

ӘЛ-ФАРАБИ АТЫНДАҒЫ ҚАЗАҚ ҰЛТТЫҚ УНИВЕРСИТЕТІ

Құттыбай Н.Б.

Аналогты электронды схемалар

«Өндірістік электроника және басқару жүйелері», «Радиотехника,
электроника және телекоммуникациялар» мамандықтары бойынша білім
алушы студенттерге арналған

Алматы

2 Дәріс

Тақырыбы: Негізгі пассивті компоненттер

Дәрістің мақсаты мен міндеттері:

Дәрістің мақсаты: Электрониканың негізгі пассивті компоненттерімен — резисторлармен, конденсаторлармен және индуктивтіліктермен таныстыру, олардың физикалық қасиеттерін, жұмыс істеу принциптерін және аналогтық электроникадағы қолдану салаларын түсіну.

Міндеттері:

- Пассивті компоненттердің түрлері мен қызметін түсіндіру;
- Резисторлардың, конденсаторлардың және индуктивтіліктердің физикалық мәнін ашу;
- Негізгі формулалар мен параметрлерді қарастыру;
- Пассивті элементтердің өзара байланысын және олардың фильтрлер мен резонанс тізбектеріндегі рөлін түсіндіру.

Түйінді ұғымдар мен терминдер

- Пассивті компонент
- Резистор
- Конденсатор
- Индуктивтілік
- Ом заңы
- Сыйымдылық
- Индуктивтік кедергі
- RC, LC, RLC тізбектері
- Фильтрлер мен резонанс тізбектері

Дәріс жоспары

Кіріспе

1. Резисторлар
2. Конденсаторлар
3. Индуктивтіліктер
4. Пассивті компоненттердің өзара әрекеттесуі

Білімді бекітуге арналған сұрақтар

Қорытынды

Әдебиеттер тізімі

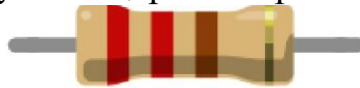
Кіріспе

Электрлік схемаларда әр түрлі компоненттер қолданылады, олар активті және пассивті болып бөлінеді. Пассивті компоненттер — электрлік энергияны тек қабылдайтын немесе сақтайтын құрылғылар, бірақ олар электр энергиясын генерацияламайды. Олардың негізгі функциялары — кернеуді, токты, қуатты реттеу және сақтаумен байланысты.

Бұл лекцияда біз негізгі пассивті компоненттерді қарастырамыз: резисторлар, конденсаторлар, индуктивтіліктер, сондай-ақ олардың қолданылу салалары мен физикалық қасиеттері.

1. Резисторлар

Резистор — электр тізбегіндегі токтың өтуіне қарсылық көрсететін пассивті компонент. Резистордың негізгі қызметі — токтың ағынын шектеу немесе кернеу мен токтың арасындағы қатынасты реттеу. Бұл компонент электронды схемаларда өте кеңінен қолданылады, өйткені ол электр энергиясын бақылау, бөліп беру және қорғаныс үшін маңызды роль атқарады.



Резисторлардың негізгі қасиеттері:

1) Ом заңы: Резистордың жұмысын сипаттайтын негізгі заң — Ом заңы. Ол былайша көрініс табады:

$$V=I \cdot R$$

мұндағы:

- ❖ V — тізбек бойымен өтетін кернеу (вольт),
- ❖ I — тізбек бойымен өтетін ток (ампер),
- ❖ R — резистордың кедергісі (Ом).

Осы заңның көмегімен электр тізбегіндегі кернеу мен ток арасындағы қатынасты түсінуге болады

2) Кедергінің материалдық қасиеттері: Резистордың кедергісі материалға, оның ұзындығына, көлденең қимасының ауданына және температурасына байланысты. Мысалы, металдарда кедергі әдетте төмен болады, ал күміс немесе алтын сияқты материалдар жоғары өткізгіштікке ие.

