

ӘЛ-ФАРАБИ АТЫНДАҒЫ ҚАЗАҚ ҰЛТТЫҚ УНИВЕРСИТЕТІ
Физика-техникалық факультет
Электроника және астрофизика кафедрасы

Алимгазинова Н.Ш.

Электр тізбектер теориясы -1

пәні бойынша дәрістер жинағы

«Радиотехника, электроника және телекоммуникациялар» мамандығы
бойынша білім алушы студенттерге арналған

Алматы, 2025

1-дәріс. Негізгі ұғымдар мен анықтамалар

Дәрістің мақсаты. Білім алушыларда электр тізбегі, оның негізгі түсініктері мен элементтері, сондай-ақ электр тізбектерінің түрлері мен жіктелімдері туралы түсінік қалыптастыру; белсенді және пассивті элементтерді, сызықтық және сызықтық емес тізбектерді ажырата білуге, қарапайым электр тізбектерін құрудың құрылымы мен принциптерін түсінуге үйрету.

Жоспар

1. Электр тізбегі. Негізгі ұғымдар
2. Электр тізбектерінің элементтері. Классификациялау
3. Электр тізбектерінің классификациясы

1. Электр тізбегі. Негізгі ұғымдар

Бүгінгі таңда адамзатпен барынша кең таратылған энергияның түрі электр энергиясы болып табылады. Электр техниканың, көліктің, электр байланысының, ауылшаруашылығының барлық саласын дамытуға негіз болады, ол біздің күнделікті өміріміздің ажырамас бөлігі болып табылады.

Электр энергиясы электромагниттік энергияның бөлігі бола отырып, кеңінен таралуға мүмкіндік алған, сол себептен оны қашықтыққа таратуға және оны энергияның өзге түріне түрлендіруге болады: жылу, механикалық, химиялық және т.б..

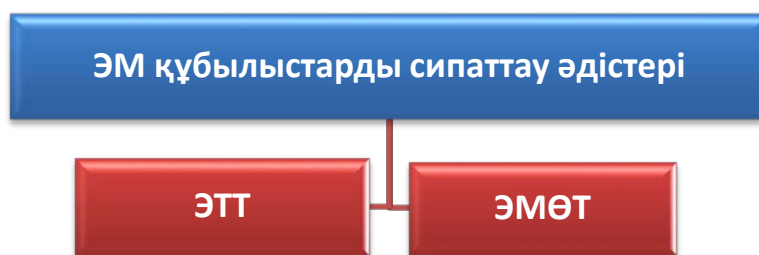
Қолданыстағы айтарлықтай барлық электртехникалық, радиотехникалық және электронды құрылғылар электромагниттік жүйелерге жатады, мұнда негізгі процестер электр мен магнетизмнің негізгі заңдарына бағынады. Болып жатқан процестерді жеке туындылар арқылы жазылған Максвелл теңдеулері жүйесімен сипаттайды. Процестердің нақты талдауын жүргізу үшін, тіпті қарапайым жағдайда, күрделі тапсырма болып табылады. Сондықтан, инженерлік есептеу мен түрлі құрылғыларды жобалау үшін сандық бағалау қажет. Осыған байланысты тапсырмалардың кең көлемін белгіленген нақтылық дәрежесімен шешуге мүмкіндік беретін талдау әдістеріне қажеттілік туындады. Дәл осы әдістерді электр тізбектер теориясы (ЭТТ) ұсынады.

Алайда электромагниттік процестердің бәрін ЭТТ көмегімен сараптай беруге болмайды. Мысалы, процестерді жоғары жиілікте зерттеу, тізбектер элементтерінің көрсеткіштерін анықтау және т.б. *электромагниттік өріс теориясы* әдістерінің негізінде орындалуы тиіс. Осылайша, ұсынылған тапсырманың шарттарына байланысты электрлік және магниттік құбылыстарды сипаттаудың екі әдісі болуы мүмкін: *электромагниттік өріс теориясының* (ЭМОТ) және *электр тізбектер теориясының* (ЭТТ) негізгі ұғымдарының көмегімен (1-сурет).

ЭМОТ кеңістікте және уақыт бойынша нүктеден бастап нүктеге дейін электрлік және магниттік шамалардың өзгеруін зерттейді, ол электр және магнит өрістерінің кернеулігін және олардың көмегімен электромагниттік

энергия сәулеленуін, көлемдік зарядтарды, ток тығыздықтарының таралуын және т.б. тәрізді құбылыстарды зерттейді.

