуелсіз қозу генераторы жүктемесіз 150 В э.қ.к. өндіре алады. Сондағы якорь жылдамдығы 20 айн/с, бір полюстегі магнит ағыны 0.1 Вб. Келесі шарттар үшін: (а) айналу жылдамдығы 20 айн/с және полюстегі ағын тұрақты; (b) айналу жылдамдығы 20 айн/с және полюстегі ағын 0.08 Вб-ге кішірейгенде; (с) айналу жылдамдығы 24 айн/с және полюстегі ағын 0.07 Вб-ге кішірейгенде э.қ.к.-ін анықтаңыз.

22.5-тараудан $E \propto \Phi$.

Осыдан

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{\Phi_1 n_1}{\Phi_2 n_2}.$$

Олай болса

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{\Phi_1 n_1}{\Phi_2 n_2},$$

олай болса

$$\frac{150}{E_2} = \frac{(0.10)(20)}{(0.1)(25)}.$$

$$E_2 = \frac{150(0.10)(25)}{(0.10)(20)} = 187.5 \text{ В}$$

$$\frac{150}{E_3} = \frac{(0.10)(20)}{(0.08)(20)}$$

Осыдан э.қ.к.,

$$E_3 = \frac{150(0.08)(20)}{(0.10)(20)} = 120 \text{ В}$$

с)

$$\frac{150}{E_4} = \frac{(0.10)(20)}{(0.07)(24)}$$

Осыдан э.қ.к.:

$$E_4 = \frac{150(0.07)(24)}{(0.10)(20)} = 126 \text{ В}$$

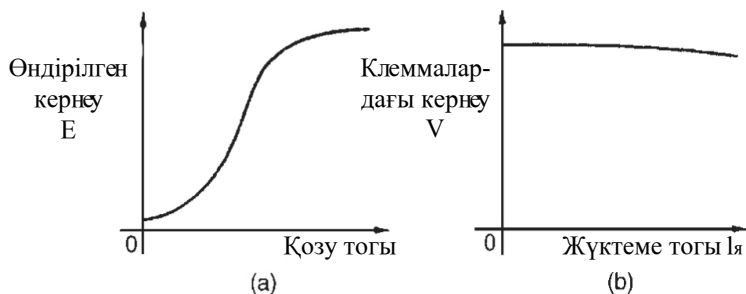
Сипаттамалар

Генераторлардың негізгі екі түрлі сипаттамалары белгілі: **бос жүріс (ажыратылған тізбек) сипаттамасы** өндірілген кернеудің қозу тогына қатынасымен анықталады, яғни: генератордың «э.к.к./қозу тогы» және **жүктеме (сыртқы) сипаттамасы** клеммалардағы кернеудің жүктеме тогына қатынасымен анықталады, яғни «клеммалардағы кернеу/жүктеме тогы». Әдеттегі қозуы тәуелсіз генератордың бос жүрісінің сипаттамасы 22.6(a)-суретте келтіріліген. Ал әдеттегі генератордың жүктемелі сипаттамасы 22.6 (b)-суретте келтірілген.

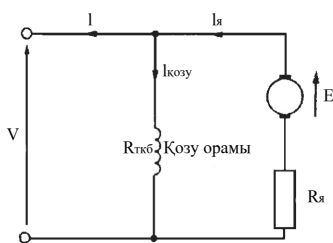
Сыртқы қозуымен сипатталатын генераторлар практикада тек потенциалдар айырымының үлкен мәндері қажет болған ерекше жағдайларда ғана немесе қозу тогын дәл нақты басқару кезінде ғана қолданылады. Мұндай генератордың ыңғайсыз жеріне, яғни кемшілігіне тұрақты қоректендіру ток көзін жеке бөлек жерде орнату керектілігі жатады.

(b) Қозу орамын параллель жалғау

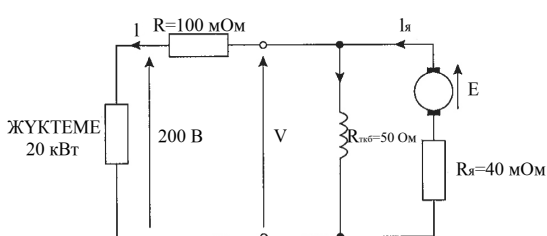
Қозу орамын якорь орамына параллель жалғау 22.7-суретте келтірілген. Қозу орамы салыстырмалы түрде өте жоғары кедергімен сипатталады және сондықтан оның ток күші якорь ток күшінің тек өте кішкентай бөлігін ғана құрайды.



22.6-сурет



22.7-сурет



22.8-сурет

22.7-суреттегі сұлба үшін
Клеммадағы кернеу

$$V = E - I R_я$$

немесе

өндірілетін э.қ.к., $V = E + I R_я$

Кирхгоф заңы бойынша $I_я = I_{козу} + I$, мұндағы $I_я$ якорь тогы, $I_{козу}$ – козу тогы ($= V/R_я$) және I – жүктеме тогы.

10-есеп. Параллель козу генераторы кедергісі 100 мОм кабель арқылы кернеуі 200 В, қуаты 20 кВт жүктемені қоректендіреді. Қозу орамының кедергісі $R_{козу} = 50$ Ом және якорь кедергісі $R_я = 40$ Ом. Сонда (а) клеммадағы кернеуді; (б) якорьдегі өндірілген э.қ.к.-ін анықтаңыз.

(а) 22.8-суреттегі сұлба бойынша жүктемедегі ток күші,

$$I = \frac{20000}{200} = 100 \text{ А}$$

Жүктемеге дейінгі кабельдегі кернеудің түсуі =

$$IR = (100)(100 \times 10^{-3}) = 10 \text{ В}$$

Контакттағы кернеу,

$$V = 200 + 10 = 210 \text{ В}$$

Якорьдегі ток күші

$$I_я = I_{козу} + I$$

Қозу орамының ток күші

$$I_{\text{козу}} = \frac{V}{R_{\text{козу}}} = \frac{210}{50} = 4.2 \text{ А}$$

Олай болса

$$I_{\text{я}} = I_{\text{козу}} + I = 4.2 + 100 = 104.2 \text{ А}$$

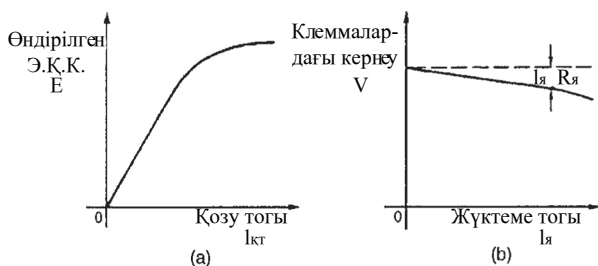
Өндірілген, яғни индукцияланған э.қ.к.

$$E = V + I_{\text{я}} R_{\text{я}} = 210 + (104.2)(40 \times 10^{-3}) = 210 + 4.168 = 214.17 \text{ В}$$

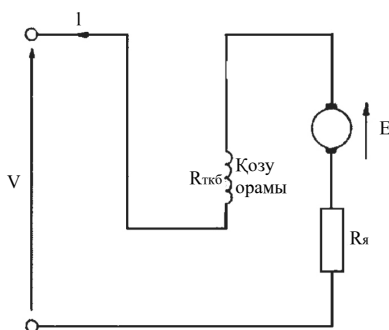
Сипаттамалар

Индукцияланған э.қ.к.-і $\Phi \omega$ пропорционал (22.5-тарауды қараңыз). Олай болса $\omega = 2\pi$ болғандықтан жылдамдық тұрақты, сонда $E \propto \Phi$. Генератордың магнит өткізгіштігінің магниттік қанығуына дейін Φ -магниттік ағын $I_{\text{козу}}$ қозу тогына пропорционал болады. Сондықтан, бос жүрістің сипаттамасы, яғни э.қ.к.-ің қозу тогынан тәуелділігі 22.9 (а)-суреттен келтірілген.

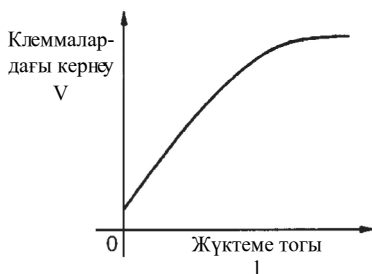
Генераторға жалғанған жүктеме тогы тұрақты қозу тогына ие болысымен және үнемі ұлғайып отыратын жылдамдықта жұмыс істесе, якорь тогының мәні ұлғаяды, сол себептен якорь кернеуінің түсуі төмендеп, $I_{\text{я}} R_{\text{я}}$ ұлғаяды. Өндірілген э.қ.к.-ің кернеуі клеммалардағы кернеуден артық, сондықтан якорь тізбегі үшін кернеу келесі формуламен анықталады: $V = E - I_{\text{я}} R_{\text{я}}$. Осы теңдеудегі индукцияланған E э.қ.к.-і тұрақты болғандықтан V -клеммадағы кернеу жүктеме ұлғайған сайын кемиді. Жүктеменің сипаттамалары 22.9-суретте келтірілген. Практикада параллель қозумен сипатталған көпшілік генераторлар үшін кернеудің түсуі жүктемені жалғағандағы жұмыстың бос жүрісімен салыстырғанда 10% құрайды.



22.9-сурет



22.10-сурет



22.11-сурет

Параллель қозу генераторлары практикада өте кең қолданылады. Алайда жүктеменің тогы белгілібір шамамен шектеліп отырады. Мұндай шектелу генератордың клеммаларында кернеудің тым асып кетпеуі үшін істелінеді. Әдеттегі мысал ретінде автокөліктердегі аккумулятордың батареяларын зарядтағанда пайдаланатын генераторды келтіруге болады.

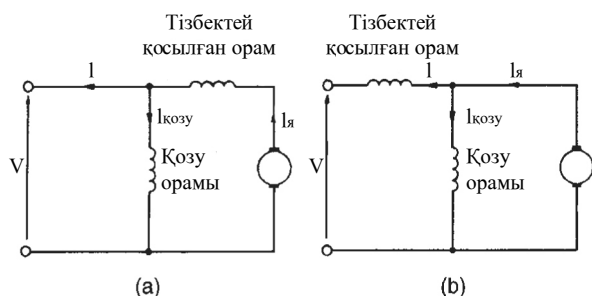
(с) Тізбектей жалғанған генераторлар

Тізбектей жалғанған генераторда қозу орамы мен якорьдің орамы тізбектей жалғанғаны 22.10-суреттегі сұлбада келтірілген.

Сипаттамалар

Жүктеменің сипаттамалары «кернеу/ток» клеммаларында келтіріледі. Индукцияланған E -э.қ.к.-і $\Phi\omega$ мен пропорционал, сондықтан $\omega (=2\pi n)$ айналу жылдамдығы тұрақты. Олай болса, E индукцияланған э.қ.к.-і Φ -ағынына пропорционал болғаны. Магнит өткізгішінің, полюстардың, якорь өзегінің, ауа саңлауының магниттік қанығуынан төмен токтың мәндері үшін Φ магнит ағыны токқа пропорционал, олай болса $E \propto I$. Магниттік қанығуға қажетті ток күшінің артық мәндері үшін э.қ.к. жуықтап алғанда тұрақты шама болып келеді. Генераторды тізбектей қосқанда қозу кедергісі мен якорь кедергілерінің шамалары болмашы, олай болса клеммалардағы V кернеу E -э.қ.к.-не тең болып келеді. Осындай тізбектей қосылған генератордың типтік сипаттамасы 22.11-суретте келтірілген.

Тізбектей қосылған генератордың қозу орамы якорьмен тізбектей қосылған, сондықтан тізбек үзілген кезде қозу тогын ала алмағандықтан бос жүріс режимінде сипаттамаларды алу мүмкін емес.



22.12(a,b)-сурет

Практикада тізбектей қосылған генераторды жиі қолданбайды, алайда мұндай генераторларды электр беру желілерінде тұрақты тоқты беру үшін «бастапқы қозғалтқыш» немесе күшейткіш ретінде қолданылады.

(d) Аралас қозу генераторлар

Қозу орамдары аралас генераторларда орамдар параллель де, тізбектей де бір-бірімен жалғана алатыны суреттегі сұлбада келтірілген. Мұндай сұлбаларда осы екі түрлі жалғасудың да артықшылықтары пайдаланылады. Аралас қозу генераторында параллель қозу орамы қоректендіру көзіне тікелей қосылғаны 22.12 (a)-суретте келтірілген, ал 22.12 (b)-суретте орамның екі түрі де тікелей қоректендіру көзіне жалғанған. Мұндай соңғы жалғануды тұрақты ток генераторы үшін қолданылады.

11-есеп. Екі түрлі орам да тікелей қоректендіру көзіне жалғанған және генератор 80 A токпен және 200 В кернеумен қоректенсін. Егер қозу орамының кедергісі $R_{\text{қозу}} = 40 \text{ Ом}$ болса тізбектей жалғанған орамның кедергісі $R_{\text{тзб}} = 0.04 \text{ Ом}$ және якорь орамының кедергісі $R_{\text{я}} = 0.04 \text{ Ом}$. Сонда қанша э.қ.к. индукцияланады?

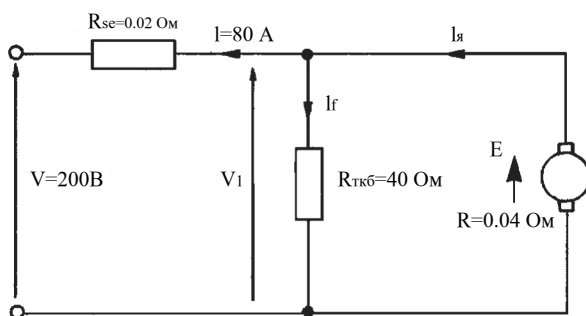
22.13-суретте сұлба келтірілген.

Тізбектей жалған орамдағы кернеудің түсуі тең,

$$= IR_{\text{тзб}} = (80)(0.02) = 1.6 \text{ В}$$

Қозу орамының потенциалдар айырымы

$$= V_1 = 200 + 1.6 = 201.6 \text{ В}$$



22.13-сурет

Қозу орамының ток күші

$$I_{\text{қозу}} = V_1 / R_{\text{қозу}} = 201.6 / 40 = 5.04 \text{ A}$$

Якорь орамының ток күші

$$I_{\text{я}} = I + I_{\text{қозу}} = 80 + 5.04 = 85.04 \text{ A}$$

Индукцияланған E Э.Қ.К.-і

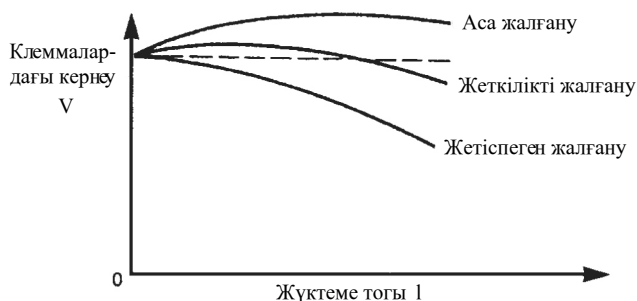
$$\begin{aligned} E &= V_1 + I_{\text{я}} R_{\text{я}} = 201.6 + (85.04)(0.04) = \\ &= 201.6 + 3.4016 = 205 \text{ В} \end{aligned}$$

Сипаттамалар

Аралас қозу машиналарында параллель және тізбектей қосылған орамдардың магниттік ағындары бір-бірімен жалғанады. Осындай генераторлардың тобына тізбектей жалғанған орамдағы шумақ санына байланысты шығысындағы кернеуі тұрақты аралас қозу генераторының үш түрін келтіруге болады: асып түсетін, бірдей, жеткіліксіз.

Тізбектей қосылған орамның құрамындағы шумақ саны өте көп болса, аралас сипаттама асып түседі (оны 22.14-суреттен байқауға болады), сонда толық жүктеменің клеммаларындағы кернеу бос жүрістегі кернеуден асып түсетін болады. Ал араласы бірдей машиналарда клеммалардағы кернеу толық жүктеме мен бос жүріс кезіндегі кернеумен бірдей екені 22.14-суреттен көруге болады.

Араласы жеткіліксіз машиналардың клеммаларындағы кернеу толық жүктеме кезі мен бос жүрістегі кернеумен салыстырғанда кемдеу болатыны 22.14-суретте келтірілген. Алайда осындай сипаттамамен



22.14-сурет

берілген генератордың өзі бір параллель қозу генераторымен салыстырғанда әлдеқайда артық.

Келесі жаттығуды орындаңыздар.

132-жаттығу. Тұрақты ток генераторларына қосымша есептер

1. Генератор э.к.к.-ті 240 В кернеуден өндіретін болсын және жүктемеде оның якорь тогы 50 А-ге тең, сонда оның клеммаларындағы кернеу қандай? Якорь кедергісі 40 мОм.

[238 В]

2. Генератор кедергісі 50 Ом жүктемеге және 10 А ток қосылған. Анықтаңыз: (а) клеммадағы кернеуді; (b) индукцияланған э.к.к.-ін.

[(a) 500 В (b) 505 В]

3. Тәуелсіз қозу генераторы бос жүрісте 180 В кернеуден э.к.к. өндіре алады, сондағы якорь айналымының жылдамдығы 15 айн/с және полюстегі ағын 0.20 Вб. Қанша э.к.к. индукцияланған есептеңіз егер:

(а) полюстегі ағын өзгеріссіз тұрақты болып қалады, ал айналу жылдамдығы 20 айн/с дейін ұлғайса;

(b) якорь орамының айналу жылдамдығы 15 айн/с өзгеріссіз қалады, ал полюстегі ағын 0.125 Вб-ге дейін кемісе;

(с) айналу жылдамдығы 25 айн/с дейін ұлғайып, полюстегі ағын 0.18 Вб-ге дейін кемісе.

[(a) 240 В (b) 112.5 В (с) 270 В]

4. Кабельдің кедергісі 0.2 Ом арқылы параллель қосылған генератор 50 кВт қуатты 400 В кернеумен жүктемені қоректендіреді. Егер қозу орамының кедергісі 50 Ом, ал якорь орамының кедергісі 0.05 Ом болса, онда анықтаңыз (а) клеммалардағы кернеуді; (b) якорьдегі индукцияланған э.қ.к.-н.

[(a) 425В (b) 431.68В]

5. Аралас генераторы 300 В кернеуден 50 А токты береді. Егер қозу орамының кедергісі 30 Ом, якорь орамының кедергісі 0.05 Ом, тізбектей қосылған орамның кедергісі 0.03 Ом болса, қанша э.қ.к. индукцияланған екенін анықтаңыз?

[304.5 В]

6. Айналу жылдамдығы 700 айн/мин, полюстегі ағын 120 мВб шарты үшін тұрақты ток генераторы 210 В вольтқа сәйкес қанша э.қ.к. өндірген?

(а) ағын тұрақты болып қалады, ал айналу жылдамдығы 1050 айн/мин ұлғайса;

(b) тұрақты жылдамдықпен ағын 1/6 бөлікке кемісе;

(с) ағынның жылдамдығы 132 мВб ал айналу жылдамдығы 1155 айн/мин дейін ұлғайса.

[(a) 315В(b) 175 В,](с) 381.2 В]

7. Тұрақты ток генераторы 250 В кернеу үшін якорь орамының кедергісі 0.1 Ом. Егер генератордың қозу тогын ескермегенде ол 50 кВт қуатты берсе, индукцияланған э.қ.к. қандай болады?

[270В]

22.8 Тұрақты ток машиналарының шығындары

22.1-тарауында көрсетілгендей генератор дегеніміз – механикалық энергияны электр энергиясына айналдыра алатын машина. Ал қозғалтқыш

электр энергиясын механикалық энергияға айналдыра алатын машина. Энергиялар бір түрден басқа түрге өзгергенде міндетті түрде осындай құбылыстар кездесіп отырады, оны **шығындар** деп атайды, мысалы жылу түріндегі шығындар сияқты.

Электр машиналарындағы негізгі шығындар:

Якорь орамының және полюстегі қозу орамдарының қызуы нәтижесіндегі пайда болған жылу шығындары; (**Мыс шығыны** деп аталады, себебі орамдар мыс сымдарынан жасалған);

Тұғыр мен якорьдің қызуы, тұғыр мен якорь орамдарының қайта магниттелу кезіндегі шығындар, яғни гистерезис кезіндегі шығындар мен орамда туатын құйын токтардың әсерінен пайда болатын шығындар. (**Магнит жүйесіндегі шығындар** деп аталады) Мұндай шығындарды азайтуға болады. Ол үшін гистерезистегі шығыны төмен және меншікті кедергісі өте жоғары болатын ерекше сортынан якорьды жасау қажет. Тұғырды қайта магниттегенде айналу жылдамдығы тұрақты болған жағдайда шығын да тұрақты.

Машинаның әртүрлі бөліктерінің **ауамен** үйкеліс кедергілерінің әсерінен және щөткелердің үйкеліс кедергілерінің әсерлерінен туатын шығындар да кездеседі. Машинаның айналу жылдамдығы тұрақты болған жағдайда мұндай шығындар да өзгеріссіз тұрақты болып қала береді.

Щөткелердің коммутаторға жалғанған жерінде де шығындар туып отырады. Шығынның мұндай түрі жүктеменің ток күшіне пропорционал.

Машинаның жалпы шығыны айтарлықтай болуы мүмкін және машинаның пайдалы әсер коэффициентінің шамасы 80-90% құрайтын болады.

22.9 Тұрақты ток генераторының пайдалы әсер коэффициенті

Электрлік машинаның пайдалы әсер коэффициенті шығыс қуаттың кіріс қуатқа қатынасымен алынып, процентпен беріледі. Грек әрпі «η (эта)» тиімділікті белгілеу үшін қолданылады. Пайдалы әсер коэффициентінің өлшем бірлігі жоқ.

$$\eta = \left(\frac{\text{шығыс қуаты}}{\text{кіріс қуаты}} \right) \times 100\%$$

Егер якорь тізбегінің кедергісі (оған щөткенің үйкеліс кедергісі де енеді) $R_{я}$ болса, онда якорь тізбегінде **жалпы шығындар** $I_{я}^2 R_{я}$ -ге тең болады.

Егер клеммалардағы кернеу V және параллель қозу кезіндегі $I_{қозу}$ қозу тогы болса, онда параллель қозу кезіндегі шығын келесі формуламен анықталады,

$$I_{қозу} V$$

Егер магнит жүйесіндегі шығындар мен ауамен үйкелісінен туатын шығындардың қосындысын C деп белгілесе, онда жалпы шығынның формуласын келесі түрде келтіруге болады:

$$I_{я}^2 R_{я} + I_{қозу} V + C,$$

олай болса іс жүзінде **орам шығындары**, яғни «**мыс шығыны**»

$$I_{я}^2 R_{я} + I_{қозу} V$$

өрнегімен сипатталады.

Егер шығыс тогы I болса, онда **шығыс қуаты** VI . Сонда толық пайдаланылатын қуат $= VI + I_{я}^2 R_{я} + I_{қозу} V + C$, сондықтан пайдалы әсер коэффициенті:

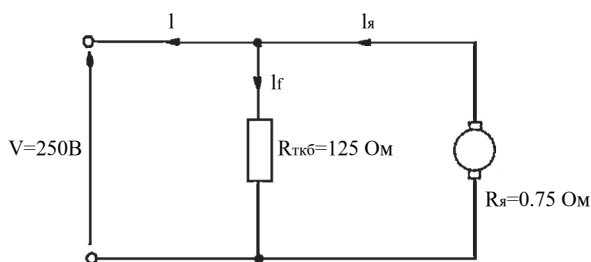
Пайдалы әсер коэффициенті,

$$\eta = \left(\frac{\text{шығыс}}{\text{кіріс}} \right)$$

$$\eta = \left(\frac{VI}{VI + I_{я}^2 R_{я} + I_{қозу} V + C} \right) \times 100\% \quad (4)$$

Егер жүктеме $I_{я}^2 R_{я} = VI_{қозу} + C$ тең болса, онда генератордың пайдалы әсер коэффициенті максимал, яғни шығындар өзгермелі емес, тұрақты болғаны.

12-есеп. Толық жүктеме жағдайында қуаты 10 кВт генератор параллель жалғанған, якорь тогының кедергісі 0.75 Ом және қозу тогының кедергісі 125 Ом, генератор клеммаларында өндірілетін кернеу 250 В. Егер магнит жүйесінің шығыны



22.15-сурет

мен ауаның үйкеліс кедергілері ескерілсе және олардың жалпы шығындарының қосындысы 600Вт тең болса, генератордың пайдалы әсер коэффициенті қандай? Мұндай сұлбаның түрі 22.15-суретте көрсетілген.

Шығыс қуаты = 10000 Вт = VI осыдан, жүктеме тогы

$$I = 10000 / V = 10000 / 250 = 40 \text{ A}$$

Қозу тогы,

$$I_{\text{қозу}} = V / R_{\text{қозу}} = 250 / 125 = 2 \text{ A}$$

Якорь тогы,

$$I_{\text{я}} = I_{\text{қозу}} + I = 2 + 40 = 42 \text{ A}$$

Эффективтілік,

$$\begin{aligned}
 &= \left(\frac{10000}{10000 + (42)^2 (0.75) + (2)(250) + 600} \right) \times 100\% \\
 &= \left(\frac{10000}{12423} \right) \times 100\% \\
 &= 80.50\%
 \end{aligned}$$

Келесі жаттығуды орындаңыздар:

133-жаттығу. Тұрақты ток генераторының пайдалы әсер коэффициентіне қосымша есептер

1. Қуаты 15 кВт параллель қосылған генератор, тізбектегі якорь орамының кедергісі 0.4 Ом, қозу орамының кедергісі 100 Ом, генератор клеммаларында толық жүктеме жағдайында 240 В кернеу өндіріледі. Толық жүктеме үшін генератордың пайдалы әсер коэффициентін анықтаңыз, егер магниттелу жүйесіндегі шығындар және ауа үйкелісі мен кедергі арқылы туатын шығындардың қосындысы 1 кВт тең деп болжайтын болсақ.

[82.14%]

22.10 Тұрақты ток қозғалтқыштары

Тұрақты ток қозғалтқышының конструкциясы тұрақты ток генераторының конструкциясындай. Айырмашылығы тек мынада: **генераторда** өндірілген э.қ.к. клеммадағы кернеулерден **артық**, ал **қозғалтқышта** өндірілген э.қ.к. клеммадағы кернеулерден **кем** болады.

Кері Э.Қ.К.

Тұрақты ток қозғалтқышы айналған кезде якорь өткізгіштерінде э.қ.к. индукцияланады. Ленц заңы бойынша E индукцияланған э.қ.к. кернеуге қарама-қарсы бағытталады, сондықтан оны **кері э.қ.к. шама** деп атайды, сонда V қоректендіру көзінің кернеуі төмендегі формуламен анықталады:

$$V = E + I_{\text{я}} R_{\text{я}}$$

$$\text{немесе } E = V - I_{\text{я}} R_{\text{я}} \quad (5)$$

13-есеп. Тұрақты ток қозғалтқышы 240 В қоректендіру көзінен жұмыс істейді. Якорь кедергісі 0.1 Ом. Якорь тогы 50 А болғандағы кері э.қ.к. -ті анықтаңыз.

Қозғалтқыш үшін

$$V = E + I_{\text{я}} R_{\text{я}}.$$

Олай болса, кері э.қ.к.

$$E = V - I_{\text{я}} R_{\text{я}} = 240 - (100)(0.25) = 240 - 10 = 230 \text{ В}$$

14-есеп. Тұрақты ток машинасының якорь кедергісі 0.25 Ом және ол кернеуі 300 В қоректендіру көзіне қосылған. Сонда келесі шарттар үшін қанша э.қ.к. өндірілетінін есептеңіз, егер: (а) генератор түрінде 100 А ток берсе, (б) қозғалтқыш түрінде 80 А токты алса.

(а) Генератор түрінде э.қ.к. күші өндіріледі:

$$E = V + I_{\text{я}} R_{\text{я}} = 300 + (100)(0.25) = 300 + 25 = 325 \text{ В}$$

Қозғалтқыш түрінде э.қ.к. өндіріледі (немесе кері э.қ.к. өндіреді):

$$E = V - I_{\text{я}} R_{\text{я}} = 300 - (80)(0.25) = 280 \text{ В}$$

Келесі жаттығуды орындаңыздар.