3) Температура тәуелділігі: Көптеген резисторлар температураның өзгеруіне қарай олардың кедергісі өзгертін қасиетке ие. Бұл құбылыс "термореттелетін резисторлар" деп аталатын арнайы компоненттерде кездеседі. Жалпы алғанда, температура көтерілген сайын кедергі де өседі.

4) Номиналдық мәндері: Резисторлардың кедергі мәні әр түрлі болады. Олар тұрақты және айнымалы кедергілері бар болып бөлінеді:

❖ Тұрақты резисторлар: Кедергісі тұрақты және схемада өзгеріссіз жұмыс істейтін компоненттер.

❖ Айнымалы резисторлар (потенциометрлер): Кедергіні реттеуге мүмкіндік беретін компоненттер, олардың қолданылу аумағы өте кең.



Резисторлардың қолданылуы:

Резисторлар әр түрлі электрлік және электрондық схемаларда қолданылады. Олардың қолданылу салалары өте кең, әсіресе аналогтық электроникада:

1) Токты шектеу немесе баптау: Резисторлар токтың мөлшерін басқару үшін жиі қолданылады. Мысалы, жартылай өткізгіш құрылғылардың (транзисторлар, диодтар) жұмысында токты реттеу үшін резисторлар қолданылады. Егер жартылай өткізгіш компоненттің үстінен өтетін ток тым үлкен болса, ол компоненттің істен шығуына әкелуі мүмкін, сондықтан резисторларды пайдаланып токты шектеу қажет.

2) Сигналды күшейту және бөлу: Аналогтық электрондық схемаларда резисторлар сигналдарды бөлшектеу немесе күшейту үшін қолданылады. Мысалы, күшейткіш каскадтарында резисторлар инверсия мен амплитудалық күшейту үшін пайдаланылады. Ал резисторлардың түрлі комбинациясы схемадағы сигналдың амплитудалық деңгейін өзгертуге немесе токтың ағынын өзгертуге мүмкіндік береді.

3) Филътрация және сигналды өңдеу: Аналогтық сүзгілерде (филътрлерде) резисторлар жиілік қасиеттерін реттеу үшін қолданылады. Мысалы, төменгі жиілік сүзгілерінде резисторлар мен конденсаторлардың комбинациясы арқылы сигналдың жоғарғы жиіліктерін бөлуге болады. Бұл әдіс көбінесе аудио техникасында, радиоқабылдағыштарда және басқа да аналогтық құрылғыларда қолданылады.

4) Қорғаныс схемаларында: Резисторлар электрлік схемаларда қысқа тұйықталудан немесе артық токтан қорғаныс жасау үшін қолданылады. Мысалы, қуат көзі мен төмен вольтты құрылғылар арасында резисторлар пайдалану арқылы артық токтың өтуін шектеуге болады. Бұл схема құрылғыларын сақтауға мүмкіндік береді.

5) Директивті кернеу түзету (шунт резисторлар): Қазіргі кезде аналогтық электронды құрылғыларда шунт резисторлар көбінесе құрылғының жұмысын бақылау және кернеуді реттеу үшін қолданылады. Бұл кезде токтың ағынын бақылау үшін схемада параллель қосылған резисторлар пайдаланылады.

6) Қарапайым күшейткіштер мен филътрлерде: Резисторлар көбінесе күшейткіш схемаларында қолданылады. Токты реттейтін резисторлар амплитудалық және жиілікті күшейтуді қамтамасыз етеді. Бұл құрылғыларда резисторлар күшейткіштің кіріс және шығыс параметрлерін, сондай-ақ сигналдың қуатын реттеуде пайдаланылады.