ЭТТ нақты электртехникалық құрылғыны идеалды орын басу схемасына алмастыру принципінде негізделеді және инженерлік тәжірибе үшін, жеткілікті дәлдікпен, тізбек бөлігінің ұштары арасындағы, аралық нүктелерді есептеусіз, кернеуді анықтауға мүмкіндік береді. Бұл ретте токтарды, өткізгіштің түрлі қиылысу нүктелерінде токтардың тығыздығын есептеусіз, анықтауға болады.



1 - сурет. Электрмагниттік құбылыстарды сипаттау әдістері

ЭТТ курсының негізінде электр тізбектерінде орын алатын электрмагниттік процестерді сапалық және сандық жақтарынан зерттеу болып табылады.

Электр тізбектерін талдау және синтездеу әдістерін зерттеу - **ЭТТ негізгі міндеті** болып табылады. *Талдау міндеті* - берілген тізбек үшін электр шамаларын есептеу. *Синтез міндеті* – берілген қасиеттермен электр тізбегін құру.

Егер құрылғыдан өтетін процестер электр қозғауыш күші (ЭҚК), ток және кернеу ұғымдар көмегімен сипатталатын болса, онда электр энергиясы мен ақпаратты жеткізу, тарату және өзара түрлендіру үшін тағайындалған құрылғылар жиынтығы электр тізбегі (ЭТ) деп аталады.

Электр өрісінің әсерімен өткізуші ортасында зарядталған бөлшектердің реттелген қозғалысы электр тогы деп аталады. Металлдарда және вакуумда бұл электрондардың, ал электролиттер мен газдарда – оң (+) катиондар мен кері (-) иондардың орын алмасуы.

Сандық түрінде электр тогы - нөлге ұмтылатын, уақыт аралығында өткізгіштің көлденең қимасы арқылы зарядталған бөлшектермен тасымалдаған, электр мөлшерінің қатынас шегі тәрізді анықталады:

$$i(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta q}{\Delta t} = \frac{dq}{dt}, \quad (1)$$

мұндағы q - Δt уақыт ішінде қарама-қарсы бағытта орын алмастырған оң және теріс зарядтардың электр мөлшерінің қосындысы.

Халықаралық бірліктер жүйесінде (СИ) ток - ампермен (А), заряд - кулонмен (Кл) немесе ампер-секундпен (А·с); уақыт - секундпен (с) өлшенеді.

Ампер – вакуумде бір – бірінен 1 м қашықтықта параллельді орналасқан, көлденең қимасының шағын ауданы арқылы және екі шексіз ұзын тікбұрышты өткізгіштің бойымен өтетін тұрақты ток күші. Мұндай ток әрқайсы метр ұзындығында өткізгіштер арасында $2 \cdot 10^{-7}$ Н-ға тең әрекеттесу күшін тудырады.

Ток тұрақты және айнымалы түрлеріне бөлінеді. Егер зарядталған бөлшектердің қозғалыс жылдамдығы уақыт бойынша өзгеріссіз болса, онда ток – **тұрақты**, егер токтың мәні уақыт бойынша өзгертін болса, онда оны **айнымалы** деп атайды.

Электр токтың **бағыты** оң зарядтардың орын ауыстыру бағытымен сәйкес келетін және теріс зарядтардың қозғалысына қарама-қарсы бағытымен алынады. Токтың бағыты белгімен көрсетіледі. Токтың оң бағыты ерікті түрде таңдап алынады және нұсқағышпен белгіленеді.

Кернеу - кеңістіктің 1 және 2 белгіленген нүктелері арасында бірлік зарядтың орын алмасу жұмысымен анықталады:

$$u_{12} = \int_1^2 E dl, \quad (2)$$

немесе

$$u_{12}(t) = \lim_{\Delta q \rightarrow 0} \frac{\Delta W}{\Delta q} = \frac{dW}{dq}, \quad (3)$$

мұндағы E - l қарастырылып отырған аймақта зарядтармен анықталатын өріс кернеулігі, W - q бірлік зарядтың орын алмасуына жұмсалатын энергия.

Жоғарыда баяндалған анықтамалармен бірге **электр кернеуін - потенциалдар айырмасы** деп атайды.

Электр потенциалдарының айырмасы – бұл интегралдау жолын тәуелсіз таңдаумен сипатталатын, құйынсыз электр өрісіндегі электр кернеуі:

$$u_{12} = \varphi_1 - \varphi_2, \quad (4)$$

бұл ретте бірлік зарядтың кеңістікте қарастырылып отырған нүктеден « ∞ » -шексіз қашық нүктесіне орын алмасу үшін жұмсалатын энергияның мөлшерін **потенциал** деп айтады, потенциалы $\varphi_\infty = 0$ нөлге тең болып саналады.