134-жаттығу. Кері э.қ.к. қосымша есептер

1. Тұрақты ток қозғалтқышы кернеуі 350 В қоректендіру көзінен жұмыс істейді. Егер якорь кедергісінің мәні 0.4 Ом болса, якорь тогы 60 А болғандағы кері э.қ.к.-ін есептеңіз.
[326 В]
2. Тұрақты ток машинасының якорь кедергісі 0.5 Ом және кернеуі 200 В қоректендіру көзімен жалғанған. Осы машина жұмыс істегенде қанша э.қ.к. өндіретінін табыңыз, егер (а) қозғалтқыш түрінде ол 50 А ток алса, (б) генератор ретінде 70 А ток берсе.
[(а) 175 В (б) 235 В]
3. Егер якорь орамының кедергісі 0.1 Ом және якорь тогы 60 А тең болса және осындай машина (а) 230 В кернеу көзіне жалғанып, қозғалтқыш ретінде жұмыс істегендегі; (б) клеммалардағы кернеу 230 В, якорь тогы 80 А болып, генератор түрінде жұмыс істегендегі тұрақты ток машинасының э.қ.к. анықтаңыз.
[(а) 224 В (б) 238 В]

22.11 Тұрақты ток қозғалтқыштарының айналу моменті

(5) теңдеуден тұрақты ток қозғалтқышы үшін қоректендіру көзінің кернеуі V келесі теңдеумен беріледі:

$$V = E + I_{\text{я}} R_{\text{я}}$$

Осы өрнектегі әр мүшені әсер етуші $I_{\text{я}}$ ға көбейту арқылы төмендегі теңдеуді аламыз:

$$VI_{\text{я}} = EI_{\text{я}} + I_{\text{я}}^2 R_{\text{я}}$$

$VI_{\text{я}}$ термині **якорьге берілген ортақ электрлік көзі** түрінде анықталады және $I_{\text{я}}^2 R_{\text{я}}$ термині якорь кедергісінен пайда болған **шығын**, ал термин $EI_{\text{я}}$ **якорьден шығарылатын механикалық қуат** болып саналады. Егер $T = \frac{EI_{\text{я}}}{2\pi n}$ айналу моменті ньютонметрмен берілсе, онда

қалыптасқан механикалық энергия $T\omega$ Вт-пен беріледі, сонда:

$$T\omega = 2\pi nT = EI_{\text{я}}$$

Сондықтан айналу моменті

$$T = \frac{EI_{\text{я}}}{2\pi n} \text{ ньютонметр} \quad (6)$$

22.5-тараудағы (1) теңдеуден э.қ.к.-ің кернеуі E төмендегі өрнекпен анықталатыны белгілі:

$$E = \frac{2 p\Phi nZ}{c}$$

Ендеше

$$2\pi nT = EI_{\text{я}} = \left(\frac{2 p\Phi nZ}{c} \right) I_{\text{я}}$$

$$T = \frac{\left(\frac{2 p\Phi nZ}{c} \right)}{2\pi n} I_{\text{я}}$$

$$T = \frac{p\Phi Z I_{\text{я}}}{\pi c} \quad (7)$$

олай болса

$$T\Phi \propto I_a \quad (8)$$

15-есеп. 8-полюсті тұрақты қозғалтқыштың якорь үшін толқындық орамы 900 (шумақтан) өткізгіштен тұрады. Полюстағы пайдалы ағынның шамасы 25 мВб. Өткізгіштің әрбір якорінен 30 А ток өткендегі айналу моментін анықтаңыз.

$p=4$, $c=2$ толқындық орам үшін.

$$\Phi = 25 \times 10^{-3} \text{ Вб}, Z = 900$$

және

$$I_a = 30 \text{ А}$$

Айналу моменті,

$$T = \frac{p\Phi Z I_a}{\pi c} = \frac{(4)(25 \times 10^{-3})(900)(30)}{\pi(2)} = 429.7 \text{ Нм}$$

16-есеп. Тұрақты ток қозғалтқышы 350 В кернеуді түзеді, сонда якорьдің кедергісі 0.5 ом болғанда оның жылдамдығы 15 айн/с. Якорь тогының шамасы 60 А. Айналу моментін анықтаңыз.

$$V = 350 \text{ В}, R_a = 0.5 \text{ Ом}, n = 15 \text{ айн/с және } I_a = 60 \text{ А}$$

$$E = V - I_a R_a = 350 - (60)(0.5) = 320 \text{ В}$$

Сонда (6) теңдеуден:

$$T = \frac{E I_a}{2 \pi n} = \frac{(320)(60)}{2 \pi (15)} = 203.7 \text{ Нм}$$

17-есеп. 6-полюсті қозғалтқыш кернеуі 250 В тұрақты ток коректендіру көзіне қосылған. 500 шумағы бар якорь 1 Ом кедергімен сипатталған. Полюстегі ағынның шамасы 20 мВб. Есептеңіз: (а) жылдамдықты, (б) 40 А якорь тогы өндірілгендегі айналу моментін.

$$V = 250 \text{ В}, Z = 500, R_{\text{я}} = 1 \text{ Ом}, \Phi = 20 \times 10^{-3} \text{ Вб}$$

Якорь тогы,

$$I_{\text{я}} = 40 \text{ А}, c = 2 p$$

(а) Кері э.қ.к.-ің кернеуі E -ге тең:

$$E = V - I_{\text{я}} R_{\text{я}} = 250 - (40)(1) = 210 \text{ В}$$

Э.қ.к.-ің E -сі,

$$E = \frac{2 p \Phi n Z}{c}$$

$$210 = \frac{2 p (20 \times 10^{-3}) n (500)}{2 p} = 10 n$$

$$n = \frac{210}{10} = 21 \text{ айн/с немесе } (21 \times 60) = 1260 \text{ айн/мин}$$

Айналу моменті,

$$T = \frac{E I_{\text{я}}}{2 \pi n} = \frac{(210)(40)}{2 \pi (21)} = 63.66 \text{ Нм}$$

18-есеп. Дизель қозғалтқышының айналу моменті білігінің кернеуі 100 В. Параллель қозу генераторының тұрақты ток айналу моментінің шамасы 25 Нм. Якорь тогының шамасы 16 А. Егер ағынның шамасын 15% пайызға азайтса, сонда айналу моменті 35 Нм дейін ұлғаяды. Осы айналу моментіне сәйкес якорь тогын табыңыз.

(8) теңдеуден, T -біліктегі айналу моменті $\Phi I_{\text{я}}$ мұндағы Φ ағын $I_{\text{я}}$ -якорь тогы, $T = k \Phi I_{\text{я}}$ мұндағы k – тұрақты.

Φ_1 ағынының айналу моменті мен $I_{\text{я}1}$ – якорь тогынан біліктің айналу моменті

$$T_1 = k \Phi_1 I_{\text{я}1}.$$

Тура осындай заңдылықты T_2 үшін де жазуға болады:

$$T_2 = k \Phi_2 I_{\text{я}2}.$$

Сонда осы екі өрнектерді бөлу арқылы

$$\frac{T_1}{T_2} = \frac{k\Phi_1 I_{я1}}{k\Phi_2 I_{я2}} = \frac{\Phi_1 I_{я1}}{\Phi_2 I_{я2}}$$

Сондықтан
$$\frac{25}{35} = \frac{\Phi_1 \times 16}{0.85 \Phi_1 \times I_{я2}}$$

яғни
$$I_{я2} = \frac{16 \times 35}{0.85 \times 25} = 26.35 \text{ A}$$

Сонымен, якорь тогының айналу моментінің жаңа мәні 26.35 А.

19-есеп. Кернеуі 100 В тұрақты ток генераторы 15 А токты қамтамасыз ете отырып, жылдамдығын 1500 айн/мин дейін түзе алады. Егер генератордың қозғалтқыш білігінің айналу моменті 12 Нм тең болса, табу керек: (а) генератордың пайдалы әсер коэффициентін, (б) генератордағы қуат шығынын.

(а) 22-9-тараудан генератордың пайдалы әсер коэффициентін «шығыс қуаты/тұтынатын қуат»×100% қатынасы арқылы табылатыны белгілі. Электр қуаты = $VI \text{ Вт}$ және генератордың кіріс қуаты механикалық болғандықтан генератордың қозғалтқыш білігінің қуаты $T\omega$ немесе $T(2\pi n)$ Вт формуласымен анықталады. Мұнда T -айналу моменті Нм мен n -айналу жылдамдығы «айн/с»-пен алынған. Олай болса, генератор үшін оның пайдалы әсер коэффициенті тең:

$$\eta = \frac{VI}{T(2\pi n)} \times 100\% = \frac{(100)(15)(100)}{(12)(2\pi)\left(\frac{1500}{60}\right)} = 79.6\%$$

Яғни пайдалы әсер коэффициенті 79.6% болғаны.

(б) Тұтынылатын қуат = қуат+шығын

Олай болса,

$$\text{шығын тең} = T(2\pi n) - VI = \left[(12)(2\pi)\left(\frac{1500}{60}\right) \right] - [(100)(15)]$$

Яғни **қуат шығыны** тең: $= 1885 - 1500 = 385 \text{ Вт}$

Келесі жаттығуды орындаңыздар.

135-жаттығу. Қуаттың шығынына, пайдалы әсер коэффициентіне және айналу моментіне арналған қосымша есептер

1. Тұрақты ток генераторының қозғалтқыш білігінің айналу моменті 18.7 Нм болса, оның айналу жылдамдығы 1250 айн/мин тең. Осы шарттарда оның пайдалы әсер коэффициенті 87% пайыз болса якорь тогы 17.3 А-ге тең. Генератор үшін клеммадағы кернеудің шамасын анықтаңыз.

[123.1 В]

2. Кернеуі 220 В тұрақты ток көзіне жалғанған генератор жүктемеге 37.5 А токты қамтамасыз ете алады және оның айналу жылдамдығы 1550 айн/мин. Егер генератордың пайдалы әсер коэффициенті 78% болса, дизель қозғалтқыш білігінің айналу моментін анықтаңыз.

[65.2 Нм]

3. 4-полюсты тұрақты ток қозғалтқышы 800 шумағы бар якорь толқындық орамынан тұрады. Полюстегі пайдалы ағынның шамасы 20 мВб. Якорьдегі әрбір шумақтан 40 А ток аққандағы айналу моментін есептеңіз.

[203.7 Нм]

4. Тұрақты ток көзінің кернеуі 240 В қозғалтқышының якорь тогы 50 А, арматура кедергісі 0.6 Ом, айналу жылдамдығы 10 айн/с. Сондағы айналу моментін есептеңіз.

[167.1 Нм]

5. 8 полюсты тұрақты көзіне жалғанған қозғалтқыштың кернеуінің қоры 200 В. Якорьдің 800 шумағы бар, якорь кедергісі 0.8 Ом. Полюстегі пайдалы ағынның шамасы 40 мВб, ал якорь тогы 30 А болса, (а) айналу жылдамдығы мен (b) айналу моментін табыңыз.

[(a) 5.5 айн/ снемесе330 айн/мин, (b) 152.8 Нм]

6. Кернеуі 150 В тұрақты ток генераторы айналу жылдамдығы 1200 айн/мин болғанда 25 А ток бере алады. Егер генератордың қозғалтқыш білігінің айналу моменті 35.8 Нм болса, (a)

генератордың пайдалы әсер коэффициентін, (b) генератордағы қуат шығынының анықтаңыз.

[(a) 83.4%(b) 748.8 Вт]

22.12 Тұрақты ток қозғалтқыштарының типтері мен сипаттамалары

(a) Параллель қозу қозғалтқышы

Параллель қозу қозғалтқышы 22.16-суретте көрсетілгендей параллель қозғалтқыш орамы якорьмен параллель жалғанған.

22.16-суретте көрсетілген сұлба үшін:

Қоректендіру көзінің кернеуі,

$$V = E + I_{\text{я}} R_{\text{я}}$$

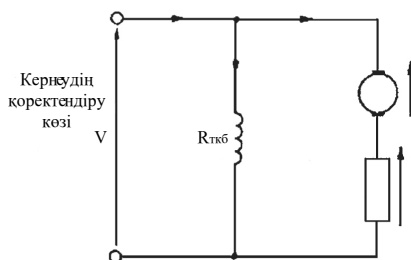
немесе өндірілген э.қ.к.,

$$E = V - I_{\text{я}} R_{\text{я}}$$

Тұтылатын ток шамасы,

$$I = I_{\text{я}} + I_{\text{қозу}}$$

Кирхгоф заңына сәйкес әсер етеді.



22.16-сурет

20-есеп. Кернеуі 240 В параллель қозу қозғалтқышы 30 А қосынды ток өндіре алады. Егер қозу орамының кедергісі $R_{\text{қозу}} = 150 \text{ Ом}$ ал якорьдің кедергісі $R_{\text{я}} = 0.4 \text{ Ом}$ болса, (a) якорь тогы мен (b) кері э.қ.к.-ті анықтаңыз.

(a) Қозу тогы,

$$I_{\text{қозу}} = V / R_{\text{қозу}} = 240 / 150 = 1.6 \text{ А}$$

Қоректендіру көзінің тогы,

$$I = I_{\text{я}} + I_{\text{қозу}}$$

олай болса якорь тогы,

$$I_{\text{я}} = I - I_{\text{қозу}} = 30 - 1.6 = 28.4 \text{ А}$$

(b) Кері э.қ.к.-нің кернеуі E :

$$E = V - I_{\text{я}} R_{\text{я}} = 240 - (28.4)(0.4) = 228.64 \text{ В}$$

Сипаттамалар

Екі негізгі сипаттамалар белгілі: «айналу моменті/якорь тогына» және «айналу жылдамдығы /якорь тогына» қатынастары.

Осы сипаттамалардан айналу моментінің жылдамдыққа қатынасын алуға болады:

1. Теориялық тұрғыдан қарағанда «айналу моменті/якорь тогы» сипаттамасының $T \propto \Phi I_a$ өрнегінен алуға болады (22.11-тарауды қараңыз). Параллель жалған қозғалтқышта, якорь орамы параллель жалғанған, осыған орай келтірілген кернеулер тұрақты қозу тогын береді. Осыдан 22.17-суреттен $T \propto I_a$ сипаттамасын көруге болады.
2. Тұрақты ток қозғалтқышының якорь тогының кедергісі якорьдің орамы мен щоткенің кедергісінен тұрады – $R_{\text{я}}$ Ом, ал якорь тогы $I_{\text{я}}$ орам арқылы аққандықтан кернеу $I_{\text{я}} R_{\text{я}}$ вольт шамасына төмен түсіп кетеді. Жақсы түсіну үшін 22.16-суретте якорь кедергісі жеке резисторлар түрінде көрсетілген. Сонымен қатар, машина қозғалтқыш болса да, яғни өткізгіштер магниттік өрісте айналып тұрғандықтан кернеу $E \propto \Phi \omega$ якорь өткізгішінде өндіріледі. (5) теңдеуден $V = E + I_a R_a$ немесе $E = V - I_{\text{я}} R_{\text{я}}$. Алайда 22.5 тараудан $E \propto \Phi n$, олай болса $n \propto E/\Phi$, сондықтан айналу жылдамдығы,

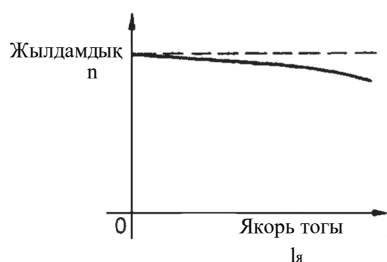
$$n \propto \frac{E}{\Phi} \propto \frac{V - I_{\text{я}} R_{\text{я}}}{\Phi}$$

Параллель қозу қозғалтқышы үшін Φ , V , $R_{\text{я}}$ шамалары тұрақты, өйткені якорь тогы $I_{\text{я}}$ артқан сайын $I_{\text{я}} R_{\text{я}}$ артады, ал $V - I_{\text{я}} R_{\text{я}}$ айырымы кемиді, сонда жылдамдық 22.18-суретте көрсетілгендей пропорционал шамаға төмендейді. Қозғалтқыш білігінде жүктеме артқан сайын якорь тогы $I_{\text{я}}$ артқандықтан жылдамдық шамалы төмендейді.

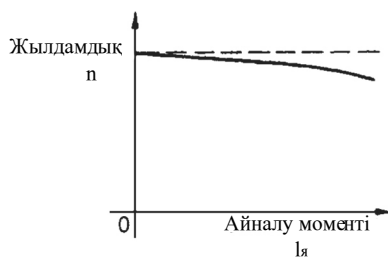
Практикада машина бос жүрістен, яғни жүктемесіз жағдайынан толық жүктемеге



22.17-сурет



22.18-сурет



22.19-сурет

өткен периода жылдамдық 10 пайызға төмендейді, осындай құбылыс тұрақты ток параллель қозу қозғалтқышының көптеген түрлеріне тән. Бұл жерде жылдамдықтың салыстырмалы түрде аз төмендеуі тұрақты ток параллель қозу қозғалтқышы үшін негізгі сипаттама болып саналады, сондықтан машина тұрақты жылдамдықта жұмыс істейді деп қабылданады, сөйтіп ол токарлық білдектерді, біліктер желілерін, вентиляторларды, конвейерлерді, сорғыштарды, компрессорларды, бұрғылау қондырғыларын іске қосу үшін қолданылады.

3. Айналу моменті якорь тогына пропорционал болғандықтан, «жылдамдық/айналу моменті» деп белгіленген теоретикалық сипаттама 22.19-суретте көрсетілген.

21-есеп. Кернеуі 200 В параллель қозу қозғалтқышының якорь кедергісі 0.4 Ом және белгілі бір жүктемеде оның якорь тогы 30 А, сонда оның айналу жылдамдығы 1350 айн/мин тең. Егер қозғалтқыш білігіндегі жүктеменің ұлғаюы якорь ток шамасын 45 А дейін ұлғайтса, онда ағынды тұрақты деп санағанда қозғалтқыштың айналу жылдамдығын шарт бойынша есептеңіз.

$E \propto \Phi n$ қатынасы генераторға да қозғалтқышқа да бірдей.
Қозғалтқыш үшін,

$$E = V - I_a R_a ,$$

(5-ші теңдеуді қараңыз)

Сондықтан

$$E_1 = 200 - 30 \times 0.4 = 188 \text{ В}$$

және

$$E_2 = 200 - 45 \times 0.4 = 182 \text{ В}$$

Осы екі өрнектің қатынасынан,

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{\Phi_1 n_1}{\Phi_2 n_2}$$

Ағын тұрақты болғандықтан осы қатынас генераторға да қозғалтқышқа да бірдей,

$$\Phi_1 = \Phi_2,$$

сондықтан,

$$\frac{188}{182} = \frac{\Phi_1 \times \left(\frac{1350}{60}\right)}{\Phi_2 \times n_2},$$

яғни

$$n_2 = \frac{22.5 \times 182}{188} = 21.78 \text{ айн/с}$$

Сонымен, якорь тогы 45 А болғанда қозғалтқыштың жылдамдығы 21.78×60 айн/мин, яғни 1307 айн /мин тең болады.

22-есеп. Кернеуі 220 В тұрақты ток параллель қозу қозғалтқышының айналу жылдамдығы 800 айн/мин және якорь тогы 30 А. Якорь орамының кедергісі 0.4 Ом. (а) Егер ағын кенет 10 пайызға төмендесе, якорь тогының максимал шамасын, (б) ағынның жаңа қалыптасқан күйіне сәйкес якорь тогының шамасын анықтаңыз.

(а) Тұрақты ток параллель қозу қозғалтқышы үшін $E = V - I_a R_a$. Сондықтан ең алғашқы өндірілген э.к.к.-і тең: $E = 220 = 30 \times 0.4 = 208 \text{ В}$. Сонымен ағынның шамасы өзгергенмен, сол мезетте жылдамдық әлі өзгеруге үлгермегендіктен жаңадан өндірілген э.к.к.-і $E \propto \Phi_n$, формуласымен есептеледі: $E = 208 \times 90/100 = 187.2 \text{ В}$. Сондықтан якорь кедергісінің әсерінен туған кернеудің түсуі $220 - 187.2 = 32.8 \text{ В}$. **Лездік токтың шамасы** $= 32.8/0.4 = 82 \text{ А}$. Ток шамасының осындай үш есе өсуі айналу моментінің жылдамдығын ұлғайта алады ($T \propto \Phi I_a$). Стационар

күйге жеткенше айналу моментінің үлкен шамасына сәйкес қозғалтқыш қарқындалып жұмыс істейді.

(b) $T \propto \Phi I_{я}$ болғандықтан айналу моменті тұрақты, $\Phi_1 I_{я1} = \Phi_2 I_{я2}$. Φ -ағыны 10 пайызға кемігенде $\Phi_2 = 0.9\Phi_1$. Сонда $\Phi_1 \times 30 = 0.9\Phi_1 \times I_{я2}$, олай болса якорь тогының стационар күйдегі

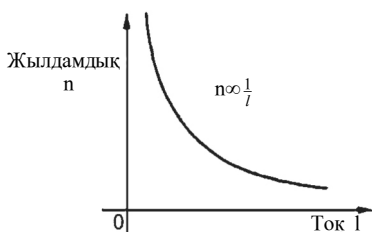
шамасы тең: $I_{я2} = 30 / 0.9 = 33.33 \text{ A}$

(b) Тізбектей қозу қозғалтқышы

Қозғалтқыштың тізбектей қосу түрі 22.20-суретте көрсетілгендей орамдар қоректену көзі арқылы якорьмен тізбектеліп жалғанады.

Қоректендіру көзінің кернеуі: $V = E + I (R_{я} + R_{қозу})$

Өндірілген э.қ.к.-і: $E = V - I (R_{я} + R_{қозу})$



22.20-сурет

Сипаттамалар

Тізбектей қозу қозғалтқышында якорь тогы қозу орамына ағады және қоректендіру ток көзінің шамасына- I тең болып келеді.

(1) «Айналу моменті/ток» қатынасының сипаттамасы

22.11-тарауда келтірілгендей, айналу моменті $T \propto \Phi I_{я}$. Якорь және қозу токтары бірдей және ол I -ға тең болғандықтан қозғалтқышы ретгі қозатын машиналарда шектелген диапазонда қозғалтқыштың магниттік тізбегінде магниттік қанығу орнағанға дейін $T \propto \Phi I$ шамасымен анықталады, (яғни $B - H$ қисығының сызықтық бөлігі полюстер, ауа саңлауы, шөткелер және якорь үшін тізбекті). Олай болса, $\Phi \propto I$ мен $T \propto I^2$ деп жазуға болады. Магниттік қанығудан кейін Φ тұрақтыға айналып, ал $T \propto I$ -мен сипатталатын болады. Сондықтан теория жүзінде «*айналу моменті/ток*» қатынасы 22.21-суретте көрсетілген сипаттамаға тән.

(II) «*Жылдамдық/токтық*» сипаттамаға қатынасын (9)-теңдеуден көруге болады.

$$n \propto V - I_{я} K_{я} / \Phi$$

Қозғалтқыштары тізбектей қозу машиналарында $I_{я} = I$ және $\Phi \propto I$

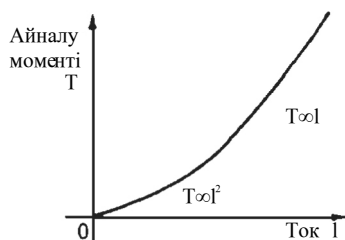
қанығу деңгейінен төмен. Олай болса $n \propto (V - IR) / I$, мұнда R өріс пен якорь тізбегінің ортақ кедергісі. IR -дің шамасы V - мен салыстырғанда өте аз болғандықтан, жылдамдықтардың жуықтап алынған қатынасы $n \propto V / I \propto 1 / I$ өрнекпен сипатталып, сонда V тұрақты болып саналады.

Сонымен, теориялық түрдегі «жылдамды/ток» сипаттамасын 22.22-суреттен көруге болады. Токтың кішкентай мәндерінің өзінде туатын жоғары жылдамдық әсерінен мұндай қозғалтқыштар жеңіл жүктемелер үшін іске қосылмайтынын, яғни жарамайтынын және олар жүктемеге үнемі жалғанып тұрулары қажет екенін көрсетеді.

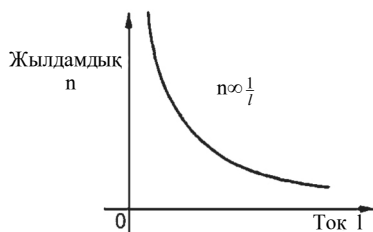
(III) Теориялық түрдегі «жылдамдық/айналу момент» сипаттамасын (I) мен (II) сипаттамаларынан алуға мүмкіндік бар, сондықтан токтың әр түрлі мәндері үшін айналу моменті мен жылдамдықтардың тәуелділіктерін есептеп алып, координата жүйесінде «жылдамдық/айналу моменті» сипаттамасын график түрінде көрсетуге болады. «Жылдамдық/айналу моменті» сипаттамасының әдеттегі түрі 22.23-суретте көрсетілген.

Тұрақты токпен қоректенетін қозуы тізбектей қозғалтқышты іске қосқанда үлкен ток қажет және оның сипаттамалары 22.21-суретте көрсетілген. Тізбектей қозу қозғалтқышында ток үлкен болғанда, айналу моменті де үлкен. Сондықтан мұндай қозғалтқыштар (пойыздарды, көлік құралдарын) үлкен бастапқы моменті керек емес құрылғылар үшін атап айтқанда крандар мен көтергіштерді тарту үшін қолданылады.

23-есеп. Тізбектей қосылған қозғалтқыштың якорь кедергісі 0.2 Ом, ал қозу тогының кедергісі 0.3 Ом. Кернеуі 240 В тұрақты ток көзінен 15 А ток келгенде жүктеме үшін қозғалтқыш 24 айн/мин жылдамдықпен жұмыс істейді. (а) Осы жүктемеде өндірілген э.к.к. анықтаңыз. (b) Жүктеменің өзгеруі



22.21-сурет



22.22-сурет

ток күшінің шамасын 30 А-ге дейін ұлғайтқандағы қозғалтқыштың жылдамдығын есептеңіз. Мұндай жағдай үшін ағынның шамасы екі еселенеді деп болжауға болады

(а) 22.20-суретке сүйене отырып, бастапқы жүктеме үшін E_1 өндірілген э.к.к. тең:

$$E_1 = V - I_{\text{я}} (R_{\text{я}} + R_{\text{козу}}) = 240 - (15)(0.2 + 0.3) = 240 - 7.5 = 232.5 \text{ В}$$

(б) 30 А-ге дейін ток күшінің шамасы ұлғайғанда өндірілетін э.к.к.-і келесі формуламен анықталады:

$$E_2 = V - I_{\text{я}} (R_{\text{я}} + R_{\text{козу}}) = 240 - (30)(0.2 + 0.3) = 240 - 15 = 225 \text{ В}$$

Енді э.к.к. тең,

$$E \propto \Phi n$$

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{\Phi_1 n_1}{\Phi_2 n_2},$$

яғни

$$\frac{232.5}{22.5} = \frac{\Phi_1 (24)}{(2 \Phi_1) n_2},$$

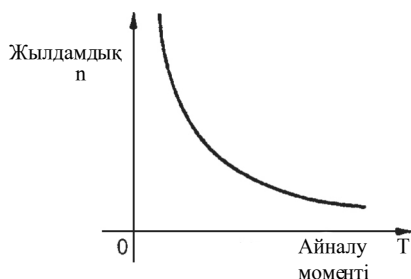
осыдан

$$\Phi_2 = 2 \Phi_1.$$

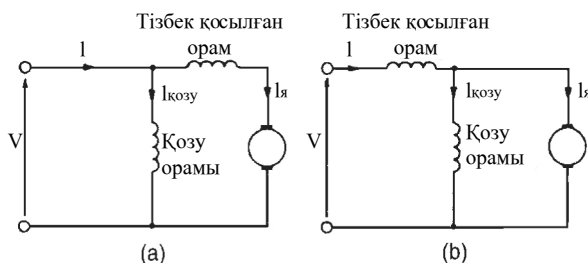
Сондықтан қозғалтқыштың жылдамдығы

$$n_2 = \frac{(24)(225)}{(232.5)(2)} = 11.6 \text{ айн/с.}$$

Ток күші 15 А-ден 30 А-ге дейін ұлғайғандықтан қозғалтқыштың жылдамдығы 24 айн/с-тан 11.6 айн/с-ке дейін төмендеді. Осындай қатынас, яғни «жылдамдық/ток күші» қатынасының сипаттамасы 22.22-суретте келтірілген.



22.23-сурет



22.24-сурет

(с) Тұрақты токты аралас қозу электрқозғалтқыштары

Тұрақты токты аралас қозу электрқозғалтқыштарының екі түрі бар:

(I) **Жинақтаушы (кумулятивті) жалғануда** тізбектей жалғанған орамдар параллель жалғанған орамдардың өрісі арқылы қалыптастыруға негізделген.

(II) **Дифференциалды жалғануда** тізбектей жалғанған орамдар параллель жалғанған орамдардың өрісіне қарама-қарсы әсер етеді.

22.24 суретте (а) қозғалтқыштың ұзын параллель жалғану және 2.24 (б) суретте қозғалтқыштың қысқа параллель жалғануы көрсетілген.

Сипаттамалар

Аралас қозу қозғалтқыштарында орамдар тізбектей де параллель де жалғауды пайдаланады (якорь мен бір орам тізбектей ал екіншісі параллель жалғана алады) және көбінесе олардың байланысы пішіні қозғалтқыштың тізбектей қозу орамына ұқсас болады (22.21-22.23-суретті қараңыз). Қауіпсіз мәнге дейін бос жүріс айналымдарын шектеу үшін параллель жалған орамдар саны шектелген. Бірақ, тізбектей және параллель орамдар санының өзгерісі, осы орамдар туындататын магниттік өрістер бағыттары (тура және кері әсер бағыттары), сипаттамалардың барлық жиынтығын бере алады. Көбіне, қозғалтқыштың тұзақтап жалғануы өте қиын жұмыстарда қолданылады, мысалы кенеттен жүктеме түскенде, плунжерлік сорғыштарды, престерді, бағыттаушы лифтерді, конвейерлерді, көтергіштерді жүргізу үшін.

Айналу моментінің түрлері мен жылдамдық сипаттамалары 22.25-суретте көрсетілген.

22.13 Тұрақты ток қозғалтқышының пайдалы әсер коэффициенті

Бұл сұрақтар туралы 22.9-бөлімде айтылған.

Тұрақты ток машинасының пайдалы әсер коэффициенті мына формуламен анықталады:

$$\eta = \left(\frac{\text{шығыс қуаты}}{\text{кіріс қуаты}} \right) \times 100\%$$

Пайдалы әсер коэффициенті $\eta = \text{«шығыс қуаты/кіріс қуаты»} \times 100\%$

Сонымен қатар, жалпы шығын $= I_{\text{я}}^2 R_{\text{я}} + I_{\text{козу}} V + C$, (параллель жалғанған қозғалтқыш), мұнда C -магнит жүйесінің, үйкеліс және ауа кедергісі шығындарының қосындысын көрсетеді.