Резисторлардың түрлері мен қолданылу ерекшеліктері:

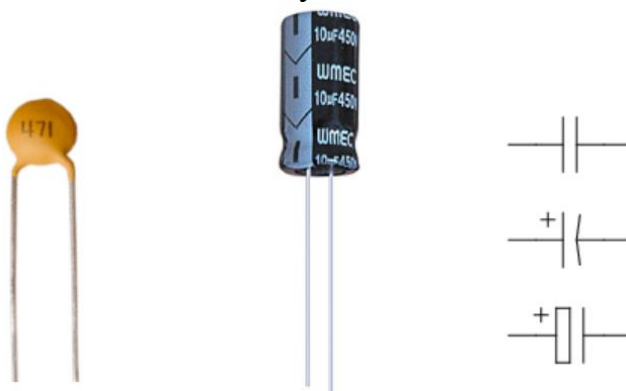
❖ Керамикалық резисторлар — олар жоғары температураға төзімді және әдетте үлкен қуатты тұтыну жағдайларында қолданылады.

❖ Мұнайды сіңірген резисторлар — олар жоғары дәлдікке ие және тұрақты кедергімен ерекшеленеді.

❖ Металл оксидті резисторлар — жоғары дәлдік пен тұрақтылықты қажет ететін жағдайларда қолданылады, олар металл оксиді қабатынан жасалады.

2. Конденсаторлар

Конденсатор — электр энергиясын сақтау қабілетіне ие пассивті компонент. Оның негізгі жұмыс принципі — екі өткізгіш арасындағы электр өрісінде энергияны жинақтау. Конденсаторлар электр тізбегінде кернеуді сақтай отырып, әртүрлі әрекеттерді орындауға мүмкіндік береді, бұл оларды аналогтық электроникада кеңінен қолдануға жол ашады.



Конденсаторлардың негізгі қасиеттері:

1) Сыйымдылық (ССС): Конденсатордың сыйымдылығы оның маңызды параметрі болып табылады. Сыйымдылық — бұл конденсатордың белгілі бір кернеуде қанша заряд жинақтай алатынын сипаттайды. Сыйымдылықтың өлшем бірлігі — фарад (Ф).

Сыйымдылықты анықтайтын формула:

$$C=Q/V$$

мұндағы:

C — конденсатордың сыйымдылығы (Ф),

Q — конденсатордың жинақтаған заряды (Кл),

V — конденсатордың екі табан арасындағы кернеу (В).

Бұл формула көрсеткендей, конденсатордың сыйымдылығы оның өткізгіштерінің ауданы мен арақашықтығына, сондай-ақ оларды қоршаған орта материалының диэлектрлік өтімділігіне байланысты.

1) Жиілікке тәуелділік: Конденсаторлар белгілі бір жиілік аймағында жақсы жұмыс істейді. Олар жоғары жиіліктегі сигналдарды өткізеді, бірақ төмен жиіліктегі сигналдарға кедергі келтіреді. Конденсатордың сыйымдылығы мен жиілігі арасындағы тәуелділік белгілі бір жиіліктер үшін конденсаторлардың әсерін өзгертеді. Жиілік жоғарылаған сайын, конденсатордың импедансын (токқа кедергі) азаяды, яғни, жоғары жиіліктерде конденсатор «ашық» болып жұмыс істейді.

2) Конденсаторлардың түрлері:

❖ Электrolиттік конденсаторлар: Бұл конденсаторлар үлкен сыйымдылықтармен ерекшеленеді және тұрақты ток (DC) жүйелерінде жиі қолданылады. Олар диэлектрик ретінде оксидті қабатты пайдаланады.

❖ Керамикалық конденсаторлар: Әдетте, олар төмен сыйымдылықтармен сипатталады және жоғары жиіліктегі қолданбаларда тиімді. Олар бағасы арзан және сенімді болып табылады.

❖ Пленкалық конденсаторлар: Пленкалардан жасалған конденсаторлар тұрақтылық пен ұзақ қызмет ету мерзімімен танымал. Олар төмен жиіліктегі схемаларда қолданылады.

❖ Тантал конденсаторлары: Тұрақтылығы жоғары және сыйымдылығы үлкен болуы мүмкін. Олар да электролиттік конденсаторлар санатына жатады, бірақ олар тантал металынан жасалады және ұсақ өлшемдерімен ерекшеленеді.

