ЎЗБЕКИСТОН РЕСПУБЛИКАСИ АХБОРОТ ТЕХНОЛОГИЯЛАРИ ВА КОММУНИКАЦИЯЛАРИНИ РИВОЖЛАНТИРИШ ВАЗИРЛИГИ

ТОШКЕНТ АХБОРОТ ТЕХНОЛОГИЯЛАРИ УНИВЕРСИТЕТИ

ФАРҒОНА ФИЛИАЛИ

Телекоммуникация технологиялари ва касбий таълим факультети

“Телекоммуникация инжиниринги” кафедраси

“Электр занжирлар назарияси ”

фанидан

КУРС ИШИ

Бажарди: 631-14 гурух талабаси

Камолов О

Қабул қилди: Жўраева Г

Фарғона 2016

1. Электр занжирлари ҳақида умумий маълумотлар

Ўзбекистон энергетика тизимида умумий ўрнатилган қуввати 11,3 млн. кВт бўлиб, 37 та иссиқлик ва гидравлик электр станцияларда йилига 55 млрд. кВт соат дан ортиқ электр энергияси ишлаб чиқариш имкониятига эга.

Республика энергетика тизимининг барча кучланишлардаги электр тармоқларининг умумий узунлиги қарийб 228 минг км ни ташкил қилади. Бундан 220 кВ лиги 5,5 минг км, 500 кВ лиги 1,7 минг км. Республика энергетика тизимида 60 мингга яқин киши ишлайди.

Республика бўйича электр энергия ишлаб чиқариш, 1940 й – 481,4; 1980 й - 33930,4; 1995 й - 47429,4 млн. кВт · соат ни ташкил этади. 1930 йиллар бошида Чирчиқ-Бўзсув ГЭС лари каскади барпо этилди, 1943 йилда халқ ҳашари билан Сирдарёда Фарход ГЭС (қуввати 126 МВт) қурилиши бошланиб, 1948 йилда биринчи навбати фойдаланишга топширилди. 60-70 йилларда табиий газ негизида қатор станциялар ва Ангрен кўмир кони базасида ишлайдиган Давлат районлашган электр станция - ДРЭС (ГРЭС) нинг ишга туширилиши энергетика қувватини а нча юқорига оширди. Электр энергия таъминотини узлуксиз ва иқтисодий тежамли олиб бориш мақсадида Бирлашган энергетика тизимлари яратила бошланди. 1980 йилда Ўрта Осиё бирлашган энергетика тизими яратилиб, умумий қуввати 25 млн. кВт ни ташкил этади.

Ўзбекистон энергетика тизимида электр энергия ишлаб чиқаришда 27 ГЭС лар иштирок этади. Улардаги ўрнатилган қувват 1420 МВт ни ташкил этади. 1995 йилда уларда 6331,2 млн. кВт · соат электр энергияси ишлаб чиқарилди. Масалан, Чорвоқ ГЭС (Чирчиқ дарёси) - 620,5 МВт, Хўжакент ГЭС - 165 МВт, Ғазалкент ГЭС - 120 МВт, Фарход ГЭС - 126 МВт.

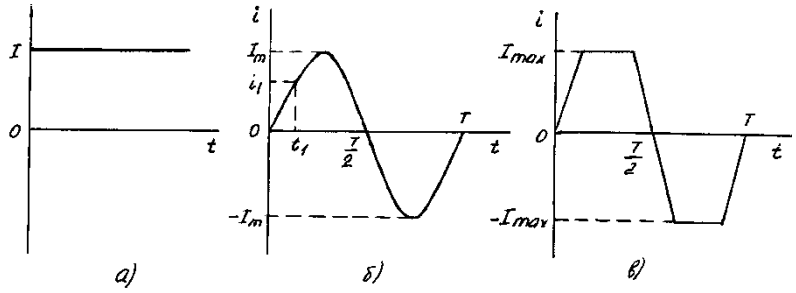
Ўзбекистонда радиоэлектроника ва электротехника саноати 1945 йилларга келиб шаклланди, масалан, Тошкент кабель заводи, Тошкент радио-лампа заводи, Чирчиқ трансформатор заводи, Тошкент электротехника заводи, Миконд заводи ва бошқ. Мустақиллик йилларида бир қанча йирик кўшма корхоналар ишга туширилиб, радио-телеаппаратлар, пайвандлаш машиналари ва ш.к. бошқа маҳсулотлар ишлаб чиқариш йўлга қўйилди.

Ўзбекистон энергетикларининг ғайрати ва шижоати билан 1926 йилданёк Буз сув ГЭС и,Чирчик ГЕС каскадлари ишга туширила бошланди. 1945 йилда қуввати 150 минг к Вт булган Фарход ГЭС и ишга тушди.Хозирги пайитда Чорвок,Туямуйин ГЭС лари каби йирик гидрротехника иншоотлари хамда умумий қуввати 6-7 млн. кВт дан ортик Ангрен,Тошкент, Сирдарё,ГРЭС лари ишлаб турибди ва хар биринг қуввати 3-4 млн. кВт ли янги ГРЭС ларни куриш давом этмокда Булар хаммаси улкамизни киёфасини тубдан ўзгартириб юборди.Эндиликда саноат ва кишлок хўжалигининг, транспорт ва курилишнинг, алока ва космонавтиканинг, турмуш ихтиёжлари ва медицинанинг бирор сохаси йукки, у электротехника фани билан

богланмаган булсин. Замонавий электротехниканинг ривожланиши электр курилмалардан юпка катламли микросхемалар, транзисторлар, диодлар, микропроцессорларни ишлатишга имкон беради. Йил сайин янгидан янги автоматик линиялар, цехлар ва автомат заводлар ишга тушмокда натижада электротехника фанидан янги - электроника, автоматика, микроэлектроника, микросхематехника, кибернетика, ЭХМ ларни бошкарувчи компьютер техникаси, лойихалашни автоматлаштирилган тизимлари каби фанлар ажралиб чикди.

1.2. Электр занжирлари ва унинг элементлари

Электр занжири деб, электр токини ҳосил қилувчи ва унинг оқиб ўтишини таъминлаш учун берк йўл ҳосил қиладиган қурилмалар йиғиндисига айтилади. Занжир таркибига кирувчи алоҳида қурилмалар, электр занжирининг элементлари деб аталади. Занжирнинг электр энергияси ҳосил қилувчи элементлари- манбалари, уни истеъмол қилувчи элементлар, истеъмолчилар деб аталади. Узатувчи элементлар - звенолар манба ва истеъмолчиларни ўзаро боғлаб туради. Уларга симлардан ташқари, ўлчаш қурилмалари, ўзгартиргич қурилмалар (трансформатор, тўғрилагич ва ҳ.к.) киради. Занжир уланганда берк контур ҳосил бўлади ва ток ўта бошлайди. Занжирдан ўтаётган электр токининг қиймати ёки кучи ўтказгичнинг кўндаланг кесимидан t - вақт бирлиги ичида ўтаётган электр зарядларининг миқдори - q билан аниқланади. Яъни ток кучи зарядларнинг ҳаракат тезлигига пропорционал катталикдир. Агар занжирдан ўтаётган токнинг йўналиши ва қиймати вақт давомида ўзгармас бўлса, бундай ток ўзгармас ток дейилади ва I ҳарфи билан белгиланади (1.1-расм, а)



1.1 - расм

$$I = \frac{q}{t}. \qquad (1.1)$$

Халқаро бирликлар тизими (ХБТ) да электр токининг ўлчов бирлиги сифатида ампер қабул қилинган. Ўтказгичнинг кўндаланг кесимидан бир секунд давомида бир кулон (Кл) электр зарядлари ўтгандаги ток кучи бир ампер (А) га тенг бўлади

$$1\text{ампер} = \frac{1\text{кулон}}{1\text{секунд}}.$$

Ўзгармас ток t вақтда кўчирган заряд:

$$q = I\,t\,. \qquad (1.2)$$

Йўналиши ва қиймати ўзгариб турувчи токлар ўзгарувчан токлар дейилади. Токнинг кўрилаётган моментдаги қиймати унинг оний қиймати дейилади ва i билан белгиланади

$$i = \frac{dq}{dt}\,. \qquad (1.3)$$

Ток 0 дан t вақтгача ўзгарганда

$$q = \int_0^t i dt \qquad (1.4)$$

зарядни кўчиради.

