

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

9 Дәріс

Тақырыбы: Түрлендіргіштерді қорғау әдістері. Түрлендіргіштерді асқын кернеу, қысқа тұйықталу, шамадан тыс жүктемеден қорғау.

Дәрістің мақсаты мен міндеттері:

Дәрістің мақсаты: Түрлендіргіштерді асқын кернеу, қысқа тұйықталу және шамадан тыс жүктемеден қорғау әдістерін зерттеу. Түрлендіргіштерді қорғау үшін қолданылатын техникалық шешімдер мен құрылғыларды қарастыру, сондай-ақ олардың түрлендіргіш жүйелерінің сенімділігі мен қауіпсіздігіне әсерін талқылау.

Міндеттері:

1. Түрлендіргіштерді қорғаудың негізгі қағидаларын түсіндіру.
2. Асқын кернеу, қысқа тұйықталу және шамадан тыс жүктеменің түрлендіргіш жұмысына әсерін талдау.
3. Түрлендіргіштерді қорғау үшін қолданылатын техникалық құралдар мен схемаларды қарастыру (варисторлар, сақтандырғыштар, GDT, автоматтық ажыратқыштар, т.б.).
4. Қорғаныс әдістерінің жұмыс принциптері мен артықшылықтарын сипаттау.
5. Түрлендіргіш жүйелерінің сенімділігі мен қауіпсіздігін арттырудың практикалық тәсілдерін көрсету.
6. Түрлендіргіштерді жобалау кезінде қорғаныс жүйелерін дұрыс таңдаудың маңыздылығын түсіндіру.

Түйінді ұғымдар мен терминдер

- Асқын кернеу (Overvoltage) – тізбектегі номинал мәнен жоғары уақытша кернеу, ол құрылғы элементтерін зақымдауы мүмкін.
- Қысқа тұйықталу (Short Circuit) – тізбектің кедергісі кенет төмендеп, токтың шектен тыс артуына әкелетін қауіпті жағдай.
- Шамадан тыс жүктеме (Overload) – құрылғы ұзақ уақыт бойы номиналды қуатынан жоғары режимде жұмыс істеуі.
- Варистор (Varistor) – кернеу белгілі бір деңгейден асқанда кедергісі төмендеп, артық энергияны сіңіретін элемент.
- Газразрядты түтікше (Gas Discharge Tube, GDT) – асқын кернеу кезінде газ иондалып, тізбекті қысқа тұйықтайтын қорғаныс құрылғысы.
- Сақтандырғыш (Fuse) – ток белгіленген мәнен асқанда балқып, тізбекті үзіп жіберетін қорғаныс элементі.
- Ток шектеу (Current Limiting) – ток мәні рұқсат етілген шектен асқанда автоматты түрде ток ағынын азайту немесе тоқтату әдісі.
- Температуралық қорғаныс (Thermal Protection) – құрылғы қызып кеткен жағдайда автоматты түрде өшірілетін жүйе.

- Автоматтық ажыратқыш (Circuit Breaker) – тізбекте артық ток немесе қысқа тұйықталу пайда болғанда автоматты түрде ток ағынын үзіп тастайтын құрылғы.
- Қуат шектеу (Power Limiting) – түрлендіргіштің шығыс қуатын номиналды шектерде ұстайтын басқару механизмі.
- Салқындату жүйесі (Cooling System) – құрылғының температурасын қауіпсіз деңгейде ұстап тұратын белсенді немесе пассивті жүйе.

Дәріс жоспары

Кіріспе

1. Асқын кернеуден қорғау
 2. Қысқа тұйықталудан қорғау
 3. Шамадан тыс жүктемеден қорғау
- Білімді бекітуге арналған сұрақтар

Қорытынды

Әдебиеттер тізімі

Кіріспе

Электрлік түрлендіргіштер (инверторлар, түрлендіргіштер, тұрақтандырғыштар және т.б.) – энергияны бір түрден екінші түрге түрлендіретін маңызды құрылғылар. Түрлендіргіштерді дұрыс қорғау олардың ұзақ уақыт сенімді жұмыс істеуін қамтамасыз етеді және жүйенің толық істен шығуын болдырмайды.