Конденсаторлардың қолданылуы:

Конденсаторлар электр тізбегінде әртүрлі мақсатта қолданылады. Олардың пайдалану салалары өте кең, ал аналогтық электроникада қолданылуы ерекше маңызды.

1) Кернеу мен тоқты реттеу: Конденсаторлар жиі кернеуді тұрақтандыру үшін қолданылады. Электронды схемаларда олар кернеу әсерінен туындаған ауытқуларды тегістеу үшін пайдаланылады. Бұл процесс «фильтрация» деп аталады және электролиттік конденсаторлар бұл мақсатта жиі қолданылады.

2) Энергияны сақтау және уақытша сақтау: Конденсаторлар электр энергиясын қысқа мерзімде сақтай алады. Бұл қасиет олардың қуат көздерінде резервтік энергия көзі ретінде қолданылуына мүмкіндік береді. Мысалы, кейбір құрылғылар сөнген кезде уақытша энергия көзін ұсыну үшін конденсаторларды пайдаланады. Сондай-ақ, бұл қасиет конденсаторлардың сілкініс кезінде немесе тоқтың өшу кезінде құрылғыларды қорғайтын маңызды рөл атқаруына мүмкіндік береді.

3) Фильтрация және сүзгілер: Конденсаторлар жиілікті сүзгілеу үшін қолданылады. Бұл әсіресе аудио және радиотехникалық құрылғыларда маңызды, мұнда олар жоғары жиілікті шу мен дірілді алып тастауға көмектеседі. Мысалы, шығыс сигналдарының дұрыс болуы үшін төмен жиілікті филтрлерде резисторлар мен конденсаторлардың комбинациясы қолданылады.

4) Қозғалтқыштарды іске қосу: Электр қозғалтқыштарында конденсаторлар іске қосу кезінде қажет. Конденсаторлар қозғалтқыштың бастапқы айналу моментін арттырып, оның жылдам іске қосылуын қамтамасыз етеді. Әсіресе, асинхронды қозғалтқыштарда конденсаторлар жиі қолданылады.

5) Бөлу және уақытша кешіктіру: Аналогтық схемаларда конденсаторлар сигналының кешігуін реттеу үшін қолданылады. Олар уақытша кешіктірілген импульс немесе сигналдар жасау үшін өте пайдалы. Мұндай қолданбаларда конденсатор уақытты сақтау үшін пайдаланылады, ол кейінірек ағымдағы тоқтың өтуіне мүмкіндік береді.

6) Бөлшектеу және араласу: Конденсаторлар жиі электр тізбегінің сигналдарын бөлу үшін қолданылады. Олар белгілі бір жиіліктердегі сигналдарды өткізеді, ал басқа жиіліктердегі сигналдарды бөледі. Мұндай қолдану фильтрлер мен басқа да аналогтық схемаларда кездеседі.

7) Тұрақты ток пен айнымалы ток арасындағы байланыс: Конденсаторлар тұрақты ток пен айнымалы ток арасындағы сигналдарды байланыстыру үшін қолданылуы мүмкін. Олар айнымалы токтың әсерін тұрақтандырады, сонымен бірге тұрақты токтың әсерін шектеуге көмектеседі.

3. Индуктивтіліктер

Индуктивтілік — электр тізбегіндегі магнит өрісінде энергияны сақтау қабілетіне ие пассивті компонент. Бұл компонент көбінесе катушка (орам) түрінде кездеседі. Индуктивтілік ток өзгерген кезде пайда болатын магнит өрісіне байланысты жұмыс істейді және айнымалы ток (АС) жүйелерінде ерекше маңызды рөл атқарады.

Индуктивтілік токтың өзгеруіне қарсы тұрады: ток күші артқанда, ол оған кедергі жасайды, ток азайғанда, оны қолдайды. Сондықтан индуктивтіліктер энергияны біршама уақытқа магнит өрісінде сақтап, кейін оны қайта бере алады.