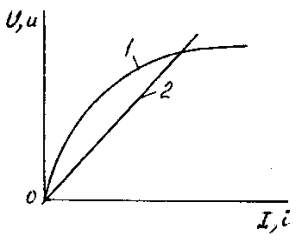
Токнинг ўзгариш қонунияти турлича бўлиши мумкин. Асосан даврий ўзгарувчан токлардан фойдаланилади. Оний қийматлари бир хил вақт оралиғида такрорланувчи ўзгарувчан токлар даврий ўзгарувчан токлар дейилади. Бу вақт оралиғи давр дейилади ва T ҳарфи билан белгиланади. Бир секунддаги даврлар сони частота дейилади ва f билан белгиланади. Частота герц (Гц) ларда ўлчанади

$$f = \frac{1}{T}\,. \qquad (1.5)$$

Агар даврий ўзгарувчан ток гармоник қонун билан ўзгарса синусоидал ток, гармоник бўлмаса, носинусоидал ток дейилади, (1.1-расм, б,в.).

1.3. Электр занжирлари элементларининг параметрлари

Электр занжирининг ҳар бир элементи электр энергиясини истеъмол қилиб уни бошқа тур энергияга айлантириш, ўзининг магнит ва электр майдонларини ҳосил қилиш, энергияни ўзида тўплаб қайта занжирга бериш хусусиятларига эга. Бу хусусиятларни характерлаш учун элементларнинг параметри тушунчаси киритилади.



1.2 - расм

1. Қаршилик R - элементнинг электр занжиридан энергия истеъмол қилиб, уни бошқа тур энергияга айлантириш хусусияти. Айлантирилган энергиянинг қуввати (P, p), (I^2, i^2) га тўғри пропорционал, шунинг учун бу

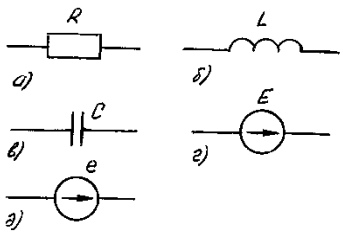
параметрнинг қиймати $R = P/I^2$ўзгармас ток занжири учун ва $R_{\sim} = p/i^2$ ўзгарувчан ток занжири учун.

2.Индуктивлик L - элементнинг ток ўтганда ўзининг магнит майдонини ҳосил қилиш хусусияти (ўзиндукция). Бу параметр ток (I, i) ва магнит илакишини (Ψ, Ψ_t) орасидаги пропорционаллик коэффициенти бўлиб, $\psi = LI$ ёки $\Psi_t = Li$ уни ўзиндукция коэффициенти дейилади.

3. Ўзаро индуктивлик M–ток i_1 ўтаётган биринчи элементнинг иккинчи элементнинг w_2 чўлғамларида ψ_{21}, магнит илакишини ҳосил қилиш хусусияти.

M - параметри биринчи элементнинг токи билан, шу ток таъсирида иккинчи элемент чўлғамларида ҳосил бўлган магнит илакиши ψ_{21} орасидаги пропорционаллик коэффициенти $\psi_{21} = MI_1$ ёки $\psi_{21t} = Mi_1$ ва худди шунга ўхшаш $\psi_{12} = MI_2$ ёки $\psi_{12t} = M i_2$.

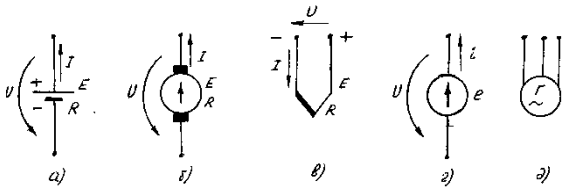
4. Сиғим С - элементнинг зарядлар тўплаш ёки электр майдони ҳосил қилиш хусусияти. Бу параметр элементнинг заряди ва кучланиши ўртасидаги пропорционаллик коэффициенти ҳисобланади: $q = CU$, $q = Cu$.



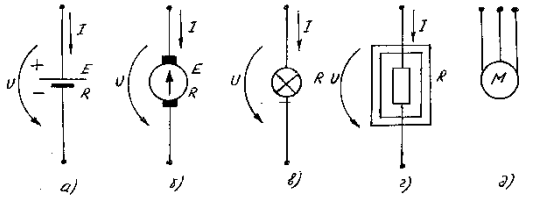
Умумий ҳолатда ҳар қандай реал қурилмада учала параметр R, L, Cмавжуд бўлади. Ҳар қандай электр энергияси манбасининг хусусияти, занжирнинг маълум участкасида потенциаллар фарқини вужудга келтириш, шу билан биргаликда берк контур бўйлаб ток вужудга келтириш.

1.3 - расм

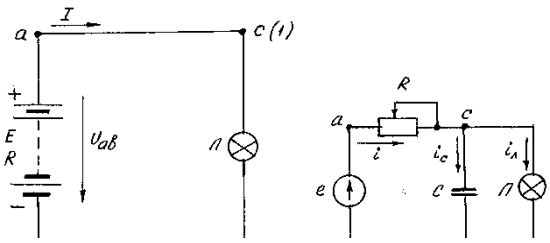
1.4. Электр занжирларини улаш схемалари



1.4 – расм



1.5 – расм.

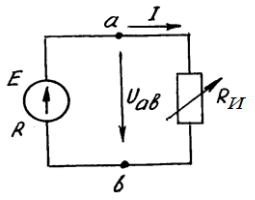


Электр занжири элементларини шартли белгилар асосида график равишда ифодаланиши электр занжирининг схемаси дейилади. 1.4 – расм, а-д ва 1.5-расм, а-д да манба ва истеъмолчилар-нинг шартли белги-лари кўрсатилган. 1.6–расм, а,б да эса, ўзгармас ва ўзгарув-чан ток занжирла-рининг схемалари кўрсатилган. Зан-жирнинг манба жойлашган қисми, ички участкаси де-йилиб, истеъмолчи-лар, боғловчи сим-лар, ёрдамчи аппа-ратлар биргаликда ташқи участкани ташкил этади. Ман-банинг ташқи зан-жирга уланувчи *a* ва *b* қисмалари (қутб-лари) занжирнинг чиқиш қисмалари (қутблари) дейила-ди. Ташқи занжир-нинг манба билан боғланувчи *c* ва *d* қисмалари (қутбла-ри) кириш қисмалари (қутблари) деб аталади. Занжирнинг икки қутбга эга қисми икки қутблик дейилади.

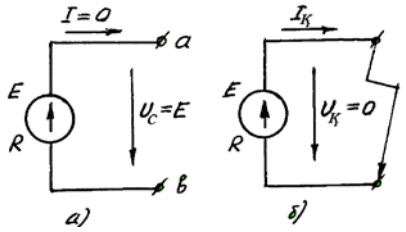
Икки қутблик таркибида манба мавжуд бўлса, актив икки қутблик, йўқ бўлса, пассив икки қутблик деб аталади. Занжирнинг бир хил ток ўтаётган участкаси, кетма-кет боғланишли участка дейилади. Бир қанча участкалардан ўтувчи токнинг ҳар қандай берк йўли контур деб аталади. Бир-биридан бирорта тармоқ билан фарқланувчи контурлар, мустақил контурлар деб аталади. Агар занжирнинг барча тармоқлари икки тугунга боғланган бўлса, бундай боғланиш параллел боғланиш дейилади. Занжирнинг параллел боғланган участкаси бир хил кучланиш остида бўлади. Электр занжирларининг умумий таҳлили учун ток ва кучланишларнинг шартли мусбат йўналишлари белгилаб олиниши керак. Агар аниқланаётган катталик мусбат бўлса, занжирда кўрсатилган йўналиш ҳақиқий йўналиш билан бир хил бўлади, агар манфий бўлса, ҳақиқий йўналишга қарама - қарши бўлади. Электр энергияси манбаси учун кучланишнинг мусбат йўналиши манбадаги ток йўналишига қарама- қарши бўлади.

1.5.Чизиқли ўзгармас ток занжирлари

1,6-расмда ўзгармас ток занжирининг оддий схемаси келтирилган. Электр занжирларининг иш режимлари, яъни уларнинг электр ҳолатлари мазкур занжир айрим элементларининг токи, кучланиши, қувватларининг қийматлари билан аниқланади.



1.6 – расм



1.7 – расм

Номинал (нормал) режим дегани электр машиналарининг, аппаратларнинг, асбоблар-нинг, симларнинг ишлаб чиқарувчи завод томонидан кўрсатилган номинал қувват билан ишлашидир.