Халықаралық бірлік жүйесінде (СИ) кернеу вольтпен (В), қуат джоульмен (Дж) өлшенеді.

Вольт – қуаты 1 Вт болған кезде электр тізбегінде 1 А күшімен тұрақты токты туындататын электр кернеуінің шамасы.

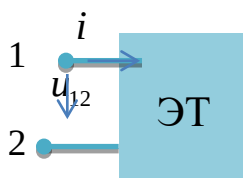
Кернеу тұрақты және айнымалы түріне бөлінеді.

Кернеуді есептеудің оң бағыты оң зарядталған бөлшектердің потенциалы барынша жоғары 1 нүктеден потенциалы барынша төмен 2 нүктеге орын алмасу бағытына сәйкес келеді.

Электр қозғаушы күш (ЭҚК) электрстатикалық болмайтын бөгде күштермен құрылады, олар өткізгіштегі өткізгіш электрондардың реттелген қозғалысын туындатады және тізбектегі токтың мәнін ұстап тұрады. Кулон күштерімен салыстырғанда бөгде күштер түрлі аттас зарядтарды біріктірмейді, олардың бөлінуін туындатады және өткізгіштің ұштарында потенциалдар айырмасын ұстап тұрады. Бөгде күштер электр зарядтарының реттелген қозғалысын қамтамасыз ететін электростатикалық емес электр өрісін $E_{\text{бөгде}}$ туындатады. L контуры бөлігінің бойында бөгде күштердің электр өрісінің қосынды әрекеті электр энергия көздерімен (гальваникалық элементтермен, электрлік генераторлармен және т.б.) құрылатын ЭҚК сипатталады

$$e = \int_L E_{\text{бөгде}} dl . \quad (5)$$

Халықаралық бірлік жүйесінде (СИ) ЭҚК вольтпен (В) өлшенеді.
ЭҚК тұрақты және айнымалы болып бөлінеді.



2 - сурет. Электр тізбектегі ток пен кернеудің бағыттары

2. Электр тізбектерінің элементтері. Классификациялау

ЭТ жеке бөліктерден тұрады, олар белгіленген функцияларды атқарады. Тізбектің бөліктерін **элементтер** деп атайды. Жалпы жағдайда, ЭТ элементтері электр энергияның көздеріне (ЭК), энергия қабылдағыштарына (жүктемелерге) (ЭҚ) және аралық буындарына (АБ) бөлінеді (3-сурет).



3– сурет. ЭТ құрамды бөліктері

Электр энергиясын химиялық, молекулярлы-кинетикалық, жылу, механикалық және басқа да энергия түрлері арқылы өндіретін

электртехникалық құрылғыларды **электр энергиясының көздері** деп атайды. Олар - токтың химиялық көздері, термоэлементтер, аккумуляторлар, генераторлар және басқа да құрылғылар.

Электр энергиясын жарық, жылу, механикалық немесе басқа да түрлеріне айналдыратын электртехникалық құрылғыларды **электр энергиясының қабылдағыштары** деп атайды. Олар - электр шамдар, электр қыздыру құралдары, электрқозғалтқыштар және басқа да құрылғылар.

ЭТТ элементтер ретінде нақты электртехникалық құрылғылардың құрамдас бөліктері емес, оларда өтетін құбылыстарды жақындатып келтіретін идеалдалған модельдері алынады.

Элементтер келесідей жіктеледі: ұштар (полюстер) саны, тағайындалуы, оларды сипаттау түрлері және т.б. (4-сурет).



4-сурет. ЭТ элементтерін классификациялау

Электр тізбегінің әрбір элементінде ұштардың (полюстердің) белгіленген санын бөлуге болады, солардың көмегімен ол басқа элементтермен жалғанады. Егер элемент, ұштарының бір жұбына ие болса, онда оны **екіполюсті** деп атайды. Мысалы, энергия көздері (басқарушы және көпфазалықтан басқа), резисторлар, индуктивтілік катушкалар, конденсаторлар. Үш және одан көп ұштардың саны болса, элементті **көпполүсті элементтерге** жатқызады. Оларға триодтар, трансформаторлар, күшейткіштер және т.б. жатады.

