

ӘЛ-ФАРАБИ АТЫНДАҒЫ ҚАЗАҚ ҰЛТТЫҚ УНИВЕРСИТЕТІ

Құттыбай Н.Б.

Түрлендіру техникасы

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

Алматы

7 Дәріс

Тақырыбы: Жиілік түрлендіргіштері. Тікелей және жанама жиілік түрлендіргіштері

Дәрістің мақсаты мен міндеттері:

Дәрістің мақсаты: Жиілік түрлендіргіштерінің түрлері, жұмыс принциптері мен қолданылу салаларын түсіндіру, сондай-ақ тікелей және жанама түрлендіргіштердің айырмашылықтарын ашып көрсету. Жиілік түрлендіргіштерінің техникалық артықшылықтары мен кемшіліктерін, олардың электрқозғалтқыштар мен басқа да жүйелерде қолданылуын, сонымен қатар әртүрлі салалардағы ерекшеліктер мен талаптарды меңгеру, бұл өз кезегінде энергетикалық және электротехникалық жүйелерді тиімді жобалауға және басқаруға мүмкіндік беру.

Міндеттері:

1. Жиілік түрлендіргіштерінің құрылымы, түрлері және жұмыс принциптерін түсіндіру.
2. Тікелей (ТЖТ) және жанама (ЖЖТ) жиілік түрлендіргіштерінің айырмашылықтарын көрсету.
3. Жиілік түрлендіргіштердің артықшылықтары мен кемшіліктерін сипаттау.
4. Түрлендіргіштердің электрқозғалтқыштар, жел энергетикасы, теміржол көлігі, тұрмыстық техника және робототехника салаларында қолданылуын түсіндіру.
5. Жиілік түрлендіргіштерді таңдау кезінде техникалық, экономикалық және эксплуатациялық факторларды ескеру қажеттілігін көрсету.

Түйінді ұғымдар мен терминдер

- Жиілік түрлендіргіші (ЖТ, Frequency Converter)
- Тікелей жиілік түрлендіргіші (ТЖТ, Direct Frequency Converter)
- Жанама жиілік түрлендіргіші (ЖЖТ, Indirect Frequency Converter)
- Аралық тұрақты ток буыны (DC link)
- Түзеткіш (Rectifier)
- Инвертор (Inverter)
- PWM (Pulse-Width Modulation, импульстік ендік модуляция)
- Коммутатор (Switching Device)
- Матрицалық түрлендіргіш
- Жиілік диапазоны
- Кері энергияны беру (Regeneration, Reversible Power Flow)
- Электромагниттік кедергі (EMI)
- LC-фильтр

Дәріс жоспары

Кіріспе

1. Жиілік түрлендіргіштерінің негізгі түрлері
2. Тікелей жиілік түрлендіргіштері (ТЖТ)
3. Жанама жиілік түрлендіргіштері (ЖЖТ)
4. Қолдану салалары

Білімді бекітуге арналған сұрақтар

Қорытынды

Әдебиеттер тізімі

Кіріспе

Жиілік түрлендіргіштері (ЖТ) – электр энергиясының жиілігін бір мәннен екінші мәнге түрлендіруге арналған электрондық құрылғылар. Олар әсіресе айнымалы ток электрқозғалтқыштарының жылдамдығын басқару, энергия үнемдеу, және автоматтандыру жүйелерінде кеңінен қолданылады.

1. Жиілік түрлендіргіштерінің негізгі түрлері

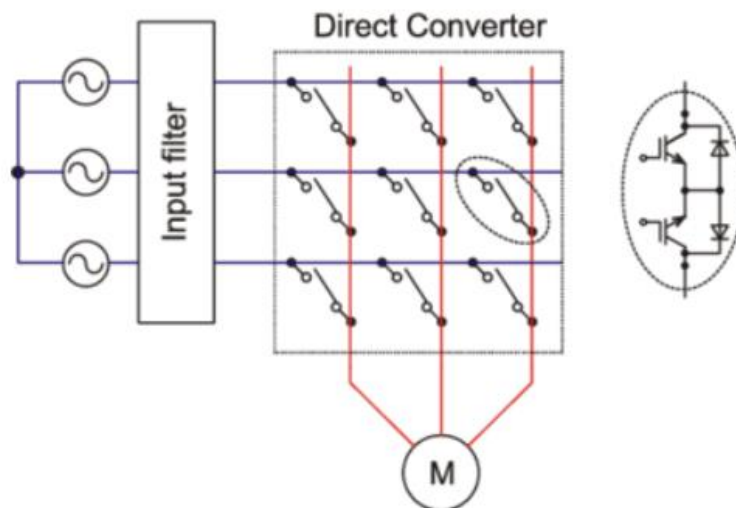
Жиілік түрлендіргіштерін екі негізгі топқа бөлуге болады:

- ❖ Тікелей жиілік түрлендіргіштері (ТЖТ)
- ❖ Жанама жиілік түрлендіргіштері (ЖЖТ)

2. Тікелей жиілік түрлендіргіштері (ТЖТ)

Тікелей жиілік түрлендіргіштері (ТЖТ) – бұл кіріс айнымалы токтың жиілігін аралық тұрақты ток буынысыз тікелей қажетті жиілікке түрлендіруге арналған құрылғылар. Олар электр энергиясының жиілігін бір деңгейден екінші деңгейге тікелей ауыстырады, яғни айнымалы ток → айнымалы ток түрлендіруі түзету (rectification) және инверсия (inversion) кезеңдерінсіз жүзеге асады.

Мұндай түрлендіргіштерде тұрақты ток сатысы жоқ, сондықтан оларды жиі айнымалы токтан айнымалы токқа тікелей түрлендіретін жүйелер деп атайды. Бұл әдіс жоғары жиілікті инерциясыз түрлендіруді қажет ететін жүйелерде пайдалы.



Жұмыс принципі:

Тікелей жиілік түрлендіргіштердің жұмыс істеу қағидаты – кіріс кернеуінің фазалары мен жиіліктерін коммутаторлар арқылы белгілі бір заңдылықпен ауыстырып, жаңа жиіліктегі кернеу алу.

Олар жоғары жылдамдықпен коммутацияланатын қуатты электрондық кілттер (тиристорлар, транзисторлар, GTO, IGBT) арқылы жұмыс істейді. Коммутаторлар басқару сигналдарының көмегімен кезектесіп ашылып-жабылады, бұл шығыс кернеуінің қажетті жиілікпен қалыптасуына мүмкіндік береді.

Мысал:

Матрицалық түрлендіргіште 3 фазалы кіріс пен 3 фазалы шығыс арасында 9 коммутатор орнатылады (әр кіріс фазасы әрбір шығыс фазасына қосыла алады). Басқару жүйесі белгілі бір алгоритм бойынша осы коммутаторларды ауыстырып отырады, нәтижесінде шығыс кернеудің жиілігі мен фазасы өзгереді.

Құрылымдық ерекшеліктері:

❖ Матрицалық түрлендіргіштер – ТЖТ-ның ең кең таралған түрі. Олар үш фазалы кіріс сигналын тікелей үш фазалы шығыс сигналға ауыстыра алады.

❖ Коммутаторлар жиынтығы фазалар арасындағы тікелей байланыс орнатуға мүмкіндік береді.

❖ Қосымша шығыс фильтрлері қажет, себебі түрлендіру нәтижесінде жоғары жиілікті гармоникалар пайда болуы мүмкін.

Артықшылықтары:

1) Қарапайым құрылым
– Аралық ТТ буыны жоқ болғандықтан, түрлендіргіштің сұлбасы ықшам және элементтер саны аз болады.

2) Жоғары динамика
– Кері байланыс пен басқару жылдамдығы жоғары, бұл оны жылдам әрекет ететін электр жетектерінде қолдануға мүмкіндік береді.

3) Фазалық синхрондылық
– Кіріс және шығыс кернеулері фаза бойынша синхрондалған, бұл генераторлық жүйелерде өте маңызды (мысалы, жел генераторлары).

4) Кері энергияны беру мүмкіндігі
– Көптеген матрицалық түрлендіргіштерде екі бағытта энергия ағынын ұйымдастыруға болады, яғни олар рекуперация режимінде де жұмыс істей алады.

Кемшіліктері:

1) Жиілік диапазоны шектеулі
– Шығыс жиілігі кіріс жиілігінің шамамен 0.8 бөлігінен аспайды, бұл кейбір қолданбалар үшін жеткіліксіз болуы мүмкін.

2) Кернеу формасының бұрмалануы
– Шығыс кернеуінде жоғары жиілікті импульстер мен гармоникалық бұрмаланулар пайда болады, бұл жүктемелердің қалыпты жұмысына кері әсер етуі мүмкін.

3) Күрделі басқару жүйесі
– Коммутаторларды дәл басқару үшін жоғары жылдамдықты және сенімді басқару алгоритмдері қажет.

4) Қымбат компоненттер
– Жоғары кернеу мен токтарға төзімді, жылдам коммутацияланатын электронды кілттер қолдануды қажет етеді (IGBT, GTO, т.б.).