Салт ишлаш режими деганда ташқи занжир манбадан ажратилган ва унинг қаршилиги (истеъмолчи қаршилиги) амалда чексизга тенг бўлиб ($R_И = \infty$) занжирдан ток ўтмаганлиги ($I=0$) даги ҳолат тушунилади. Бу ҳолатда манба ичидаги кучланишнинг пасайиши нолга тенг бўлиб, унинг қисмаларидаги кучланиш манбанинг ЭЮК сига тенг бўлади, $U_c=E$ (1,7-расм, а).

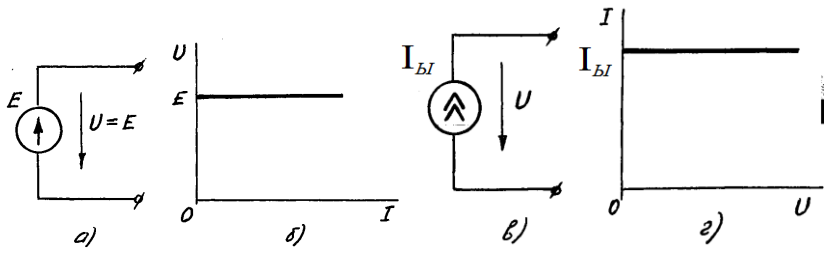
Қисқа туташув режими деб манбанинг ташқи қисмаларида кучланиш нолга тенг бўлган занжир ёки занжир элементларининг қаршиликсиз ўзаро уланиб қолишига айтилади. (1.2-расм, б). Бунда $U_к=0$, $I_к>>I_н$, бунда $U_к$, $I_к$, $I_н$ – лар мос равишда қисқа туташув кучланиши, токи ва номинал ток.

Келишилган режим - бу режимда манба ташқи занжирга энг катта қувват бериб ишлайди.

Электр занжирларининг реал элементлари ҳисоблаш ва анализ қилишда алмашлаш схемалари билан ифодаланади. Манбани алмашлаш схемаси икки хил бўлиши мумкин.

1. ЭЮК манбаси.
2. Ток манбаси.

Идеал ЭЮК манбасида ЭЮК нинг қиймати истеъмолчининг токига боғлик бўлмайди: E=const, R=0 ташқи қисмаларидаги кучланиш U токка боғлик бўлмайди ва қиймат жиҳатдан ЭЮК га тенг бўлади $U=E$ (1.3-расм, а). 2.3 – расм, б даги $U(I)$ боғланиш графиги ташқи ВАХ дейилади.



1.8 – расм

Идеалтокманбасидатокнингқийматикучланишгабоғлиқбўлмайдивақийма тибўйичаманбанингқисқатуташувтоки $I_қ$гатенгбўлади. (1.3-расм, в). Идеал манбанинг АВХ си (1.3-расм, г) да кўрсатилган. 1.4-расм, а,б да ЭЮК ва ток манбаларининг алмашлаш схемалари келтирилган. Кўрсатилган схемалар учун 1.4-расм, б дан а схемасига ўтиш ва қайта 1.4-расм, а дан б га ўтиш формулалари қуйидагича ифодаланади:

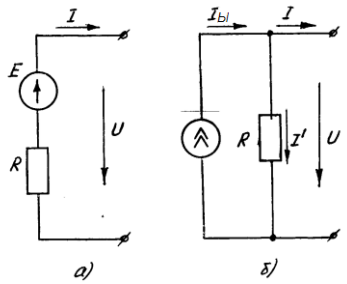
$$E=RI_Қ\ ;.$$

Электр ҳолати тенгламалари 1.4-расм, а учун:

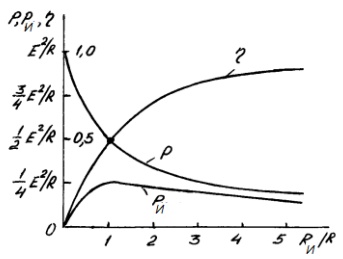
$$E=U+RI \qquad (2.1)$$

ва 1.4-расм, б учун:

$$I_ы = I + \frac{U}{R}\cdot \qquad (2.2.)$$



1.9 – расм



1.10 – расм

1.6. Манбани ташқи контурга максимал қувват бериш шартлари

Ташқи занжир резисторининг қаршилиги истеъмолчининг қаршилиги $R_И$ га тенг бўлса, (1.1-расм) ундаги ток ва кучланиш қуйидагича боғланади: $U=R_И I$ бу муносабат занжирнинг пассив участкаси учун Ом қонунини ифодалайди. Агар (1.1) ни қуйидагича ифодалаш мумкинлигини ҳисобга олсак,

$$E=RI+R_И I. \qquad (2.3)$$

Бундан оддий берк контур учун Ом қонунининг ифодасини олиш мумкин.

$$I = \frac{E}{R + R_И}. \qquad (2.4)$$

У ҳолда

$$P_И = R_И I^2 = \frac{R_N E^2}{(R + R_И)^2}. \qquad (2.5)$$

Манбани параллел алмашлаш схемаси учун ташқи занжирнинг токи (2.2) ифодага асосан:

$$I = I_ы - \frac{U}{R} = I_ы - \frac{R_И I}{R}; \qquad (2.6)$$

бундан $I = I_ы \frac{R}{(R + R_И)}$.

У ҳолда ташқи занжирнинг қуввати

$$P_И = R_И I^2 = \frac{R_И R^2 I_ы^2}{(R + R_И)^2}. \qquad (2.7)$$

Истеъмолчининг қуввати салт ишлашда ($R_И$=∞) ва қисқа туташувда ($R_И$=0) нолга тенг бўлади. $\frac{R_И}{(R + R_И)^2}$ муносабат максимал бўлганда қувват максимал бўлади. Бу касрдан R бўйича ҳосила олиб ва нолга тенглаб қуйидаги муносабатни ҳосил қиламиз.

$$(R + R_И)^2 - 2R(R + R_И) = 0. \qquad (2.8)$$

Бу ифодада $R=R_И$ деб ҳисобланса, яъни ташқи занжирнинг қаршилиги манбанинг ички қаршилигига тенг бўлганда, ташқи занжирнинг қуввати максимал бўлар экан. Занжирнинг бу иш ҳолати манба ва истеъмолчининг мослашув режимини тавсифлайди. Бу режимда манбадаги қувват исрофи, манба қувватининг ярмига тенг бўлади.

$$\Delta P = R\ I^2 = R_И I^2 = \frac{EI}{2}.$$

Манбанинг фойдали иш коэффициенти (ФИК):

$$\eta = \frac{P_И}{P} = \frac{1}{1 + R\ /R_И}, \qquad (2.9)$$

бу ерда $P=EI=(R+R_И)I^2$; $P_И=R_И I^2$.

1.7 Ом ва Кирхгоф қонунлари

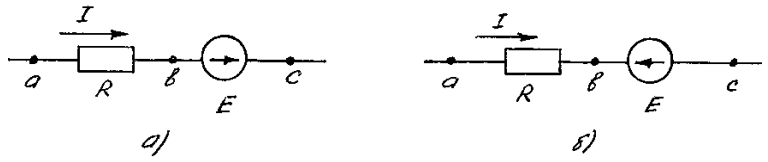
2.6-расм, а,б да занжирнинг *I* ток ўтаётган участкасида *a* ва *c* нуқталари орасидаги потенциаллар фарқи (кучланиш) аниқланиши керак. Ушбу муносабатга кўра $U_{ac} = \varphi_a - \varphi_c$

2.6-расм, а учун:

$$U_{ac} = \varphi_a - \varphi_c = IR - E; \qquad (2.10)$$

2.6-расм, б учун:

$$U_{ac} = \varphi_a - \varphi_c = IR + E. \qquad (2.11)$$



1.11 – расм.

Кўриб чиқилган муносабатларга кўра Ом қонунининг занжирни бир қисми учун ифодаси

$$I = \frac{(\varphi_a - \varphi_c) \pm E}{R} = \frac{U_{ac} \pm E}{R}. \qquad (2.12)$$

Барча электр занжирлари Кирхгоф қонунларига бўйсунади.

1.8. Кирхгофнинг биринчи қонуни:

1. Электр занжирининг тугуни учун токларнинг алгебраик йиғиндиси нолга тенг.