Тағайындалуы бойынша электр тізбегінің барлық элементтерін **активті** және **пассивті** деп бөлуге болады. **Активті элемент** өз құрылымында электр энергиясының көзін қамтиды. **Пассивті элементтерінде** энергия таралады (резисторлар) немесе жинақталады (индуктивтілік катушкалар және конденсаторлар).

Элементтердің негізгі сипаттамалары ретінде дифференциалдық немесе алгебралық теңдеулермен анықталатын вольт-амперлік, вебер-амперлік және кулон-вольттік сипаттамалар (ВАС, ВБАС, КлВС) қарастырылады. Егер

элементтер сызықтық дифференциалдық немесе алгебралық теңдеулермен сипатталатын болса, онда олар **сызықты** деп аталады, керісінше жағдайда олар **бейсызықты** топқа жатады. Дәлме-дәл қарастыру кезінде, барлық элементтер бейсызықты болып табылады. Оларды сызықты ретінде қарастырғанда процестерді талдау мен математикалық сипаттауы едәуір жеңілдетіледі.

Осы теңдеулерде айнымалы шамаларды және олардың туындылары мен интегралдарын байланыстыратын коэффициенттерді **элементтің параметрлері** деп атайды. Жинақталған және таралған параметрлері бар элементтерді қарастырады.

Элементтің геометриялық көлемін анықтайтын, кеңістікті координаттардың функциялары ретінде қарастырылмайтын элемент **жинақталған параметрлері бар элемент** деп аталады. Өз кезегінде элементтердің жинақталған параметрлері тұрақты және айнымалы болуы мүмкін.

Егер элементті сипаттайтын теңдеулерінде кеңістікті айнымалы шамалар болса, онда ол **таралған параметрлері бар элементтер** тобына жатады (мысалы, электр энергиясын тарату желілері (ұзын желі)).

3. Электр тізбектерін классификациялау

Көптеген жүйелер сияқты электр тізбегін де түрлі белгілері бойынша ажыратуға және топтастыруға болады.

Электр тізбектерінің негізгі бөлінуі **өңделетін тербелістің түріне тәуелді** жүргізіледі. Тербелістер аналогты, дискретті және сандық болуы мүмкін (5-сурет).

Уақыт бойынша үздіксіз тербеліс **аналогты** деп аталады. Күйі үздіксіз және уақыт бойынша дискретті тербеліс **дискретті** деп аталады. Уақыт және күйі бойынша да дискретті тербеліс **сандық** деп аталады. Сондықтан **аналогты, дискретті және сандық электр тізбектері** болып жіктеледі.

ЭТТ негізінен аналогты ЭТ қарастырылады. Өз кезегінде, аналогты ЭТ келесідей белгілер бойынша қосымша топтастырылады (6-сурет):

- **токтың түрі бойынша:** тұрақты ток, айнымалы ток, синусоидалды, синусоидалды емес.

- **фазалар саны бойынша:** бірфазалы, үшфазалы.

- **элементтердің сипаттамалары бойынша:** сызықты (мұнда барлық элементтер сызықты), бейсызықты (құрамында кемінде бір бейсызықты элемент бар); жинақталған және таралған параметрлері бар электр тізбектері (7-сурет).