Қозғалтқыш үшін,

Кіріс қуаты $= VI$

Шығыс қуаты $= VI - \text{шығын} = VI - I_{\text{я}}^2 R_{\text{я}} - I_{\text{козу}} V - C$

Олай болса пайдалы әсер коэффициенті тең болады:

$$\eta = \left(\frac{VI - I_{\text{я}}^2 R_{\text{я}} - I_{\text{козу}} V - C}{VI} \right) \times 100\% \quad (10)$$

Қозғалтқыштың пайдалы әсері коэффициенті максимал болады, егер жүктеме келесідей болса,

$$I_{\text{я}}^2 R_{\text{я}} = I_{\text{козу}} V + C$$

24-есеп. Кернеуі 320 В параллель жалғанған қозғалтқыш 80 А ток қабылдап, 1000 айн/мин жылдамдықпен жұмыс істей алады. Егер магнит жүйесінің, үйкеліс және ауа кедергісінен туатын



22.25-сурет

шығындар 1.5 кВт-ты құрайтын болса, онда параллель орам өрісінің кедергісі 40 Ом, якорь кедергісі 0.2 Ом болғанда қозғалтқыштың жалпы пайдалы әсер коэффициентін табыңыз.

Осындай тізбектің сұлбасы 22.2(б)-суретте келтірілген. Қозу тогы,

$$I_{\text{Козу}} = V / R_{\text{Козу}} = 320 / 40 = 8 \text{ A}$$

Якорь тогы,

$$I_{\text{я}} = I - I_{\text{Козу}} = 80 - 8 = 72 \text{ A}$$

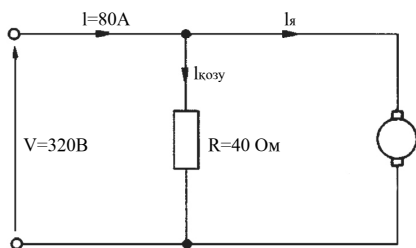
С-темірдің, үйкелістің және ауа кедергісінен туатын шығын = 1500 кВт.

Пайдалы әсер коэффициенті,

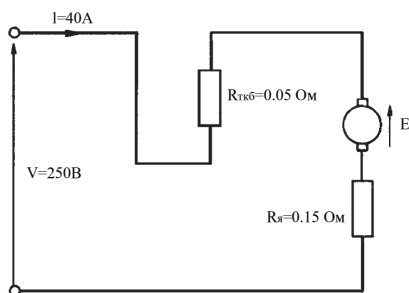
$$\eta = \left(\frac{VI - I_{\text{я}}^2 R_{\text{я}} - I_{\text{Козу}} V - C}{VI} \right) \times 100\% = \left(\frac{(320)(80) - (72)^2 (0.2) - (8)(320) - 1500}{(320)(80)} \right)$$

$$\times 100\% = \left(\frac{25600 - 1036.8 - 2560 - 1500}{(25600)} \right) \times 100\% = \left(\frac{20503.2}{25600} \right) \times 100\% = 80.1\%$$

25-есеп. Кернеуі 250 В тізбектей қосылған қозғалтқыш 40 А токпен жұмыс істейді. Якорь кедергісі 0.15 Ом қозу тогының кедергісі 0.05 Ом. Сұлбаның түрі 22.27-суретте келтірілген. Қозғалтқыштың максималды пайдалы әсер коэффициентін табыңыз.



22.26-сурет



22.27-сурет

(10) теңдеуден пайдалы әсер коэффициенті тең:

$$\eta = \left(\frac{VI - I_a^2 R_a - I_f V - C}{VI} \right) \times 100\%$$

Алайда тізбектей жалғанған қозғалтқыш үшін, егер $I_{қозу} = 0$ және $I_a^2 R_a$ шығыны $I^2(R_a + R_{қозу})$ -ге тең болуы керек. Олай болса, пайдалы әсер коэффициенті,

$$\eta = \left(\frac{VI - I^2 (R_a + R_f) - C}{VI} \right) \times 100\%$$

Максималды пайдалы әсер коэффициенті үшін $I^2(R_a + R_{қозу}) = C$. Олай болса, пайдалы әсер коэффициенті:

$$\begin{aligned} \eta &= \left(\frac{VI - 2I^2 (R_a + R_{қозу})}{VI} \right) \times 100\% = \left(\frac{(250)(40) - 2(40)^2 (0.15 + 0.05)}{(250)(40)} \right) \times 100\% \\ &= \left(\frac{10\,000 - 640}{10\,000} \right) \times 100\% = \left(\frac{9360}{10\,000} \right) \times 100\% = 93.6\% \end{aligned}$$

26-есеп. Кернеуі 200 В қозғалтқыштың біліктегі айналу моментінің қарқыны 15 Нм және айналу жылдамдығы 1200 айн/мин. Егер пайдалы әсер коэффициенті 80 пайыз болса, қозғалтқышқа қанша ток түскені?

$$\text{Қозғалтқыштың пайдалы әсер коэффициенті} = \frac{\text{кіріс қуаты}}{\text{шығыс қуаты}} \times 100\%$$

Қозғалтқыштың шығыс қуаты білікте жұмыс істеуге қажетті қуатқа сәйкес және ол тең: $T\omega$ Вт немесе $T(2\pi n)$ Вт, мұндағы T Нм алынған айналу моменті және n айналу/с-пен алынған қозғалтқыштың айналу жылдамдығы.

Қозғалтқыштың кіріс қуаты ваттпен алынған электр қуаты болып табылады, яғни VI ватт.

Олай болса, қозғалтқыш үшін, пайдалы әсер коэффициенті,

$$\eta = \frac{T(2\pi n)}{VI} \times 100\%$$

Олай болса,

$$80 = \left[\frac{(15)(2\pi n) \left(\frac{1200}{60} \right)}{(200)(I)} \right] \times 100\%$$

Сонда қозғалтқышқа түсетін ток,

$$I = \frac{(15)(2\pi)(20)(100)}{(200)(80)} = 11.8 \text{ A}$$

27-есеп. Тұрақты ток тізбектей жалғанған қозғалтқыш 10 А токты қабылдай отырып, 30 айн/с жылдамдықпен жүктемемен түсу кернеуі 400 В болғанда жұмыс істейді. Егер электрқозғалтқышының жалпы кедергісі 2 Ом болса, темір, үйкеліс және ауа кедергілері арқылы туатын шығынның шамасы 300 Вт болса, қозғалтқыштың пайдалы әсер коэффициентін табыңыз.

Пайдалы әсер коэффициент

$$\begin{aligned} \eta &= \left(\frac{VI - I^2 R - C}{VI} \right) \times 100\% = \left(\frac{(400)(10) - (10)^2 - 300}{(400)(10)} \right) \times 100\% \\ &= \left(\frac{400 - 200 - 300}{4000} \right) \times 100\% = \left(\frac{3500}{4000} \right) \times 100\% = 87.5\% \end{aligned}$$

Келесі жаттығуды орындаңыздар.

136-жаттығу. Тұрақты ток қозғалтқыштарына қосымша есептер

1. Кернеуі 240 В параллель қосылған қозғалтқыш үшін жалпы токтың шамасы 80 А құрайды. Егер козу тогының кедергісі 120

Ом ал якорь кедергісі 0.4 Ом болса, (а) якорь тогын, (b) кері э.қ.к.анықтаңыз.

[(a) 78 A(б) 208.8 В]

2. Егер тұрақты ток қозғалтқышын 460 В кернеу көзіне қосатын болса оның айналу жылдамдығы 900 айн/мин тең болады. Ал енді ағынды 30 пайызға кеміте отырып, қозғалтқышты 200 В кернеу көзіне қосқанда оның жуықтап алғанда жылдамдығы қандай болады? Арматура кернеуі ескерілмейді.

[559 айн/мин]

3. Тізбектей жалғанған қозғалтқыштың қозу тогының кедергісі 0.25 Ом, якорь кедергісі 0.15 Ом, кернеуі 220 В коректендіру көзіне жалғанған, жүктеменің жұмыс істеу жылдамдығы 20 айн/с және желіден алынатын ток шамасы 20 А. Осы жүктемеде қанша қанша э.қ.к. өндіріледі?, егер жүктемеге берілетін токтың шамасы 25 А дейін ұлғайтылса қозғалтқыштың жылдамдығы қандай болады? Ағынның мөлшері 25 пайызға өссін деп болжансын.

[212 В, 15.85 айн/с]

4. Кернеуі 500 В параллель жалғанған қозғалтқыштың жалпы тогы 100 А болсын, оның жұмыс істеу жылдамдығы 1200 айн/мин. Егер параллель қозу тогының кедергісі 50 Ом, ал якорь кедергісі 0.25 Ом болса, магнит жүйесінің, үйкелістің және ауа кедергілерінің әсерінен туатын шығын 2 кВт құраса, қозғалтқыштың жалпы пайдалы әсер коэффициентін табыңыз.

[81.95%]

5. Кернеуі 250 В тізбектей жалғанған қозғалтқыш 500 айн/мин жылдамдықпен жұмыс істейді. оның білігідегі айналу моменті 130 Нм. Осы жүктемеде қозғалтқыштың пайдалы әсер коэффициенті 88 пайызды құрайтын болса, сонда ол қанша токты коректендіру көзінен алғаны?

[30.94 А]

6. Тұрақты ток қозғалтқышының негізгі қасиеттерін тексергенде келесі мәліметтер алынды: коректендіру көзінің кернеуі 500 В, ал одан келетін токтың шамасы 42.4 А, айналу жылдамдығы

850 айн/мин, біліктегі айналу моментінің мәні 187 Нм. Қозғалтқыштың пайдалы әсер коэффициентін 0.5 пайыз дәлділікпен есептеңіз.

[78.5%]

7. Кернеуі 300 В тізбектей қосылған қозғалтқыш 50 А токты тұтынады. Қозу тогының кедергісі 40 мОм, якорь кедергісі 0.2 Ом. Қозғалтқыштың максималды пайдалы әсер коэффициентін анықтаңыз.

[92%]

8. Тізбектей қосылған қозғалтқыш қоректендіру көзінен 250 В кернеуді қабылдай отырып, 1500 айн/мин айналу жылдамдығымен жүктемемен 20 А ток күшінде жұмыс істейді. Егер қозғалтқыштың жалпы кедергісі 1.5 Ом, ал темір, үйкеліс және ауа арқылы шығын 400 Вт тең болса, қозғалтқыштың пайдалы әсер коэффициентін анықтаңыз.

[80 %]

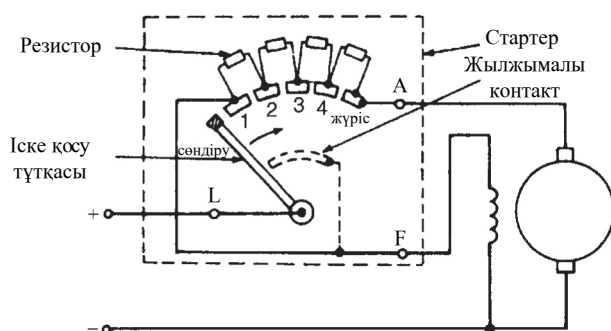
9. Тізбектей қозу қозғалтқышы тұрақты ток көзіне қосылған, сөйтіп ток 30 А болғанда, 1000 айн/мин жылдамдығымен толық жүктеме жағдайында айналу моментін қарқындатады. Егер полюстегі ағын тізбектен өтетін токқа пропорционал болса, толық жүктеме үшін және жартылай айналу моменті үшін ток пен жылдамдықты табыңыз, қоректендіру көзі бірдей қосылған деп алынсын.

[21.2 А, 1415 айн/мин]

22.14 Тұрақты ток стартері

Егер якорлері стационарлы тұрақты ток қозғалтқышы кернеудің қоректену көзіне тікелей жалғанса, онда қозғалтқыштың қорғаушылары жанып кетуі мүмкін. Себебі якорьдің кедергісі өте аз, көбінесе ол 1 Омнан аспайды. Осыған орай, қосымша кедергі якорь тізбегіне қозғалтқышты іске қосу үшін сөндіргіштің тұйықталу моментінде жалғануы керек.

Қозғалтқыштың айналу жылдамдығы артқанда, якорь өткізгіштері ағынмен және генераторлық кернеулермен кенеттен толықтырылады, түскен кернеулер якорь ток ағынын шектейді. Осылайша якорьдің қосымша кедергісінің мәні азаюы мүмкін.



22.28-сурет

Жүрістің қалыпты жылдамдығында өндірілген э.қ.к-те якорь тогына қосымша кедергі қажет болмайды. Осы мақсатқа жету үшін якорь тогын әр түрлі кедергілер алуда тұрақты ток стартерін пайдалану арқылы жүргізеді, оны 22.28-суреттен көруге болады.

Қозғалтқышты жүргізу үшін іске қосу тұтқасын сағат бағыты бойынша баяу жылжытамыз. Параллель қозғалтқыш үшін орам 1 шпилькаға немесе L іске қосу тұтқасындағы сырғымалы контакт арқылы жалғанады. Бұл максимал қозу тогын алуға мүмкіндік береді, сондықтан максимал ағын қалыптасады, ал іске қосудағы айналу моменті максимал, өйткені $T \propto \Phi I_{я}$.

Аралас жалғанған қозғалтқыштардың тура осындай құрылғысы тізбектей жалғанған қозғалтқыштарында қолданылады.

Қалыпты жағдайдағы жүрістің жылдамдығы өндірілген э.қ.к.-ің шамасы сондай, якорь тогы үшін қосымша кедергінің қажеті болмайды. Мұндай мақсатқа жету үшін 22.28-суретте көрсеткендей тізбекті қосқанда якорьдің әртүрлі кедергілерін пайдаланамыз, стартер үшін тұрақты ток пайдаланады.

Сағат тілінің бағытымен қозғалтқышты іске қосу тұтқасын **баяу** жылжыту арқылы жұмыс істетуге болады (22.28-сурет). Параллель қосылған қозғалтқышта іске қосу тұтқасы мен сырғанау контактысы орам 1 шпилькаға немесе L -ге қосылады, сонда қозу тогы максималды мәнге ие болады, олай болса максималды ағын пайда болады, ал мұның өзі іске қосу мезетінде максималды айналу моментін тудырады, себебі $T \propto \Phi I_{я}$. Тура осындай қондырғыны тізбектей жалғанған қозғалтқыштар үшін де құрастыруға болады.

22.15 Тұрақты ток қозғалтқышының жылдамдығын басқару

Тұрақты токтың параллель жалғанған қозғалтқышының жылдамдығы n -ге пропорционал

$$\frac{V - I_{\text{я}} R_{\text{я}}}{\Phi}$$

Жылдамдық ағынның Φ мәнін өзгерту немесе $R_{\text{я}}$ кедергі шамасын өзгерту арқылы жүргізіледі.

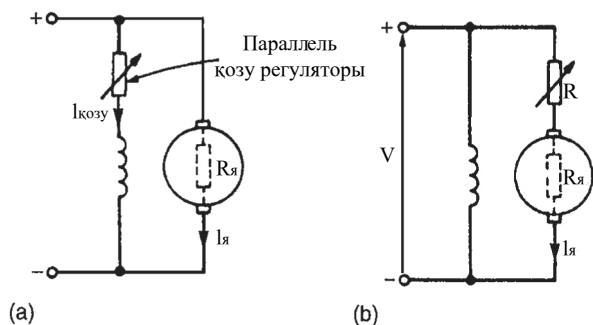
22.29 (а)-суретте көрсетілгендей козу орамынан ауыспалы резисторды пайдалану арқылы жүргізіледі. Мұндай резисторлар қозудың **параллель орамының реттеушісі** деп аталады.

Параллель орамның реттеушісінің кедергісінің мәні артса, козу тогының $I_{\text{козу}}$ шамасы азаяды. Бұл ағынның Φ шамасының азаюын тудырады, сондықтан жылдамдық артады, өйткені $n \propto 1/\Phi$. Осылай, жоғары жылдамдықтар тек қана реттеушісі жоқ қозудың шунттік орамдарында осы әдіс арқылы алынады. Мына формуладағыдан төмен жылдамдықтар қолданылады:

$$\frac{V - I_{\text{я}} R_{\text{я}}}{\Phi}$$

Ол 22.29 (b)-суретте көрсетілгендей якорь орамындағы кедергіні арттыру арқылы жүргізіледі.

$$n \propto \frac{V - I_{\text{я}} (R_{\text{я}} + R)}{\Phi}$$



22.29-сурет

R резистор якорьмен тізбектей жалғанған, онда якорь тогы толық және жылдамдықты азайту үшін ұзақ уақытты қажет ететін үлкен қозғалтқыштарда қуаттың үлкен шығындарын туындатады. Жылдамдықты басқарудың бұл әдістері келесі есептерде көрсетілген.

28-есеп. Кернеуі 500 В параллель жалғанған қозғалтқыштың номиналды жылдамдығы 10 айн/с, сонда якорь тогы 120 А тең. Якорь кедергісі 0.2 Ом. анықтаңыз: (а) ток шамасы 60 А, кедергі 0.5 Ом, қозғалтқыш якорьмен тізбектей қосылған, параллель өріс тұрақты болғандағы қозғалтқыштың жылдамдығын, (б) ток шамасы 60 А, тұйықталу аймағында кедергіні ұлғайта отырып, параллель өріс өзінің қалыпты күйінен 80 пайызға дейін кемігендегі жылдамдықты.

(а) 22.29-суретке сүйене отырып, кері э.к.к. 120 А үшін,

$$E_1 = V - I_{\text{я}} R_{\text{я}} = 500 - (120)(0.2) = 500 - 24 = 476 \text{ В}$$

$I_{\text{я}} = 60 \text{ А}$ болғанда

$$E_1 = 500 - (60)(0.2 + 0.5) = 500 - 42 = 458 \text{ В}$$

Енді

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{\Phi_1 n_1}{\Phi_2 n_2}$$

Сондықтан

$$\frac{476}{458} = \frac{\Phi_1 (10)}{\Phi_2 n_2}$$

$$\Phi_2 = \Phi_1$$

болады, осыдан жылдамдық

$$n_2 = \frac{(10)(458)}{476} = 9.62 \text{ айн / с}$$

(б) $I_{\text{я}} = 60 \text{ А}$ тең болғанда кері э.к.к. тең:

$$E_3 = 500 - (60)(0.2) = 500 - 12 = 488 \text{ В}$$

$$\frac{E_1}{E_3} = \frac{\Phi_1 n_1}{\Phi_3 n_3}$$

Яғни

$$\frac{476}{488} = \frac{\Phi_1 (10)}{0.8 \Phi_1 n_3}$$

$$\Phi_3 = 0.8 \Phi_1$$

болғандықтан осыдан жылдамдық $n_3 = \frac{(10)(488)}{(0.8)(476)} = 12.82$ айн/с

Тізбектей қозу қозғалтқыштары

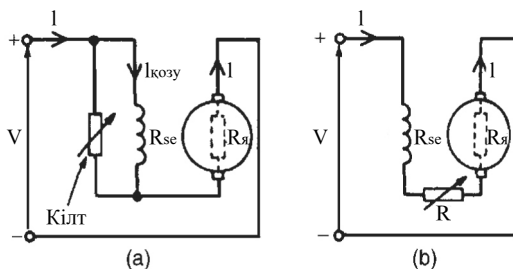
Тізбектей қозу қозғалтқыштарының жылдамдығын басқару қозу тізбегінде кедергіні (а) немесе техникада якорь орамының (б) кедергісін қолдану арқылы жүргізіледі.

(а) Тізбектей орам қозғалтқышында жылдамдық төменгі формуламен анықталады.

$$n = k \left(\frac{V - IR}{\Phi} \right)$$

Мұнда, k – тұрақты, V – клеммадағы кернеулер, R – якорьдің және реттей қозу орамының ортақ кедергісі және Φ – ағын. Осылай, ағынның төмендеуі жылдамдықтың артуын туғызады. Бұл қозу орамына параллель ауыспалы кедергі қосу немесе қозу тоғын азайту арқылы жүргізіледі, сондықтан қоректендіру тоғының берілген мәні үшін ағын да төмендейді.

Бұл құрылғы сұлбасы 22.30 (а)-суретте көрсетілген. Реттей қозу өрісіне параллель жалғанған жылдамдықты басқаруға арналған ауыспалы



22.30-сурет

резистор **жайратқыш** деп аталады. Жоғарыда көрсетілген сұлба үшін жылдамдықтар бұл әдіспен анықталмаған.

(b) Нормадан төмен жылдамдықтарды алу үшін ауыспалы резисторды қозу орамына тізбектей немесе 22.30 (b) суреттегідей якорь тізбегіне жалғау арқылы орындалады. Бұл кедергіні арттырады және осылай жылдамдықты азайтады. Қосымша резисторда толық ток болғандықтан, үлкен қозғалтқыштарда қуаттың үлкен шығындары пайда болады.

$$n = k \left(\frac{V - IR}{\Phi} \right)$$

Қосымша резистор қоректендіру көзінің толық ток күшін қамтамасыз ететіндіктен, қозғалтқыштар үшін көп шығын үлкен қозғалтқыштар үшін тән, себебі жылдамдықтың едәуір азаюы үшін мұндай қозғалтқыштарға біраз уақыт қажет. Осындай тәсіл 30-есепте келтірілген.

29-есеп. Тізбектей тіркелген қозғалтқыш 300 В толық жүктеме үшін 90 А токты қабылдайды және ол 15 айн/с жылдамдықпен жұмыс істейді, якорь кедергісі 0.1 Ом, тізбектей жалғанған орамның кедергісі 50 мОм. Толық жүктеме үшін айналу моменті дайындалу жағдайында жылдамдықты анықтаңыз, бірақ кедергісі 0.2 Ом параллель қозу тогымен ауыстырылып отырады (Ағын қозу тогына пропорционал деп алынады).

Кернеу 300 В болса, э.қ.к.

$$\begin{aligned} E_1 &= V - IR = V - I(R_{я} + R_{орам}) = \\ &= 300 - (90)(0.1 + 0.05) = 300 - 13.5 = 286.5 \text{ В} \end{aligned}$$

0.2 Ом $R_{орам}$ -мен параллель ауыстырылады (22.30 (a)-суретті қараңыз) эквивалентті кедергі,

$$R = \frac{(0.2)(0.05)}{0.2 + 0.05} = \frac{(0.2)(0.05)}{0.25} = 0.04 \text{ Ом}$$

Токтың бір бөлігі: (22.30(a))-суреттен

$$I_1 = \left(\frac{0.2}{0.2 + 0.05} \right) I = 0.8 I$$

Айналу моменті $T \propto I_{я} \Phi$ ал толық жүктеме үшін $I_{я1} \Phi_1 = I_{я2} \Phi_2$
Ағын қозу тогына пропорционал болатындықтан

$$\Phi_1 \propto I_{я1} \text{ және } \Phi_2 \propto 0.8 I_{я2}$$

$$\text{Сонда } (90)(90) = (I_{я2})(0.8 I_{я2})$$

Осыдан

$$I_{я2}^2 = \frac{90^2}{0.8}$$

$$I_{я2} = \frac{90}{\sqrt{0.8}} = 100.62 \text{ A}$$

Олай болса э.қ.к.

$$E_2 = V - I_{я2}(R_{я} + R) =$$

$$= 300 - (100.62)(0.1 + 0.04) = 300 - 14.087 = 285.9 \text{ В}$$

Енді $E \propto \Phi n$, сондықтан

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{\Phi_1 n_1}{\Phi_2 n_2} = \frac{I_{a1} n_1}{0.8 I_{a2} n_2}$$

$$\frac{286.5}{285.9} = \frac{(90)(15)}{(0.8)(100.62)n_2}$$

Олай болса **жаңа жылдамдық**,

$$n_2 = \frac{(285.9)(90)(15)}{(286.5)(0.8)(100.62)} = 16.74 \text{ айн / с}$$

Сонымен 0.2 Ом кедергіні тізбектегі ораммен параллель қосқанда жылдамдық 15 айн/с-тан (900 айн/мин) 16.74 айн/с-қа (1004 айн/мин) дейін ұлғайды.

30-есеп. Кернеуі 400 В және ток күші 250 А қоректендіру көзіне тізбектей қозғалтқыш жалғанған, сондағы оның айналу жылдамдығы 800 айн/мин. Якорь кедергісі 0.4 Ом және козу тогының кедергісі 0.2 Ом. Алайда осы токқа сай айналу жылдамдығын 600 айн/мин дейін кеміткенде қанша қосымша кедергі қосылатынын анықтаңыз.

22.30 (b)-суретке сүйене отырып, егер айналу жылдамдығы 800 айн/мин болса, онда э.қ.к.

$$E_1 = V - I(R_{\text{я}} + R_{\text{орам}}) =$$

$$= 400 - (25)(0.4 + 0.2) = 400 - (25)(0.6) = 400 - 15 = 385 \text{ В}$$

Ток қозғалтқыштың айналу жылдамдығы 600 айн/мин өзгерсе де, тұрақты болып қалатындықтан, ағын да тұрақты.

Сондықтан $E \propto \Phi n$ немесе $E \propto n$,

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{n_1}{n_2}$$

Олай болса

$$\frac{385}{E_2} = \frac{800}{600}$$

Осыдан,

$$E_2 = \frac{(385)(600)}{800} = 288.75 \text{ В}$$

және

$$E_2 = V - I(R_{\text{я}} + R_{\text{орам}} + R)$$

Олай болса, $288.75 = 400 - 25(0.4 + 0.2 + R)$

Түрлендіру жүргізу арқасында төмендегі өрнекті аламыз:

$$0.6 R = \frac{400 - 288.75}{25} = 4.45$$

Осының нәтижесінде қосымша тізбектей жалғанғанатын кедергі тең:

$$R = 4.45 - 0.6 = 3.85 \text{ Ом},$$

Сонымен 800 айн/мин-тан 600 айн-мин-қа айналу жылдамдығын ток пен ағынның тұрақты болған жағдайда тізбектей қосылатын қосымша кедергінің шамасы 3.85 Ом-ға тең болуы керек.

Келесі жаттығуды орындаңыздар.

137-жаттығу. Тұрақты ток қозғалтқыштарының жылдамдығын бақылауға арналған есептер

1. Якорь тогының шамасы 90 А болғанда, кернеуі 350 В параллель қосылған қозғалтқыштың жылдамдығы 12 айн/с якорь кедергісі 0.3 Ом.

Табу керек:

(а) Кедергісі 0.4 Ом, ток шамасы 45 А қозғалтқыш якорьге тізбектей қосылған жағдайдағы жылдамдығын табыңыз, бұл жағдайда параллель орамның өрісі тұрақты.

(б) Ток шамасы 45 А, параллель орам өрісі өзінің қалыпты күйінен қозу тізбегіндегі кедергінің өсу нәтижесінде 75 пайызға кемігендегі қозғалтқыштың жылдамдығын есептеңіз.

[(а) 11.83айн/с (б) 16.67айн/с]

2. Тізбектей жалғанған қозғалтқыштың айналу жылдамдығы 900 айн/мин кернеуі 420 В, ток күшін 40 А-де жұмыс істейді. Якорь кедергісі 0.3 Ом, тізбектей жалғанған орамның өрісінің кедергісі 0.2 Ом. токтың шамасын өзгертпей тек айналу жылдамдығын 720 айн/мин-на дейін төмендеткендегі күй үшін тізбектей жалғанған кедергені есептеңіз.

[2 Ом]

3. Тізбектей жалғанған қозғалтқыштың кернеуі 320 В және ол 80 А ток шамасында жұмыс істейді. Толық жүктемеде ол 1080 айн/мин жылдамдыққа ие. Якорь кедергісі 0.2 Ом, тізбектей жалғанған орам өрісінің кедергісі 0.05 Ом. Қозу тогы мен ағынды жуықтап алғанда пропорционал деп алып, толық жүктеме күйінде, бірақ 0.15 Ом кедергі қозу орамымен параллель жалғанғанда айналу моментінің қарқындылығындағы қозғалтқыштың жылдамдығын есептеңіз.

[1239 айн/мин]

22.16 Қозғалтқышты салқындату

Қозғалтқыштар корпустардың түрі бойынша, салқындату дәрежесіне және олар пайдаланылатын жерлеріне байланысты жіктеледі. Қозғалтқыштар салқындатуының ең көп тараған түрі қозғалтқыш соңында сым торлармен жабдықталған вентиляторлармен жабдықтау. Сым торлар **экранмен қорғалған**, экранға су тимес үшін ол қақпақпен жабдықталған.

Тамшымен қорғалған түрі (бүркуге) берік тип экранға ұқсас, бірақ оның үстіңгі жағында қозғалтқышқа кіре берісте су тимес үшін жапқышы болады.

Жарылыстан қорғалған түрі жылу өткізгіштер қозғалтқыш корпусы арқылы салқындатылады.

Құбыр вентилятор типтес қозғалтқыштарға шаңнан тазартылған ауа жіберіледі және қозғалтқыштың ішінде орналасқан желдеткіш салқын ауаның айналымын қамтамасыз етеді.

Келесі жаттығуды орындаңыздар.

138-жаттығу. Тұрақты ток машинасына сұрақтар

1.механикалық энергияны электр энергиясына түрлендіреді
2.электр энергияны механикалық энергияға түрлендіреді
3.»коммутацияға» жету деген қандай мағынаны білдіреді?
4. Нашар коммутация ұшқындануға әкеледі. Осындай құбылысты қалай дұрыстауға болады?
5. Тұрақты ток машинаның ең негізгі бес бөлігін атаңыздар.
6. Якорь орамын екі топқа бөлуді түсіндіріңіз.
7. Якорь реакциясы қандай? Оны қалай жеңуге болады?
8. Якорь орамындағы өндірілген э.қ.к. $E = 2 p \Phi n Z / c$ формуласымен анықталады, сонда мұндағы Z, p, Φ, n, c деген параметрлерге түсініктеме беріңіздер.
9. Тізбектей қозу қозғалтқышы бар машина қозу тогы якорь тізбегімен қосылған.
10. Тұрақты ток генераторында өндірілген кернеумен клеммалардағы кернеулердің, ток пен якорь кедергілерінің қатынасы $E = \dots$ өрнегімен сипатталады.
11. Тұрақты ток машинасы параллель қосылған қозуорамы мен якорьден тұрады. Мұны параллель қосылғандеп атайды.