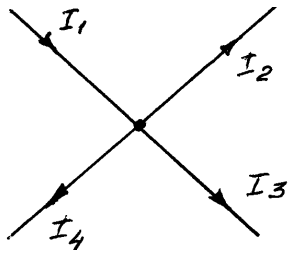
2. Тугунга келаётган токларнинг йиғиндиси тугундан кетаётган токларнинг йиғиндисига тенг.

1,13-расмучун:

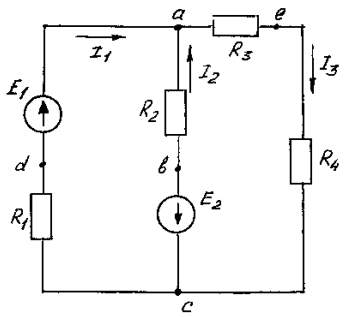
$$I_1 - I_2 - I_3 - I_4 = 0.$$

Умумийҳолатда:

$$\Sigma I_K = 0. \qquad (2.13)$$



1.12-расм



1.13 – расм

1.9. Кирхгофнинг иккинчи қонуни:

1. Исталган берк контур учун кучланишлар тушувларининг алгебраик йиғиндиси шу контурдаги ЭЮК ларнинг алгебраик йиғиндисига тенг.

$$\Sigma IR=\Sigma E. \qquad (1.14)$$

2. Электр занжирининг берк контури учун, алоҳида участкалар кучланишларининг алгебраик йиғиндиси нолга тенг.

$$\Sigma U_K=0. \qquad (1.14\ а)$$

1.8-расмдаги занжирнинг четки контури учун:

1. $I_1R_1+I_3R_3+I_3R_4=E_1$.

2. $U_{ae}+U_{ec}+U_{cd}+U_{da}=0$.

1.10. Пассивистеъмолчиларнингуланишсхемаларинианализи

Юқоридакўрибўтилганидек, пассивэлементларнингуланишсхемаларикетма - кет, параллелвааралашбоғланишдабўлишимумкин.

Кетма - кетбоғланишдеб, ҳарбирэлементданўтаётгантокнингқийматибирхилбўлганҳолатдагибоғланишгаайтилади. 1.9-расм, а,бдагисхемаучунКирхгофнингиккинчиқонунигабиноан

$$U_1+U_2+...+U_n=U,$$

ёки

$$R_1I+R_2I+...+R_nI=R_{экв}I,$$

бундан

$$R_{экв}=R_1+R_2+...+R_n. \qquad (1.15)$$

Кетма-кетуланганэлементларнингэквивалентқаршилиги, элементларқаршилигинингйиғиндисиданиборат. Занжирдагиток

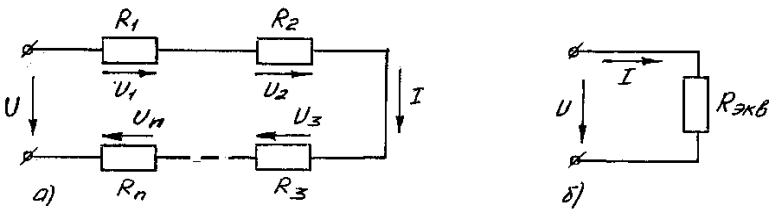
$$I=U/R_{экв}, \qquad (1.16)$$

n - элементнингкучланишиучун

$$U_n=R_n\cdot U/R_{экв}, \qquad (1.17)$$

n - элементдаистеъмолқилинаётганқувват:

$$P_n = R_n I^2 = R_n/(U^2/R_{экв}^2) \qquad (1.18)$$

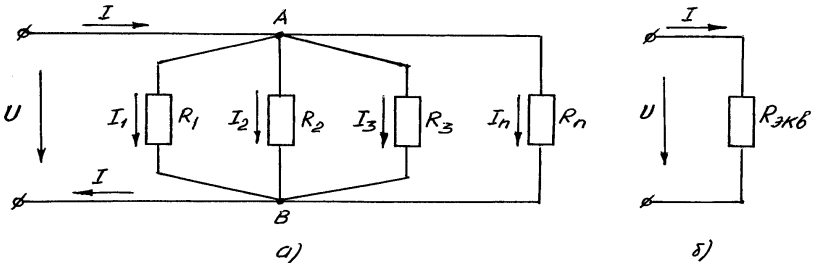


1.14 – расм.

1.14-расм, а да элементлар қаршиликлари параллел уланган схема берилган. Ҳамма элементлар А ва В тугуни оралиғида жойлашган. Тугунлар орасидаги кучланиш манба кучланишига тенг. Шунинг учун ҳар бир тармоқ токи

$$\begin{aligned} &I_1 = U/R_1 = g_1 U, \\ &I_2 = U/R_2 = g_2 U, \\ &\dots\dots\dots\dots\dots\dots \\ &I_n = U/R_n = g_n U. \end{aligned} \qquad (1.19)$$

муносабатлар билан аниқланади.



1.15 – расм.

2.10-расм, а даги схема учун Кирхгофнинг биринчи қонунига биноан:

$$I_{экв}=I=I_1+I_2+...+I_n\ ,$$

ёки

$$g_{экв}U=g_1U+g_2U+...+g_nU, \qquad (1.20)$$

буерда $g_{экв} = g_1+g_2+...+g_n=\sum_{K=1}^{n} g_K$,

ёки

$$\frac{1}{R_{экв}}=\frac{1}{R_1}+\frac{1}{R_2}+...+\frac{1}{R_n}=\sum_{K=1}^{n}\frac{1}{R_K}. \qquad (1.21)$$

Демак, параллелбоғланишдаэквивалентўтказувчанлик, занжирдагибарчатармоқларўтказувчанликларинингйиғиндисигатенг. Эквивалентқаршилик $R_{экв}=\frac{1}{g_{экв}}$.Буқаршиликзанжиртармоқларидагиэнгкичи кқаршиликданҳамкичкинабўлади (1.10-расм, б). Умумийқаршиликнингкамайишитокнингортишигасабаббўлади.

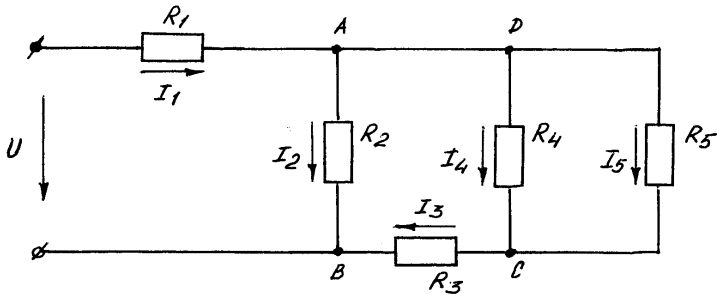
Қувваткуйидагичаифодаланади:

$$P=UI=U(I_1+I_2+...+I_n),$$

ёки

$$P=P_1+P_2+...+P_n. \qquad (1.22)$$

Занжирнингқувватиалоҳидатармоқларқувватларинингйиғиндисидан иборат.



1.16 – расм.

Таркибидагиэлементлараралашуланганзанжирларда, ҳамкетма-кет, ҳампараллелуланганучасткалармавжудбўлади. 1.11-расмдааралашулангансхемаберилган. Бундайзанжирларниҳисоблашдаэквиваленталмаштиришсхемалариданфойдаланилади.