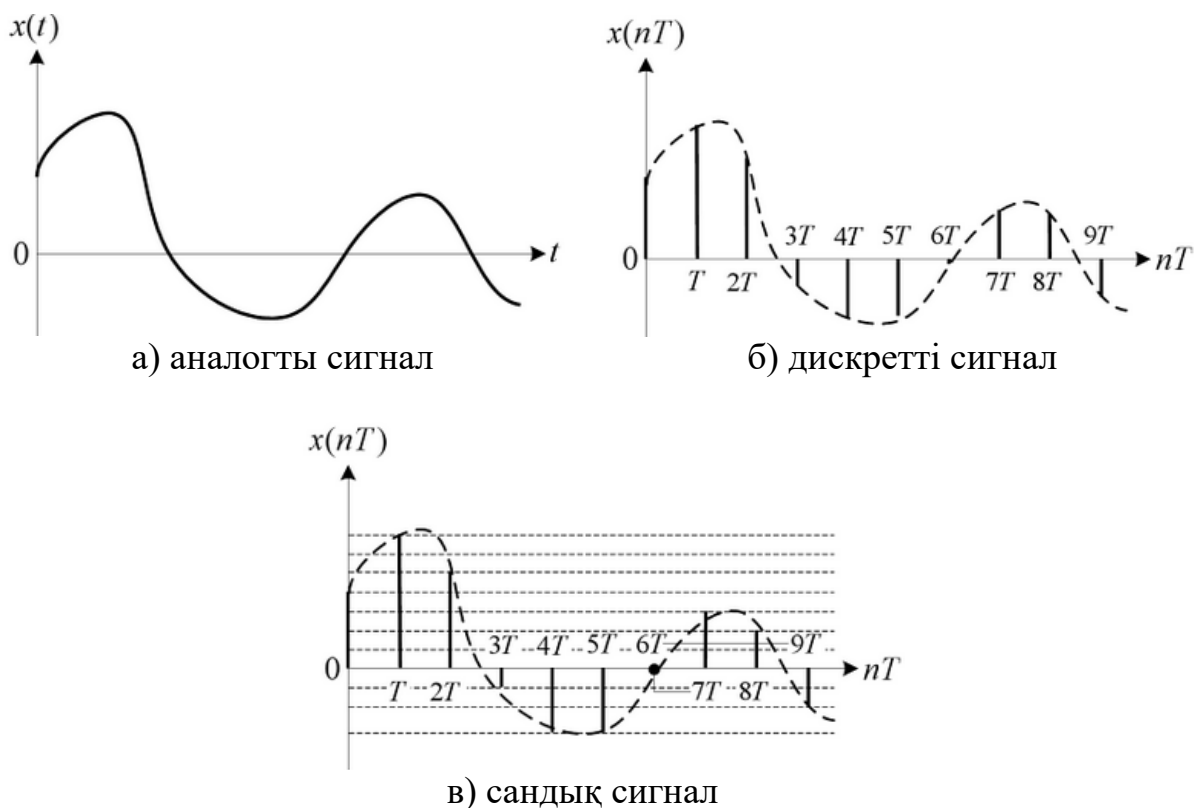
- **тұтынушыларды қосу тәсілі бойынша:** тармақталған, тармақталмаған.

Сан ретінде есептеулерді жүргізу үшін ЭТ кейбір математикалық модель үлгісінде көрсету қажет, бұл модель **электр схемасы (ЭС)** деп аталады.

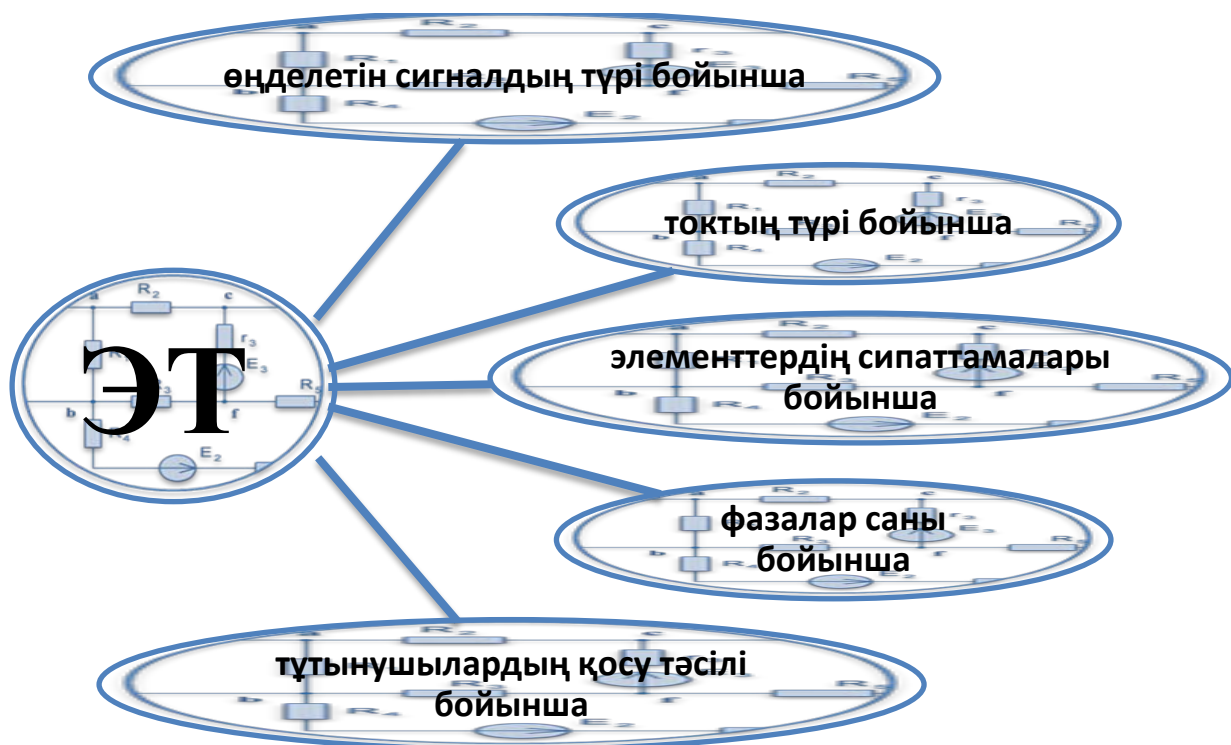
Шартты графикалық белгіленуі (ШГБ) көмегімен ЭТ немесе кейбір объектілердің электрлік құрам бөлігі және олардың арасындағы байланыс