Индуктивтіліктің негізгі қасиеттері:

1) Негізгі параметрі — индуктивтілік (L):

Индуктивтілік — орамның ток өзгерісіне қаншалықты қарсы тұратынын сипаттайтын шама. Индуктивтілік бірлігі — генри (Гн).

Формуласы:

$$L = (N^2 \cdot \mu \cdot A) / l$$

мұндағы:

N — орам саны,

μ — өзекшенің магниттік өтімділігі,

A — орамның көлденең қимасының ауданы (м²),

l — магниттік тізбектің ұзындығы (м).

Бұл формула көрсетеді: индуктивтілік материалдың қасиеттеріне, орам санына және оның геометриялық өлшемдеріне тәуелді.

2) Энергияның магнит өрісінде сақталуы:

Индуктивтілік ток ағып жатқан кезде магнит өрісін жасайды. Бұл өрісте энергия сақталады. Магнит өрісінде сақталған энергия мөлшері мына формуламен анықталады:

$$W=LI^2/2$$

мұндағы W — сақталған энергия (Дж), I — ток күші (А).

3) Айнымалы токқа реакция:

Индуктивтілік айнымалы токтың жиілігіне тәуелді кедергі (индуктивті реактивтілік) жасайды:

$$X_L=2\pi fL$$

мұндағы:

X_L — индуктивті реактивтілік (Ом),

f — жиілік (Гц),

L — индуктивтілік (Гн).

Бұл формуладан байқауға болады: жиілік артқан сайын индуктивті кедергі де өседі. Сондықтан индуктивтіліктер жоғары жиілікті сигналдарды бәсеңдетеді, ал төмен жиілікті сигналдарды жақсы өткізеді.

Индуктивтіліктің қолданылуы:

Индуктивтіліктер электрлік және электрондық құрылғыларда кеңінен қолданылады. Әсіресе, аналогтық электроникада олар ерекше маңызды функцияларды орындайды:

1) Фильтрация және тұрақты токтың бөлінуі

Индуктивтіліктер фильтр схемаларында қолданылады, әсіресе төмен жиілікті фильтрлерде (low-pass filters). Индуктивтілік жоғары жиілікті сигналдарды бөгеп, төмен жиілікті сигналдарды өткізеді. Бұл қасиет аудио жүйелерінде, қуат көздерінде және радиотехникалық құрылғыларда кеңінен пайдаланылады.

Тұрақты ток (DC) тізбектерінде индуктивтіліктер шу мен кернеу ауытқуларын (ripple) тегістеу үшін пайдаланылады. Олар токтың тұрақты және тегіс ағынын қамтамасыз етеді.

2) Энергияны сақтау және түрлендіру

Индуктивтілік қозғалтқыштар мен трансформаторларда энергияны магнит өрісі түрінде сақтап, кейін оны пайдалану үшін қайтарады. Бұл процесс әсіресе электр қозғалтқыштарының айналу күшін тұрақты ұстап тұру үшін маңызды.

Трансформаторларда бір орамнан екінші орамға энергияны тиімді беру индуктивтілік құбылысына негізделген.

3) Кернеуді түрлендіру

Импульстік қуат көздерінде (SMPS — switched-mode power supply) индуктивтіліктер маңызды рөл атқарады. Олар кернеуді арттыру немесе азайту (boost, buck converters) үшін қолданылады. Индуктивтілік токты белгілі бір деңгейге дейін жинап, кейін оны жіберу арқылы кернеуді басқаруға көмектеседі.

4) Резонанстық тізбектер

Индуктивтіліктер конденсаторлармен бірге резонанстық схемаларда қолданылады. Бұл тізбектер белгілі бір жиіліктерді таңдауға немесе күшейтуге мүмкіндік береді (мысалы, радиоқабылдағыштардың жиілікті таңдаушы тізбектері).

Резонанстық жиілік:

$$f_0 = 1/(2\pi(LC)^{1/2})$$

мұнда C — конденсатор сыйымдылығы, L — индуктивтілік.