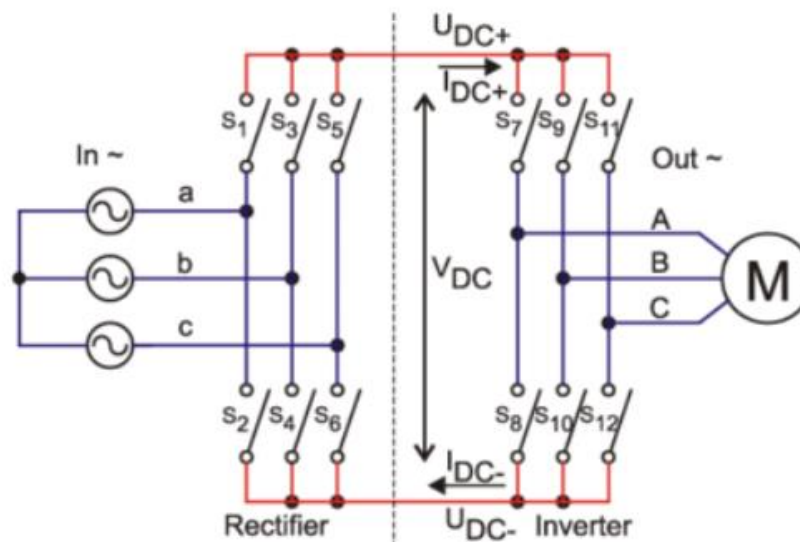
3. Жанама жиілік түрлендіргіштері (ЖЖТ)

Жанама жиілік түрлендіргіштері (ЖЖТ) – бұл кіріс айнымалы токты алдымен тұрақты токқа (DC) айналдырып, кейіннен қажетті жиіліктегі

айнымалы токқа (АС) қайта түрлендіретін құрылғылар. Яғни, бұл түрлендіру процесі екі сатыдан тұрады:

- 1) Түзеткіш (rectifier) – айнымалы токты тұрақты токқа түрлендіреді;
- 2) Инвертор (inverter) – тұрақты токты қайтадан қажетті параметрлері бар айнымалы токқа айналдырады.

Бұл құрылымда аралық тұрақты ток буыны (DC link) міндетті түрде болады. Ол конденсатор немесе дроссель арқылы қалыптасып, ток пен кернеудің тұрақтылығын қамтамасыз етеді.



Жұмыс принципі:

- 1) Айнымалы токтың түзетілуі (AC → DC):
 - ❖ Кіріс айнымалы ток көпірлік түзеткіш (диодты немесе тиристорлы) арқылы тұрақты токқа айналады.
 - ❖ Егер тиристорлар қолданылса, онда басқарылатын түзету мүмкіндігі пайда болады (кернеу мен токты реттеу).
- 2) Тұрақты ток буыны (DC link):
 - ❖ Түзетілген ток сүзгілеу элементтерімен (электролиттік конденсаторлар немесе дросселдермен) тегістеледі.
 - ❖ Бұл буын энергияны уақытша жинақтауға және инвертор жұмысына қажетті токты тұрақтандыруға мүмкіндік береді.
- 3) Инвертор (DC → AC):
 - ❖ Тұрақты ток IGBT, MOSFET, немесе басқа коммутаторлар арқылы жоғары жиілікті ширектік модуляция (PWM) әдісімен айнымалы токқа айналады.
 - ❖ Шығыс кернеуінің жиілігі мен амплитудасы толық басқарылады, яғни бұл қадамда жоғары дәлдіктегі басқару мүмкін.

Құрылымдық ерекшеліктері:

- ❖ ЖЖТ түзеткіш + сүзгі + инвертор сұлбасынан тұрады.
- ❖ Қазіргі заманғы ЖЖТ-лар цифрлық басқару жүйелерімен (DSP, FPGA) жабдықталған.
- ❖ Шығысында көбінесе LC-фильтрлер орнатылады, олар кернеу мен токтың сапасын жақсартады.

❖ Тұрақты ток буыны қосымша тежегіш резисторлармен немесе энергияны қайтару блоктарымен жабдыкталуы мүмкін.

Артықшылықтары:

1) Шығыс жиілігі кең диапазонда реттеледі
– ЖЖТ арқылы шығыс жиілігін 0-ден бастап 400 Гц-ке (немесе одан да жоғарыға) дейін еркін өзгертуге болады, бұл оны әртүрлі өндірістік процестерде икемді пайдалануға мүмкіндік береді.

2) Жоғары сапалы кернеу формасы
– PWM инверторлар синусоидқа жақын кернеу пішінін қамтамасыз ете алады, бұл жүктемелер үшін ыңғайлы және қосымша жылу жоғалтуларын азайтады.