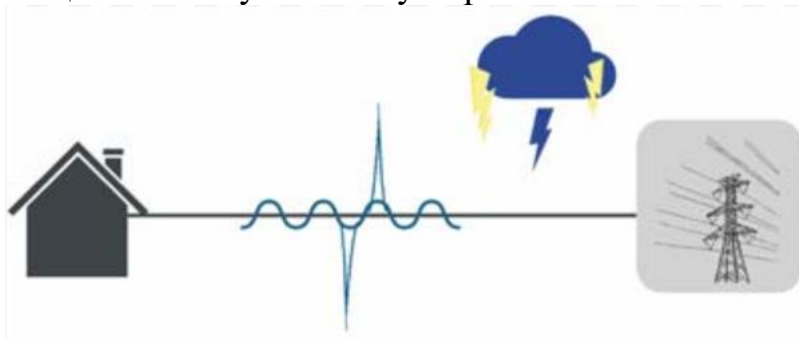
Түрлендіргіштер жұмыс кезінде әртүрлі қауіп-қатерлерге тап болады, атап айтқанда:

- ❖ Асқын кернеу
- ❖ Қысқа тұйықталу
- ❖ Шамадан тыс жүктеме

Әр қауіпке арнайы қорғау әдістері қолданылады.

1. Асқын кернеуден қорғау

Асқын кернеу (overvoltage) — бұл электр тізбегіндегі номинал кернеуден жоғары уақытша артық кернеу. Оның амплитудасы әдетте жүйенің қалыпты жұмыс режимінде рұқсат етілетін мәннен бірнеше есе асып кетуі мүмкін. Асқын кернеу бірнеше миллисекундтан бірнеше секундқа дейін созылады және егер уақтылы әрекет жасалмаса, электр жабдықтарының оқшауламасының бұзылуына, электрондық компоненттердің зақымдануына және жалпы жүйенің істен шығуына әкелуі мүмкін.



Асқын кернеулердің екі негізгі түрі бар:

- ❖ Ішкі асқын кернеу: Құрылғы ішінде немесе жүйеде пайда болады (мысалы, индуктивті жүктеменің ажыратылуы кезінде).

- ❖ Сыртқы асқын кернеу: Сыртқы факторлардан, негізінен найзағай разрядтарынан немесе электрмен жабдықтау жүйесіндегі бұзылулардан туындайды.

Асқын кернеудің негізгі себептері

- ❖ Найзағай түсуі: Атмосфералық разряд нәтижесінде электр желілерінде өте жоғары вольттық импульстар пайда болады. Бұл импульстар үлкен қуатқа ие болып, бірнеше киловольтқа дейін жетуі мүмкін.

- ❖ Қуатты жүктемелердің қосылып-өшуі: Электр қозғалтқыштар, трансформаторлар сияқты индуктивті жүктемелер қосылғанда немесе ажыратылғанда тізбекте кернеу секірулері пайда болады.

- ❖ Электр желісіндегі ақаулар: Қысқа тұйықталу, жерге қосылудың бұзылуы, фазалық теңгерімсіздіктер асқын кернеулердің пайда болуына себеп болады.

❖ Электростатикалық разрядтар (ESD): Аздаған кернеу, бірақ сезімтал электрондық компоненттерге зиян келтіруі мүмкін.

Асқын кернеуден қорғау әдістері

Асқын кернеуден қорғау үшін әртүрлі техникалық шешімдер қолданылады. Олардың мақсаты — кернеу деңгейін қауіпсіз шектерде ұстап тұру немесе асқын энергияны тез және тиімді түрде сөндіру.

1) Варисторлар (Varistors)

Варистор — бұл кернеу шегінде жоғары кедергіге ие, ал кернеу белгілі бір деңгейден асқанда кедергісі күрт төмендейтін пассивті электрондық элемент. Варистор асқын кернеу пайда болғанда артық энергияны өзіне қабылдап, тізбектегі кернеуді шектейді.