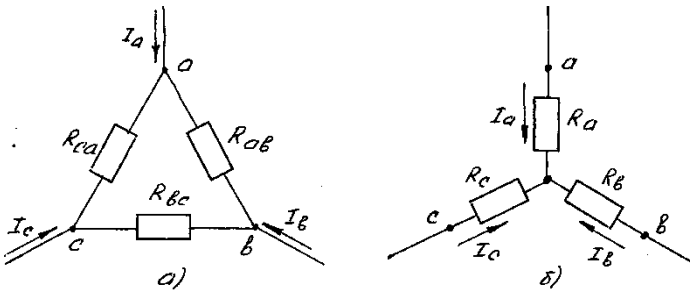
Занжирфақатбиттаэквивалентқаршиликданиборатбўлганҳолатгачасоддалаштирилади. Соддалаштиришсхеманингохириданбошланади.

$$R_{ДС} - \frac{R_4 R_5}{R_4 + R_5},$$

$$R_{AB} = \frac{R_2(R_3 + R_{ДС})}{R_2 + R_3 + R_{ДС}}, \qquad (1.23)$$

$$R_{экв} = R_{AB} + R_1 .$$

ЭквивалентқаршиликберилганзанжирдагиумумийтокI_1нитопишимкониниберади$I_1=U/R_{экв}$. Қолгантармоқларнингтокларибосқичма - босқичОмваКирхгофқонунлариданфойдаланилганҳолатдааниқланади. Амалиётдабаъзаншундайсхемаларучрабтурадики, улартаркибидагиэлементларўзароучбурчакёкиюлдузчашаклидабоғланганбўлади. Уларни, на параллеллик, на кетма-кетлик аломатига қараб ихчамлаш имконияти бўлмайди. Бундай ҳолларда учбурчакдан эквивалент юлдузга, ёки юлдуздан экивалент учбурчакка ўтиш йули билан занжирни ихчамлаш имконияти ахтарилади (1.12-расм, а, б). Учбурчакдан юлдузга ўтиш формулалари:



1.17 – расм.

$$R_a = \frac{R_{ab}R_{ca}}{R_{ab}+R_{bc}+R_{ca}},$$
$$R_b = \frac{R_{bc}R_{ab}}{R_{ab}+R_{bc}+R_{ca}}, \qquad (1.24)$$
$$R_c = \frac{R_{ca}R_{bc}}{R_{ab}+R_{bc}+R_{ca}}.$$

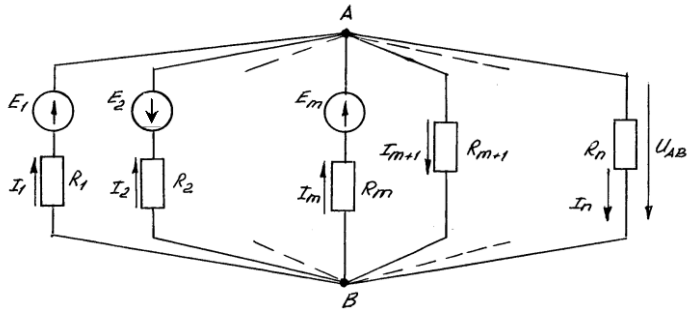
Юлдуздан учбурчакка ўтиш формулалари:

$$R_{ab} = R_a + R_b + \frac{R_a R_b}{R_c},$$
$$R_{bc} = R_b + R_c + \frac{R_b R_c}{R_a}, \qquad (1.25)$$
$$R_{ca} = R_c + R_a + \frac{R_c R_a}{R_b}.$$

1.11.Чизиқли ўзгармас ток занжирлари(ҳисоблаш усуллари)

Бир нечта манбали мураккаб электр занжирларини таҳлил қилиш ва ҳисоблаш учун Кирхгофнинг иккала қонуни ва Ом қонунига асосланган, бир нечта усуллар ишлаб чиқилган.

1. Икки тугун усули.
2. Кирхгоф қонунларини қўллаш усули.
3. Контур токлари усули.
4. Устлаш усули.
5. Эквивалент генератор усули ва бошқалар.



1.18– расм

Занжирни икки тугун усули билан ҳисоблаш, берилган занжирнинг барча тармоқлари (актив ёки пассив) ўзаро параллел бўлиб, икки тугун оралиғида жойлашган ҳолатлар учун қўлланилади. Бу усулни 1.18-расмда берилган занжир мисолида кўрамиз. Бу усулга биноан аввал А ва В тугунлари орасидаги кучланиш аниқланади. Кучланишнинг шартли мусбат йўналиши А дан В га деб қабул қилинганда Кирхгофнинг биринчи қонунига биноан:

$$I_{m+1} + I_{m+2} + ... + I_n = I_1 + I_2 + ... + I_m . \qquad (1.26)$$

Ом қонунига мувофиқ ҳар бир тармоқ токи:

$$\begin{aligned} &I_1 = g_1(E_1 - U_{AB}), \\ &I_2 = g_2(-E_2 - U_{AB}), \\ &I_m = g_m(E_m - U_{AB}), \\ &I_{m+1} = g_{m+1}U_{AB}, \\ &\dots\dots\dots\dots\dots\dots \\ &I_n = g_n U_{AB}. \end{aligned} \qquad (1.27)$$

(3.2) ни (3.1) муносабатга қўйиб, баъзи бир ўзгартиришлардан сўнг қуйидаги ифода ҳосил қилинади:

$$U_{AB} = \frac{g_1E_1 - g_2E_2 + ... + g_mE_m}{g_1 + g_2 + ... + g_n},$$

ёки

$$U_{AB} = \sum_{k=1}^{m} g_k \; E_k \Big/ \sum_{k=1}^{n} g_k \; . \qquad (1.28)$$

U_{AB} нинг қийматини аниқлаб, (3.2) муносабатга қўямиз ва тармоқлар бўйлаб ўтаётган токнинг қийматини ҳисоблаб топамиз.

3.2. Кирхгоф қонунларини қўллаш усули

Бу усулга кўра, ҳамма тармоқлар сони т ва тугунлар сони $т^1$ билан белгилаб олинади. Ток манбаси бор тармоқлар сони $т_т$ билан белгиланади. Тенглама тузишдан олдин:

1. Токларнинг шартли мусбат йўналишларини танлаб схемада белгилаб чиқилади.
2. Кирхгофнинг иккинчи қонунига биноан тенглама тузиш учун контур бўйлаб шартли мусбат йўналиш белгилаб олинади.

Сўнгра Кирхгофнинг биринчи қонунига биноан тугунлар сонидан битта кам, иккинчи қонунга биноан $(т-т_т)-(т^1-1)=т-т_т-т^1+1$ та тенглама тузилади. Тузилган тенгламалар биргаликда ечилиб тармоқ токлари аниқланади.

Мисол. 2.8-расмдаги схема учун юқоридаги усулга биноан тенглама тузамиз.

Схемада т=3 $т_т$=0 $т^1$=2. Демак, биринчи қонунга биноан битта тенглама тузилади:

$$I_1+I_2=I_3 . \qquad (1.29)$$

Иккинчи қонунга биноан (т-$т_т$)-($т^1$-1)=(3-0)-(2-1)=2 та тенглама тузилар экан.

Контурнинг мусбат йўналишини соат стрелкаси бўйлаб деб қабул қиламиз:

$R_1E_1R_2E_2$контуручун

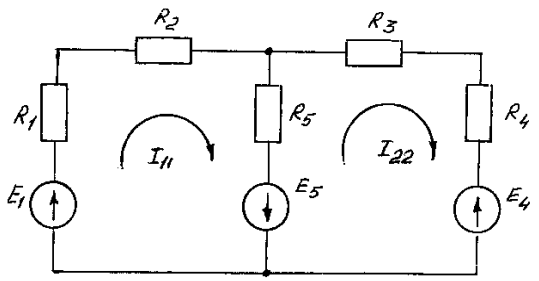
$$I_1R_1- I_2R_2=E_1+E_2. \qquad (1.30)$$

$E_2R_2R_3R_4$контуручун

$$I_2R_2+I_3(R_3+R_4)=-E_2 . \qquad (1.31)$$

БутенгламаларнибиргаликдаечибI_1, I_2, I_3тармоқтокларитопилади.

Контуртокларусули



1.19 – расм.

Буусулдазанжир-нингҳарбирберккон-турининг ўзтокимавжуддебфаразқилинади. Кирхгофнинг иккинчи қонунига биноан, кон-тур токларидан фойдала-ниб тенгламалар тузила-ди. Ҳисоблаб топилган контур токлари асосида тармоқ токларининг қий-мати аниқланади. 1.19-расмда кўрсатилган схема учун контур токлари усулини қўллаймиз. I_{11} ва I_{22} билан контур токларини белгилаймиз.

Биринчиконтуручун

$$(R_1+R_2)I_{11}+R_5(I_{11}-I_{22})=E_1+E_5,$$

ёки

$$(R_1+R_2+R_5)I_{11}-R_5I_{22}=E_1+E_5 .$$

Иккинчиконтуручун

$$(R_3+R_4)I_{22}+R_5(I_{22}-I_{11})=-E_5-E_4,$$

ёки

$$-R_5 I_{11}+(R_3+R_4+R_5)I_{22}=-E_5-E_4 .$$

Бутенгламаларникуйидагичаёзамиз:

$$R_{11}I_{11} + R_{12}I_{22} = E_{11},$$
$$R_{21}I_{11} + R_{22}I_{22} = E_{22}.$$

бу ерда

$$R_{11} = R_1 + R_2 + R_5, \qquad E_{11} = E_1 + E_5,$$
$$R_{22} = R_3 + R_4 + R_5, \qquad E_{22} = -E_4 - E_5.$$
$$R_{12} = R_{21} = -R_5,$$

(3.7) тенгламалар системаси ҳисобланиб топилган контур токлари асосида тармоқ токлари аниқланади. Занжирнинг контурлар сони қанча бўлса, тузиладиган тенгламалар ҳам шунча бўлади.