12. Бос жүрістің келесі жағдайлары үшін ең кең тараған түрін сипаттаңыз: (а) жеке қозған генератор, (б) параллель генератор (с) тізбектей жалғанған генератор.
13. Кең таралған жүктеме сипаттамасын келтіріңіз: (а) жеке қозған генератор үшін (б) параллель жалғанған генератор үшін
14. Бір-бір қолданылатын жерлерді атаңыз: (а) параллель жалғанған генератор үшін (б) тізбектей жалғанған генератор үшін (с) аралас жалғанған генератор үшін
15. Тұрақты ток машиналарындағы шығындар принципін келтіріңіз
16. Тұрақты ток қозғалтқыштарының пайдалы әсер коэффициентінің (.....) пайызбен берілген қатынасын келтіріңіз.
17. Өндірілген э.қ.к., Е-ні, клемма кернеуін, якорь тогы мен кедергісін тұрақты ток қозғалтқышы үшін байланыстыратын өрнекті келтіріңіз: $E = \dots\dots$
18. Тұрақты ток қозғалтқышының айналу моменті – $T = p\Phi Z I_a / \pi c$ Нм беріледі. Мұндағы әрбір мүшені сипаттаңыз: p, Φ, Z, I_a, c .
19. Төмендегіні толықтырыңыз. Тұрақты ток машинасындағы
(а) өндірілген э.қ.к. $\times$
(б) айналу моменті $\propto$ $\times$
20. Келесі сипаттамаларды келтіріңіз “айналу моменті/якорь тогы”
(а) параллель қосылған қозғалтқыш үшін
(б) тізбектей қосылған қозғалтқыш үшін
(с) аралас қосылған қозғалтқыш үшін
21. Параллель және тізбектей қосылған қозғалтқыштар үшін “жылдамдық/айналу моменті” қатынасын сипаттаңыз
22. Келесі қозғалтқыштар үшін екі қолданатын жерлерін атаңыз:
(а) параллель (б) тізбектей, (с) аралас қосылған жағдайлар
- 23-тен 26-сұрақтарға дейін айналу жылдамдығы n (айн/с) электр машиналарының біліктегі айналу моменті T , қоректендіру көзінен алатын кернеуі V мен I ток шамасымен жұмыс істеуін ескере отырып, дұрыс жауап табыңыз.

23. Генератордың кіріс қуаты.....Вт
24. Қозғалтқыштың кіріс қуаты.....Вт
25. Генератордың шығыс қуаты.....Вт
26. Қозғалтқыштың шығыс қуаты.Вт
27. Тұрақты ток қозғалтқышының өндіретін э.қ.к.-і пропорционал.
вольт
28. Тұрақты ток қозғалтқышының айналу моменті пропорционал....
Нм
29. Стартер тұрақты ток қозғалтқышына қажет, келесі себеппен
өндірілген э.қ.к.-і төменгі жылдамдықтағы
30. Параллель қосылған тұрақты ток қозғалтқышының жылдамдығы
... егер параллель орамның өрісінің кедергісі ұлғайса
31. Тұрақты ток қозғалтқышының жылдамдығы.....егер якорь
тізбегіндегі кедергі ұлғаятын болса
32. Тұрақты ток қозғалтқышының айналу жылдамдығы якорь
тогының ұлғаюымен қалай өзгереді?
33. Айналу моментінің өте үлкен мәнінде тізбектей жалғанған
тұрақты ток қозғалтқышының айналу жылдамдығы қандай?
34. Қозу тогының үлкен мәндерінде параллель жалғанған тұрақты
ток генераторының э.қ.к.-і жуықтап алғанда
35. Тізбектей жалғанған генератордың клеммаларындағы кернеу
жүктеме тогы мен ұлғаяды.
36. Тұрақты ток қозғалтқыштары тізбектей жалғанған қозу орамдарын
пайдаланады, тура басқа қозғалтқыш параллель жалғанған қозу
орамын пайдаланады. Не себептен осындай екі түрлі тұрақты ток
қозғалтқыштары қажет?
37. Үш түрлі қозғалтқыштар корпусы туралы түсініктеме беріңіз.

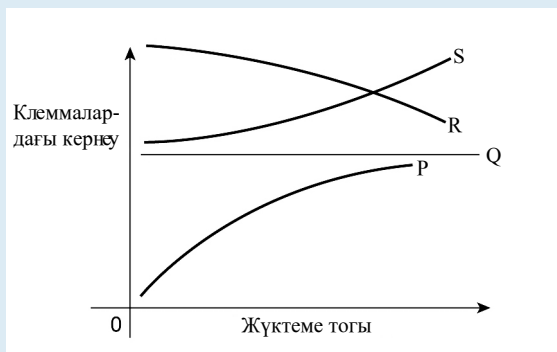
139-жаттығу. Тұрақты ток қозғалтқыштарына арналған қосымша есептер

1. Келесі жауаптардың қайсысы дұрыс емес?
 - (a) Тұрақты ток қозғалтқышы электр энергиясын механикалық энергияға айналдырады
 - (b) Тұрақты ток қозғалтқышының пайдалы әсер коэффициенті тұтынатын қуаттың шығыс қуатқа қатынасын көрсетеді
 - (c) Тұрақты ток генераторы механикалық қуатты электр энергиясына айналдырады
 - (d) Тұрақты ток генераторының пайдалы әсер коэффициенті шығыс қуатының кіріс қуатқа қатынасы
2. Машина генератор болып жұмыс істегенде тұтынылатын қуат қандай?
3. Машина қозғалтқыш болып жұмыс істегенде шығыс қуаты қандай?
4. Машина қозғалтқыш болып жұмыс істегенде шығыс қуаты қандай?
5. Машина генератор болып жұмыс істегенде шығыс қуаты қандай?
6. Машина қозғалтқыш болып жұмыс істегенде өндіретін э.қ.к.-і қандай?
7. Машина генератор болып жұмыс істегенде клеммадағы кернеуі қандай?
8. Машина генератор болып жұмыс істегенде өндірілетін кернеу қандай?
9. Машина қозғалтқыш болып жұмыс істегенде клеммадағы кернеуі қандай?
10. Келесі тұжырымдардың қайсысы дұрыс емес?
 - (a) Коммутатор тұрақты ток қозғалтқышының тек бір бөлігі түрінде якорьді бірдей бағытта айналдыру үшін қажет
 - (b) Коммутатор тұрақты ток генераторының тек бір бөлігі түрінде клеммаларда бірбағытты кернеуді өндіру үшін қажет
 - (c) Тұрақты ток машинасының қозу орамы арматура ойықтарында орналасқан

- (d) Тұрақты ток машинасының щеткелері көміртегіден және айналмайтын арматурадан жасалған
11. Тұрақты ток машинасының жылдамдығы екі еселенсе және ағын өзгермей тұрақты болып қалса, онда қандай э.қ.к. өндіріледі:
(a) сол күйінде өзгеріссіз қалады, (b) екі есе өседі, (c) екі есе азаяды
12. Егер параллель қозу тұрақты ток генераторының полюстеріндегі ағын ұлғаятын болса, ал басқа шамалары өзгеріссіз қалса, онда жылдамдық қалай өзгереді:
(a) кішірееді
(b) сол қалпында өзгеріссіз қалады
(c) ұлғаяды
13. Егер параллель қозу тұрақты ток генераторының полюстеріндегі ағын тұрақты жылдамдықта екі есе азайса, онда қанша э.қ.к. өндіріледі:
(a) екі есе ұлғаяды, (b) екі есе азаяды, (c) өзгермейді
14. Тізбектей қосылған қозу генераторы тұрақты жылдамдықта жұмыс істейді, сонда жүктеме тогының өсуімен клеммалардағы кернеу қалай өзгереді:
(a) ұлғаяды
(b) кемиді,
(c) өзгеріссіз қалады
15. Келесі тұжырымның қайсысы дұрыс емес тізбектей жалғанған тұрақты ток қозғалтқышы үшін?
(a) Якорь тізбегіндегі кедергінің өсуімен жылдамдық азаяды
(b) Ағынның азаюымен жылдамдық ұлғаяды
(c) Ауыстырып қосқыш арқылы жылдамдықты реттеуге болады
(d) Параллель орам өрісі арқылы жылдамдықты реттеуге болады
16. Келесі тұжырымның қайсысы дұрыс емес?
(a) Тізбекті қозу қозғалтқышына үлкен айналу моменті тән
(b) Параллель қозу қозғалтқышы үнемі жүктемемен жалғанған болуы керек
(c) Тізбекті қозу қозғалтқышының жылдамдығы жүктеме қосылғанда әлдеқайда азаяды
(d) Параллель қозу қозғалтқышы ол іс жүзінде жылдамдығы тұрақты машинаға жатады

17. Тұрақты ток қозғалтқышының жылдамдығы қалай ұлғайтыла алынады:
- (a) Якорь тогын ұлғайту арқылы
 - (b) Қозу тогын азайту арқылы
 - (c) Түсірілген кернеуді азайту арқылы
 - (d) Қозу тогын ұлғайту арқылы
18. Тұрақты ток қозғалтқышының якорь кедергісі 0.5 Ом, қоректендіру көзінің кернеуі 200 В және толық жылдамдықтағы кері э.қ.к. 196 В. Сонда якорь тогы қандай:
- (a) 4A
 - (b) 8A
 - (c) 400A
 - (d) 392A
19. Тұрақты ток генераторының өзегіндегі шығынның түрі:
- (a) гистерезис пен фрикциялық шығындар
 - (b) гистерезис, құйын токтары мен түйіндегі шығындар
 - (c) гистерезис пен құйын токтарының шығындары
 - (d) гистерезис, құйын токтары мен мыс шығыны
20. Параллель қозғалтқыштың қозу орамын кедергімен тізбектей қосу қандай әсер тудырады:
- (a) Магнит өрісін ұлғайтады
 - (b) қозғалтқыштың айналу жылдамдығын ұлғайтады
 - (c) Якорь тогын азайтады
 - (d) Қозғалтқыштың айналу жылдамдығын кішірейтеді
21. Тұрақты ток қозғалтқышының қоректендіру көзінің кернеуі 240 В. Егер кері э.қ.к. 230 В-а якорь кедергісі 0.25 Ом болса, якорь тогы қандай:
- (a) 10A
 - (b) 40A
 - (c) 960A
 - (d) 920A
22. Тұрақты ток қозғалтқышы, стартер резистор:
- (a) Якорь тогын қауіпсіз бастапқы мәнде шектеп отырады
 - (b) машинаның жылдамдығын реттейді
 - (c) Қозу тогының якорь арқылы ағуына жол бермейді
 - (d) Қозу тогын шектеліп, шамасы реттеліп отырады
23. 22.31-суреттен тұрақты ток параллель қозу генераторы үшін алдын ала күтілетін сипаттамаларды келтіріңіз:
- (a) P

- (b) Q
- (c) R
- (г) S



22.31-сурет

24. Коммутатор генератормен қосылған құрылғы. Оның атқаратын қызметі:
- (a) Жүктемені өзгерткен кезде ұшқындануды болдырмау
 - (b) Өндірілген айнымалы токты шығыс тұрақты тогына айналдыру
 - (c) Орамға токты беру мен алу
 - (d) Тұрақты токты өндіру.

23-ТАРАУ

ҮШ ФАЗАЛЫ АСИНХРОНДЫ
ҚОЗҒАЛТҚЫШТАРЫ

- Тараудың соңында меңгеретін сұрақтардың тізімі:
- Үш фазалы асинхронды қозғалтқыштардың артықшылықтары
- Айналмалы магнит өрісі қалай пайда болады?
- Синхронды жылдамдық деген не және $n_{синх} = (f / p)$ формуланы есептеулерде қолдана білу
- Үш фазалы асинхронды қозғалтқыштың жұмыс істеу принципі
- Қозғалтқыштың қысқа тұйықталған роторы мен фазалық роторлық типтерінің арасындағы айырмашылық
- Ротор қозғалысының пайда болу моментін түсіну
- Сырғанауды есептеу мен түсіну
- Ротордың э.қ.к., жиілігін, кедергісін, реактивті және толық кедергіні, ток пен орамдағы шығынды таба білу және оларды есептей алу.
- Асинхронды қозғалтқыштағы шығынды белгілеп, эффективтілікті есептеу
- Асинхронды қозғалтқыштағы моменттің теңдеуін табу, моменттің максималды айнала алатын шартын анықтау және септеулер жасай білу
- Асинхронды қозғалтқыштар үшін жылдамдық моменті мен сырғанаудың айналу моментін анықтау
- Асинхронды қозғалтқыштарды жұмыс істету тәсілдерін келтіру және оларды анықтау
- Асинхронды қозғалтқыштың қысқа тұйықталған роторы мен фазалық роторлық типтерінің артықшылықтары
- Асинхронды қозғалтқыштардың қос торларын түсіндіру
- Үш фазалы асинхронды қозғалтқыштың қолданатын жерлері

23.1 Кіріспе

22-тарауда тұрақты ток қозғалтқыштарында якорьлық орам (ротор) стационарлы магнит өрісінде айналатыны туралы сұрақтар келтірілген болатын. Үш фазалы асинхронды қозғалтқышта магнит өрісі айналып, ешқандай ротормен сырттан қосылатын электрлік байланысы қажет болмағандықтан, мұны қозғалтқыштың артықшылығы деп қарастыруға болады. Қоректендіру көзіне қоспай-ақ магнит өрісінің әсерінен роторда токтың пайда болуы осы құрылғының аталуына себепші болып табылады. Нәтижесінде келесі қасиеттерімен сипатталатын қозғалтқыштарды келтіруге болады: (1) арзан және сенімді, (2) коммутатордың немесе түйіспелі сақиналары мен щөткелері **болмайтын**, (щөткелердің салдарынан жағымсыз құбылыстар болып тұрады, мысалы ұшқындау сияқты), (3) мамандандырылған күтімді қажет **етпейтін**, қоректендіру ток көзіне жалғаған кезде өзін-өзі ажыратып **қоса алатын** және қосымша жабдықтарды қажет етпейтін. Үш фазалы асинхронды қозғалтқыш жылдамдықты оңай басқара алмайтын себебінен осы қасиеті оның ең басты кемістігіне жататын болады.

23.2 Айналатын магнит өрісін алу

Симметриялы үш фазалы орамға үш фазалы қоректендіру көзі жалғанса орамда өтетін ток магнит өрісін тудырады. Осы магнит өрісінің мөлшері тұрақты болып және ол тұрақты жылдамдықпен айналса, **онда оны синхронды жылдамдық** деп атайды.

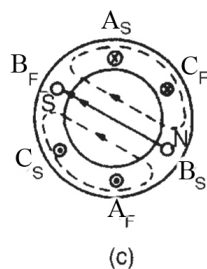
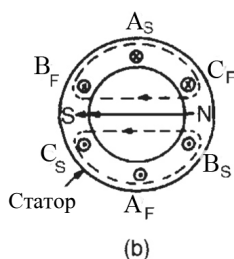
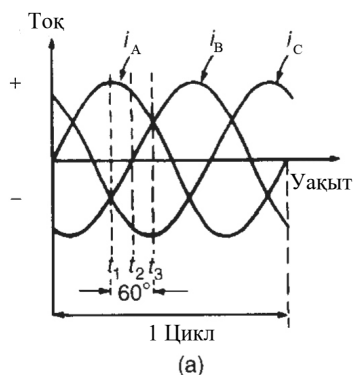
Әрбір фазаға бір-бірден $A_S A_F$ (қызыл фаза), $B_S B_F$ (сары фаза), $C_S C_F$ (көк фаза) деп белгіленген және F – (F-финиш) соңы мен S – (старт) бастаманы білдіретін белгілері бар бір ілмекті үш өткізгіштен тұратын орам *23.1-суретте* келтірілген. Әрбір фазаның әрбір орамы іс жүзінде көптеген шумақтардан тұрып, статордың айналасында таралады; **бір ілмекті** деген термин тек анық түсінікті келтіру үшін қолданылады.

Статордың орамы үш фазалы қоректендіру көзімен жалғанғанда әрбір орамда ағып өтетін ток уақыт бойынша өзгередінін *23.1 (а)-суреттен* көруге болады. Егер орамдағы токтың мәні оң болса, онда ток орамның басынан басталып аяғына дейін ағады деп болжанады, мысалы, егер қызыл фаза болса, онда ток A_S ден A_F -ке қарай, яғни бақылаушыдан A_S -ке қарай және бақылаушыдан A_F -ке қарай ағады деген сөз. Ал егер токтың шамасы теріс болса, онда ол орамның аяғынан басына қарай

аққаны, яғни бақылаушыдан ‘S’ орамға қарай және бақылаушыдан ‘F’ орамға қарай аққаны.

t_1 -уақыт моментінде 23.1 (а)-суретте көрсеткендей қызыл фазада ағатын токтың мәні максималды. Тура сол уақыт ішінде сары және көк фазада ағып жатқан токтың максималды мәнінен 0.5 есе кем және теріс. Статор орамындағы токтың үлестірілуі 23.1 (б)-суретте көрсеткендей ток оң болғандықтан, бақылаушыдан A_S орамға қарай оның бағытталғаны ($\otimes$) белгісімен көрсетілген. Керісінше ток теріс таңбалы болғанда B_S пен C_S -тің бақылаушыға қарай бағытталғаны ($\odot$) белгісімен көрсетілген. Нәтижесінде магнитті өріс «соленоид» әсері мен бұрғы ережесін қолдану арқылы суретте келтіргендей болып көрінеді.

t_2 момент уақыты өткенде қызыл фазада ағатын ток оң және өзінің максималды мәнінен 0.87 есе түсіп, сары фазада ағатын токтың шамасы нөлге теңеседі, ал көк фазада ағатын ток теріс және максималды мәнімен салыстырғанда 0.87 есе кіші шамасымен сипатталады. Ток пен магнит өрісітерінің нәтижелері 23.1(с)-суретте келтірілген. t_3 уақыт аралығында



23.1-сурет

қызыл және сары фазаларда токтың мәні 0.5 максималды мәнге, ал көк фазада ағатын ток теріс максималды мәнге ие болады. Ток пен магнит өрістерінің қорытынды түрлері 23.1 (d)-суретте келтірілген.

23.1 (b), (c) және (d)-суреттердегі ұқсас диаграммалар уақыттың барлық мәндері үшін келтірілген және мұндай диаграмма қоректендіру кернеуінің әрбір циклына сәйкес айналымнан өтетін магнит өрісі статордың орамына берілетінін көрсетеді.

Төменде көрсеткендей ток шамасының орнына ағынның шамасын қарастырса, айналмалы магнит өрісі тұрақты ағынға ие бола алады. 23.2(a)-суретте көрсеткендей үш орам үш фазалы қоректендіру көзіне жұлдызша қосылған. Орамнан өтетін ағынның оң бағыттары ток арқылы туындалсын және оларды Φ_A , Φ_B және Φ_C сәйкесінше белгілейік. Φ_A , Φ_B және Φ_C бағыттары өзгермейді, бірақ олардың мәндері кез келген уақыт моментінде орамдағы токтың шамасына пропорционал. t_1 момент уақытында 23.2 (b)-суретте көрсеткендей, орамда ағатын ток:

i_B – оң максималды мән, яғни ағын Р нүктесіне қарай бағытталған, i_A мен i_C теріс және максималды мәnnің жартысымен сипатталған, яғни ағын Р нүктесінен басталған.

Мұндай токтар Φ_A , Φ_B және Φ_C магнит ағындарын тудырады, олардың мәндері мен бағыттары 23.2(c)-суретте келтірілген. Осындай жолмен алынған магниттік ағын Φ_A , Φ_B және Φ_C -ның қосындысы Φ -векторлық сомасына тең екенін 23.2 (e)-суреттен көруге болады.

t_2 уақыт моментінде ағатын ток:

i_B – 0.866×максималды оң шама, i_C – нөл, i_A – 0.86× максималды теріс шама.

23.2 (d)-суретте магнит ағындары мен туындалған магнит ағындары келтірілген.

t_3 уақыттыңда:

i_B – 0.5×максималды мән және таңбасы оң;

i_A – максималды мән және таңбасы теріс,

i_C – 0.5× максималды мән және таңбасы оң.

Магнит ағындары мен туындалған магнит ағындары 23.(e)-суретте келтірілген.

23.2(c)-, (d)- және (e)-суреттерді талдағанда Φ – магнит ағынының сомасы әр жағдай үшін тұрақты, яғни ол Φ_A , Φ_B немесе Φ_C -нің

максималды мәнінің $1\frac{1}{2} \times \varphi_A$ немесе (φ_B, φ_C) бөлігіне тең болып қалса да, оның бағыты өзгерістерге ұшырайды.

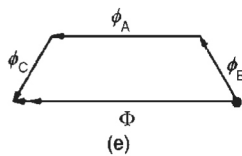
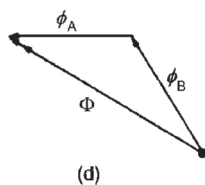
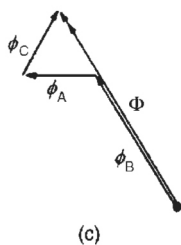
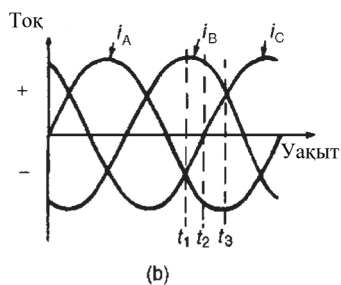
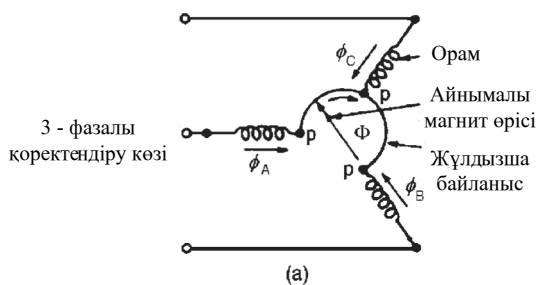
23.3 Синхронды жылдамдық

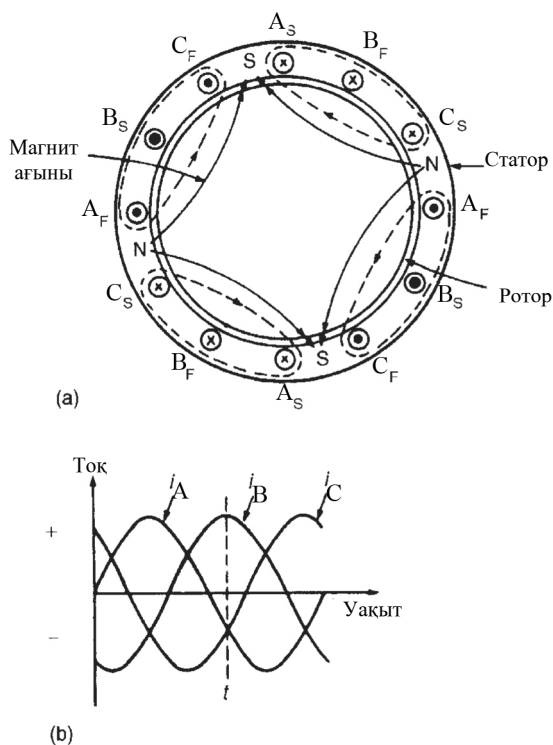
Магнит ағынының сомасын анықтау уақыттың барлық мәндерінде қайталанып шықты, сонда шыққан қорытынды бойынша осы магнит ағынының сомасы барлық уақыт мәндері үшін тұрақты, сонымен қатар оның бір цикл қоректендіру кернеуіне сай бір айналым жасап, тұрақты жылдамдықпен айналатыны белгілі болды.

Магниттің оң және теріс полюстарының синхронды жылдамдықпен айналуы арқылы үш фазалы орам айналымды магнит өрісін тудыра алады, *(23(b), (c) және (d)-суретіндегі* ағын векторының ұшындағы N мен S сияқты). Осы себептен ол үш фазалы орам арқылы асинхронды қозғалтқыш пен 2 полюстің жүйесі болғанына қарамастан, оны 2 полюсті асинхронды қозғалтқыш деп атап кеткен.

Айналатын ротор орамында токтың қоздыруынан туған магнит өрісі статордың қозғалмайтын орамының шумақтарында осы шумақтарды кесіп өту нәтижесінде оларда э.қ.к.-ін индукциялайды. Роторда орналасқан қозу орамы тұрақты кернеу (қоздырушы) көзінен қоректенеді. Осы себептен оны екі полюс пен үш фазалы орамы бар асинхронды қозғалтқыштан тұратын жүйе деп қысқаша екі полюсті асинхронды қозғалтқыш деп атайды. *23(a)-суретте* көрсеткендей, егер алты орам бір-бірімен салыстырғанда 60° градусқа ығыса отырып орналасса, онда ток пен магнит өрісінің қосындысының диаграммасын уақыттың әртүрлі моменттері үшін салғанда келесі қорытындыны жасауға болады: статор орамынан өтетін қоректендіру көзінің **бір циклы** жарты айналымды жасау үшін жұмсалатын магнит өрісін тудыра алады. *23(a)-суретте* статор орамындағы токтың үлестірілуі мен *23.(b)-суретте t-уақыт* аралығындағы үлестірілу келтірілген.

Қорытынды ағын φ_A , φ_B және φ_C шамаларының векторлық қосындысынан тұратынын *23.2(c)-суретінен* көруге болады.





23.3-сурет

Статордың 6 орамы тудыратын магнит ағыны солтүстік полюстегі екі тұрақты магнит пен оңтүстік полюстегі екі тұрақты магниттің синхронды жылдамдықпен айналуынан туатын магнитті ағындарымен бірдей. Мұны төрт полюсті жүйе деп және алты фазалы орамды пайдаланатын асинхронды қозғалтқышты төрт полюсті **асинхронды қозғалтқыш** деп атайды. Фазалы орам саны өскенде полюстер саны да кез келген жұп санына дейін өзгеруі мүмкін.

Жалпы алғанда, статор орамындағы токтың жиілігі f -ке тең болса және статор p қос полюстеріне сай эквивалентті оралса, онда айналмалы магнит өрісінің айналу жылдамдығы $n_{\text{синх}}$ — **синхронды жылдамдық** деп аталады және келесі формуламен анықталады:

$$n_{\text{синх}} = \frac{f}{p} \text{ айн / с}$$

1-есеп. Үш фазалы асинхронды екі полюсті қозғалтқыш жиілігі 50 Гц қоректендіру көзіне жалғанған. Қозғалтқыштың синхронды жылдамдығын айн/мин өлшемінде табу керек.

$n_{\text{синх}} = (f/p)$ формуласынан, $n_{\text{синх}}$ – синхронды жылдамдық, f – статорға берілетін қоректендіру көзінің жиілігі (Гц), p – **қос** полюстер саны. Электр қозғалтқыш жиілігі 50 Гц қоректендіру көзіне қосылғандықтан, $f = 50$.

Қозғалтқыш екі полюсті жүйе болғандықтан, қос полюс саны 1-ге тең. Олай болса, синхронды жылдамдық тең: $n_{\text{синх}} = (50 / 1) = 50$ айн/мин = 50×60 айн/мин = 3000 айн/мин.

2-есеп. Жиілігі 60 Гц үш фазалы жүйемен статордың орамы жалғанған, сонда 900 орам/мин жылдамдығына сәйкес айнала алатын магнит өрісі туады. Олай болса, полюстер саны қандай болғаны?

Синхронды жылдамдық,

$$n_{\text{синх}} = 900 \text{ айн/мин} = \frac{900}{60} \text{ айн / с} = 15 \text{ айн/с}$$

Олай болса,

$$n_{\text{синх}} = \left(\frac{f}{p} \right), \quad p = \left(\frac{f}{n_{\text{синх}}} \right) = \left(\frac{60}{15} \right) = 4$$

Қос полюстер саны төртке тең, сондықтан полюстер саны 8 болғаны.

3-есеп. Үш фазалы екі полюсті қозғалтқыштың синхронды жылдамдығы 6000 айн/мин. Қоректендіру көзінің жиілігін есептеңіздер.

$$n_{\text{синх}} = \left(\frac{f}{p} \right)$$

болғандықтан,

$$f = (n_{\text{синх}})(p) = \left(\frac{6000}{60} \right) \left(\frac{2}{2} \right) = 100 \text{ Гц}$$

Келесі жаттығуды орындаңыздар.

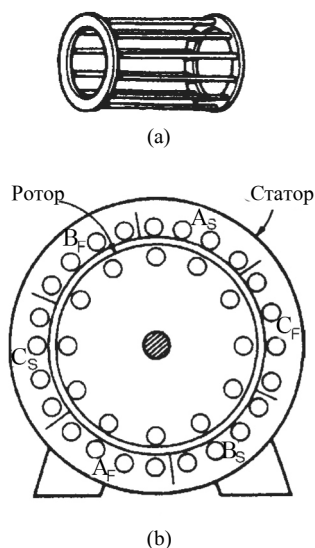
140-жаттығу. Синхронды жылдамдыққа қосымша есептер

1. Үш фазалы төрт полюсті асинхронды қозғалтқыштың синхронды жылдамдығы 60 айн/с. Статордың орамын қоректендіретін ток көзінің жиілігін анықтаңыз.
[120 Гц]
2. Үш фазалы асинхронды қозғалтқыштың синхронды жылдамдығы 25 айн/с, ал статордың орамын қоректендіретін ток көзінің жиілігі 50 Гц. Электрқозғалтқыштың қанша қос полюсы бар?
[2]
3. Үш фазалы алты полюсті асинхронды жиілігі қозғалтқыш 300 Гц қоректендіру көзіне жалғанған. Статор арқылы туған магнит өрісінің айналу жылдамдығын анықтаңыздар.
[1200айн/с]

23.4 Үш фазалы асинхронды қозғалтқыштың конструкциясы

Үш фазалы асинхронды қозғалтқыштың қозғалмайтын бөлігі статор тұрақты ток машинасының қозғалтқышының тұғыры болып табылады. Оның орамдары ротордың айналу жылдамдығына сәйкес айналмалы магнит өрісінің екі, төрт, алты полюстерін бере алады. Құйынды токты әлсірететін қабаттасқан темірден тұратын ротор тұрақты ток қозғалтқышының арматурасына сәйкес келеді.