бейнеленген графикті конструкторлық құжатты - **электр схемасы** деп атайды. Электр тізбектің барлық элементтерінің ШГБ және ЭС жалпы қабылданған стандарттардың талаптарына сәйкес орындалады.

ЭС төрт негізгі топқа бөлінеді (8-сурет).



5 –сурет. Электрмагниттік тербелістердің мысалдары



6 - сурет. ЭТ классификациясы



7 - сурет. Аналогты тізбектердің классификациясы



8-сурет. Электр схемаларын классификациялау

I топтың схемалары объектінің электр құрамының бөлігімен жалпы танысу және олардың жұмысы мен өзара байланысының жалпы қағидаларын зерттеу үшін тағайындалған. Оның құрамында **құрылымдық және функционалдық ЭС** болады. Бұл схемалар өзге топтардың схемаларын әзірлеудің алдыңғы кезеңдерінде жобалау кезінде өңделеді.

Құрылымдық схема – ЭТ құрамды бөліктерін, олардың тағайындалуын және өзара байланысты анықтайды.

Функционалдық схема – белгіленген функционалдық бөлігінде (ЭТ дәлме-дәл белгіленген функционалдық тағайындалуы бар элемент, құрылғы және функционалдық топ) немесе жалпы ЭТ өтетін нақты процестерді мәлімдейді.

II топтың схемалары ЭТ жұмысының қағидаларын жан-жақты зерттеу және толық құрамды анықтау, сондай-ақ оны есептеу үшін тағайындалған. Бұл схемалар өзге конструкторлық құжаттарды, атап айтқанда, сызбаларды, сондай-ақ III және IV топтардың схемаларын әзірлеу үшін негіз болады. Оларды электртехникалық қондырғылардың баптау, реттеу, бақылау, пайдалану және жөндеу кезінде қолданылады.

Принципиалдық және эквиваленттік схемалар болады.

Принципиалдық схема – элементтердің толық құрамы мен олардың арасындағы байланыстарды анықтайды және ЭТ жұмысының қағидалары туралы ұғым береді. Барлық элементтер нақты сипаттамалармен ұсынылған.

Эквиваленттік схема – ЭТ немесе оның функционалдық бөліктерінің параметрлерін (сипаттамаларын) талдау мен есептеу үшін тағайындалған. Бұл ретте аталған схема идеалдалған элементтерден тұрады және **орын басу схемасы** деп аталады. Нақты элементтер функционалдығы бойынша максималды жақын идеалдалған элементтерден құралған тізбектермен ауыстырылды.

Электр тізбектер теориясында I және II топтың схемаларына назар аударамыз. 9-суретте құрылымдық (а), принципиалдық (б) және эквиваленттік (в) схемалардың мысалдары ұсынылған.