Негізгі сипаттамалары:

- ❖ Қысқа жауап беру уақыты (наносекунд деңгейінде)
- ❖ Көп мәрте қолданылу мүмкіндігі
- ❖ Коммутирленген энергияны сіңіру қабілеті

Түрлендіргіштердің кіріс-шығыс тізбектерінде, релелік қорғаныс жүйелерінде.

2) Газразрядты түтікшелер (Gas Discharge Tubes, GDT)

Газразрядты түтікше — екі электрод арасында газбен толтырылған құрылғы. Кернеу белгілі бір деңгейден асқанда газ иондалып, түтікше тізбекті дерлік қысқа тұйықтайды, осылайша кернеу импульсын өткізеді және түрлендіргішті қорғайды.



Негізгі сипаттамалары:

- ❖ Өте жоғары импульстік ток өткізу мүмкіндігі (бірнеше килоамперге дейін)
- ❖ Тұрақты жұмыс температуралық диапазоны кең

❖ Ұзақ мерзімді беріктік
Найзағайдан қорғау жүйелері, телекоммуникациялық жабдықтар, жоғары кернеулі қорек көздері.

3) Сүзгілер мен стабилизаторлар

LC сүзгілері (индуктивтілік + сыйымдылық): Төмен және жоғары жиілікті кернеу импульстарын басу үшін қолданылады. LC сүзгілері түрлендіргіштің кірісіндегі электрлік шуды төмендетеді және қалыпты жұмыс істеуін қамтамасыз етеді.



Кернеу стабилизаторлары: Белсенді (электрондық) және пассивті түрлері бар. Олар кіріс кернеуінің өзгерістеріне қарамастан тұрақты кернеуді қамтамасыз етеді. Сонымен қатар асқын кернеу әсерін жұмсартады.

Негізгі сипаттамалары:

- ❖ Қалыпты кернеуді қамтамасыз ету
- ❖ Электрлік шу мен гармоникаларды азайту
- ❖ Түрлендіргіш элементтерінің жүктемесін жеңілдету

Қуатты түрлендіргіштер жүйесінде, UPS (үздіксіз қорек көзі) жүйелерінде.

4) Сақтандырғыштар (Fuses)

Сақтандырғыш — электр тоғы шамадан асқанда балқитын және тізбекті үзіп жіберетін қарапайым әрі сенімді қорғаныс құралы.



Асқын кернеу кезінде жүйедегі ток күрт өсуі мүмкін, сондықтан сақтандырғыш тізбекті үзіп, түрлендіргіштің ішкі компоненттерінің зақымдануын болдырмайды.

Негізгі сипаттамалары:

- ❖ Өте жылдам жұмыс істеу қабілеті
- ❖ Арзан әрі сенімді

❖ Ауыстырылуы керек (қайта қолдануға жарамайды)
Кіріс тізбектерінде, қорек көздерінде, ішкі басқару жүйелерінде.

2. Қысқа тұйықталудан қорғау

Қысқа тұйықталу (short circuit) — бұл электр тізбегінде токтың қалыпты ағысына қарағанда әлдеқайда аз кедергі арқылы ағуы. Тізбектің жалпы кедергісі нөлге немесе оған өте жақын мәнге дейін төмендегенде, Ом заңы бойынша ток шексіз үлкен мәнге ұмтылады. Әрине, практикалық жағдайда бұл ток жүйенің физикалық шектеріне байланысты шектеледі, бірақ бәрібір өте үлкен болып, жүйеге ауыр зиян келтіруі мүмкін.



Қысқа тұйықталу:

- ❖ Жабдықтың қызып кетуіне
- ❖ Электрлік доға пайда болуына
- ❖ Компоненттердің зақымдануына
- ❖ От тұтану қаупінің туындауына әкелуі мүмкін

Сондықтан қысқа тұйықталу жағдайларын тез және тиімді анықтап, олардан қорғау — түрлендіргіштер мен жалпы электр жүйелерінің қауіпсіз жұмысының негізгі шарты.

Қысқа тұйықталудың негізгі себептері

❖ Қысқа тұйықталған сымдар: Сымдардың механикалық зақымдануы, дұрыс жалғанбауы немесе сыртқы факторлардың әсерінен (мысалы, су тию, майысу) олардың арасында тікелей байланыс пайда болуы мүмкін.