3) Тиімділік жоғары (95% және одан да жоғары)
– Қазіргі заманғы жартылай өткізгіш құрылғылардың қолданылуы түрлендірудің жоғарғы тиімділігін қамтамасыз етеді.

4) Жақсы басқару дәлдігі
– Цифрлық басқару жүйелері арқасында айналу моменті, жылдамдық және ток дәл реттеледі.

5) Қуатты тұтыну коэффициенті жақсарады
– Қажет болса, түзеткіш сатысында қайта түзету әдістері арқылы $\cos(\varphi) \approx 1$ деңгейінде ұстап тұруға болады.

Кемшіліктері:

1) Күрделі құрылым
– Қос кезеңді түрлендіру ($AC \rightarrow DC \rightarrow AC$) құрылғыны күрделендіреді, бұл оның өлшемі мен салмағын арттырады.

2) Қымбат компоненттер
– Жоғары сапалы фильтрлер, қуатты жартылай өткізгіштер және салқындату жүйелері түрлендіргіштің құнын арттырады.

3) Электромагниттік кедергілер (EMI)
– PWM түрлендіру жоғары жиілікті гармоникаларды тудырып, электромагниттік үйлесімділік мәселелеріне әкелуі мүмкін. Сондықтан ЕМС-фильтрлер қажет.

4) Салқындату қажеттілігі
– Инвертор элементтері жылу бөледі, сондықтан сенімді жұмыс істеу үшін активті немесе пассивті салқындату қажет.

4. Қолдану салалары

Жиілік түрлендіргіштері (ЖТ) – электр энергиясының жиілігін басқару арқылы көптеген салаларда электрмеханикалық жүйелердің тиімділігін арттыруға мүмкіндік береді. Әртүрлі қолдану саласында белгілі бір түрлендіргіш түрлері (ТЖТ немесе ЖЖТ) қолданылады.

Электрқозғалтқыштар жылдамдығын реттеу (ЖЖТ, ТЖТ)

Электрқозғалтқыштардың айналу жылдамдығы оның қоректену жиілігіне байланысты. Сондықтан жылдамдықты өзгерту үшін жиілікті басқару қажет.

❖ ЖЖТ (жанама түрлендіргіштер) электрқозғалтқыштардың жылдамдығын кең диапазонда, жоғары дәлдікпен және жұмсақ іске қосуды

қамтамасыз етеді. Олар әсіресе өндірістік жабдықтарда (сорғылар, желдеткіштер, конвейерлер) кеңінен қолданылады.

❖ ТЖТ (тікелей түрлендіргіштер) қарапайым реттеу қажет болғанда немесе жүйенің динамикалық қасиеттері маңызды болғанда (мысалы, қысқа уақыт ішінде жылдам үдету немесе тежеу) қолданылады.

Жел энергетикасы (ЖЖТ)

Жел турбиналарының ротор жылдамдығы желдің өзгермелі жылдамдығына байланысты тұрақты емес.

❖ Мұнда жанама жиілік түрлендіргіштері қолданылады: олар жел генераторынан алынатын айнымалы токты алдымен тұрақты токқа айналдырып, содан кейін желіге қажетті жиіліктегі айнымалы токқа түрлендіреді (әдетте 50 Гц немесе 60 Гц).

❖ Бұл шешім энергияның тиімділігін арттыруға, желінің тұрақтылығын қамтамасыз етуге және генератордың ұзақ мерзімді жұмысына көмектеседі.

Теміржол көлігі (ТЖТ)

Электровоздар мен басқа да рельстік көлік құралдарының электр жетектерінде жиілік түрлендіргіштер маңызды рөл атқарады.

❖ Тікелей жиілік түрлендіргіштері теміржол көлігінде жиі қолданылады, өйткені олар жылдам және қуатты басқару мүмкіндігін береді.

❖ Бұл түрлендіргіштер қозғалтқыштарға қажетті жылдамдық пен момент профилін қамтамасыз етеді, тежегіш кезінде электр энергиясын кері қайтаратын рекуперация режимін ұйымдастыруға мүмкіндік береді.

Кондиционерлер, компрессорлар (ЖЖТ)

Қазіргі заманғы климаттық жүйелердің (кондиционерлер, тоңазытқыш қондырғылар, компрессорлар) тиімділігі жиілікті басқару арқылы айтарлықтай артады.

❖ Жанама жиілік түрлендіргіштері компрессор мен желдеткіштердің айналу жылдамдығын жұмыс жүктемесіне сәйкес бейімдеуге мүмкіндік береді.