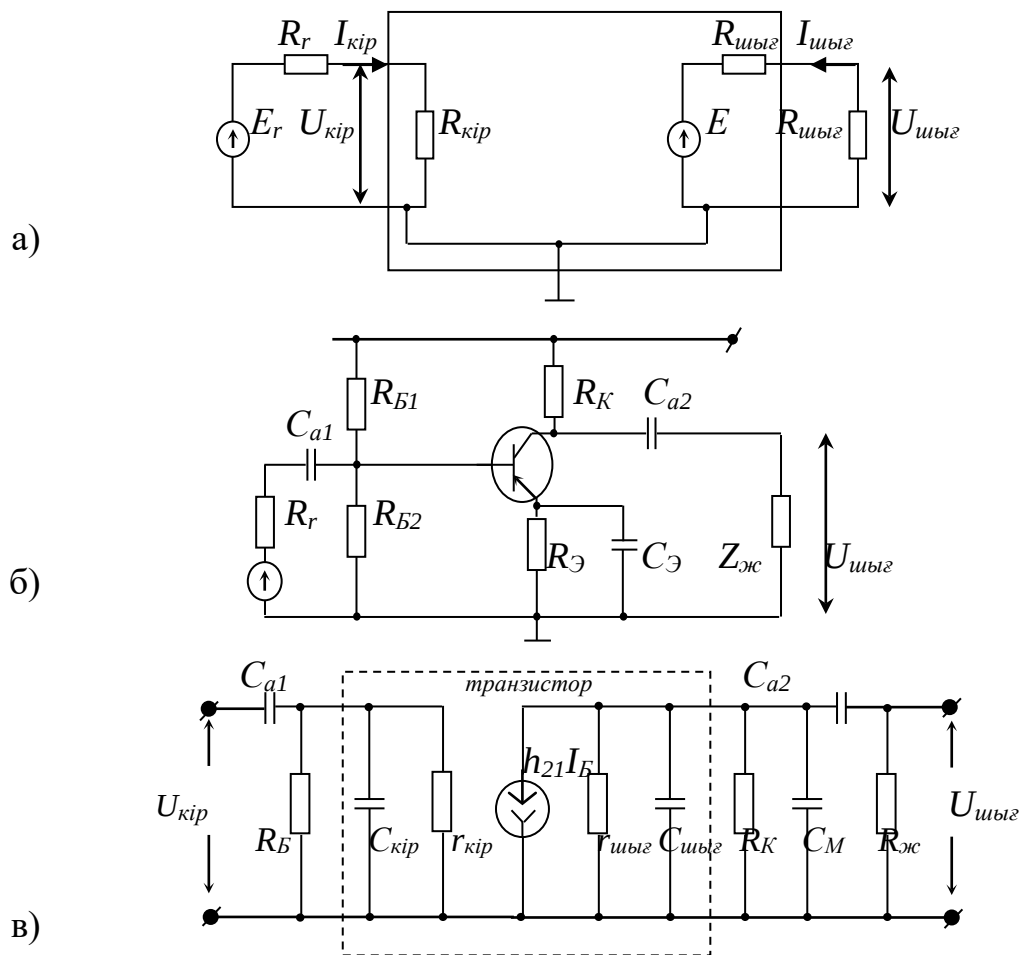
III топтың схемалары тізбектің құрамды бөліктерінің немесе жалпы ЭТ электр жалғаулары туралы мәліметтерді ұсыну үшін тағайындалған. Бөлінуі: **жалғау схемасы; қосылу схемасы және жалпы схемасы.**

Конструкторлық құжаттарды, ең алдымен, объектіде кабельдерді, бұрамды, сымдарды бекіту тәсілдерін және төсемдерін анықтайтын сызбаларды әзірлеу барысында, сондай-ақ объектілерді жалғау және баптау, бақылау, пайдалану кезінде қолданады.

Жалғау схемасы тізбектің жеке құрамды бөліктерінің электрлік жалғаулары мен жалғауларды жүзеге асыру үшін нақты сымдарды, бұрамдарды және кабельдерді, сондай-ақ олардың қосылу мен енгізу орындарын (ұштар, ажыратқыштар, өтімді оқшаулар және т.б.) көрсетеді.

Қосу схемасы тізбектің сыртқы қосылуын көрсетеді.

Жалпы схема кешеннің құрамды бөліктерін және пайдалану орнында олардың өзара электрлік қосылуларын анықтайды.