❖ Оқшауламаның бұзылуы: Сым немесе құрылғы оқшауламасының тозуы, химиялық әсерлер немесе жоғары температура оқшауламаның бұзылуына және нәтижесінде токтың қысқа жолмен ағуына әкеледі.

❖ Компоненттердің ақаулары: Конденсаторлар, транзисторлар, диодтар сияқты элементтердің істен шығуы олардың ішкі қысқа тұйықталуына себеп болады.

❖ Металл заттар: Жүйеге кездейсоқ түскен металл бөлшектер (мысалы, өндірістік алаңдарда) қысқа тұйықталу тудыруы мүмкін.

Қысқа тұйықталудан қорғау әдістері

Қысқа тұйықталудан қорғау шаралары екі негізгі мақсатты көздейді:

- 1) Қысқа тұйықталуды тез анықтау.
- 2) Тізбекті жылдам ұзу немесе токты шектеу арқылы зақымды болдырмау.

1) Ток шегін бақылау (Current Limiting)

Ток шектеу әдісі — түрлендіргіштің ток мәні белгілі бір шектен асқанда автоматты түрде ток ағымын азайту немесе шектеу. Бұл процесс токтың қауіпті деңгейге дейін өсуіне жол бермейді.

Қолданылатын әдістер:

- ❖ Ішкі ток шектеу схемалары (мысалы, транзисторлардың базалық тоқын басқару)

- ❖ Қорғаныс резисторлары мен арнайы ток шектеуші элементтер

- ❖ Белсенді электрондық схемалар (мысалы, токты бақылау және шектеу үшін ОУ негізіндегі схемалар)

Артықшылықтары:

- ❖ Реакция уақыты өте жылдам (микросекундтар деңгейінде)

- ❖ Қайта қолдануға жарамды (жүйе қалыпты жұмысқа орала алады)

- ❖ Шамадан тыс қызу мен зақымды азайтады

Инверторларда, тұрақты ток түрлендіргіштерінде, зарядтау құрылғыларында.

2) Жылдам әрекет ететін сақтандырғыштар (Fast-Acting Fuses)

Жылдам әрекет ететін сақтандырғыштар қысқа тұйықталу пайда болғанда токтың кенет өсуін сезіп, бірден балқып тізбекті үзіп тастайды.

Негізгі сипаттамалары:

- ❖ Өте қысқа жауап беру уақыты (миллисекундтың бөлігі)

- ❖ Артық токтың құрылғыға таралуына мүмкіндік бермейді

- ❖ Тек бір реттік қолдану (сақтандырғыш күйгеннен кейін ауыстыру қажет)

Таңдау кезінде ескерілетін параметрлер:

- ❖ Номинал ток және кернеу мәндері

- ❖ Рұқсат етілетін токтың асу уақыт-карточкасы (I^2t мәні)

Қуатты инверторларда, электр қоректендіру көздерінде, қозғалтқыш драйверлерінде.

3) Электрондық қорғаныс схемалары

Электрондық құрылғыларда интеграцияланған арнайы қорғаныс схемалары қолданылады. Бұл схемалар қысқа тұйықталуды сезгенде келесі әрекеттердің бірін орындайды:

- ❖ Түрлендіргішті бірден толық өшіру

- ❖ Жұмыс режимін төмен қуатқа ауыстыру

- ❖ Қайта іске қосу циклын бастау (soft restart)

Қолданылатын әдістер:

- ❖ Ток сенсоры (мысалы, ток шынайы уақытта бақыланып отырады)

- ❖ Микроконтроллер негізіндегі логика

- ❖ Температура сенсорлары арқылы қосымша бақылау

Артықшылықтары:

- ❖ Құрылғыны қорғаумен қатар, жүйенің жұмыс сенімділігін арттырады

- ❖ Жиі өздігінен қалпына келу функциясы болады

Ақылды қуат түрлендіргіштерде, зарядтау жүйелерінде, өнеркәсіптік басқару модульдерінде.