Устлаш усули

Ушбу усулда асосан схемада бирдан ортиқ ЭЮК манбалари бўлса, электр занжири ҳар бир ЭЮК манбаининг таъсиридан ҳосил бўлган хусусий токлар учун алоҳида (босқичма-босқич) ҳисобланади. Ҳар бир босқичда схемада битта ЭЮК манбаи қолдирилиб, қолган барча манбалар вақтинча нолга тенг деб фараз қилинади ва барча тармокларда шу ЭЮК таъсирида оқаётган токлар топилади. Занжирда нечта ЭЮК манбаи бўлса, ҳисоблаш ишлари шунча марта бажарилади. Аммо занжирдаги барча қаршиликлар ва схемадан вақтинча ажратилган манбаларнинг ички қаршиликлари ўзгаришсиз қолдирилади. Агар манбаларнинг ички қаршиликлари берилмаган бўлса, у нолга тенг деб қабул қилинади. Агар бирор мураккаб электр занжири m та ЭЮК манбаидан ва n та тармоқдан ташкил топган бўлса, у ҳолда k - номерли ихтиёрий тармоқнинг R_k қаршилигидан схемадаги ҳар бир ЭЮК таъсиридан ҳосил бўлган $I'_k, I''_k, ..., I^m_k$ каби турли қиймат ва йўналишларга эга бўлган хусусий токлар оқиб ўтади. Тармоқлардан оқиб ўтаётган токларнинг ҳақиқий қийматлари айрим манбалар таъсирида ҳосил бўлган хусусий токларнинг алгебраик йиғиндисига тенг

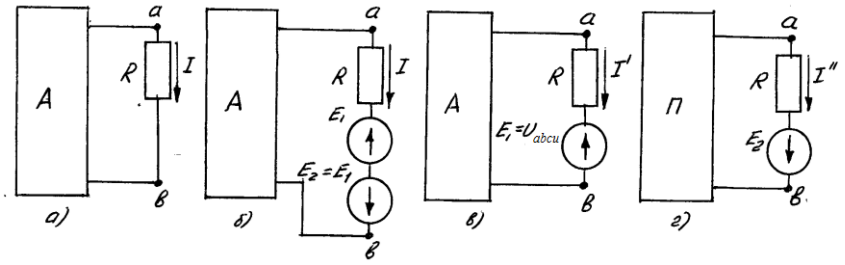
$$I_k = \sum_{n=1}^{m} i_n \ .$$

Эквивалент генератор усули

Мураккаб электр занжирининг ихтиёрий битта тармоғидаги токнинг қийматини аниқлаш керак бўлганда эквивалент генератор усулидан фойдаланиш мумкин. Ажратилган тармоққа нисбатан занжирнинг қолган қисмини икки қутблик деб қаралса, шу икки қутблик ҳисоб давомида эквивалент генератор билан алмаштирилади. Эквивалент генераторнинг ички қаршилиги икки қутбликнинг кириш қаршилигига,

ЭЮК эса, ажратиб кўрсатилган тармоқ қисмларидаги салт ишлаш кучланишига тенг деб қабул қилинади.

1.20 а да *ab* тармоғининг *I* токини аниқлаш талаб қилинади. Тўртбурчакдаги А белгиси, унинг таркибида ЭЮК ёки ток манбаси борлигини ифодалайди. Агар *ab*тармоққа қийматлари тенг қарама - қарши йўналган иккита E_1 ва E_2 ЭЮК манбаларини уласак, ток *I* нинг қиймати ўзгармайди (3.3-расм, б).



1.20 – расм.

Устлаш усулига биноан

$$I = I' + I''.$$

Бу ерда I'-E_1 ва икки қутблик ичидаги барча манбалар таъсирида ҳосил бўлади. I''эса E_2манба таъсирида ҳосил бўлади.

Шулар асосида ва 3.3-расм, в,г схемаларидан I'ва I'' ни аниқлаймиз. E_1 ва U_{ab} кучланиш бир-бирига қарама-қарши йўналган.

Занжирнинг бир қисми учун (ЭЮК бор бўлган) Ом қонунига биноан:

$$I' = \frac{U_{ab} - E_1}{R}.$$

Бунда E_1 шундай танланадики, ток I' нинг қиймати нолга тенг бўлсин. *ab* тармоқда токнинг нолга тенг бўлиши тармоқнинг узилиши билан тенг кучли (салт ишлаш). Салт ишлаш кучланиши U_{abcu}билан белгиланади. Демак, E_1 ни U_{abcu} га тенгласак, $I' = 0$ бўлади. $I = I' + I''$ бўлганлиги сабабли, $I' = I''$ 3.3-расм, г га кўра

$$I'' = \frac{E_2}{R + R_K} = \frac{U_{abcu}}{R + R_K},$$

бунда R_k - икки қутбликнинг кириш қаршилиги; *R*- *ab* тармоқ қаршилиги.

Демак, бу усул билан ток аниқланганда:

1. *ab* тармоқ узилган ҳолат учун *a* ва *b* қисмалар орасидаги кучланиш аниқланади.

2. *ab* қисмаларга нисбатан кириш қаршилиги R_k топилади (ЭЮК манбалари қисқа туташтирилиб, ток манбалари узиб қўйилган ҳолатда).
3. Токнинг қийматини қуйидаги формула билан ҳисоблаб топилади.

$$I = \frac{U_{abcu}}{R + R_K}.$$

Ҳар бир усул бўйича номаълумлар аниқлангандан сўнг, ҳисобий қийматлар аниқлиги қувватлар баланси бўйича текширилади. Энергияни сақланиш қонунига биноан, вақт бирлигида схемадаги қаршиликлардан ажралаётган иссиқлик миқдори, шу вақт бирлигида манбадан олинаётган энергияга тенг бўлиши керак.

Агар манбадан ўтаётган ток билан, ЭЮК нинг йўналиши бир хил бўлса, манба вақт бирлигида занжирга *EI* миқдорда энергия (ёки қувват) беради ва *EI* кўпайтма тенгламага мусбат ишора билан киради. Агар *I* ва *E* нинг йўналишлари қарама - қарши бўлса, ЭЮК манбаси истеъмол қилади ва *EI* кўпайтма қувватлар баланси тенгламасига манфий ишора билан киради.

$$\sum I^2 R = \sum EI.$$

Агар схеманинг *а* тугунига ток манбаидан I_k ток кириб, *б* тугунидан чиқиб кетаяпти деб фараз қилсак, ток манбаси бераётган қувват $U_{аб} \cdot I_k$ га тенг бўлади. У ҳолатда қувватлар баланси тенгламаси қуйидаги кўринишда бўлади

$$\sum I^2 R = \sum EI + \sum U_{аб} I_k.$$

Баъзи бир ҳолларда электр занжирларининг бир учини ёки берк контуридаги электр ҳолатни таҳлил қилиш учун занжир қисми ёки контур бўйлаб потенциалларнинг тақсимланиш графиги қурилади. Занжир қисмининг ёки контурнинг ҳар бир нуқтаси учун потенциал диаграммада тегишли ўз нуқтаси бўлади. Абцисса ўқида контурдаги ихтиёрий бир нуқтадан бошлаб қаршиликларнинг қийматлари қўйилади, ординаталар ўқида нуқталарнинг потенциаллари белгиланади. Координата текислигидаги нуқталарни туташтирувчи чизиқ занжир участкасининг ёки контурнинг потенциал диаграммаси дейилади.

Чизиқли ўзгармас токлар темасидаги кўрилган материаллар кейинги мавзуларни ўрганишда алоҳида аҳамиятга эга. Кўриб чиқилган мураккаб занжирларни ҳисоблаш усуллари, ўзгарувчан ток занжирлари учун ҳам қўлланилиши мумкин.

2. ЭлектрзанжиридатокманбаиниЭЮКманбаигаалмаштиришвазанжи ручунКирхгофқонунларибўйичатенгламалартузиш

Ўқитувчи томонидан берилган вариант бўйича электр занжир параметрларини 1-жадвалга ёзамиз ва хисобланадиган схемани чизамиз. Схема 2.1-расмда келтирилган.