Мыс немесе алюминий біліктері қатпарлы темір кетігінің ішіне орналастырылған және сол біліктің ұштары ток өткізе алатын ауыр сақинаға дәнекерленіп немесе пісірілген қысқа тұйықталған ротор 23.4 (a)-суретте көрсеткендей практикада, әсіресе кең қолданылады. Үш фазалы асинхронды қозғалтқыштың көлденең қимасы 23.4 (b)-суретте келтірілген.



23.4-сурет

Темір ротордың пластинкалық (қатпар-қатпар) өзегіндегі кетікте (пазда) өткізгіштер орналасқан. Егер кетіктерді қисайтып орналастырса, онда бастапқы қозғалыс біртіндей басталып, шудың бәсеңдеуі тез жетілетін болады. Мұндай ротордың түрі сырттан ешқандай қондырғымен жалғанбағандықтан, контактылы сақиналар мен щөткелердің (түкшелердің) қажеті болмағаны. Қысқа тұйықталған роторы бар қозғалтқыш арзан, сенімді және тиімді болып келеді. Ротордың басқа түрі – **фазалық** ротор. Статор сияқты мұндай ротордың кетіктерінде фазалық орамдар орналасқан. Үш контактылы сақинамен қосылған орамдар бір-бірімен жұлдызша немесе үшбұрыштап жалғануы мүмкін. Жеке қарастырғанда, әсіресе ротор тізбегінің сыртқы кедергісін іске қосу үшін контактылы сақиналар қолданылады, алайда жай жұмыс істегенде контактылы сақиналар қысқа тұйықтау береді. Қысқа тұйықталған және фазалы роторлардың жұмыс істеу принциптері бірдей.

23.5 Үш фазалы асинхронды қозғалтқыштың жұмыс істеу принципі

Статордың орамына үш фазалы қоректендіру көзі жалғанғанда айналмалы магнит өрісі туады. Ротордағы өзекті магнит ағыны кесіп өтетіндіктен, онда э.к.к. индукцияланады, ол ток өткізетін сақиналардың

ұштары арқылы жалғанғандықтан, басқа өзектің полюсінде де ток аға бастайды. Өзек арқылы ағатын осы токпен байланысты пайда болған магнит өрісі айналмалы магнит өрісімен әсерлеседі, соның нәтижесінде роторды айналдыра алатын қозғалтқыш күш пайда болады, бұл күштің бағыты айналмалы магнит өрісінің бағытымен бағыттас (23.5-сурет). Ротордың барлық өткізгіштері үшін осы сияқты факторлар әсер ететіндіктен, пайда болған айналу моменті роторды айналдыра қозғалта алады.



23.5-сурет

23.6 Сырғанау

Айналатын магнитті өрістің бағытында ротор өзегінің күші әсерінен ротор айнала бастайды. Ротор өзінің жылдамдығын ұлғайта бастағанда, ротордың өзегін кесіп өтетін айналмалы магнит өрісінің жылдамдығы кіші және ротордағы өзектің индукцияланған э.қ.к. жиілігі де кіші. Егер ротор мен айналмалы магнит өрісінің жылдамдықтары бірдей болса, онда роторда э.қ.к.-і индукцияланбайды; сонда ешқандай әсер ететін күштің болмағандығынан роторда айналу моменті доғарылып, ротор енді айнала алмайды. Айналу моменті баяулана бастап, содан кейін мүлдем тоқтап қалады. Осы себептермен ротор ешқашанда синхронды жылдамдықта жұмыс істей алмайды.

Роторда жүктеме болмаған жағдайда, ауаның қарсыласу күштері мен мойынтіректің үйкелісінің аздығынан ротор синхронды жылдамдыққа жақын жылдамдықпен қозғалуы мүмкін. Ротор жүктелген болса, оның жылдамдығы төмендейді, нәтижесінде білігінде (стерженінде) э.қ.к. жиілігі ұлғаяды, олай болса, ротордың тоғы, күші мен айналу моменті де ұлғая бастайды. n_r - ротордың жылдамдығы мен $n_{\text{синх}}$ синхронды жылдамдықтың айырымы **сырғанау жылдамдығы** деп аталады:

Сырғанау жылдамдығы,

$$n_{\text{синх}} - n_r \text{ айн/с}$$

Осы екі шаманың қатынасы **фракциялық сырғанау** немесе әншейін жай ғана **сырғанау** деп аталады, әдетте пайыз арқылы сипатталады:

Сырғанау,

$$s = \left(\frac{n_{\text{синх}} - n_r}{n_{\text{синх}}} \right) \times 100\%$$

Қозғалтқыштың бос жүрісі мен толық жүктемесі болғандағы қозғалтқыштардың әдеттегі сырғанау шамалары үлкен қозғалтқыштар үшін 4%-ға 5% арасында, ал кіші қозғалтқыштар үшін 1.5%-дан 2% арасында жатады.

4-есеп. Үш фазалы төрт полюсті статорлы қозғалтқыш жиілігі 50 Гц коректендіру көзіне қосылған. Толық жүктемелі ротордың айналу жылдамдығы 1455 айн/мин. Анықтау керек: (а) синхронды жылдамдықты, (б) толық жүктемедегі сырғанауды.

(а) Қос полюстер саны $p = (4/2) = 2$. Коректендіру көзінің жиілігі 50 Гц. Синхронды жылдамдық,

$$n_{\text{синх}} = (f/p) = (50 / 2) = 25 \text{ айн/с}$$

(б) Ротордың жылдамдығы,

$$n_r = (1455 / 60 = 24.25) \text{ айн/с}$$

Толық жүктемедегі сырғанау,

$$s = \left(\frac{n_{\text{синх}} - n_r}{n_{\text{синх}}} \right) \times 100\% = \left(\frac{25 - 24.25}{25} \right) \times 100\% = 3\%$$

5-есеп. Үш фазалы, жиілігі 60 Гц, асинхронды қозғалтқыштың екі полюсі бар. Егер белгілі бір жүктеменің шамасында сырғанауы 2%-ға тең болса, табыңыз: (а) синхронды жылдамдықты, (б) ротор жылдамдығын, (с) ротордағы индукцияланған э.к.к.-нің жиілігін.

(а) $f = 60 \text{ Гц}$ және $p = (2/2) = 1$

сондықтан синхронды жылдамдық

$$n_{\text{синх}} = (f/p) = (60 / 1) = 60 \text{ айн/с}$$

немесе

$$60 \times 60 = 3600 \text{ айн / мин}$$

$$2 = \left(\frac{60 - n_r}{60} \right) \times 100\%$$

$$2 = \left(\frac{60 - n_r}{60} \right) \times 100\% \text{ айн / с}$$

Олай болса,

$$\frac{2 \times 60}{100} = 60 - n_r$$

Ендеше, ротор жылдамдығы

$$n_r = 60 - \frac{2 \times 60}{100} = 58.8 \text{ айн / с}$$

Сонымен, ротордың жылдамдығы $58.8 \times 60 = 3528$ айн/мин.

(b) Ротордың жылдамдығы 3528 айн/мин, ол синхронды жылдамдық болғандықтан 60 айн/с;

(c) Синхронды жылдамдық 60 айн/с болғандықтан, айналмалы магнит өрісі ротордың өзегін $(60 - 58.8) = 1.2$ айн/с жылдамдығымен кесіп өтеді.

Осындай жағдайда ротордың өзегінде э.к.к.-і индукцияланады және ол тең:

$$f = n_{\text{синх}} p = (1.2) \left(\frac{2}{2} \right) = 1.2 \text{ Гц}$$

6-есеп. Жиілігі 50 Гц үш фазалы асинхронды қозғалтқыш қоректендіру көзімен жалғанған. Сырғанауы 4% болғанда оның жылдамдығы 1200 айн/мин. Синхронды жылдамдықты анықтаңыз.

Сырғанау

$$s = \left(\frac{n_{\text{синх}} - n_r}{n_{\text{синх}}} \right) \times 100\%$$

Ротордың жылдамдығы

$$n_r = 1200 / 60 = 20 \text{ және } s = 4$$

Олай болса,

$$4 = \left(\frac{n_{\text{синх}} - 20}{n_{\text{синх}}} \right) \times 100\%$$

немесе

$$0.04 = \left(\frac{n_{\text{синх}} - 20}{n_{\text{синх}}} \right)$$

Осыдан

$$n_{\text{синх}}(0.04) = n_{\text{синх}} - 20$$

және

$$20 = n_{\text{синх}} - 0.04 n_{\text{синх}} = n_{\text{синх}} (1 - 0.04)$$

Олай болса синхронды жылдамдық, 1250 айн/мин

$$n_{\text{синх}} = \frac{20}{1 - 0.04} = 20.83 \text{ айн} / \text{с} = (20.83 \times 60) \text{ айн} / \text{мин} = 1250 \text{ айн} / \text{мин}$$

Келесі жаттығуды орындаңыздар.

141-жаттығу. Сырғанауға арналған қосымша есептер

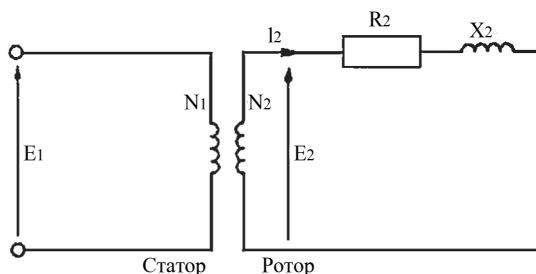
- Белгілі бір жүктеменің шамасында 6 полюсті 3 фазалы асинхронды қозғалтқыштың жылдадығы 970 айн/мин. Жиілігі 50 Гц статор қоректендіру көзімен жалғанған. Сонда осы жүктеме үшін сырғанау пайызын табыңыз.
[3%]
- 3 фазалы қоректендіру көзінің жиілігі 50 Гц. Толық жүктемедегі сырғанауы 2.5% болса, анықтаңыз: (а) синхронды жылдамдықты, (б) ротордың жылдамдығын, (с) ротордың э.к.к.-нің жиілігін.
[(а) 750 айн/мин (б) 731 айн/мин (с) 1.25 Гц]
- 3 фазалы асинхронды қозғалтқыш 60 Гц жиілігінде жұмыс істейді. Жылдамдығы 1710 айн/мин және сырғанау пайызы 5% болғандағы синхронды жылдамдықты анықтаңыз.
[1800 айн/мин]

4. Толық жүктеме жағдайында 4 полюсті, 3 фазалы, жиілігі 50 Гц асинхронды қозғалтқыштың жылдамдығы 1440 айн/мин. Есептеңіз: (а) синхронды жылдамдықты, (б) сырғанауды, (с) индукцияланған э.қ.к.-ің жиілігін.

[(а) 1500 айн/мин (б) 4% (с) 2 Гц]

23.7 Ротордың э.қ.к. мен жиілігі

Асинхронды қозғалтқыш қозғалмайтын орнықты болса, статор мен ротордың орамдары эквивалентті трансформатор түзе алады, оны 23.6-суреттен көруге болады.



23.6-сурет

Тыныштық күйі үшін ротордың э.қ.к. тең:

$$E_2 = \left(\frac{N_2}{N_1} \right) E_1$$

мұндағы статор фазасына лайықты қоректендіру көзінің кернеуі – E_1 .

Асинхронды қозғалтқыш жұмыс істеген кезде өткізгіштер мен айнымалы магнит өрісі арасындағы салыстырмалы қозғалыс аз болғандықтан ротордағы э.қ.к. кішірейеді. Индукцияланған э.қ.к. осы қозғалысқа пропорционал, олай болса ол «с» сырғанауға пропорционал болуы қажет. Сондықтан қозғалтқыш жұмыс істеген кезде ротордың фазасы үшін э.қ.к.-сі:

$$= E_r = sE_2$$

Фаза үшін ротордың э.қ.к.,

$$s = \left(\frac{N_2}{N_1} \right) E_1 \quad (2)$$

Ротордың жиілігі

Ротордың э.к.к. айнымалы ағынмен индукцияланады және өткізгіштен өтетін ағын жылдамдығы сырғанау жылдамдығы болып табылады. Олай болса, ротордың э.к.к.-ің жиілігі анықталады:

$$f = (n_{\text{синх}} - n_r) p = \left(\frac{n_{\text{синх}} - n_r}{n_{\text{синх}}} \right) (n_{\text{синх}} p)$$

Алайда, $(n_{\text{синх}} - n_r) / n_{\text{синх}}$ өрнегі S сырғанау болып, ал $(n_{\text{синх}} p)$ өрнегі f - қоректендіру көзінің жиілігі болып табылады, олай болса

$$f_r = sf \quad (3)$$

7-есеп. Статоры 8-полюсты жиілігі 50 Гц қоректендіру көзіне электрқозғалтқыш жалғанған және жиілігі 3 Гц ротор берілген.

(а) Сырғанауды, (b) ротордың айналу жылдамдығын анықтаңыз:

(а) (3) тендеуден, $f_r = sf$

Олай болса, $3 = (s)(50)$ осыдан,

Сырғанау

$$s = \frac{3}{50} = 0.06$$

Немесе, 6%

Синхронды жылдамдық,

$$n_{\text{синх}} = f/p = 50 / 4 = 12.5 \text{ айн/с}$$

немесе

$$(12.5 \times 60) = 750 \text{ айн / мин}$$

(b) Ротордың жылдамдығы,

$$n_r = 12.5 - (0.06)(12.5) = 11.75 \text{ айн/с}$$

$$705 \text{ немесе айн/мин}$$

Келесі жаттығуды орындаңыздар.

142-жаттығу: Ротордың жиілігіне арналған қосымша есептер

- 12 полюсті, 3 фазалы, жиілігі 50 Гц асинхронды қозғалтқыш 475 айн/мин жылдақтықта жұмыс істейді. Анықтаңыз: (а) сырғанау жылдамдығын, (б) сырғанау пайызын, (с) ротор тогының жиілігін.
[(а) 25 айн/мин (б) 5% (б) 2.5Гц]
- 6 полюсті асинхронды қозғалтқыш статорының коректендіру көзінің жиілігі 50 Гц және роторының жиілігі 2 Гц. Анықтаңыз: (а) сырғанауды, (б) айн/мин бірлігімен алғандағы ротордың жылдамдығын.
[(а) 0.04 немесе 4% (б) 960айн/мин]

23.8 Ротордың толық кедергісі мен тогы

Ротордың кедергісі

R_2 кедергісі бар ротор жиілікке тәуелді емес, олай болса ол тұрақты болып қалады.

Ротордың реактивті кедергісі

Ротордың реактивті кедергісі ротор тогының жиілігіне тәуелді және тыныштық күйінде фаза үшін реактивті. Жұмыс істегенде фаза үшін реактивті кедергі:

$$X_r = 2\pi f_r L = 2\pi (sf_r L)$$

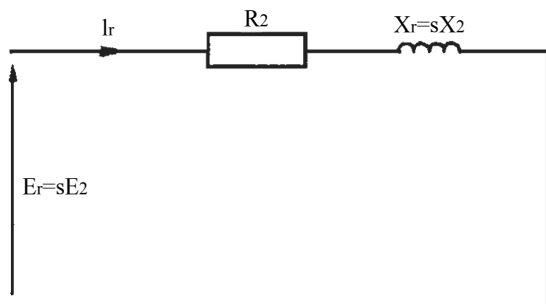
(3) теңдеуден

$$= s(2\pi f L),$$

яғни

$$X_r = sX_2 \quad (4)$$

23.7-сурет ротордың жұмыс істеу тізбегін көрсетеді.



23.7-сурет

Ротордың толық кедергісі

Фаза үшін ротордың толық кедергісі,

$$Z_r = \sqrt{R_2^2 + (sX_2)^2} \quad (5)$$

Тыныштық күйіндегі сырғанау,

$$Z_2 = \sqrt{R_2^2 + X_2^2} \quad (6)$$

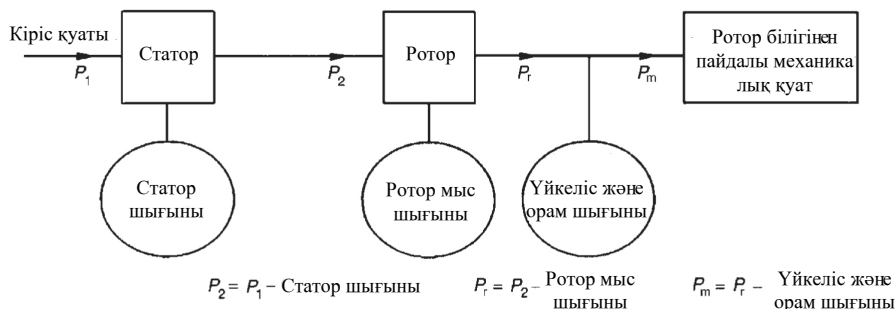
Ротор тогы

23.6 және 23.7-суреттен тыныштық күйдегі іске қосылатын ток,

$$I_2 = \frac{E_2}{Z_2} = \frac{\left(\frac{N_2}{N_1}\right)E_1}{\sqrt{R_2^2 + X_2^2}} \quad (7)$$

Жұмыс істеген кездегі ток

$$I_r = \frac{E_r}{Z_r} = \frac{\left(\frac{N_2}{N_1}\right)E_1}{\sqrt{R_2^2 + (sX_2)^2}} \quad (8)$$



23.8-сурет

23.9 Ротор орамының шығыны

Қуат $P = 2\pi nT$, мұндағы $T \text{ Н} \cdot \text{м}$ алынған айналу моменті, олай болса $T = (P / 2\pi n)$. Егер айналмалы өрістен алынған ротордың кіріс қуаты болса, $P_{\text{механ}}$ механикалық шығыс өріс болып табылады, (соның ішінде үйкеліске кететін шығын да жатады), сонда

$$T = \frac{P_2}{2\pi n_{\text{синх}}} = \frac{P_{\text{механ}}}{2\pi n_r}.$$

Осыдан

$$\frac{P_2}{n_{\text{синх}}} = \frac{P_{\text{механ}}}{n_r}$$

немесе

$$\frac{P_{\text{механ}}}{P_2} = \frac{n_r}{n_{\text{синх}}}.$$

Олай болса,

$$1 - \frac{P_{\text{механ}}}{P_2} = 1 - \frac{n_r}{n_{\text{синх}}}$$

немесе

$$\frac{P_2 - P_{\text{механ}}}{P_2} = \frac{n_{\text{синх}} - n_r}{n_{\text{синх}}} = s.$$

(5) $P_2 - P_{\text{механ}}$, ротордағы электр немесе мыс шығыны, ендеше

$$P_2 - P_{\text{механ}} = I_r^2 R_2$$

Сырғанау

$$s = \frac{\text{ротор мыс шығыны}}{\text{кіріс ротор}} = \frac{I_r^2 R_2}{P_2} \quad (9)$$

Ротордың тұтынатын қуаты

$$P_2 = \frac{I_r^2 R_2}{s} \quad (10)$$

23.10 Асинхронды қозғалтқыштардың шығындары мен пайдалы әсер коэффициенттері

23.8-суретте асинхронды қозғалтқыштардағы шығындардың сомасы келтірілген. **Қозғалтқыштың** пайдалы әсер коэффициенті:

$$\eta = \left(\frac{\text{шығыс қуаты}}{\text{кіріс қуаты}} \right) \times 100\% = \left(\frac{P_{\text{макс}}}{P_1} \right) 100\%$$

8-есеп. Үш фазалы асинхронды қозғалтқышқа берілетін қуаттың шамасы 32 кВт және статордағы шығынның қуаты 1200 Вт. Сырғанау 5% болса, анықтау керек: (а) ротордың орам шығынын, (б) ротормен күшейтілген жалпы механикалық қуатты, (с) егер ауа шығынының кедергісі мен үйкелісі 750 Вт болса, қозғалтқыштың шығыс қуатын, (d) асинхронды қозғалтқыштың пайдалы әсер коэффициентін, магнит жүйесіндегі шығынды ескермеуге болады.

(а) Ротордың кіріс қуаты=статордың кіріс қуаты-статор шығыны

$$32 \text{ кВт} - 1.2 \text{ кВт} = 30.8 \text{ кВт}$$

(9)-теңдеуден сырғанау s =ротордағы мыс шығыны/ротордың кіріс қуаты, яғни

$$\frac{5}{100} = \frac{\text{ротор мыс шығыны}}{30.8}$$

осыдан ротордағы мыс шығыны $= (0.05)(30.8) = 1.54 \text{ кВт}$

(b) Ротордың жалпы механикалық қуаты = ротордың кіріс қуаты - ротордағы мыс шығыны $= 30.8 - 1.54 = 29.26 \text{ кВт}$

(c) Қозғалтқыштың шығыс қуаты,

Ротордың күшейтілген жалпы механикалық қуатты-үйкеліс және ауа кедергісінен болған шығыны $= 29.26 - 0.75 = 28.51 \text{ кВт}$

(d) Асинхронды қозғалтқыштардың пайдалы әсер коэффициенті,

$$\eta = \left(\frac{\text{шығыс қуаты}}{\text{кіріс қуаты}} \right) \times 100\% = \left(\frac{28.51}{32} \right) 100\% = 89.10\%$$

9-есеп. 8-есепте берілген асинхронды қозғалтқыш ротордың сыртқы кедергісінің нәтижесінде өзінің синхронды жылдамдығының 35% азайтады. Айналу моменті мен статордың шығыны өзгеріссіз деп алынса, табыңыз: (a) Ротордың мыс шығынын, (b) қозғалтқыштың п.э.к.-і

(a) Сырғанау

$$s = \left(\frac{n_{\text{синх}} - n_r}{n_{\text{синх}}} \right) \times 100\% = \left(\frac{n_s - 0.35 n_s}{n_s} \right) \times 100\% = (0.65)(100) = 65\%$$

Ротордың кіріс қуаты, $= 30.8 \text{ кВт}$ (8-есептен)

Олай болса, s = ротордың мыс шығыны / ротордың кіріс қуаты

Сонда ротордың мыс шығыны $= (s)(\text{ротордың кіріс қуаты}) =$

$$\left(\frac{65}{100} \right) (30.8) = 20.02 \text{ кВт}$$

(b) Ротордың қуаты = ротордың кіріс қуаты - ротордың мыс шығыны $= 30.8 - 20.02 = 10.78 \text{ кВт}$

Қозғалтқыштың шығыс қуаты = ротордың қуаты - үйкеліс пен ауа кедергісінің әсерінен болған шығындар $= 10.78 - 0.75 = 10.03 \text{ кВт}$

Пайдалы әсер коэффициенті, $\eta = (\text{шығыс қуаты/кіріс қуаты}) \times 100\%$
 $= (10.03/32) \times 100\% = 31.34 \%$

Келесі жаттығуды орындаңыздар.

143-жаттығу. П.э.к. және шығындарға арналған есептер

1. Үш фазалы асинхронды қозғалтқышқа берілетін қуаттың шамасы 50 кВт, ал статор шығыны 2 кВт. Сырғанау 4% болса, анықтаңыз: (а) ротор үшін мыс шығынын, (б) ротордың дамытатын жалпы механикалық қуатын, (с) үйкеліс пен ауа кедергісінің шығыны 1 кВт болғандағы қозғалтқыштың шығыс қуатын, (d) ротордың болат шығынын ескермегенде қозғалтқыштың п.э.к.
 [(a) 1.92 кВт (b) 46.08 кВт
 (c) 45.08 кВт (d) 90.16%]
2. Сыртқы ротор кедергісін қолданғанда 1-есептегі асинхронды қозғалтқыштың жылдамдығы өзінің синхронды жылдамдығымен салыстырғанда 40%-ға дейін төмендейді. Егер айналу моменті мен статордың шығынын өзгеріссіз деп қарастырса, есептеңіз: (а) ротор үшін мыс шығынын, (b) қозғалтқыштың п.э.к.
 [(a) 28.80 кВт (b) 36.40%]

23.11 Асинхронды қозғалтқыш үшін айналу моментінің теңдеуі

Айналу моменті

$$T = \frac{P_2}{2\pi n_{\text{синх}}} = \left(\frac{1}{2\pi n_{\text{синх}}} \right) \left(\frac{I_r^2 R_2}{s} \right)$$

((10)-теңдеуден)

Олай болса ((8) теңдеуден),

$$I_r = \frac{s \left(\frac{N_2}{N_1} \right) E_1}{\sqrt{R_2^2 + (sX_2)^2}}$$

Сондықтан бір фаза үшін айналу моменті,

$$T = \left(\frac{1}{2\pi n_{\text{синх}}} \right) \frac{s^2 \left(\frac{N_2}{N_1} \right)^2 E_1^2}{R_2^2 + (sX_2)^2} \left(\frac{R_2}{s} \right)$$

Сондықтан,

$$T = \left(\frac{1}{2\pi n_{\text{синх}}} \right) \frac{s \left(\frac{N_2}{N_1} \right)^2 E_1^2 R_2}{R_2^2 + (sX_2)^2}$$

егер фазаның саны m -ге тең болса, онда айналу моменті:

$$T = \left(\frac{m}{2\pi n_s} \right) \frac{s \left(\frac{N_2}{N_1} \right)^2 E_1^2 R_2}{R_2^2 + (sX_2)^2}$$

Ендеше

$$T = \left(\frac{m \left(\frac{N_2}{N_1} \right)^2}{2\pi n_s} \right) \frac{sE_1^2 R_2}{R_2^2 + (sX_2)^2} \quad (11)$$

$$k = \frac{sE_1^2 R_2}{R_2^2 + (sX_2)^2}$$

мұндағы k – нақты машинаның тұрақтысы, яғни

$$T \propto \frac{sE_1^2 R_2}{R_2^2 + (sX_2)^2} \quad (12)$$

Қалыпты жағдайда қоректендіру көзінің кернеуі әдетте тұрақты, олай болса (12)-теңдеудің түрін жазуға болады:

$$T \propto \frac{sR_2}{R_2^2 + (sX_2)^2}$$

$$\propto \frac{R_2}{\frac{R_2^2}{s} + sX_2^2}$$

Айналу моменті максималды, осы теңдеудің бөлімі минималды болса, ал мұндай жағдай келесі шарттарда туады:

$$\frac{R_2^2}{s} = sX_2^2,$$

яғни $s = \frac{R_2}{X_2}$ немесе (4) теңдеуден:

$$R_2 = sX_2 = X_r.$$

Ротордың кедергісі мен ротордың реактивті кедергілері теңелгенде айналу моменті өзінің максимум мәніне жете алады:

$$R_2 = X_r.$$

10-есептен бастап 13-ке дейін үш фазалы асинхронды қозғалтқыштардың кейбір сипаттамалары келтірілген.

10-есеп. Кернеуі 415 В, жиілігі 50 Гц үш фазалы 4 полюсті, жұлдызша қосылған, асинхронды қозғалтқыш толық жүктемесімен 24 айн/с жылдамдықпен жұмыс істейді. Ротордың кедергісі мен реактивті кедергілерінің фазалары 0.35 Ом және 3.5 Ом сәйкесінше және эффективті ротор-статорлардың айналуларының қатынасы 0.85:1. Есептеңіз: (а) синхронды жылдамдықты, (b) сырғанауды, (с) жүктеменің толық айналу моментін, (d) механикалық шығынның шамасы 770 Вт болғандағы шығыс қуатын, (е) максималды айналу моментін, (f) максималды айналу моментіне сәйкес жылдамдықты, (g) іске қосылатын моментті.

(a) Синхронды жылдамдық,

$$n_{\text{синх}} = (f/p) = (50/2) = 25 \text{ айн/с немесе } (25/60) = 1500 \text{ айн/мин}$$

(b) Сырғанау,

$$s = \left(\frac{n_{\text{синх}} - n_r}{n_{\text{синх}}} \right) = \frac{25 - 24}{25} = 0.04 \text{ немесе } 4\%$$

(c) Фаза кернеуі,

$$E_1 = \frac{415}{\sqrt{3}} = 239.6 \text{ В}$$

Жүктеменің толық айналу моменті,

$$T = \left(\frac{m \left(\frac{N_2}{N_1} \right)^2}{2 \pi (n_{\text{синх}})} \right) \left(\frac{s E_1^2 R_2}{R_2^2 + (s X_2)^2} \right)$$

(11)-теңдеуден

$$= \left(\frac{3(0.85)^2}{2 \pi (25)} \right) = \left(\frac{(0.04)(239.6)^2 (0.35)}{(0.35)^2 + (0.04 \times 3.5)^2} \right) = (0.0138) \left(\frac{803.71}{0.1421} \right) =$$

$$\mathbf{78.05 \text{ Н} \cdot \text{м}}$$

(c) Үйкеліс шығынын ескергендегі шығыс қуаты,

$$P_{\text{механ}} = 2 \pi n_r T = 2 \pi (24)(78.05) = 11770 \text{ Вт}$$

Олай болса, шығыс қуаты = $P_{\text{механ}}$ – механикалық шығын

$$= 11770 - 770 = 11000 \text{ Вт} = 11 \text{ кВт.}$$

(e) Максималды айналу моментінің шарты

$$R_2 = X_r = 0.35 \text{ Ом.}$$

Сырғанау

$$s = \frac{R_2}{X_2} = \frac{0.35}{3.5} = 0.1$$

Олай болса, **максималды айналу моменті,**

$$T_{\text{механ}} = (0.1380) \left(\frac{s E_1^2 R_2}{R_2^2 + (s X_2)^2} \right) = (0.1380) \left(\frac{0.1 (239.6)^2 0.35}{0.35^2 + 0.35^2} \right) =$$

$$= (0.1380) \left(\frac{2009.29}{0.245} \right) = 113.18$$

(f) Максималды айналу моменті үшін сырғанау

$$s = 0.1$$

$$s = \left(\frac{n_s - n_r}{n_s} \right)$$

$$0.1 = \left(\frac{25 - n_r}{25} \right)$$

Олай болса, $(0.1)(25) = 25 - n_r$

$$n_r = 25 - 2.5 = 22.5 \text{ айн/с}$$

немесе 1350 айн/мин

(g) Басында, яғни тыныштық жағдайында, $s=1$.