4) Автоматтық ажыратқыштар (Circuit Breakers)

Автоматтық ажыратқыш (АА) — бұл электр тізбегінде ток шамадан асқан кезде тізбекті автоматты түрде үзіп тастайтын қорғаныс құрылғысы. Қалпына келтіруге болады, яғни қайта іске қосу мүмкіндігі бар.

Негізгі сипаттамалары:

- ❖ Термомагниттік немесе электрондық іске қосу механизмдері
- ❖ Қайта қосу мүмкіндігі (автоматты немесе қолмен)
- ❖ Ұзақ мерзімді сенімділік пен техникалық қызмет көрсетуді жеңілдету

Автомат түрлері:

- ❖ Миниатюралық автоматтар (МСВ)
- ❖ Қуатты ажыратқыштар (МССВ)
- ❖ Арнайы ток шектеу мүмкіндігі бар құрылғылар

Өнеркәсіптік қуат түрлендіргіштерде, үлкен жүйелерде, электр тарату панельдерінде.

3. Шамадан тыс жүктемеден қорғау

Шамадан тыс жүктеме (overload) — бұл электрлік түрлендіргіштің (инвертор, тұрақты ток түрлендіргіші немесе басқа құрылғы) белгіленген номинал қуат немесе ток шектерінен ұзақ уақыт артық жұмыс істеуі. Бұл жағдайда құрылғының ішкі элементтеріне (мысалы, транзисторларға, диодтарға, катушкаларға) жылу жүктемесі түсіп, олар қызып, қарқынды тозады немесе толықтай істен шығуы мүмкін.

Негізгі мәселелер:

- ❖ Құрылғының температурасының қауіпті деңгейге дейін көтерілуі
- ❖ Құрамдас бөлшектердің қартаюы немесе күйіп кетуі
- ❖ Энергия тиімділігінің төмендеуі
- ❖ Толық жүйенің істен шығуына және қосымша жөндеу шығындарына әкелуі

Шамадан тыс жүктеменің негізгі себептері

- ❖ Артық ток талап ететін жүктемелерді қосу: Түрлендіргіш мүмкіндіктерінен жоғары қуатты қозғалтқыштар, қыздырғыштар немесе басқа да ауыр жүктемелерді қосу.

- ❖ Салқындату жүйесінің дұрыс жұмыс істемеуі: Желдеткіштің істен шығуы, радиаторлардың шаңмен бітелуі немесе қоршаған ортаның тым жоғары температурасы түрлендіргіштің қалыпты жылу таратуын бұзады.

- ❖ Механикалық тежелу немесе тоқтап қалу: Қозғалтқыш жүктемелерінде біліктің тұрып қалуы немесе тежелуі нәтижесінде ток бірден артып кетеді.

- ❖ Жиі қосылып-өшіру режимі: Жүктеменің жиі іске қосылуы және тоқтауы кезінде пусковой токтар құрылғыға тұрақты артық салмақ түсіреді.

- ❖ Жүктемедегі ақаулар: Қысқа тұйықталуға жақын жағдайлар немесе жартылай тұйықталған жүктемелер тұрақты түрде артық ток талап етеді.

Шамадан тыс жүктемеден қорғау әдістері

Шамадан тыс жүктемені басқару жүйенің қызмет мерзімін ұзартады және апаттық істен шығуды болдырмайды. Негізгі қорғаныс әдістері төмендегідей:

1) Жүктеме шектеу (Load Limiting)

Жүктеме шектеу — түрлендіргіш ағымдағы токты немесе қуатты бақылай отырып, белгіленген шекке жеткен кезде әрекет етеді.

Негізгі тәсілдер:

- ❖ Ток шектеу: Егер ток шекті мәнге жақындаса, құрылғы автоматты түрде шығыс токты азайтады немесе токтың ұлғаюын тоқтатады.

- ❖ Қуат шектеу: Шығыс қуат деңгейі бақыланып, шамадан тыс жүктеме байқалғанда түрлендіргіш шығысты реттейді немесе шектеу режиміне өтеді.

Артықшылықтары:

- ❖ Құрылғыны толық тоқтатпай, жұмысын қауіпсіз шектерде ұстап тұруға мүмкіндік береді.

- ❖ Механикалық жүйелерге түсетін соққыны азайтады.