9-сурет. RC-күшейткіш каскадының схемасы

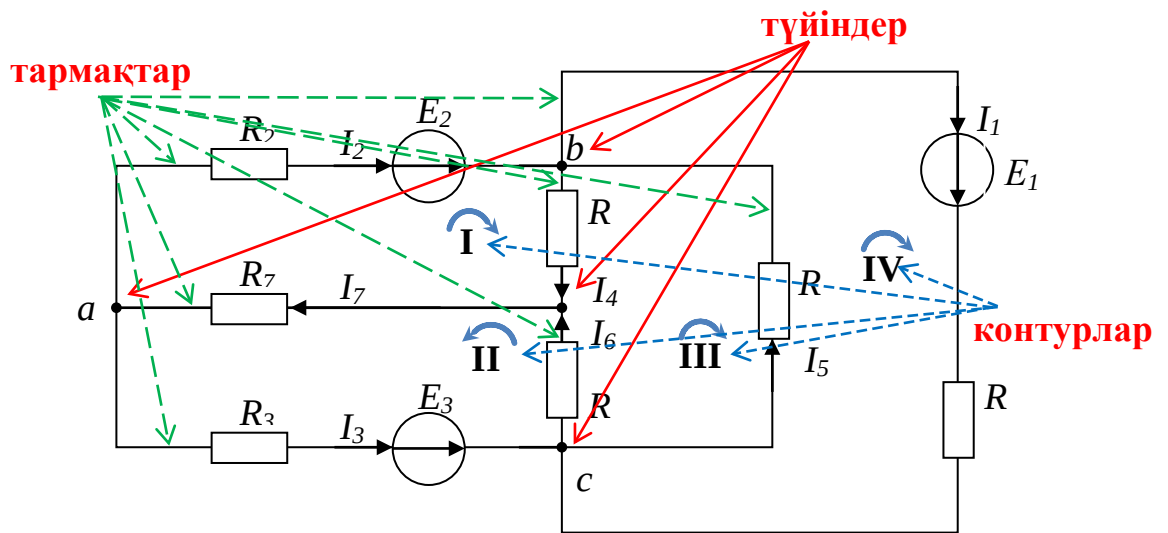
IV топтың схемалары объектілердің (ЭТ) немесе оның құрамды бөліктерінің салыстырмалы орналасуын анықтау үшін тағайындалған. **Электр жабдығының схемасы** және **электрмен қамту және байланыс схемасы** аталған топтың негізгі түрі болып табылады. Олар өзге конструкторлық құжаттарды, сондай-ақ объектілерді дайындау және пайдалану барысында қолданылады.

Жоспардағы сымдардың **электр жабдығының схемасы** ғимараттарда және құрылымдарда ЭТ құрамды бөлігінің салыстырмалы орналасуын анықтайды.

Электрмен қамту және байланыс схемасы жергілікті жерде ЭТ құрамды бөлігінің салыстырмалы орналасуын анықтайды.

Электр схемаларын құрастыру барысында келесі ұғымдарға сүйенеді: түйін, тармақ және контур.

Тармақ дегеніміз бір немесе бірнеше тізбектей қосылған электр энергиясы көздерінен және қабылдағыштардан тұратын, бір ғана ток өтетін электр схемасының бөлігі. Энергия көздерін қамтитын тармақтар **активті** деп аталады. Энергия қабылдауды қамтитын тармақтар **пассивті** деп аталады. Схемаларда тармақтар санын - n белгілейді.



10-сурет. Электр тізбегінің мысалы

Түйін – үш немесе одан да көп тармақтардың қосылу орны. Демек, тармақ бұл тек бір ғана ток өтетін екі түйін арасындағы схеманың бөлігі. Схемаларда түйіндер санын - m деп белгілейді.

Контур – схеманың тармақтарымен қалыптасқан кез-келген тұйықталған жол. Схемада бірнеше контур болу мүмкін.

Схемаларда **негізгі және тәуелсіз контурлар** болады. Егер контурдың құрамында өзге контурлары болмаса оны **негізгі контур** деп атайды. Контур ток көзіне **тәуелсіз** болуы мүмкін, бұл ретте мұндай контурлардың саны келесідей анықтауға болады: $k = n - m - n_{TK} + 1$, мұнда n_{TK} - ток көзі бар тармақтар саны.

Бақылау сұрақтары

1. Электр тізбегіне, тармаққа, түйінге және контурға анықтама беріңіз.
2. Электр тізбектер теориясында қолданылатын физикалық шамалардың физикалық мағынасын түсіндіріңіз.
3. Электр тізбектерінің элементтері туралы айтып беріңіз.
4. Электр тізбектерінің түрлі схемалары туралы айтып беріңіз.

Әдебиеттер тізімі

1. Н.Ш. Алимгазина, А.Б. Манапбаева. Электр тізбектер теориясы. Дәрістер жинағы. – Алматы: Қазақ университеті, 2017. – 228 б.
2. Н.Ш. Алимгазина, С.М. Манаков, А.Б. Манапбаева, А.Ә. Әлібек. «Электр тізбектер теориясы» пәні бойынша есептер жинағы. – Алматы: Қазақ университеті, 2017. – 162 б.
3. Г.В. Зевеке, П.А. Ионкин, А.В. Нетушил, С.В. Страхов. Основы теории цепей: Учеб. для вузов. – 8-е изд., перераб. – М., 2020 - 528 с.
4. Л.А. Бессонов. Теоретические основы электротехники: Электрические цепи. Учеб. для студентов электротех., энергетич. и приборостроит. спец. вузов. – 7-е изд., перераб. и доп. – М.: Высш. шк., 2015. – 528 с.