❖ Бұл әдіс энергия тұтынуды азайтады, құрылғының қызмет ету мерзімін ұзартады және шудың деңгейін төмендетеді.

Робототехника, өндірістік автоматтандыру (ЖЖТ)

Заманауи өндірістік роботтар мен автоматтандырылған жүйелер дәлдік пен жылдамдықты қажет етеді.

❖ Мұнда жанама жиілік түрлендіргіштері кеңінен қолданылады, себебі олар қозғалтқыштардың жылдамдығын, моментін және позициясын жоғары дәлдікпен реттеуге мүмкіндік береді.

❖ Бұл түрлендіргіштер робот қолдарының қозғалысын жұмсақ бастау және тоқтатуды, үзіліссіз басқаруды және энергия үнемдеуді қамтамасыз етеді.

Білімді бекіту сұрақтары

1. Жиілік түрлендіргіштері қандай мақсатта қолданылады?
2. Тікелей және жанама жиілік түрлендіргіштерінің негізгі айырмашылығы неде?
3. ТЖТ-ның артықшылықтары мен кемшіліктерін атаңыз.

4. ЖЖТ-ның құрылымы қандай сатыдан тұрады және әрбір сатының функциясы неде?
5. PWM инвертор дегеніміз не және ол қандай артықшылық береді?
6. Жиілік түрлендіргіштерді электрқозғалтқыштарда қолданудың негізгі себебі неде?
7. Жел энергетикасында жиілік түрлендіргіштерді қандай мақсатта қолданады?
8. ТЖТ-ның матрицалық түрлендіргішінің жұмыс принципі қалай жүзеге асады?
9. ЖЖТ-да электромагниттік кедергілерді қалай төмендетуге болады?
10. Түрлендіргіштің таңдауы қандай факторларға байланысты жүргізіледі?

Қорытынды:

Жиілік түрлендіргіштері қазіргі заманғы электр энергетикасы мен өнеркәсіптік автоматтандыру жүйелерінің маңызды элементтерінің бірі болып табылады. Олар электр энергиясының жиілігін басқару арқылы жабдықтардың тиімділігін арттырып, энергияны үнемдеуге, жабдықтың қызмет ету мерзімін ұзартуға және жүйелердің икемділігін қамтамасыз етуге мүмкіндік береді.

Тікелей жиілік түрлендіргіштері (ТЖТ) – қарапайым құрылымымен және жоғары динамикалық сипаттамаларымен ерекшеленеді, бірақ олардың жұмыс жиілігі шектеулі болады. Ал жанама жиілік түрлендіргіштері (ЖЖТ) – күрделі құрылымға ие болғанымен, жиілікті кең диапазонда реттеуге, шығыс кернеуінің сапасын жақсартуға және тиімді басқаруға мүмкіндік береді.

Әрбір түрлендіргіштің өзіне тән артықшылықтары мен кемшіліктері бар, сондықтан оларды таңдау нақты қолдану саласына, техникалық талаптарға және экономикалық мақсаттарға байланысты жүзеге асырылады.

Бүгінгі таңда жиілік түрлендіргіштері электрқозғалтқыштар жылдамдығын басқарудан бастап жел энергетикасы, теміржол көлігі, тұрмыстық техника және өндірістік робототехника сияқты көптеген салаларда кеңінен қолданылуда. Бұл технология болашақта да энергиялық тиімділікті арттыру және автоматтандырылған жүйелерді дамыту бағытында үлкен рөл атқара беретіні сөзсіз.

Әдебиеттер тізімі:

1. Николаев, А.И. Электрические машины и приводы. — М.: Энергия, 2010.
2. Жуков, Ю.А. Преобразователи частоты и их применение в электрических приводах. — М.: Высшая школа, 2012.
3. Чесноков, А.В. Электрические приводные системы и их регулирование. — М.: Машиностроение, 2015.
4. Галкин, В.Я., Савельев, В.А. Преобразователи частоты: теория, расчет и проектирование. — М.: Радио и связь, 2013.
5. Крылов, В.Н. Основы робототехники. — М.: Энергия, 2014.
6. Щербаков, П.М. Технологии автоматизации и роботизация в промышленности. — М.: Наука, 2016.

7. Гусев, А.И., Лебедев, В.П. Электрические машины и преобразователи. — М.: Энергия, 2017.
8. Платонов, В.Р. Силовые преобразователи для промышленности и энергетики. — М.: Энергоатомиздат, 2012.
9. Макаров, С.Н. Современные технологии в энергетике. — М.: Энергия, 2018.
10. Лебедев, А.М. Основы электроники и электротехники. — М.: Высшая школа, 2015.