5) Импульстік және уақытша схемалар

Айнымалы токтың өзгерісіне реакция жасау қасиеті индуктивтіліктерді импульстік генераторларда, уақытша кешіктіргіш схемаларда қолдануға мүмкіндік береді.

Индуктивтіліктердің түрлері:

- ❖ Ауа өзекті катушкалар: Магниттік өзекшесі жоқ. Жоғары жиіліктегі схемаларда қолданылады.
- ❖ Феррит өзекті катушкалар: Феррит материалынан жасалған өзекше индуктивтілікті арттырады және жиілік диапазонын реттейді.
- ❖ Темір өзекті катушкалар: Жоғары энергия сақтау үшін, әсіресе қуатты трансформаторларда және қозғалтқыштарда қолданылады.
- ❖ Торoidalды катушкалар: Тор тәрізді өзекше ток ағынын жақсартып, жоғалтуларды азайтады.

4. Пассивті компоненттердің өзара әрекеттесуі

Электрондық тізбектерде пассивті компоненттер (резисторлар, конденсаторлар және индуктивтіліктер) көбіне жеке емес, бір-бірімен біріктірілген түрде қолданылады. Олардың үйлесімі арқылы түрлі күрделі функцияларды орындауға болады, мысалы:

- ❖ сигналдарды өңдеу (тазарту, сүзу),
- ❖ жиіліктерді бөлу,
- ❖ энергияны уақытша сақтау немесе түрлендіру,
- ❖ тербелістерді қалыптастыру және күшейту.

Компоненттердің өзара әрекеттесуі тізбектің жалпы мінез-құлқын айтарлықтай өзгертеді және қажетті техникалық талаптарға сәйкес құрылғылар жасауға мүмкіндік береді.

Негізгі қолдану салалары:

1) Фильтрлер (Сүзгілер)

Фильтрлер — сигналдың қажетсіз жиіліктерін алып тастау немесе қажетті диапазонды өткізу үшін қолданылады. Пассивті сүзгілер тек пассивті компоненттерден құралады.

Төмен жиілікті фильтрлер (Low-Pass Filter)

- ❖ Компоненттер: Резистор + Конденсатор (RC-фильтр)
- ❖ Мақсаты: Жоғары жиілікті сигналдарды бәсеңдетіп, төмен жиілікті сигналдарды өткізу.

Жоғары жиілікті фильтрлер (High-Pass Filter)

- ❖ Компоненттер: Конденсатор + Резистор (керісінше қосылған RC-фильтр)
- ❖ Мақсаты: Төмен жиілікті сигналдарды бәсеңдетіп, жоғары жиілікті сигналдарды өткізу.

Бұл жағдайда конденсатор бірінші тұрса, ол төмен жиілікті сигналдарды бөгейді, ал жоғары жиіліктер еркін өтеді.

Кесу жиілігі де ұқсас формуламен анықталады.

Жолақты фильтрлер (Band-Pass Filter)

❖ Компоненттер: Конденсатор + Индуктивтілік (LC-фильтр) немесе резистор, конденсатор және индуктивтілік (RLC-фильтр)

❖ Мақсаты: Белгілі бір жиілік диапазонын ғана өткізіп, қалған жиіліктерді шектейді.

2) Тежегіштер (Attenuators)

Тежегіштер сигнал деңгейін азайту үшін қолданылады. Олар резисторлардың белгілі бір комбинациясынан құралады.

❖ Т-пішінді тежегіштер (T-attenuator)

❖ П-пішінді тежегіштер (Pi-attenuator)

Бұл схемалар кіріс пен шығыстың арасындағы кернеу деңгейін қажетті мәнге дейін төмендетеді, бірақ сигналдың жалпы формасын сақтап қалады.

3) Резонанс тізбектері (Resonance Circuits)

Резонанс тізбектері индуктивтілік пен конденсатордың комбинациясынан тұрады (LC контуры).