1-жадвал

R_1	R_2	R_3	R_4	R_5	R_6	E_2	E_3	$I_{к2}$	$I_{кз}$
Ом	Ом	Ом	Ом	Ом	Ом	В	В	А	А
12	35	22	6	10	15	20	7.6	0	0.2

$I_{к2}$токлитокманбасиниЭЮКманбаигаалмаштирамизвауниE_2ЭЮКби ланқўшиб, $E_{2.0}$нитопамиз:

$$E_2 = I_{к2} \cdot R_2 = 0\,\text{В}$$
$$E_{20} = E_2 + E_2' = 20\,\text{В}$$

$I_{кз}$токлитокманбасиниЭЮКманбаигаалмаштирамизвауниE_3ЭЮКби ланқўшиб, $E_{3.0}$нитопамиз:

$$E_3' = I_{кз} \cdot R_3 = 44\,\text{В}$$
$$E_{30} = E_3 + E_3' = 66\,\text{В}$$

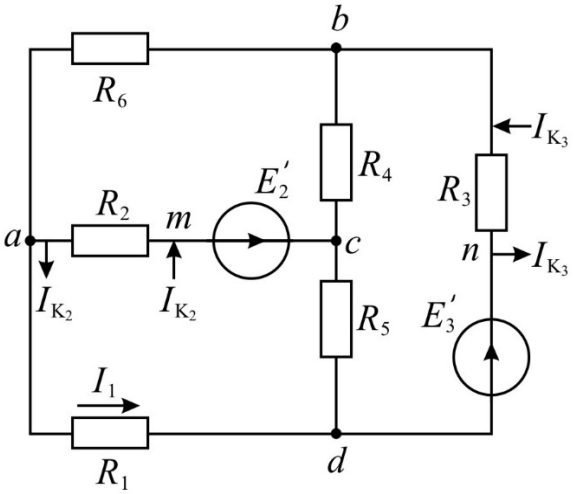
Энди схема 2.2-расмдаги холатга келади.

Занжирни хисоблашда Кирхгоф қонунлари асосида тенгламалар системасини тузиш учун қуйидагиларни бажарамиз:

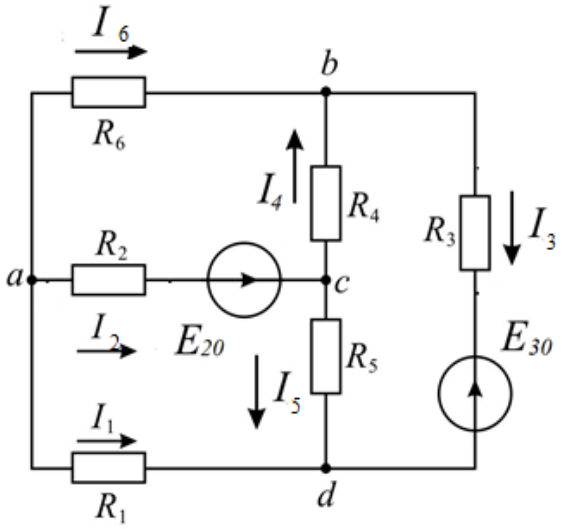
а) 2.2-расмдаги схема тармоқ токлари мусбат йўналишини ихтиёрий қўямиз.

б) контурни айланиш йўналишини танлаймиз, одатда соат стрелкаси бўйича йўналиш мусбат йўналиш деб қабул қилинади;

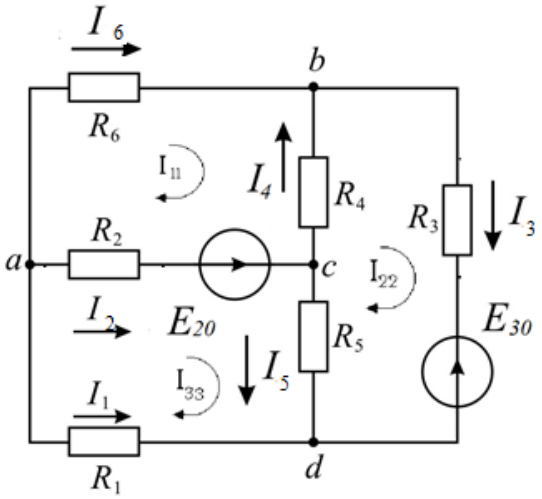
в) Кирхгофнинг 1-қонуни бўйича тугунлар сонидан битта сонга кам мустақил тенгламалар системасини тузамиз. Бизнинг схемада тугунлар сони 4 та, шунинг учун Кирхгофнинг 1-қонунига биноан 3 та тенглама тузамиз:



2.1-расм



2.2-расм



2.3-расм

«a» тугун учун $I_6 + I_1 + I_2 = 0$

«b» тугун учун $I_6 + I_4 - I_3 = 0$ (2.1)

«d» тугун учун $I_1 + I_5 + I_3 = 0$

Кирхгофнинг иккинчи қонунига асосан в-(у-1) та тенглама тузамиз; бу ерда в- тармоқлар сони, у- тугунлар сони.

Бизнинг схема учун 6 - (4 - 1)=3. Демак,

«abc» контур учун $I_6R_6 - I_4R_4 - I_2R_2 = -E_{20}$

«bcd» контур учун $I_4R_4 - I_5R_5 + I_3R_3 = -E_{20}$ (2.2)

«acd» контур учун $I_2R_2 + I_5R_5 - I_1R_1 = E_{20}$

(2.1) ва (2.2) тенгламалар системасини биргаликда ечими схема тармоқ токларини аниқлашга имкон беради.

3. Электр занжирини контур токлари усули билан хисоблаш

Контур токлари усули билан схема тармоқ токларини аниқлаш учун 2.2-расмдаги схемани тармоқ токлари йўналишини кўрсатмаган холда 2.3-расмдаги кўринишда қайта чизамиз. Бу ерда хар бир мустақил контурда ўз контур токи оқади деб фараз қиламиз.

Дастлаб контур токлари учун тенгламалар тузиб, уларни биргаликда ечиб, сўнг контур токлари орқали тармоқ токларини аниқлаймиз.

Номаолумлар сони Кирхгофнинг 2-қонуни бўйича тузилган тенгламалар сонига тенг бўлиши керак. 2.3-расмда кўрсатилганидек, уч мустақил контур учун контур токларини I_{11}, I_{22}, I_{33} орқали белгилаймиз. Уларнинг йўналишини ихтиёрий танлаш мумкин. Биз қараётган холда контур токлари ва контурлар учун айланиш йўналишини соат стрелкаси бўйича оламиз. Унда Кирхгофнинг 2-қонунига биноан:

$$\begin{aligned} I_{11}(R_6 + R_4 + R_2) - I_{22}R_4 - I_{33}R_2 &= -E_{20} \\ -I_{11}R_4 + I_{22}(R_4 + R_5 + R_3) - I_{33}R_5 &= -E_{30} \\ -I_{11}R_2 - I_{22}R_5 + I_{33}(R_1 + R_5 + R_2) &= E_{20} \end{aligned} \qquad (3.1)$$

Энди қуйидагича белгилаш киритамиз:

$I_{11} = X_1$; $I_{22} = X_2$; $I_{33} = X_3$.

ЭЮК ва қаршиликларнинг сон қийматларини (3) га қўйиб қуйидаги тенгламалар системасини ъосил қиламиз:

$$\begin{aligned} 56X_1 - 6X_2 - 35X_3 &= -20 \\ -6X_1 + 38X_2 - 10X_3 &= -66 \end{aligned} \qquad (3.2)$$

$$-35X_1 - 10X_2 + 51X_3 = 20$$

$$X_1 = -1{,}038$$
$$X_2 = -2{,}093$$
$$X_3 = -0{,}730$$

Демак, $I_1 = I_{33} = -0{,}73$ А

$$I_2 = I_{11} - I_{33} = -0{,}308\,\text{А}$$
$$I_3 = I_{22} = -2{,}093\,\text{А}$$
$$I_4 = I_{11} - I_{22} = 1{,}055\,\text{А}$$
$$I_5 = I_{33} - I_{22} = 1{,}363\,\text{А}$$
$$I_6 = I_{11} = -1{,}038\,\text{А}.$$

Тармоқ токларини аниқлашда ҳосил бўлган манфий ишоралар тармоқ токларининг ҳақиқий йўналиши контур токларининг мусбат йўналишига нисбатан тескари эканлигини билдиради.