Олай болса, бастапқы айналу моменті,

$$T = \left(\frac{m \left(\frac{N_2}{N_1} \right)^2}{2 \pi n_s} \right) \left(\frac{E_1^2 R_2}{R_2^2 + X_2^2} \right)$$

(11)-теңдеуден $s = 1$

$$= (0.01380) \left(\frac{(239.6) 0.35}{0.35^2 + 0.35^2} \right) = (0.01380) \left(\frac{20092.86}{12.3725} \right) = 22.41 \text{ Н·м}$$

Сонымен бастапқы айналу моменті =22.41 Н·м. (Айта кететін жағдай, ол (с) баптағы толық жүктемедегі айналу моменті 78.05 Н·м болса, ал бастапқы айналу моменті тек қана 22.41 Н·м).

11-есеп. Асинхронды қозғалтқыш үшін 10-есептегі шарт бойынша толық жүктеме алынады, сонда есептеңіз: (а) ротор тогын, (б) ротор орамының шығынын, (с) іске қосылатын токтың шамасын.

(а) (8)-теңдеуден ротордың тогы,

$$I_r = \frac{s \left(\frac{N_2}{N_1} \right) E_1}{\sqrt{R_2^2 + (sX_2)^2}} = \frac{(0.04)(0.85)(239.6)}{\sqrt{0.35^2 + (0.04 \times 3.5)^2}} = \frac{8.1464}{0.37696} = 21.61 \text{ A}$$

(б) Ротордың фаза үшін мыс шығыны

$$= I_r^2 R_2 = (21.61)^2 (0.35) = 163.45 \text{ Вт}$$

Толық мыс шығыны (үш фаза үшін),

$$= 3 \times 163.45 = 490.35 \text{ Вт}$$

(с) (7)-теңдеуден, бастапқы ток,

$$I_2 = \frac{\left(\frac{N_2}{N_1} \right) E_1}{\sqrt{R_2^2 + X_2^2}} = \frac{(0.85)(239.5)}{\sqrt{0.35^2 + 0.35^2}} = 57.90 \text{ A}$$

(21.61 А толық жүктеменің тогымен салыстырғанда, 57.90 А бастапқы ток әлдеқайда артық екенін айта кету керек).

12-есеп. Асинхронды қозғалтқышқа арналған 10- және 11-есептерде егер статордың шығыны 650 Вт болса анықтаңыз: (а) толық жүктеме үшін тұтынатын қуатты, (б) толық жүктемелі қозғалтқыш үшін пайдалы әсер коэффициентін, (с) егер қозғалтқыштың қуат коэффициенті 0.87 қалып отырса, толық жүктеме үшін жұмыс істей алатын коректендіру ток көзінің тогын табыңыз.

(а) 10-есептің (d)-бабынан шығыс қуаты $P_{\text{механ}} = 11770 \text{ кВт}$.

11-есептің (b) бабынан алынған ротордың мыс шығыны=490.35 Вт=0.49035 кВт.

Статордың кіріс қуаты,

$P_1 = P_{\text{м}} + \text{ротордың мыс шығыны} + \text{ротордың статор шығыны} = 11.770 + 0.49035 + 0.650 = 12.91 \text{ кВт}$.

(b) 10-есептің (d) бабынан алынған пайдалы қуат=11 кВт. Олай болса пайдалы әсер коэффициенті, $\eta = \text{шығыс/кіріс} \times 100\% =$

$$= \left(\frac{11}{12.91} \right) \times 100\% = 85.21\%$$

(c) Кіріс қуаты,

$$P_1 = \sqrt{3} V_L I_L \cos \varphi$$

(20-тарауды қараңыз). $\cos \varphi = 0.87$ олай болса, қоректендіру көзінің тогы,

$$I_L = \frac{P_1}{\sqrt{3} V_L \cos \varphi} = \frac{12.91 \times 1000}{\sqrt{3} (415) 0.87} = 20.64 \text{ А}$$

13-есеп. 10- және 12-есептердегі асинхронды қозғалтқышы, ротор орамының кедергісі іске қосу моментінің максималды мәні үшін анықтау керек.

(4)-теңдеуден ротордың реактивті кедергісі $X_r = sX_2$. Бастапқы моментінде сырғанау $s = 1$. Максималды айналу моменті тең болады, егер ротордың реактивті кедергісі ротордың кедергісіне теңелсе, сонда **максималды айналу моменті: $R_2 = X_r = sX_2 = 3.5 \text{ Ом}$** .

Олай болса, асинхронды қозғалтқыш контактылы сақиналар арқылы фазалы ротор болып табылса, онда сыртқы жұлдызша кедергілер схема бойынша $(3.5 - 0.35) \text{ Ом} = 3.15 \text{ Ом}$ фазада болады да, ротордың кедергісіне іске қосу кезінде айналу моментінің максималды болуы үшін қосыла алады.

Келесі жаттығуды орындаңыздар.

144-жаттығу. Айналу моменттеріне арналған қосымша есептер

1. Кернеуі 400 В, жиілігі 50 Гц, 2-полюсті, жұлдызды қосылған асинхронды қозғалтқыш 48.5 айн/с жылдамдықпен толық жүктеме шартымен жұмыс істейді. Ротордың кедергісі мен реактивті кедергісінің фазалары 0.4 және 4.0 Ом сәйкесінше, ал ротор статордың эффективті айналыстарының қатынасы 0.8:1 тең. Есептеңіз: (а) синхронды жылдамдықты, (б) сырғанауды, (с) толық жүктемелі айналымды, (d) шығыс қуатының шамасы 500 Вт болғанда, (f) максималды айналу моментін, (g) максималды айналу моментіне сәйкес келетін жылдамдықты және бастапқы айналу моментін.

[(a) 50 айн/с немесе 3000 айн/мин (b) 0.03 немесе 3% (c) 22.43Нм (d) 6.34кВт (e) 40.74Нм(f) 45айн/снемесе 2700айн/мин(g) 8.07Нм]

2. 1-есепте берілген асинхронды қозғалтқыш үшін есептеңіздер: (а) ротордың тогын, (b) ротор орамының шығынын, (с) бастапқы токты.

[(a) 13.27A (b) 211.3BT(c) 45.96A]

3. 1-есепте берілген асинхронды қозғалтқыштың статорының шығыны 525 кВт, сонда толық жүктеме жағдайы үшін есептеңіздер: (а) кіріс қуатын, (b) қозғалтқыштың пайдалы әсер коэффициентін, (с) қоректендіру көзінің тогын, егер қозғалтқыштың қуат коэффициенті 0.84 болса.

[(a) 7.57кВт (b) 83.75% (c) 13.0A]

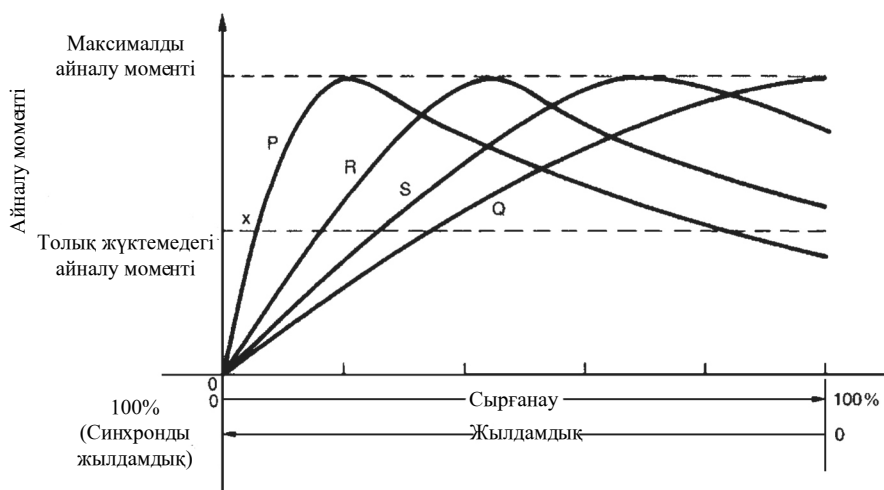
4. 1-есептегі асинхронды қозғалтқыш үшін ротордың орамының кедергісін іске қосу моментінің максималды мәніне сәйкес табу керек.

[4.0Ом]

23.12 Асинхронды қозғалтқыштың айналу моментінің жылдамдық сипаттамалары

10-есептің берілгенінен алынған (с) мен (g) баптарынан қалыпты іске қосылатын моменті жүктеменің толық айналу моментінен кішілеу болып келеді. Сонымен қатар, 10-есептен (е) мен (f) баптарынан көруге болады, максималды айналу моментінің жылдамдығы ротордың кедергісіне тәуелді екені шығады. Жылдамдық синхронды болса, сырғанау нөлге тең, $s=0$ және айналу моменті де нөлге тең. Осы бақылаулардан қорытынды жасауға болады: айналу моменті, жылдамдық және сырғанаудың айналмалы моменттері сияқты асинхронды қозғалтқыштың сипаттамалары 23.9-суретте келтірілген.

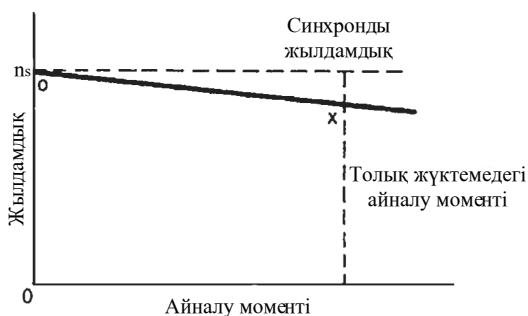
Асинхронды қозғалтқыш роторының кедергісі оның реактивті кедергісінен әдетте кіші болып келеді, (мысалы, $R_2 = 0.35$ Ом, $X_2 = 3.5$ Ом жоғарыда келтірілген есептерден алынған), олай болса синхронды жылдамдықтың 80% шамасында максималды айналу моментінің жылдамдығы өте жоғары болады.



23.9-сурет

23.9-суреттегі **P** қисығы асинхронды қозғалтқыштың нағыз сипаттамасы болып табылады. **P** қисығы жүктеменің толық моментін X нүктесінде қиып өтеді, бұл дегеніміз толық жүктеме жағдайында сырғанау 4-5% құрайтынын көрсетеді. Олай болса, эксплуатацияның қалыпты жағдайларында, яғни нөлден X -ке дейін, қалыпты жағдайда

жұмыс істелгенде жүктемелі жылдамдықтың өзгеруі шамалы, яғни асинхронды қозғалтқыш іс жүзінде жылдамдығы тұрақты машина болып табылғаны. 0-ден X -ке дейін қозғалтқыштың механикалық сипаттамаларын қайтадан жаңартып салу 23.10-суретте келтірілген. 22-тарауда келтірілген қозғалтқыш шунтының тұрақты құраушыларына ұқсас екені көрініп тұр.



23.10-сурет

Егер максималды момент іске қосу моментінің мәніне сәйкес болса, онда ротор үшін өте үлкен кедергі қажет, оны 23.9-суреттегі $R_2 = 0.35$ Ом сипаттамасы бере алады. Алайда, қозғалтқыштың толық жүктеме сырғанауы 30% асатындықтан, эффективтілік төмендейді. Сонымен қатар мұндай қозғалтқыш жүктемеге тәуелді жылдамдығы үлкен өзгерістерге ұшырауға түсе алады. R мен S қисықтары – 23.9-суреттегі, P мен Q арасындағы ротор кедергілерінің мәндерінің сипаттамалары. P қисығымен салыстырғанда іске қосу моментінің мәні жақсырақ болып шығады, алайда эффективтілігі нашарлау және эксплуатация барысында жылдамдық тұрақты емес өзгермелі болып келеді.

Қысқа тұйықталған ротор әдетте P сипаттамасына сәйкес. Мұндай машиналар жоғары эффективті және қалыпты жағдайларды эксплуатацияның жылдамдығы тұрақты. Алайда мұндай машиналардың іске қосу моменттері нашар, сондықтан ол іске қосылу үшін жүктеменің болмауы тиісті немесе жүктеме өте шамалы болуы қажет. (23.13-тарауды қараңыз). Сонымен қатар, іске қосу барысында машинаны қалыпты толық жүктемеге сай ток шамасынан ток 4-5 есе артық болуы мүмкін, орташа қысқа тұйықталуымен сипатталатын трансформатор сияқты әрекет ететін қозғалтқыштар тәрізді. 11-есептен, мысалы, толық жүктеме тогынан қозғалтқышты іске қосқан кезде машинаның тогы 3 есе артық болды. Асинхронды қозғалтқыштың фазалық роторы P сипаттамасына қажет, контактылы сақиналар қысқа тұйықталғанда, ол қалыпты жұмысшы

күй болып саналады. Алайда контактылы сақиналар роторға сыртқы кедергілерді тізбекке қосуға мүмкіншілік бере алады, олай болса, 23.9-суретіндегі Q қисығы тәрізді қозғалтқышты жұмыс істету үшін іске қосу сипаттамасын алуға болады, сондықтан асинхронды қозғалтқышқа әсер ететін өте жоғары іске қосу тогы жеңуге болады.

Жалпы алғанда, үш фазалы асинхронды қозғалтқыштың қуат коэффициентінің мәні 0.8 бен 0.9 кешігу диапазонында орналасқан, ал пайдалы әсер коэффициенті толық жүктеме жағдайында 80-90 пайызға тең. 12-теңдеуден айналу моменті коректендіру кернеу көзінің квадратына тура пропорционал екені көрініп тұр. Осы себептен кез келген кернеу арқылы пайда болған өзгерістер асинхронды қозғалтқыштың өнімділігіне өте қатерлі.

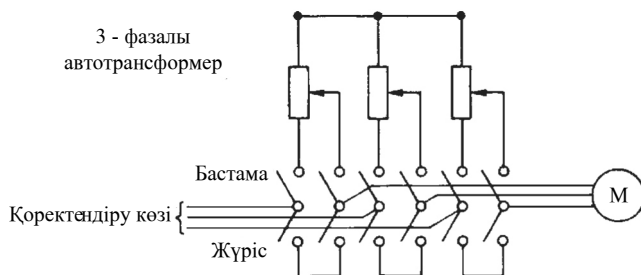
23.13 Асинхронды қозғалтқышты іске қосу жолдары

Қысқа тұйықталған ротор қозғалтқышты желінің толық кернеуі арқылы тура іске қосу

Осы жолмен істеген қозғалтқыштың іске қосу тогы жоғары, басқа тұтынушыларға жеткізу үшін бөгеуілдер тудырады.

Автотрансформатордың старты

Статордың E_1 кернеуін төмендету үшін осы трансформатор әдісі қолданылады, олай болса іске қосу тогын да төмендету болып табылады (7-теңдеуді қараңыз). Алайда іске қосу моменті өте шектелген (12-теңдеуден көрінеді), сондықтан кернеудің төмендеуі іске қосу тогын төмендетуге жететін шамамен ғана шектеледі.



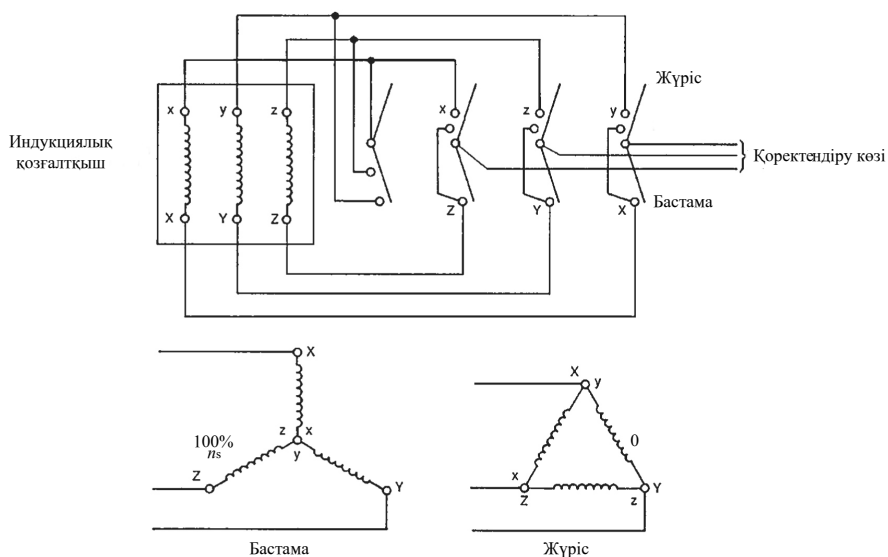
23.11-сурет

23.11-суретте осы құрылғының түрі келтірілген. Қозғалтқышты іске қосу үшін екі позициялы ажыратқыш автотрансформаторды тізбекке

жалғайды, сонда қозғалтқыштың жылдамдығы ұлғайып, ажыратқыштың жұмысшы жағдайына дейінгі жылдамдығына жетеді, сондықтан ол қоректендіру көзін тікелей қозғалтқышпен қосатын ажыратқыш болып табылады.

Жұлдызша-үшбұрыштан іске қосу

Осы әдіс арқылы іске қосу үшін статордың фазасының орамасына жұлдызша схемасымен қосу орамның әрбір фазасындағы кернеу тізбектегі кернеудің $\left(\frac{1}{\sqrt{3}}\right)$ -іне тең болады. Қозғалтқышты жұмыс істету үшін іске қосу орамы ажыратқышты қосу арқылы жүзеге асырылады. 23.12-суретте осындай құрылғы келтірілген. Автотрансформатормен салыстырғанда бұл тәсіл әлдеқайда арзан.

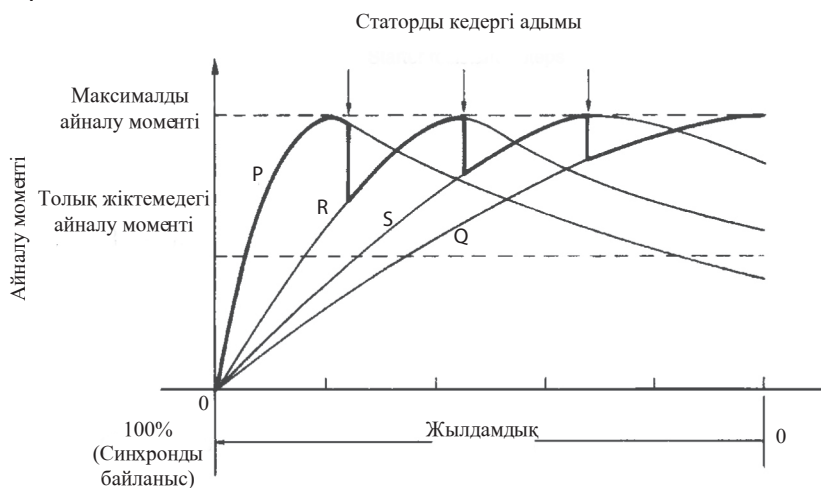


23.12-сурет

Фазалық ротор

Жүктемелі жағдайда іске қосу кезінде асинхронды қозғалтқыштың фазалық роторы қолданылады. Себебі іске қосу кезінде максималды айналу моментін тізбектегі роторға контактылы сақиналармен қосымша кедергілерді де қосуға болатындығында (13-есепті қараңыз). Жалпақ жазықтық тәріздес стартер пайдаланылады, сонда кедергі төмендеген сайын, машинаның әрбір сатысы Q , S , R және P сипаттамаларына

ұқсайды (23.13-сурет). Кедергінің әрбір сатысында қозғалтқыш бір сипаттамасынан екінші сипаттамасына қарай өтіп отырады, 23.13-суретте көрсеткендей жалпы іске қосу сипаттамасы қалың сызықпен көрсетілген. Өте үлкен қозғалтқыштар үшін, біртіндеп, бірқалыпты қозғалғышты сұйық кедергімен іске қосу арқылы жүзеге асырылады.



23.13-сурет

23.14 Қысқа тұйықталған асинхронды қозғалтқыштардың артықшылықтары

Фазалы ротормен салыстырғандағы қысқа тұйықталған асинхронды қозғалтқыштардың артықшылықтары:

1. Арзандау және сенімділігі жоғары
2. Пайдалы әсер коэффициенті мен қуат коэффициенттері жоғары
3. Қопарылыс жағдайларынан сақталынған, себебі ұшқын бере алатын контактылы сақиналар мен щеткелер арқылы қатерлер жойылған.

23.15 Фазалы роторлы асинхронды қозғалтқыштың артықшылығы

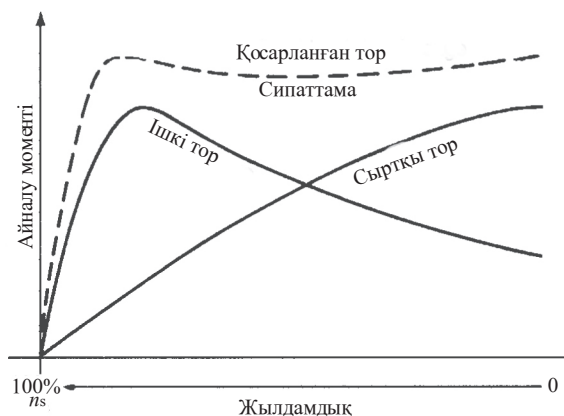
Фазалы роторлы типті қозғалтқыштардың дөңгелек типтес түрлерінен артықшылықтары:

1. Іске қосу моменті әлдеқайда жоғары;

2. Іске қосу тогының шамасы әлдеқайда төмен;
3. Ротордың сыртқы кедергісінің арқасында жылдамдығын өзгерте алады.

23.16 Қысқа тұйықталған роторлы асинхронды қозғалтқыш

Қысқа тұйықталған роторлы және фазалы роторлы асинхронды қозғалтқыштардың артықшылығы қос асинхронды қозғалтқыштарға біріге алатындығында. Мұндай асинхронды қозғалтқыштарда біреуі екіншісінің ішінде орналастырылған екі құрамасы бар ротор қондырылған. Сыртқы құрама өткізгіштерінің кедергісі өте жоғары, айналу моменті максималды мәніне іске қосу немесе оған жақын жерде жетеді. Ішкі құраманың мыс сымдарының кедергісі қалыпты төмен, бірақ темір өзегінің ішінде орналасқандықтан реактивті кедергісі жоғары. Айналу моменті сипаттамасының ішкі құрама үшін, қалыпты асинхронды қозғалтқыш тәрізді 23.14-суретте келтірілгендей. Машинаны іске қосқанда сыртқы құрамасы айналу моментін орындайды, ал ішкі құрамасы айналу моментін жасайды. 23.14-суретте сыртқы және ішкі құрамалардың сипаттамалары байланыстырылған. Жұмысқа қосылу кезінде қос асинхронды қозғалтқыш құрамасы өте эффективті машина болып келеді.



23.14-сурет

23.17 Үш фазалы қозғалтқышты пайдалану

Үш фазалы асинхронды қозғалтқыш өнеркәсіпте кеңінен қолданылады және барлық электр жетекшілерді құрап, тұрақты жылдамдықты қамтамасыз етіп, шағын шеберханалардан басталып, ірі өндірістерге дейін қамтамасыз етеді.

Станоктарды, насостарды диірмендерді пайдаланатын жерлердің бәрінде осы қозғалтқыштар қолданылады. Тұрақты ток қозғалтқыштар ішінде кең тарағаны қысқа тұйықталған роторлы асинхронды қозғалтқыш типтері.

Келесі жаттығуды орындаңыздар.

145-жаттығу. Үш фазалы асинхронды қозғалтқышқа арналған қосымша есептер

1. Тұрақты ток қозғалтқыштарымен салыстырғандағы 3 фазалы асинхронды қозғалтқыштардың үш артықшылықтарын келтіріңіздер.
2. Тұрақты ток қозғалтқыштарымен салыстырғандағы 3 фазалы асинхронды қозғалтқыштардың негізгі кемшіліктерін келтіріңіздер.
3. Үш фазалы асинхронды қозғалтқыштардың жұмыс істеу принципін сурет арқылы келтіріңіздер.
4. Үш фазалы асинхронды қозғалтқыштардың ротор өзегінде токтың сырғанау жиілігі қалай орнығады және бұл жиілік неліктен жүктемеге тәуелді?
5. Үш фазалы асинхронды қозғалтқыштардың синхронды жылдамдықта неліктен айналу моменті күшеймейді? Үш фазалы асинхронды қозғалтқыштардың сырғанауын анықтаңыз және неліктен оның шамасы ротордың жүктемесіне тәуелді емес?
6. Үш фазалы асинхронды қозғалтқыштардың статорының тудырған магнит өрісінің екі қасиетін көрсетіңіздер.
7. Үш фазалы асинхронды қозғалтқыштардың тудыратын магнит өрісінің айналмалы жылдамдығы ... жылдамдық деп аталады.

8. Үш фазалы асинхронды қозғалтқыштардың синхронды жылдамдығы ... полюстердің қос санына пропорционал.
9. Үш фазалы асинхронды қозғалтқыштардың синхронды жылдамдығы ... қоректендіру көзінің жиілігіне пропорционал.
10. Үш фазалы асинхронды қозғалтқыштарда әсіресе кең қолданылатын үш ротор ... деп аталады.
11. Үш фазалы асинхронды қозғалтқыштардың сырғанауы ... формуламен анықталады.
12. Шағын үш фазалы асинхронды қозғалтқыштардың сырғанау шамасы ... пайыз болып табылады.
13. Үш фазалы асинхронды қозғалтқыштардың роторындағы жүктеме қойғанда, сырғанау ...
14. Ротор орамының шығыны/ротордың кіріс қуатының қатынасы нені береді?
15. Асинхронды қозғалтқыштың шығыны қандай?
16. Максималды айналу моменті қалай туады?
17. Асинхронды қозғалтқыштың механикалық сипаттамасын суретпен келтіріңіздер.
18. Қысқа тұйықталған роторлы қозғалтқышты жұмысқа қосудың екі жолын келтіріңіздер.
19. Жүктемемен берілген асинхронды қозғалтқыштың қандай түрі қолданылады?
20. Асинхронды қозғалтқышқа қысқаша сипаттама.
21. Роторлы машина мен фазалы роторлы машиналарды салыстырғанда екі артықшылығын атаңыздар.
22. Фазалы роторлы машинаның клеткалы роторлы машинамен салыстырғандағы екі артықшылығын келтіріңіз.
23. Үш фазалы асинхронды қозғалтқыштардың кез келген үш қолданатын жерлерін келтіріңіздер.

146-жаттығу. Үш фазалы асинхронды қозғалтқыштарға арналған қысқаша сұрақтар

1. Үш фазалы қысқа тұйықталған асинхронды қозғалтқыштарға арналған келесі тұжырымның қайсысы дұрыс емес?
 - (a) онымен ешқандай сыртқы электрлік жалғанулар жоқ
 - (b) үш фазалы қоректендіру көзі оның статорымен байланысты
 - (c) өзгермелі магнит өрісі өндіріледі
 - (d) арзан және сенімді, іс жүзінде мамандандырылған күтімді қажет етпейді
2. Үш фазалы асинхронды қозғалтқыштарға арналған келесі тұжырымның қайсысы дұрыс емес?
 - (a) магнит өрісінің айналу жылдамдығы синхронды жылдамдық деп аталады
 - (b) үш фазалы қоректендіру көзі ротормен байланысып, айналмалы магнит өрісін тудырады
 - (c) айналмалы магнит өрісінің жылдамдығы тұрақты және ол тұрақты шама
 - (d) машинаның тұрақты жылдамдығы
3. Үш фазалы асинхронды қозғалтқыштарға арналған келесі тұжырымның қайсысы дұрыс емес?
 - (a) синхронды жылдамдық егер қозғалтқыш 4 полюсті болса қоректендіру көзінің жиілігінің жартысына тең
 - (b) 2-полюсты машинаның синхронды жылдамдығы қоректендіру көзінің жиілігіне тең
 - (c) полюстердің саны ұлғайса, синхронды жылдамдық төмендейді
 - (d) синхронды жылдамдық полюстер санына кері пропорционал
4. 4 полюсті, үш фазалы асинхронды қозғалтқыштың синхронды жылдамдығы тең 25 айн/с. статордың қоректендіру көзінің жиілігі қандай?
 - (a) 50 Гц
 - (b) 100 Гц
 - (c) 25 Гц
 - (d) 12.5 Гц

5. Үш фазалы асинхронды қозғалтқыштарға арналған келесі тұжырымның қайсысы дұрыс емес?
(a) сырғанау жылдамдығы дегеніміз синхронды жылдамдық минус ротордың айналу жылдамдығы
(b) ротор жүктелген болса сырғанау азаяды
(c) ротордың индукцияланған э.к.к.-нің жиілігі ротордағы жүктеме өскен сайын ұлғая түседі
(d) ротордың айналу моменті магнит өрістерінің өзара әсерінен туады
6. Үш фазалы асинхронды қозғалтқыштарға арналған келесі тұжырымның қайсысы дұрыс емес?
(a) ротор синхронды жылдамдықпен жұмыс істесе, онда ротордың айналу моменті болмайды
(b) статорда полюстердің саны екі еселенсе, онда синхронды жылдамдық екі есе төмендейді
(c) ротор жүктемесіз болса, онда оның жылдамдығы синхронды жылдамдыққа жақындайды
(d) ротордың айналу бағыты магнит ағынының бағытына қарама-қарсы бағытта болады, себебі ротор өзегінде бағытталған максималды ток беру үшін.
- 3 фазалы, 4 полюсты, жиілігі 50 Гц асинхронды қозғалтқыштың жылдамдығы тең – 1440 айн/мин. 7-10 сұрақтарға дейін төменде келтірілген тізімнің ішінен дұрыс жауапты таңдап алыңыздар:
(a) 12.5 айн/с (b) 25 айн/с (c) 1 айн/с
(d) 50 айн/с (e) 1% (f) 4% (g) 50%
(h) 4 Гц (i) 50 Гц (j) 2 Гц
7. Синхронды жылдамдықты
8. Сырғанау жылдамдығын
9. Сырғанаудың пайызын
10. Ротордағы индукцияланған э.к.к.-ің жиілігін
11. Асинхронды қозғалтқыштың сырғанау жылдамдығы қандай жолмен анықталады?
(a) қос полюстер саны ÷ жиілік
(b) ротор жылдамдығы – синхронды жылдамдық

- (с) ротор жылдамдығы + синхронды жылдамдық
 - (d) синхронды жылдамдық – ротор жылдамдығы
12. Асинхронды қозғалтқыштың сырғанау жылдамдығы тәуелді:
- (a) арматура тогына
 - (b) қоректендіру көзінің кернеуіне
 - (с) механикалық жүктемеге
 - (d) күйін тогына
12. Қысқа тұйықталған роторы бар қарапайым қозғалтқыштың іске қосу моменті:
- (a) төмен
 - (b) ротордың тогының ұлғаюымен, ол да ұлғаяды
 - (с) ротордың тогының ұлғаюымен, ол төмендейді
 - (d) жоғары
13. Асинхронды қозғалтқыштың сырғанау жылдамдығы
- (a) ротор қозғалғанда нөлге тең, содан кейін ол шамалы болса да ұлғаяды
 - (b) 100% ротор қозғалғанша, содан кейін төмендейді шамалы
 - (с) 100% ротор қозғалғанша, содан кейін ең төмен мәніне дейін құлайды
14. 4 полюсті электрқозғалтқыш жиілігі 50 Гц болса, сырғанауы 5 пайыз. Сонда ротордың жылдамдығы қандай болады?
- (a) 25 айн/с
 - (b) 23.75 айн/с
 - (с) 26.25 айн/с
 - (d) 11.875 айн/с
15. Асинхронды қозғалтқыштың статорының орамына үш фазалы қоректендіру көзі берілген. Жиілігі 60 Гц, магнит өрісі ағынының айналу жылдамдығы 900 айн/мин болатындай жүйе қажет. Сонда полюстер саны қандай?
- (a) 2
 - (b) 8
 - (с) 6
 - (d) 4
16. 3 фазалы статор, 2-полюсты асинхронды қозғалтқыш жиілігі 50 Гц қоректендіру көзіне жалғанған. Ротордың толық жүктеме

жағдайындағы айналу жылдамдығы 2880 айн/мин. Сырғанау қандай?