❖ Сериялық резонанс тізбегі: Индуктивтілік пен конденсатор тізбекті түрде қосылады. Белгілі бір резонанс жиілігінде импеданс минималды болады, сондықтан ток максималды өтеді.

❖ Параллель резонанс тізбегі: Индуктивтілік пен конденсатор параллель қосылады. Резонанс жиілігінде жалпы ток минималды болады.

Резонанс құбылысы радиотехникада (жиілікті таңдау, радиостанцияларды баптау) және осцилляторлар жасауда кеңінен қолданылады.

4) Энергияны басқару

Пассивті компоненттердің комбинациясы арқылы энергияны уақытша сақтау, бөлшектеп бөлу немесе тиімді жеткізу жүзеге асырылады:

❖ Қуат көздерінің тұрақтандыруында: RC және LC фильтрлері кернеудің өзгеруін тегістеп, құрылғының жұмысын тұрақтандырады.

❖ Импульстік қуат көздерінде (SMPS): Индуктивтіліктер мен конденсаторлар энергияны жинап, кейін оны тұтынушыға беруге мүмкіндік береді.

Білімді бекітуге арналған сұрақтар

1. Пассивті компоненттер дегеніміз не және олар активті компоненттерден несімен ерекшеленеді?

2. Резистордың негізгі функциясы мен Ом заңының физикалық мағынасы қандай?

3. Конденсатордың сыйымдылығын қандай факторлар анықтайды?

4. Индуктивтілік шамасына әсер ететін параметрлерді атаңыз.

5. Индуктивті реактивтілік жиілікке қалай тәуелді?

6. RC және LC фильтрлердің негізгі айырмашылығы неде?

7. Пассивті компоненттердің комбинациясы қандай электрондық құрылғыларда қолданылады?

Қорытынды:

Пассивті компоненттер — электрониканың негізін құрайтын ең маңызды элементтер. Резисторлар, конденсаторлар және индуктивтіліктер әр түрлі электрлік қасиеттерге ие болғанымен, олар бір-бірімен үйлесімді жұмыс істей отырып, күрделі тізбектердің сенімділігін, тиімділігін және тұрақтылығын қамтамасыз етеді.

Резисторлар тоқты шектеп және кернеуді бөлуде қолданылады, конденсаторлар энергияны электр өрісінде жинақтап, сүзгілеу және сигналды тұрақтандыру қызметін атқарады, ал индуктивтіліктер магнит өрісі арқылы энергияны сақтау мен айнымалы токқа кедергі жасау үшін пайдаланылады.

Пассивті элементтердің үйлесімі арқылы фильтрлер, резонанс тізбектері, тежегіштер сияқты күрделі құрылғылар жасалады. Бұл олардың аналогтық электроникада — сигналдарды өңдеу, жиіліктерді таңдау және энергияны басқару салаларында маңыздылығын арттырады.

Электрониканың кез келген деңгейінде, қарапайым оқу тәжірибесінен бастап өнеркәсіптік құрылғыларды жобалауға дейін, пассивті компоненттердің физикалық қасиеттерін түсіну және дұрыс қолдану — сапалы нәтижеге қол жеткізудің негізгі шарты.

Әдебиеттер тізімі:

1. Бойко, А. И. "Электротехника және электроника негіздері" — Алматы: Білім, 2018.
2. Гончаров, В. В. "Электроника: пассивті және белсенді компоненттер" — Москва: Академия, 2017.
3. Хорн, С., Джонс, Л. "Электроника негіздері" — Алматы: Қазақ университеті, 2020.
4. Sedra, A., Smith, K. "Microelectronic Circuits", 7th Edition — Oxford University Press, 2015.
5. Floyd, T. L. "Electronic Devices: Conventional Current Version", 10th Edition — Pearson, 2017.
6. Назарбаев, Н., Төлегенов, Ә. "Аналогтық электроника" — Алматы: Эверо, 2019.
7. Rashid, M. H. "Electric Circuits, Electronics, and System Design" — Cengage Learning, 2018.