4. Электр занжирини тугун потенциаллари усули билан хисоблаш

Номаолум миқдор сифатида схема тугунларининг потенциаллари олиниб ва улар орқали электр занжирини хисоблаш тугун потенциаллари усули дейилади.

Бизнинг схемамизда 4 та тугун бор, «с» тугунни ерга уланган деб фараз қиламиз ва бу тугун потенциали «0» га тенг деб қабул қиламиз. У холда номаолумлар сони «3» га тенг бўлади. Тугун потенциаллари усули билан хисоблашда номаолумлар сони Кирхгофнинг биринчи қонуни бўйича тузилган тенгламалар сонига тенг (4-расм).

Тармоқ токлари йўналишини ихтиёрий танлаб Кирхгофнинг 1-қонунига асосан *а, в, d* тугунлар учун тенгламалар тузамиз:

«a» тугун учун $I_6 + I_1 + I_2 = 0$

«b» тугун учун $I_6 + I_4 - I_3 = 0$

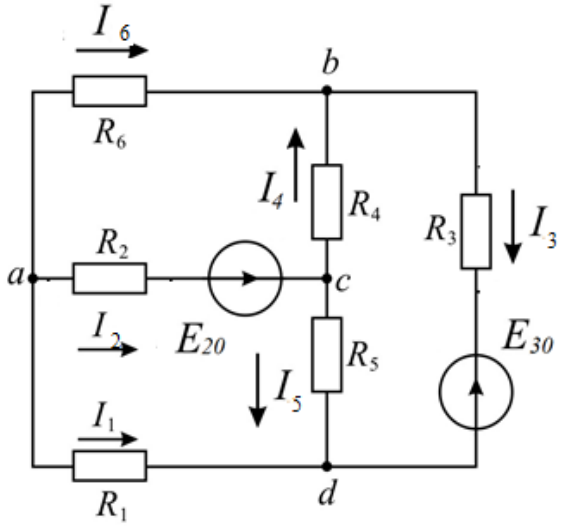
«d» тугун учун $I_1 + I_5 + I_3 = 0$

Бунда

$$I_1 = (\varphi_a - \varphi_d)g_1$$
$$I_2 = [(\varphi_a - \varphi_c) + E_{20}]g_2$$
$$I_3 = [(\varphi_b - \varphi_d) + E_{30}]g_3$$
$$I_4 = (\varphi_c - \varphi_d)g_4$$
$$I_5 = (\varphi_c - \varphi_d)g_5$$
$$I_6 = (\varphi_a - \varphi_b)g_6$$

Бу ерда φ - тугун потенциали; $g = 1/R$ тармоқўтказувчанлиги. Токларнинг бу ифодаларини юқоридагитенгламаларга қўйиб, математик алмаштиришлардан сўнг ва $\varphi_a = 0$ эканини хисобга олиб, қуйидаги тенгламалар системасини оламиз:

$$\begin{aligned} -\varphi_a(g_2+g_6+g_1)+\varphi_в g_6+\varphi_d g_1 &= -E_{20}g_2 \\ \varphi_a g_1-\varphi_d(g_1+g_5+g_3)+\varphi_b g_3 &= -E_{30}g_3 \\ \varphi_d g_3+\varphi_a g_6-\varphi_b(g_6+g_3+g_4) &= E_{30}g_3 \end{aligned} \qquad (14)$$



4-расм

Бу системадаги ўтказувчанлик, ЭЮК сон қийматларини қўйиб, хамда $\varphi_a = X_1; \varphi_в = X_2;$ $\varphi_d = X_3$ белгилаш киритиб, қуйидагини ёзамиз:

$$\begin{aligned} -0{,}16X_1+0{,}06X_2+0{,}08X_3 &= -0{,}5 \\ 0{,}08X_1+0{,}04X_2-0{,}22X_3 &= -3 \\ 0{,}06X_1-0{,}26X_2+0{,}04X_3 &= 3 \end{aligned} \qquad (15)$$

Тенгламалар системасини илова-1 даги дастур бўйича компрютерда ечиб, *а*, *в*, *d* тугунлар потенциали сон қийматларини топамиз:

$$X_1 = 7.959 \qquad (16)$$

$$X_2 = -7{,}364 \qquad (17)$$

$$X_3 = 15{,}19 \qquad (18)$$

Тармоқ токлари миқдорини аниқлаш учун потенциаллар сон қийматини (16), (17), (18) ва $\varphi_c = 0$ эканлигинихисобга олиб (8)-(13) ифодаларга қўямиз ва токларнинг қийматини топамиз.

$I_1 = I_{33} = -0{,}63$ А

$I_2 = -0.309$ А

$I_3 = -1.97$ А

$I_4 = 1{,}22$ А

$I_5 = -1{,}5$ А

$I_6 = 1{,}02$ А.

«Минус» ишораси токнинг ҳақиқий йўналиши, ихтиёрий олинган йўналишга тескари эканлигини кўрсатади.

5.Хисоблаш натижаларини таққослаш ва хисоблаш аниқлигини бахолаш

Контур токлари ва тугун потенциаллари усуллари билан олинган хисоблаш натижаларини 2-жадвалга киритамиз ва токнинг ўртача қийматларини топиб, жадвалга ёзиб қўямиз.

2-жадвал

Токлар →	I_1	I_2	I_3	I_4	I_5	I_6
Усул ↓	А	А	А	А	А	А
Контур токлари	0,73	0,308	1,98	1,055	1,36	1,03
Тугун потенциаллари	0,63	0,309	1,97	1,22	1,5	1,02
Токларнинг ўртача қиймати	0,63	0,308	1,96	1,13	1,43	1,02

2-жадвалда келтирилган натижаларни солиштириш шуни кўрсатадики, хар икки усул билан хисобланган ток қийматлари амалда бир-бирига тенг, бу хисоблаш тўьри бажарилганлигини кўрсатади.

Хисоблаш аниқлигини бахолаш учун қувват балансини тузиш зарур. Бунда манбалар ва истеомолчилар қуввати алоъида хисобланади. Хисоблашда хар бир тармоқ токининг ўртача қиймати олинади.

а) ЭЮК манбалари бераётган қувват:

$$P_{\text{м}} = E_{30} I_3 + E_{20} I_2 = 145{,}82\text{Вт}$$

б) схемада истеомол қилинаётган қувват:

$$P_{\text{ист}} = I_1^2 R_1 + I_2^2 R_2 + I_3^2 R_3 + I_4^2 R_4 + I_5^2 R_5 + I_6^2 R_6 = 158{,}13\text{Вт}$$

в) нисбий хатолик

$$\gamma = \frac{P_{\text{м}} - P_{\text{ист}}}{P_{\text{м}}} \cdot 100\% = \frac{145{,}82 - 158{,}136}{1145{,}82} \cdot 100\% = 0{,}08\%$$

шуни кўрсатадики, бажарилган хисоблар етарли даражада тўъридир. Хатолик арифметик амалларни бажаришда вергулдан кейинги рақамларнинг чекланганлиги туфайли ъосил бўлган. Хисоблашлардаги нисбий хатоликка 2% гача рухсат берилади.

АДАБИЁТЛАР

1. Методические указания по расчету контролрнқх заданий по курсу «ТОЭ»(Линейнқе цепи постоянного тока). Учебно-производственная типография ФерПИ, 1985 (составители: Нигматов Ж.М. и др.).

2. Каримов А.С., Миръайдаров М.М. ва бошқалар. Электротехника ва электроника асослари (масалалар тўплами ва лаборатория ишлари). Тошкент, «Ўқитувчи», 1989.

3. Каримов А. С. Назарий электротехника. 1-том. Т.: Ўқитувчи, 2003.

4. Сборник задач по теоретическим основам электротехники. Под. ред. Л.А. Бессонова. М.: Вқсшая школа, 1988.

5. Нейман Л.Р., Демирчян К.С. Теоретические основқ электротехники. Том 1. Ленинград, 1982.

6. Шебес М.Р. Задачник по теории линейнқх электрических цепей. М.: Вқсшая школа, 1982.

7. Сборник программированнқх задач по теоретическим основам электротехники. Под. ред. Н.Г. Максимовича и И.Б. Куделрко. Лрвов, «Вқсшая школа», 1976.