- (a) 4.17 %
- (b) 92%
- (c) 4%
- (d) 96%

17. 8-полюсті, асинхронды қозғалтқышқа қоректендіру көзінен 60 Гц жиілік беріледі, сырғанау тәжірибеден алынған 5 пайыз, ротордың жылдамдығы қандай?

- (a) 427.5 айн/мин
- (b) 855 айн/мин
- (c) 900 айн/мин
- (d) 945 айн/мин

ТЕКСЕРУ ТЕСТІ 7

22- мен 23-тараулардағы материалдарды қамтиды. Әрбір сұрақтың бағасы жақша ішінде төменде келтірілген.

1. 6-полюсті якорь 1000 өткізгіштен тұрады, полюстегі ағыны – 40мВб. Жылдамдығы 600 айн/мин қозғалтқыш жұмыс істегенде қанша э.қ.к. өндіріледі егер (a) тесіктері бір-бірін жапса, (b) толқындық орам.
(6)
2. Тұрақты ток машинасының якорінің кедергісі 0.3 Ом және қоректендіру көзінің кернеуі 200 В. Қанша э.қ.к. өндіріледі, егер осы машина келесі шарттарда жұмыс істесе, (a) генератор ретінде 80 А ток беретін болса, (b) 80 А тоқты қабылдайтын қозғалтқыш ретінде жұмыс істесе.
(4)
3. Қуаты 15 кВт шунттың генераторының якорь кедергісі 1 Ом өрістің кедергісі 1690 Ом клеммаларда толық жүктеме жағдайында 240 В кернеу өндіріледі. Толық жүктеме жағдайында генератордың эффективтілігін анықтау қажет. Ескере кету керек темірге, үйкеліске ауаның кедергісіне кететін шығын – 544 Вт.
(6)

4. 4 полюсті тұрақты ток қозғалтқышың толқындық-фазалық құрамында 1000 өткізгіші бар арматурасы берілген. Полюстегі пайдалы ағыны 40 мВб-ге тең. Айналу моментін есептеу керек, егер өткізгіштің әрбір арматурасында ағатын токтың шамасы 25А болса. (4)
5. Қозғалтқыштың шунтының кернеуі 400 В ол 20 айн/с қалыпты жылдамдығымен жұмыс істейді, якорьдегі ток 100 А болғанда. Якорьдің кедергісі 0.25 Ом. Есептеу керек айн/мин өлшемімен жылдамдықты, егер ток шамасы 50 А, кедергісі 0.4 Ом якорьмен тізбектей қосылған, шунттың өрісі тұрақты болып қалады. (7)
6. Үш фазалы статор, 6 полюсті электрқозғалтқыш жиілігі 60 Гц қоректендіру көзіне жалғанған. Толық жүктелген ротордың айналу жылдамдығы 1155 айн/мин. Анықтаңыздар: (а) синхронды жылдамдықты, (b) толық жүктеме жағдайындағы сырғанауды. (6)
7. Үш фазалы асинхронды қозғалтқышқа 40 кВт қуат берілген және статордың шығыны 2 кВт. Сырғанауды 4 пайыз деп алса, анықтау керек: (а) ротор орамының шығынын, (b) ротормен күшейтілген жалпы механикалық қуатты, (c) қозғалтқыштың шығыс қуатын, егер үйкеліс пен құйын шығындары 1.48 кВт тең болса, (d) қозғалтқыштың пайдалы әсер коэффициентін ротор өзегінің шығынын ескермеуге болады. (9)
8. Кернеуі 400 В, 3 фазалы, жиілігі 100 Гц, 8-полюсты асинхронды қозғалтқыштың жылдамдығы 24.25 айн/с. ротордың кедергісі мен реактивті кедергілері 0.2 Ом және 2 Ом сәйкесінше. Ротор мен статордың эффективті айналуының қатынасы 0.80:1. Есептеу керек (а) синхронды жылдамдықты, (b) сырғанауды, (c) жүктеменің толық айналу моментін. (8)

Электрлік энергетикалық технологияларға арналған формулалар

Үш фазалы жүйелер:

$$I_L = I_\phi \quad V_L = \sqrt{3}V_\phi$$

Жұлдызша $V_L = V_\phi \quad V_L = \sqrt{3}V_\phi$
«үшбұрыш» схемасымен жалғау

$$V_L = V_p \quad I_L = \sqrt{3}I_\phi \quad P = \sqrt{3}V_L V_L \cos\phi \quad P = 3I_p^2 R_p$$

Екі-ваттметр тәсілі $P = P_1 + P_2$

$$\tan\phi = \sqrt{3} \frac{P_1 - P_2}{P_1 + P_2}$$

Трансформаторлар:

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{N_1}{N_2} = \frac{I_1}{I_2} \quad I_0 = \sqrt{(I_M^2 + I_C^2)} \quad I_M = I_0 \cos\phi \quad E = 4.44 f\Phi_m N$$

$$\text{Реттеушілік} = \left(\frac{E_2 - E_1}{E_2} \right) \times 100\%$$

$$\text{Эквивалентті тізбек: } R_s = R_1 + R_1 \left(\frac{V_1}{V_2} \right)^2 \quad X_e = X_1 + X_1 \left(\frac{V_1}{V_2} \right)^2$$

$$Z_e = \sqrt{(R_e^2 + X_e^2)}$$

Пайдалы әсер коэффициенті шығын кіріс қуаты: $\eta = 1 - \text{шығын} / \text{кіріс қуат}$

$$\text{Шығыс қуаты} = V_2 I_2 \cos\phi_2$$

Жалпы шығын = мыс шығыны + болат шығыны

Кіріс қуаты = шығыс қуаты + шығын

$$\text{Кедергілерді сәйкестендіру: } R_1 = \left(\frac{N_1}{N_2} \right)^2 R_L$$

Тұрақты ток машиналары:

$$\text{Э.қ.к. өндірілуі } E = \frac{2 p \Phi_n Z}{c} \propto \Phi \omega$$

Генератор: $E = V + I_{\text{я}} R_{\text{я}}$

Пайдалы әсер коэффициенті: $\eta = \left(\frac{VI}{VI + I_{\text{я}}^2 R_{\text{я}} + I_{\text{ф}} V + C} \right) \times 100\%$

Қозғалтқыш: $E = V - I_{\text{я}} R_{\text{я}}$

Пайдалы әсер коэффициенті: $\eta = \left(\frac{VI - I_{\text{я}}^2 R_{\text{я}} - I_{\text{козу}} V - C}{VI} \right) \times 100\%$

Айналу моменті: $= \frac{EI_{\text{я}}}{2\pi n} = \frac{p\Phi ZI_{\text{я}}}{\pi c} \propto I_{\text{я}} \Phi$

Үш фазалы асинхронды қозғалтқыш:

$$n_{\text{синх}} = \frac{f}{p} = \left(\frac{n_{\text{синх}} - n_r}{n_{\text{синх}}} \right) \times 100 \quad n_{\text{синх}} = sf$$

$$X_r = sX_2 \quad X_r = sX_2 \quad I_R = \frac{E_R}{Z_R} = \frac{\left(\frac{N_1}{N_2} \right) E_1}{\sqrt{R_2^2 + (sX_2)^2}}$$

$$s = \frac{I_r^2 R_2}{P_2}$$

Пайдалы әсер коэффициенті:

$$\eta = \frac{P_{\text{механ}}}{P_1} \quad P_{\text{механ}} - \text{кіріс қуаты} - \text{статор шығыны} - \text{ротордың мыс}$$

шығыны – үйкеліс шығыны – ауа кедергісі;

P_1 – кіріс қуаты Кіріс – статор шығыны – ротор орамының шығыны
- үйкеліс & құйынды шығын / кіріс қуаты

$$\text{Айналу моменті: } T = \left(\frac{m \left(\frac{N_1}{N_2} \right)}{2\pi n_{\text{синх}}} \right) = \frac{E_1^2 E_R}{(R_2^2 + (sX_2)^2)} \propto \frac{sE_1^2 E_R}{R_2^2 + (sX_2)^2}$$

24-ТАРАУ

КЕЙБІР ПРАКТИКАЛЫҚ ЗЕРТХАНАЛЫҚ ТӘЖІРИБЕЛЕР

Осы тарауда ғылыми зерттеулерді одан әрі толықтырып күшейту үшін 10 практикалық зертханалық тәжірибелік жұмыстар келтірілген. Осы жұмыстардың көшірмелері интернетте <http://www.booksite.elsevier.com/newnes/bird> сайтында берілген жұмыстарды қолдағы бар аспаптар мен компоненттерге сай өңдеп, өзгертулер енгізуге болады. Тәжірибелер:

- Ом заңы (2-тарау)
- Тұрақты ток көзінің тізбекті – параллель жалған сізбектері (5-тарау)
- Суперпозиция принципі (13-тарау)
- Тевенин теоремасы (13-тарау)
- Электрондық-сәулелі-осциллографты кернеу, жиілік және фаза сияқты параметрлерді анықтау үшін пайдалану (14 тарау)
- Электрондық-сәулелі-осциллографты түзеткіштің көпірше тізбегімен бірге пайдалану (14-тарау)
- Орамның индуктивтілігін өлшеу (15-тарау)
- Тұрақты токтың тізбектей сұлбасы мен резонанс (15-тарау)
- Тұрақты токтың параллель сұлбасы мен резонанс (16-тарау)
- Конденсаторды зарядтау мен разрядтау (18-тарау)

24.1 Ом заңы

Нысандар:

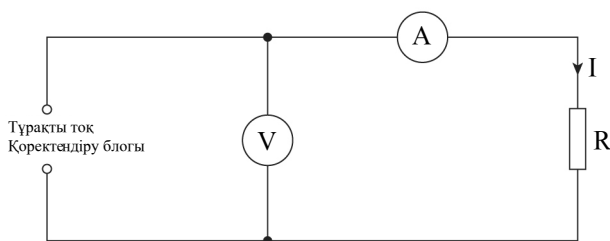
1. Тұрақты ток тізбегіндегі кернеу – ток қатынасын анықтау және осы қатынасты Ом заңымен байланыстыру.

Қажетті жабдықтар:

1. Тұрақты ток қоректендіру тегермесі.
2. Тақтада жинақтау (мысалы, «кері байланыс» ЕЕС470)
3. Амперметр мен вольтметр немесе Флуке – желінің кернеуін өлшегіш аспап (мысалы, 89)
4. LCR көпірдің деректері.

Процедура:

1. Кедергісі $R = 470$ Ом төменде келтірілген сұлбаны салу керек.



2. Резистордың түстік маркировкасын тексеру, сонан кейін LCR көпірдің немесе Флуке – өлшегішінің деректерін пайдалана отырып, оның дәл мәнін өлшеу.

3. Ең бірінші тұрақты ток қоректендіру тегермесін 1 В шамасы үшін дайындау.

4. Тізбектің ток шамасын өлшеу, алынған деректерді төмендегі кестеге толтыру.

5. Кернеуді үнемі 1 В шамаға ұлғайта отырып, оның әрбір шамасына сәйкес токтың шамасын өлшеп отыру. Осы алынған шамаларды төмендегі кестеге толтыру.

Кедергі

[түстің коды]:

Кернеу V (В)

1

2

3

4

5

6

7

8

Ток күші I (мА)

6. 1-ден 5-ке дейінгі процедураларды $R = 2.2$ кОм кедергісі үшін қайталап шығыңыздар сөйтіп, төменгі кестені толтырыңыздар.

Кедергі
[түстің коды]:

Кернеу U (В)	1	2	3	4	5	6	7	8
Ток күші I (мА)								

7. 1-ден 5-ке дейінгі процедураларды $R = 10$ кОм кедергісі үшін қайталап шығыңыздар сөйтіп, төменгі кестені толтырыңыздар.

Кедергі
[түстің коды]:

Кернеу U (В)	1	2	3	4	5	6	7	8
Ток күші I (мА)								

8. Графикте кернеудің нүктелерін вертикаль, ал кедергінің нүктелерін горизонталь бойынша орналастырыңыздар $R = 470$ Ом, $R = 2.2$ кОм, $R = 10$ Ом сәйкесінше.

Қорытындылар:

1. Салынған графиктің табиғаты қандай?
2. Егер графиктің түрі түзу сызықты болып келсе, онда осы түзудің градиентін табыңыз.
3. Ом заңына анықтама беріңіз. Осы тәжірибе Ом заңының дұрыстығын дәлелдей алды ма?

24.2 Тұрақты ток үшін тізбектей және параллель жалғанған сұлбалар

Нысандар:

1. Тізбектей және параллель қосылған тұрақты ток тізбектер үшін кернеу мен токтың өлшенген шамалары бір-бірімен салыстырылады.

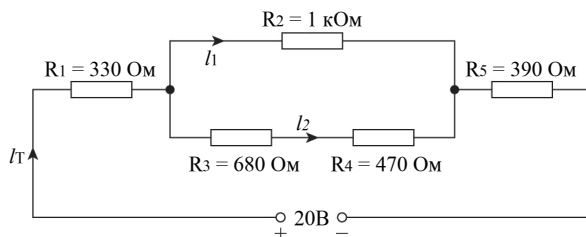
Қажетті жабдықтар:

1. Тұрақты ток қоректендіру тегермесі.
2. Тақтада жинақтау (мысалы, «кері байланыс» ЕЕС470).
3. Амперметр мен вольтметр немесе Флуке – желінің кернеуін өлшегіш аспаптар (мысалы, 89).

4. LCR көпірдің деректері.

Процедура:

1. Төменде келтірілген сұлбаны салыңыз.



2. Келтірілген сұлба үшін әрбір резисторлардың түстерінің кодын анықтаңыздар, алынған мәліметтерді төменде келтірілген кестеге толтыңыздар.

3. Флуке өлшегіші мен LCR көпіршесін пайдалана отырып, әр резистордың кедергісін дәл өлшеп кестені толығыңыз.

Кедергі	R_1	R_2	R_3	R_4	R_5
Түсті код					
Дәл мәні					

4. Резисторлардың дәл мәндерін пайдалана отырып, кернеудің түсуі мен ток күшінің шамасын есептеу және осы деректерді кестеге толтыру.

Мөлшері	Есептелген шамасы	Өлшенген шамасы
V_{R_1}		
V_{R_2}		
V_{R_3}		
V_{R_4}		
V_{R_5}		
I_T		
I_1		
I_2		

5. Амперметр мен вольтметр немесе Флуке өлшегіші арқылы өлшенген мәндерді кернеудің түсуі мен ток күшінің шамасын есептеген мәндермен салыстыңыздар.

Қорытындылар:

1. Кернеудің түсуі мен ток күшінің шамасы үшін өлшенген және есептелген мәндерін салыстыра отырып, нәтижесінде шыққан олардың арасындағы айырмашылықты түсіндіре білу.
2. Тізбек үшін толық қуатты және әрбір резистордың шашырататын қуатын есептеу.
3. Егер тізбек екі жеті бойы жалғанған болып табылса, сондағы жұмсалған энергияны есептеу.

24.3 Суперпозиция принципі**Нысандар:**

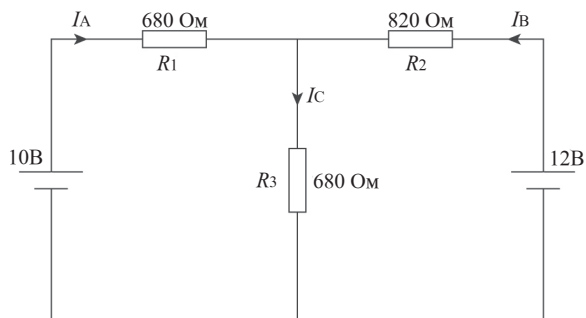
1. Тізбектей-параллель қосылған сұлба үшін оның тармағындағы ток күшінің шамасын өлшеп, есептеу.
2. Суперпозиция принципін тексеру.

Қажетті жабдықтар:

1. Тұрақты ток қоректендіру тегермесі.
2. Тақтада жинақтау (мысалы, «кері байланыс» ЕЕС470).
3. Амперметр мен вольтметр немесе Флуке – желінің кернеуін өлшегіш (мысалы, 89).
4. *LCR* көпірдің деректері.

Процедура:

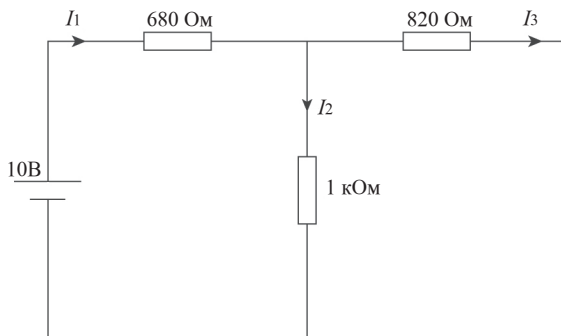
1. Төменде келтірілген сұлбаны салыңыз, *LCR* көпіршесі немесе Флуке өлшегіш жабдықтары арқылы өлшенген және нағыз мәндерін резисторлардың дәл мәндерін кестеге орналастырыңыздар.



2. I_A , I_B және I_C шамаларын өлшеп кестені толтыру.

Ом	Ом	Ом
мА	мА	мА

3. Жоғарыда келтірілген сұлбадан кернеуі 12 В қоректендіру көзін алып тастаңыз және звеносын ауыстырыңыз, сөйтіп төмендегідей сұлбаны келтіріңіз.

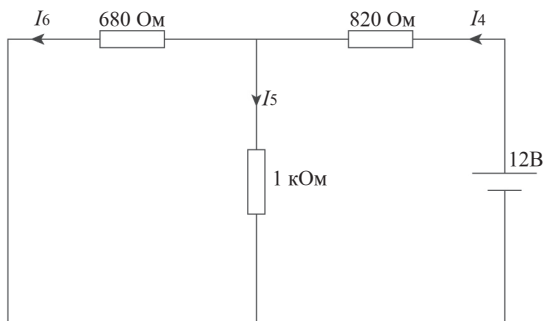


4. I_1 , I_2 мен I_3 мәндерін өлшеп, оларды төмендегі кестеге толтыру.

Өлшенген (мА)	Өлшенген (мА)	Өлшенген (мА)
Есептелген (мА)	Есептелген (мА)	Есептелген (мА)

5. I_1 , I_2 мен I_3 мәндерін есептеп, оларды жоғарыдағы кестеге толтыру.

6. Бастапқы сұлбадағы кернеуі 12 В қоректендіру көзін алып тастап, оны кернеуі 10 В пен алмастырса, сонда жаңартылған сұлба төменде келтірілген.



7. I_4 , I_5 мен I_6 мәндерін есептеп, оларды жоғарыдағы кестеге толтыру.

Өлшенген (мА)	Өлшенген (мА)	Өлшенген (мА)
Есептелген (мА)	Есептелген (мА)	Есептелген (мА)

8. I_4 , I_5 мен I_6 мәндерін есептеп, оларды жоғарыдағы кестеге толтыру.

9. Екі соңғы диаграммаларды бір-біріне олардың шыңдары арқылы қабаттастырып, әрбір тармақтағы ток күші шамасының алгебралық қосындысын есептеп, кестені толтыру.

өлшенген	өлшенген	өлшенген
$I_4 = I_1 - I_6$	$I_B = I_4 - I_3$	$I_C = I_2 + I_5$
есептелген	есептелген	есептелген
$I_A = I_1 - I_6$	$I_B = I_4 - I_3$	$I_B = I_2 + I_5$

Қорытындылар:

1. Суперпозиция принципін өз сөздеріңмен келтіріп түсіндіріңіз.
2. Келесі шамаларды I_A , I_B мен I_C салыстырыңыздар және тиісті қорытындылар жасаңыздар.
3. Егер сұлбалардың құрамында екі қоректендіру көзінен артық қоректендіру көздері болса, онда суперпозиция принципі қолданыла ала ма?

24.4 Тевенин теоремасы

Нысандар:

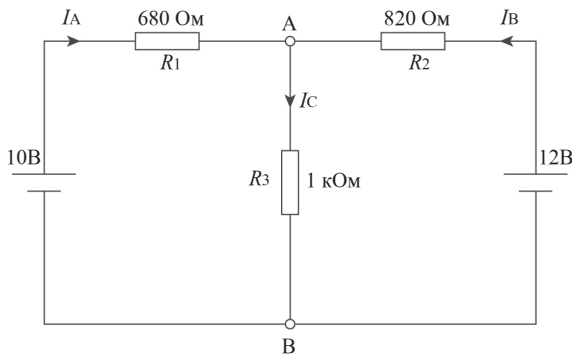
1. Берілген сұлба үшін эквивалентті Тевенин теоремасын есептеу.
2. Тевенин теоремасын тексеру.

Қажетті жабдықтар:

1. Тұрақты ток қоректендіру тегермесі.
2. Тақтада жинақтау (мысалы, «кері байланыс» ЕЕС470).
3. Амперметр мен вольтметр немесе Флуке – желінің кернеуін өлшегіш (мысалы, 89).
4. LCR көпірдің деректері.

Процедура:

1. Төменде келтірілген сұлбаны салыңыз, *LCR* көпіршесі немесе Флуке өлшегіш жабдықтары арқылы өлшенген және нағыз мәндерін резисторлардың дәл мәндерін кестеге орналастырыңыздар.



2. I_A , I_B мен I_C мәндерін өлшеп, оларды төмендегі кестеге толтыру.

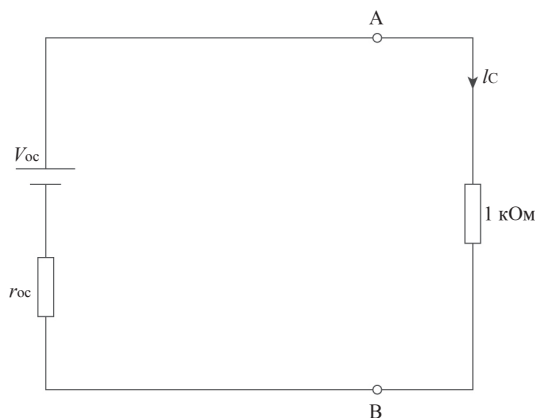
$R_1(\text{Ом})$	$R_2(\text{Ом})$	$R_3(\text{Ом})$
$I_A(\text{мА})$	$I_B(\text{мА})$	$I_C(\text{мА})$

3. Кедергісі 1 кОм резисторды сұлбадан алып тастап, ашық тізбек үшін *AB* клеммаларындағы V_{oc} кернеуді өлшеу. Алынған мәндерді таблицада толтыру.

4. Кедергісі 1 кОм резисторды алсып тастағанда, кернеудің екі коректендіру көзін алып тастап, звеномен алмастыру. Енді r_{oc} кедергісі өлшенеді, *AB* ашық клеммалары арқылы алынған мәндерді кестеге толтыру.

Өлшенген $V_{oc}(V)$	Өлшенген $r_{oc} = (\text{Ом})$	Есептелген $V_{oc} = (V)$	Есептелген $r_{oc} = (\text{Ом})$
----------------------	---------------------------------	---------------------------	-----------------------------------

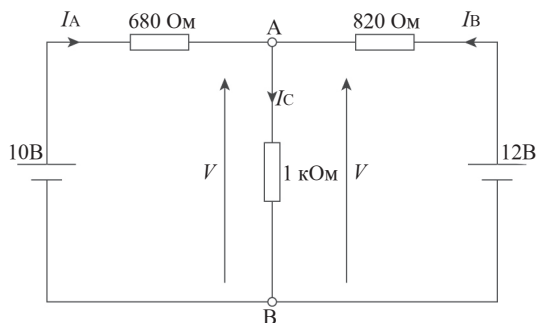
- 5. V_{oc} кернеу мен r_{oc} кедергілердің мәндерін есептеп кестені толтыру.
- 6. V_{oc} кернеу мен r_{oc} кедергілердің мәндерін бір бірімен салыстыру.
- 7. V_{oc} кернеу мен r_{oc} кедергілердің есептелген мәндеріне сай сұлбаның I_C ток күшін пайдаланыңыздар.



I_c (mA)

8. I_c мәнін ең бірінші келтірілген сұлбамен салыстырыңыздар (яғни 2 процедураны).

9. Сұлбада келтірілген кернеуді есептеу керек, I_c -ін есептелген мәнін пайдалана отырып, төмендегі кестені толтыру.



Қоректендіру көзінің клеммаларындағы кернеу, $V = E - I \times r$. Осы теңдеуді пайдалана отырып, I_A мен I_B мәндерін есептеу, яғни теңдеуді сорттау:

$$V = 10 - I_A \times 680 \text{ және } V = 12 - I_B \times 820$$

$V(B)$	I_A (mA)	I_B (mA)

9. I_A мен I_B мәндерін ең бірінші сұлбадағы ток күшінің мәндерімен салыстырыңыздар (2 процедура).

Қорытындылар:

1. Тевенин теоремасын өз сөздеріңмен келтіріңіздер.
2. I_A , I_B мен I_C мәндерінің өлшенген және есептелген шамаларын бір-бірімен салыстырыңыздар және шыққан айырмашылықтарды түсіндіріңіздер.
3. Қоректендіру көзі екідан артық тізбек үшін Тевенин теоремасын қолдануға бола ма екен?
4. Егер кедергісі 1 кОм резистор ауыстырылса басқа резисторға (а) 470 кОм, (б) 2.2 кОм, сонда (а) және (б) клеммалары арасындағы ағып жатқан токты есептеу.

24.5 Кернеу, жиілік және фаза сияқты параметрлерді осциллографтың көмегімен өлшеу

Нысандар:

1. Осциллографтың көмегімен тұрақты ток көзінің кернеуін өлшеу.
2. Сигналдың шыңынан шыңына дейінгі кернеуін, яғни кернеу ауқымын өлшеу және оның мәнін есептеу.
3. Сигналдың периодтық уақытын өлшеу және оның жиілігін есептеу.
4. Екі сигнал арасындағы фаза ығысуын өлшеу.

Қажетті жабдықтар:

1. Электрон-сәулелік осциллограф («Филиппс» цифрлы Флуке РМ3082).
2. Тақтада жинақтау (мысалы, «кері байланыс» ЕЕС470)
3. Түрлендіргіш (Эскорт , EFG3210)
4. Тұрақты ток қоректендіру тегермесі
5. Флуке (мысалы, 89).

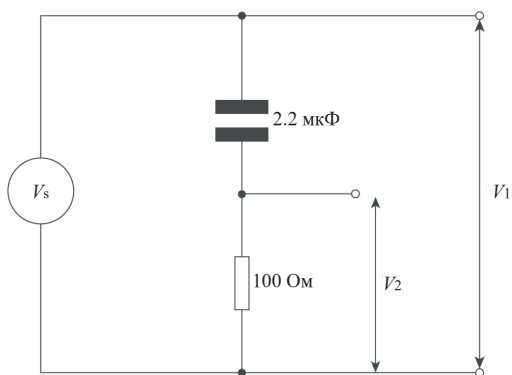
Процедура:

1. Осциллографты жұмысқа қосыңыздар, жазбаны экранның астыңғы жағына орналастырыңыздар.

2. Тұрақты ток қоректендіру тегермесін 20 В белгілеңіздер, ажыратқыш өшірулі жағдайында орналассын.
3. Кабельді жалғау CRO-ның 1-каналымен.
4. Тұрақты ток қоректендіру тегермесін шығысында токты аудару керек.
5. Осциллографтың шығысында тұрақты ток кернеуін өлшеу.

тұрақты ток кернеуі

6. Төменде келтірілген сұлба бойынша тізбекті жалғау.



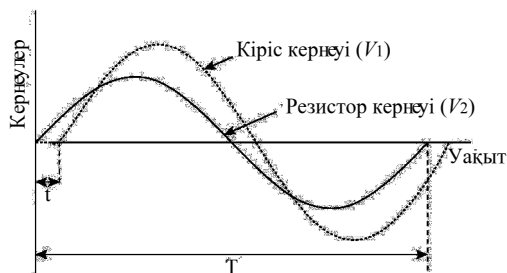
7. Түзеткішті қажетті кернеу мен жиіліктің мәндеріне сай дайындау, яғни кернеу 5 в жиілік 500 Гц.
8. V_1 мен V_2 кернеулері арасындағы кернеудің ауытқуын (шыңынан шыңына дейінгі мәнді) осциллограф арқылы өлшеңіздер және кестені толтырыңыздар.
9. V_1 мен V_2 сәйкес орташа квадраттық мәнді есептеу, осы деректерді кестеге толтыру.
10. Флуке өлшегішін пайдалана отырып, V_1 мен V_2 кернеудің мәндерін өлшеу.
11. V_1 мен V_2 сигналдың периодтық уақытын өлшеу, оны таблицада толтыру.
12. Екі сигналдың жиілігін есептеңіздер және төмендегі кестені толықтырыңыздар.

Кернеу	Кернеу ауытқуы	Орташа квадрат мән	Периодтық уақыт	жиілік
V_1				
V_2				

14. Екі сигнал арасындағы келесі формуланы пайдалана отырып, фазалық бұрышты өлшеу

$$\varphi = \frac{\text{сигналдардың ығысуы}}{\text{периодтық уақыт}} \times 360^\circ = \frac{t}{T} \times 360^\circ$$

(мысалы, егер $t = 0.6$ және $T = 4$ мс, олай болса $\varphi = \frac{0.6}{4} \times 360^\circ = 54^\circ$)



Фазалық бұрыш

Қорытынды:

1. Флуке өлшегішімен кернеу ме әлде ток өлшене ме, орташа квадрат мән бе әлде шыңның мәні ме, не өлшенеді?

2. V_1 мен V_2 үшін лездік мағыналарының өрнегін жазу ($V = A \sin(\omega t \pm \varphi)$, мұндағы φ радиан).

24.6 Көпірше түзеткішімен қосылған электрон-сәулелі осциллографты пайдалану

Нысандар:

1. Көпірше түзеткіші бар сұлбадағы сигналдардың шығысы мен кірісін бақылап, осциллографпен өлшеу.
2. Шығатын сигналды тегістеуді зерттеу.

Қажетті жабдықтар:

1. Электрон-сәулелік осциллограф («Филипс» цифрлы Флуке РМ3082).
2. Тақтада жинақтау (мысалы, «кері байланыс» ЕЕС470)
3. Трансформатор (мысалы, IET 464)

4. Көпірше түзеткіш
5. Флуке (мысалы, 89).

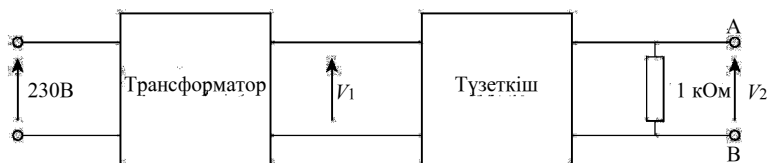
Процедура:

1. Желі трансформаторы арқылы V_1 кернеуді 15 В-ан 20 В-ке дейін өзгерте отырып, төменде келтірілген сұлбаны салу.
2. Трансформатордың шығыс кернеуін Флуке және осциллограф арқылы өлшеу, алынған нәтижелерді төмендегі таблицада келтіру. Сигналдың түрін салыңыздар.
3. Флукені пайдалана отырып, көпірше түзеткіштің V_2 шығу кернеуін өлшеу, сигналды осциллограф арқылы бақылау, кестеге берілген мәндерді толтыру. Сигналдың түрін салу.
4. АВ клеммаларында сыйымдылығы 100 мкФ конденсаторды орналастырыңыздар, сөйтіп осы клеммалардағы осциллограмманы бақылаңыздар. Төменде берілген таблицадағы шамаларды пайдалана отырып, АВ клеммаларындағы V_3 кернеуді өлшеңіздер. Сигналдың түрін салыңыздар.
5. Сыйымдылығы 100 мкФ екінші конденсаторды бірінші конденсатормен параллель АВ клеммалары арқылы орналастырыңыздар. Сигналға қандай әсер туады екен? Төмендегі таблицадағы мәндерді ескере отырып, АВ клеммаларындағы V_4 кернеуді өлшеу. Сигналдың түрін салу.

V_1 r.m.s.	V_2 d.c.	V_3 d.c.	V_4 d.c.

Қорытынды:

1. Екі жартылай периодты түзеткішті шығыс клеммаларымен конденсаторды орналастыру әсері қандай?
2. Параллель қосылған қос конденсатордың сыйымдылығы қандай?
3. Пульсация дегеніміз не? Келесі пульсацияларды түсіндіріңіздер:
(а) бір конденсатор қосылса, (б) екі конденсатор қосылса.



24.7 Ораманың индуктивтілігін өлшеу

Нысан:

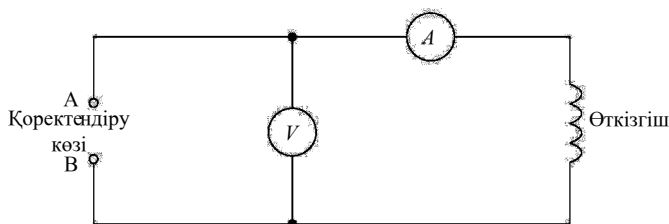
1. Ораманың индуктивтілігін өлшеу

Қажетті жабдықтар:

1. Тақтада жинақтау (мысалы, «кері байланыс» ЕЕС470)
2. Тұрақты ток қоректендіру тегермесі (блогы)
3. Түрлендіргіш (Эскорт, EFG3210)
4. Индуктивтілігі белгісіз орам
5. Флуке тәріздес цифрлы мультиметр (мысалы, 89).
6. Көпірше түзеткіш LCR Data bridge.

Процедура:

1. Индуктивтілігі белгісіз орам үшін төменде келтірілген сұлбаны салыңыз.



2. Тұрақты ток қоректендіру тегермесі 1 В деңгейінде АВ клеммасында орнатылған.
3. Келтірілген сұлба үшін V кернеу мен I ток күшін өлшеу.
4. Ораманың R кедергісін есептеу, таблицадағы мәліметтермен $R = \frac{V}{I}$ формуланы пайдалана отырып.
5. Тұрақты ток қоректендіру тегермесін алып тастап, АВ клеммалардағы кернеуді 1 В, жиілігін 50 Гц, деңгейде орналастыра отырып айнымалы функционалды генераторды қосу.
6. Жоғарыда келтірілген сұлба үшін ток күші мен кернеудің шамасын өлшеу.
7. Формула мен таблицадағы берілгендерді пайдалана отырып,

орамның толық кедергісін, яғни импедансын $Z = \frac{V}{I}$ есептеу.

8. Үшбұрышты толық кедергіден $Z^2 = R^2 + X_L^2$ есептеп, төмендегі кестені толтыру. X_L -ді есептеңіз. Мұндағы $X_L = \sqrt{Z^2 - R^2}$.

$R(\text{Ом})$	$Z(\text{Ом})$	$X_L = \sqrt{Z^2 - R^2}$	$L = \frac{X_L}{2\pi f}$

9. Егер $X_L = 2\pi f L$ болса, онда $L = \frac{X_L}{2\pi f}$. L индуктивтілікті есептеу және олардың мәнін кестеге толтыру.

10. Егер орам үшін $L = \dots H$ болса және кедергі $L = \dots H$

11. Орамның индуктивтілігін LCR көпіршесі арқылы өлшеу.

12. Орамның кедергісін амперметрмен, вольтметрмен және Флукемен өлшеу.

Қорытынды:

11- және 12-процедурадағы өлшенген мәндерді салыстырыңыздар, 10-процедура келтірілген мәнмен, алынған нәтижені түсіндіруге тырысыңыздар.

24.8 Айнымалы ток көзінің тізбектері мен резонанс

Нысандар:

1. Өртүрлі жиіліктерде айнымалы ток көзінің тізбектері үшін ток пен кернеудің мәндерін тіркеу және өлшеу.

2. Резонанс кезіндегі кернеу мен ток арасындағы өзара әсерді зерттеу.

3. Резонанс кезіндегі импеданс пен ток арасындағы өзара әсерді зерттеу.

4. Теория жүзінде есептелген мәндермен өлшенген мәндерді бір-бірімен салыстыру.

Қажетті жабдықтар:

1. Электронды-сәулелі осциллограф (мысалы, Филлипс, цифрлы Флуке PM3082).

2. Тақтада жинақтау (мысалы, «кері байланыс» ЕЕС470)

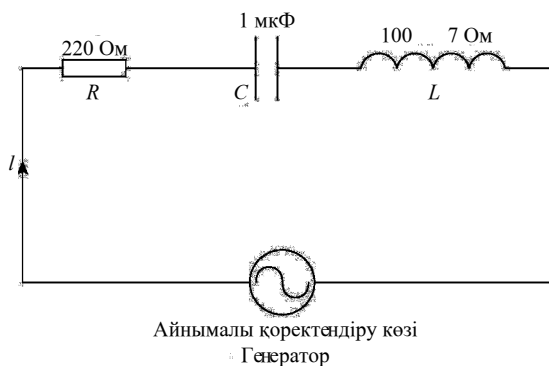
3. Түзеткіш (Эскорт, EFG3210)

4. Флуке тәріздес цифрлы мультиметр (мысалы, 89).

5. Көпірше түзеткіш LCR Data bridge.

Процедура:

1. RCL үшін төменде келтірілген сұлбаны салу, R , C мен L параметрлерінің дәл мәндерінің белгілеп, өлшеу.



2. Түзеткіш арқылы айнымалы қоректендіру ток көзінің кернеуін 2 В-қа және жиілігін 100 Гц мәндеріне сай белгілеу.

3. Тізбектегі токтың шамасын амперметр немесе Флуке арқылы өлшеп, алынған деректерді кестеге толтыру.

4. V_R , V_C мен V_L параметрлерін өлшеп, кестені толтыру.

5. X_L мен X_C мәндерін есептеу және оларды кестеге толтыру.

6. Тізбектің X_L мен X_C кедергісінің мәнін пайдалана отырып ($R +$ орамның кедергісі), Z импеданстың мәнін есептеңіздер.

7. $I = \frac{V}{Z}$ формуланы пайдалана отырып, ток күшін есептеңіз.

8. 2-процедурадан 7-ші процедурағы дейінгі сұрақтарды 200 Гц және 800 Гц жиіліктері үшін қайталау, алынған нәтижелерді кестеге толтыру. Кернеудің мәні 2 В деңгейде тұрақты болуын үнемі қадағалау керек.

Коректендіру көзінің кернеуі	Өлшенген I (мА)	Өлшенген V_R (В)	Өлшенген V_C (В)	Өлшенген V_L (В)
2 В, 100 Гц				
2 В, 200 Гц				
2 В, 300 Гц				
2 В, 400 Гц				

2 В, 500 Гц

2 В, 600 Гц

2 В, 700 Гц

2 В, 800 Гц

Қоректендіру
көзінің кернеуі
 $U(B)$ Есептелген
 $X_L (Om)$ Есептелген X_C
(Om)Есептелген Z
(Om)Есептелген
 $I = \frac{V}{Z} (mA)$

9. Өлшенген ток пен (веритикаль бойынша) жиілік (горизонталь бойынша) арасындағы тәуелділіктің графигін салу.

10. Осы графикте Z импеданс (веритикаль бойынша) пен жиілік (горизонталь бойынша) арасындағы тәуелділікті де салу.

11. Графиктен f_R – резонансты жиілікті табу.

12. LCR тізбектей қосылған сұлба үшін резонансты жиілікті есептеу теңдеуін келтіру. f_R -резонансты жиілікті есептеу үшін осы формуланы пайдалану.

13. Резонансты жиілікте кернеудің мәнін 2 В тағайындап орнату, сөйтіп ток пен V_R, V_C, V_L кернеудің шамаларын өлшеу.

14. Электронды-сәулелі осциллографты іске қосу, 1 канал барлық тізбек бойынша, ал 2 канал индуктивті орам арқылы жалғанған болу керек.

15. Екі сигналды алу үшін осциллографты баптап дайындау.

16. Түзеткішті кернеу үнемі тұрақты тек 2 В, жиілік 100 Гц-тен 800 Гц-ке дейін өзгертіндей етіп шарттармен реттеп дайындау. Жиілік кернеудің L (яғни, 2-канал) мәнінде максималды екенін тексеру. Осы жиіліктің екі жағынан да фазаларының өзгергеніне назар аудару.

Қорытындылар:

1. Теория жүзінде есептелген мәндермен өлшенген мәндерді бір-бірімен салыстыру.
2. Резонанстағы I импеданс пен Z токтың мәндерінің мағынасын түсіндіру.
3. Резонанстағы V_R , V_C мен V_L мәндерінің мағынасын түсіндіру.
4. Резонанстағы қоректендіру көзінің тогы мен кернеу арасындағы фазалық бұрыш нені білдіреді?
5. (а) 300 Гц, (б) 11, (в) 700 Гц жиіліктері үшін векторлық диаграммаларды салу.
6. Резонансты анықтау.
7. Q-факторы мен өткізу жолақтарының мәндерін жоғарыда келтірілген сұлба бойынша есептеу.

24.9 Параллель қосылған айнымалы ток тізбегі мен резонанс**Нысандар:**

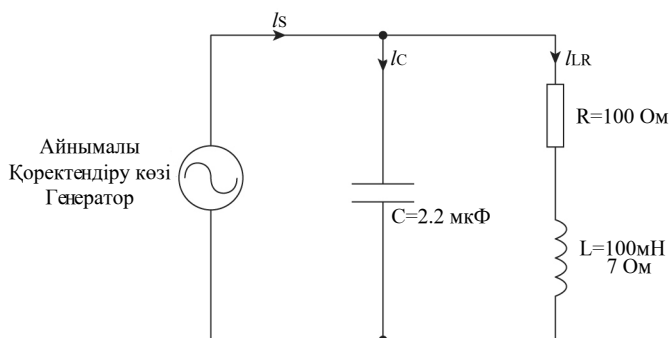
1. Әртүрлі жиіліктердегі параллель қосылған айнымалы ток тізбегі үшін токты тіркеу және өлшеу.
2. Резонанс кезіндегі ток пен кернеу арасындағы өзара байланысты зерттеу.
3. Жиіліктер диапазондары үшін тізбектің импедансын есептеу.
4. Резонанс кезіндегі ток пен импеданс арасындағы өзара байланысын жиілікте диапазонында график түрінде салу.
5. Теория жүзінде есептелген мәндермен өлшенген мәндерді бір-бірімен салыстыру.

Қажетті жабдықтар:

1. Тақтада жинақтау (мысалы, «кері байланыс» EEC470).
2. Түзеткіш (Эскорт, EFG3210)
3. Флуке тәріздес цифрлы мультиметр (мысалы, 89).
4. Көпірше түзеткіш LCR Data bridge.

Процедура:

1. Төменде келтірілген сұлба бойынша LR параллель тізбегін дайындау, өлшеу және R , C мен L -дің дәр мәндерін белгілеу.



2. Флуке жабдығы арқылы түзеткішті келесі шарттар бойынша орнату: кернеу 3 В, жиілік 100 Гц.

3. I_s -қоректендіру көзінің ток күшін, конденсатордың ток күшін- I_c , индуктивті орамның ток күшін- I_{LR} өлшеу, алынған нәтижелерді табицаға толтыру.

4. Түзеткішті табицада берілген деректерге сай баска жиілікке келтіріп, баптап дайындау, сөйтіп, кернеудің мәні 3 В өзгермейтіндей етіп кепілдік беру. Әр жиілік үшін сәйкес ток күшінің мәндерін жазып, кестені толтыру.

Қоректендіру көзінің кернеуі V (В)	Өлшенген I_s (мА)	Өлшенген I_s (мА)	Өлшенген (мА)
3 В, 100 Гц			
3 В, 150 Гц			
3 В, 200 Гц			
3 В, 220 Гц			
3 В, 240 Гц			
3 В, 260 Гц			
3 В, 280 Гц			
Қоректендіру көзінің кернеуі V (В)	Есептелген $I_{LR} = \frac{V}{R + jX_{LR}}$	Есептелген $I_s = I_c + I_{LR}$	Есептелген $Z = \frac{V}{I_s}$
3 В, 320 Гц			
3 В, 340 Гц			

3 В, 360 Гц

3 В, 400 Гц

3 В, 450 Гц

5. I_C , I_{LR} мен $I_S = (I_C + I_{LR})$ параметрлерінің мәндері мен фазаларын әрбір жиілік үшін есептеу, алынған нәтижені кестеге толтыру.

6. Әрбір жиілік үшін тізбек кедергісінің фазасы мен мәнін есептеңіздер сонан кейін кестені толтыру.

7. I_C , I_{LR} , I_S , Z (вертикаль) пен жиілік арасындағы тәуелділікті график түрінде бір өсте келтіру.

8. Графиктен резонансты жиілікті табу.

9. $RL - C$ параллель тізбегі үшін резонансты жиілікті есептеу және формуласын келтіру.

Қорытындылар:

1. Теория жүзінде есептелген I_S қоректендіру ток көзінің мәндермен өлшенген мәндерді бір-бірімен салыстыру.

2. Резонанстағы Z импеданс пен ток мәндерінің байланысын түсіндіре білу.

3. Резонанстың графиктен мәндері мен алдынала есептелген мәндерін өзара салыстыра отырып, айырмашылықтарын түсіндіру.

4. Жиілікке тәуелді импеданс пен ток арасындағы байланысты графиктерін салыстыру, тізбектей резонанс үшін.

5. R_D – динамикалық кедергінің мәнін есептеу және оны графиктен алынған мәнмен салыстыру.

6. Резонанс жағдайында қоректендіру ток көзі мен кернеу арасындағы фазалық бұрыш нені білдіреді?

7. (а) 200 Гц (ә) f_r (б) 400 Гц жиіліктері үшін векторлық диаграмманы салу.

8. Резонанс деген не?

9. Q-факторы мен өткізу жолағын (полоса пропускания) есептеу жоғарыда келтірілген сұлба үшін.

24.10 Конденсаторды зарядтау және разрядтау

Нысандар:

1. Конденсаторды зарядтау сонан кейін кернеу арқылы ток күшін өлшеу.

2. Конденсаторды зарядсыздандыру сонан кернеу арқылы ток күшін өлшеу.

3. Екі цикл зарядтау мен зарядсыздандыру үшін кернеудің уақытқа тәуелділігін график түрінде салу.

4. Екі цикл зарядтау мен зарядсыздандыру үшін ток күшінің уақытқа тәуелділігін график түрінде салу.

Қажетті жабдықтар:

1. Тақтада жинақтау (мысалы, «кері байланыс» ЕЕС470).

2. Тұрақты ток қоректендіру тегермесі (блогы).

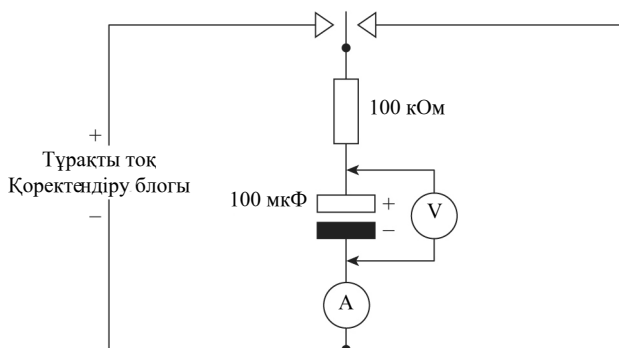
3. Флуке тәріздес цифрлы мультиметр (мысалы, 89).

4. Көпірше түзеткіш LCR Data bridge.

5. Секунд өлшеуіш.

Процедура:

1. Төменде келтірілген сұлба бойынша CR -тізбектей жалғанған тізбегін дайындау, R мен C -ің дәл мәндерін өлшеу және белгілеу.



2. Тұрақты ток қоректендіру тегермесі (блогы) 10 В бекітілген, ажыратқышпен сөндіру.

3. Конденсаторды зарядтау, 60 секунд ішінде әрбір 5 секунд сайын конденсатордағы кернеуді өлшеу (вольтпен). Нәтижені кестеге толтыру.

Уақыт (с)	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
Зарядтау $V_C(B)$													
Зарядсыздандыру $V_C(B)$													

4. Тағы да конденсаторды зарядтау, бұл жолы ток күшінің өзгерісін мкА-мен әрбір 5 секунд сайын 60 секунд ішінде өлшеу. Нәтижені таблицанда келтіру.

5. Конденсаторды разрядтау, ток күшінің өзгерісін мкА-мен әрбір 5 секунд сайын 60 секунд ішінде өлшеу. Нәтижені таблицада келтіру.

Уақыт (с)	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
Ток, I_C (мкА)													
Разрядталған ток, I_C (мкА)													

6. Уақыт пен V_C -ың арасындағы тәуелділік графигін екі цикл үшін зарядталған және зарядталмаған жағдайлары үшін салу.

7. Уақыт пен I_C -ың арасындағы тәуелділік графигін екі цикл үшін зарядталған және зарядталмаған жағдайлары үшін салу.

8. Тізбек үшін уақыт тұрақтылығын есепте (C мен R -ің өлшенген шамалары арқылы).

Уақыттың бір мысалын ала отырып, V_C мен I_C мәндерін есептеу, $V_C = V(1 - e^{-t/CR})$, $V_C = Ve^{-t/CR}$ және $I_C = Ie^{-t/CR}$ формуласының экспонентасын алу арқылы.

Қорытындылар:

1. Теория жүзінде есептелген зарядталған және разрядталған конденсатордың өлшенген ток күшінің және кернеулерінің мәндерін бір-бірімен салыстыру.

2. Конденсатордың зарядталу және разрядталу сипаттамаларын түсіндіру.

3. Пайда болған қателер мен айырмашылықтарды түсіндіру.

4. Тізбектің уақыт тұрақтысы деген не? оның мағынасы қандай? Ток пен кернеудің соңғы мәніне жеткенше жуықтап алғанда қанша уақыт кетеді.

ТЕСТ СҰРАҚТАРЫНА ДҰРЫС ЖАУАПТЫ ТАҢДАУ**1- тарау. 4-жаттығу**

- 1(c) 4 (a) 7(b) 9(d) 11(b)
2(d) 5 (c) 8(c) 10(a) 12(d)
3(c) 6 (b)

2-тарау. 10-жаттығу

- 1 (b) 4 (b) 7 (b) 10 (c) 12 (d)
2(b) 5(d) 8(c) 11(c) 13(a)
3(c) 6(d) 9(b)

3- тарау. 15-жаттығу

- 1(c) 3(b) 5(d) 7(b) 9(d)
2(d) 4(d) 6(c) 8(c)

4-тарау. 18-жаттығу

- 1(d) 4(c) 7(d) 10(d) 12(a)
2(a) 5(b) 8(b) 11(c) 13(c)
3(b) 6(d) 9(c)

5-тарау. 25-жаттығу

- 1(a) 4(c) 7(b) 9(b) 11(d)
2(a) 5(c) 8(d) 10(c) 12(d)
3(c) 6(a)

6-тарау. 32-жаттығу

- 1(b) 4(c) 6(b) 8(a) 10(c)
2(a) 5(a) 7(b) 9(c) 11(d)
3(b)

7-тарау. 38-жаттығу

- 1 (d) 5 (c) 8 (c) 11 (a) және (d), 12 (a)
2 (b) 6 (d) 9 (c) (b) және (f), 13 (a)
3 (b) 7 (a) 10 (c) (c) және (e)
4(c)

8-тарау. 42-жаттығу

- 1 (d) 3 (d) 5 (b) 7 (d) 9 (a)
2 (c) 4 (a) 6 (c) 8 (a) 10 (b)

9-тарау. Жаттығу 50

- 1(c) 4(b) 7(c) 9(c) 11(a)
2(b) 5(c) 8(d) 10(a) 12(b)
3(c) 6(a)

10-тарау. 60-жаттығу

- 1(d) 7(c) 13(b) 19(d)
2 (a) or (c) 8 (a) 14 (p) 20 (a)
3(b) 9(i) 15(d) 21(d)
4 (b) 10 (j) 16 (o) 22 (c)
5 (c) 11 (g) 17 (n) 23 (a)
6(f) 12(c) 18(b)

11-тарау. 64-жаттығу

- 1(c) 3(d) 5(b) 7(c) 9(a)
2(a) 4(c) 6(b) 8(d) 10(b)

12-тарау. 68-жаттығу

- 1 (b) 5 (a) 9 (b) 13 (b) 17 (c)
2 (b) 6 (d) 10 (c) 14 (b) 18 (b)
3 (c) 7 (b) 11 (a) 15 (b) 19 (a)
4 (a) 8 (d) 12 (b) 16 (b) 20 (b)

13-тарау. 76-жаттығу

- 1(d) 5(a) 8(a) 11(b) 14(b)
2(c) 6(d) 9(c) 12(d) 15(c)
3 (b) 7 (c) 10 (c) 13 (d) 16 (a)
4(c)

14-тарау. 82-жаттығу

- 1(c) 4 (a) 7(b) 9(b) 11(b)
2 (d) 5 (d) 8 (c) 10 (c) 12 (d)
3(d) 6 (c)

15-тарау. 90-жаттығу

- 1(c) 5 (a) 9(d) 13(b) 17(c)
2 (a) 6 (b) 10 (d) 14 (c) 18 (a)
3 (b) 7 (a) 11 (b) 15 (b) 19 (d)
4 (b) 8 (d) 12 (c) 16 (b)

4-бөлім**16-тарау. 98-жаттығу**

- 1 (d) 5 (h) 9 (a) 12 (d)
2 (g) 6 (b) 10 (d), (g), (i) және (l) 13 (c)
3 (i) 7 (k) 11 (b) 14 (b)
4(s) 8 (l)

17-тарау. 103-жаттығу

1 (d) 4 (c) 7 (b) 9(d) 11 (d)

2(b) 5(c) 8(a) 10(b) 12(c)

3 (a) 6 (a)

18-тарау. 107-жаттығу

1(c) 5(g) 9(a) 13(c) 16(c)

2 (b) 6 (e) 10 (d) 14 (j) 17 (a)

3 (b) 7 (l) 11 (g) 15 (h) 18 (a)

4 (g) 8 (c) 12 (b)

19-тарау. 111-жаттығу

1(c) 3(b) 5(a) 7(d) 9(c)

2 (b) 4 (d) 6 (b) 8 (a) 10 (c)

20-тарау. 117-жаттығу

1(g) 5(f) 9(l) 12(j) 15(c)

2 (c) 6 (a) 10 (d) 13 (d) 16 (b)

3 (a) 7 (g) 11 (f) 14 (b) 17 (c)

4(a) 8 (l)

21-тарау. 130-жаттығу

1(a) 5(c) 9(b) 13(h) 17(c)

2 (d) 6 (a) 10 (g) 14 (k) 18 (b) және (c)

3 (a) 7 (b) 11 (d) 15 (j) 19 (c)

4 (b) 8 (a) 12 (a) 16 (f) 20 (b)

22-тарау. 139-жаттығу

1 (b) 6 (a) 11 (b) 16 (b) 21 (b)

2 (e) 7 (d) 12 (a) 17 (b) 22 (a)

3(e) 8(f) 13(b) 18(b) 23(c)

4(c) 9(b) 14(a) 19(c) 24(d)

5 (c) 10 (c) 15 (d) 20 (b)

23-тарау. 146-жаттығу

1(c) 5(b) 9(f) 13(a) 16(b)

2 (b) 6 (d) 10 (j) 14 (c) 17 (c)

3 (d) 7 (b) 11 (d) 15 (b) 18 (b)

4(a) 8(c) 12(c)

ПӘНДІК КӨРСЕТКІШТЕР

Айнымалы кернеу мен ток 68
Активті фильтр 197
Акцептор тізбегі 132
Амперметр 511
Амплитуда 73
Айнымалы генератор 69
Активті фильтр желісі 197
Аралас қозу 397
Артықшылықтары 280
Асинхронды қозғалтқыш 383
Асинхронды қозғалтқыш 458
Динамикалық кедергі 172
Желілік ток 319
Жиілік 71
Жоғарлатушы трансформатор 338
Индуктивті кедергі 107
Коммутация 394
Конденсатор 197
Қуат коэффициенті 324
Қуат уәзффиценті 321
Нейтрал 303
Нейтрал жиілік кернеуі 304
Өшу 196
Резистор кедергісі 30
Сақтандырғыштар 81
Сәйкестік кедергі 368
Сигнал 70
Синхронды жылдамдық 458
Сүзгі 174
Сырғанау жылдамдығы 462
Тегістеу 99
Толқындық импендансы 198
Төмендетуші трансформатор 338
Трансформатор 337
Трансформаторды реттеу 360

Трансформациялау коэффициенті 338

Тізбектей қозу 397

Фазалық вектор 81

Фазалық ток 319

Фильтр 196

Фракциялық сырғанау 463

Электр сигналы 70

Джон Бёрд

**ЭЛЕКТР ЖӘНЕ ЭЛЕКТРОНИКА
НЕГІЗДЕРІ МЕН ТЕХНОЛОГИЯСЫ**

2-бөлім

Оқулық

Басуға қол қойылған күні 00.12.14 ж.
Қағазы офсеттік. Қаріп түрі «Times New Roman». Пішімі 60х90 $\frac{1}{16}$.
Баспа табағы 32. Таралымы 580 дана. Тапсырыс №