Электр қозғалтқыштарын басқару жүйелерінде момент шектеу.

2) Температуралық қорғаныс (Thermal Protection)

Температуралық қорғаныс — құрылғының ішкі немесе сыртқы температурасы қауіпті деңгейге жеткен кезде автоматты түрде әрекет етеді.

Қорғаныс түрлері:

- ❖ Термодатчиктер: Ішкі компоненттердің температурасын бақылайды (мысалы, қуат транзисторларында орнатылған термисторлар).

- ❖ Температураның шектен асуын анықтау: Белгілі бір температура шегіне жеткенде құрылғы өшіріледі немесе төмен қуат режиміне ауысады.

Артықшылықтары:

- ❖ Артық қызудың алдын алады.

- ❖ Құрылғының ұзақ қызмет етуіне ықпал етеді.

Инверторлар мен аккумулятор зарядтау құрылғыларында стандартты функция ретінде орнатылады.

3. Жұмыс уақытын шектеу (Duty Cycle Limiting)

Жұмыс уақытын бақылау — түрлендіргіш үздіксіз жұмыс істеген уақытты бақылайды және қажетті кезде демалыс кезеңдерін енгізеді.

Негізгі тәсілдер:

- ❖ Таймерлер: Белгілі бір жұмыс уақытынан кейін автоматты түрде өшіру.

- ❖ Duty cycle бақылауы: Белгілі бір уақыт ішінде жұмыс/тынығу қатынасын реттеу.

Артықшылықтары:

- ❖ Қызуды азайтады.

- ❖ Ауыр режимдердегі тозуды азайтады.

Периодтық жұмыс істеуді талап ететін өндірістік жабдықтарда.

4) Салқындату жүйелерін қолдану (Cooling Systems)

Қосымша салқындату жүйелері шамадан тыс жүктеме кезінде ішкі температураның қауіпті деңгейге жетпеуіне көмектеседі.

Салқындату әдістері:

- ❖ Белсенді салқындату: Желдеткіштерді немесе сұйықтықпен салқындату жүйелерін пайдалану.

❖ Пассивті салқындату: Үлкен жылуалмастырғыштар (радиаторлар), жылу өткізгіш пластиналар.

❖ Интеллектуалды салқындату: Температураға сәйкес желдеткіш жылдамдығын автоматты түрде реттеу.

Артықшылықтары:

❖ Жүктемені арттырғанда құрылғыны ұзақ жұмыс істеуге мүмкіндік береді.

❖ Құрылғының ішкі бөліктерінің шамадан тыс қызып кетуін тежейді.

Қуатты инверторлар, UPS жүйелері, өнеркәсіптік контроллерлер.

Білімді бекітуге арналған сұрақтар

1. Түрлендіргіштерді қорғаудың негізгі мақсаттары қандай?
2. Асқын кернеудің пайда болу себептерін атаңыз.
3. Варистордың жұмыс принципі мен рөлі қандай?
4. Газразрядты түтікше (GDT) қалай жұмыс істейді және қай жерде қолданылады?
5. Қысқа тұйықталудың негізгі себептері мен салдары қандай?
6. Қысқа тұйықталудан қорғау үшін қандай әдістер мен құрылғылар пайдаланылады?
7. Ток шектеу схемаларының артықшылықтары неде?
8. Автоматтық ажыратқыштардың сақтандырғыштардан айырмашылығы қандай?
9. Шамадан тыс жүктеме дегеніміз не және оның түрлендіргішке әсері қандай?
10. Температуралық қорғаныс пен салқындату жүйелері қалай жұмыс істейді?
11. Түрлендіргіштерді жобалауда қорғаныс әдістерін дұрыс таңдаудың маңызы неде?
12. Түрлендіргіштің сенімділігі мен ұзақ қызмет етуі үшін қандай инженерлік шаралар қажет?

Қорытынды:

Түрлендіргіштерді қорғау – олардың сенімді жұмыс істеуі мен ұзақ қызмет етуінің негізгі шарты. Асқын кернеу, қысқа тұйықталу және шамадан тыс жүктеме сияқты қауіпті жағдайлар құрылғыға айтарлықтай зиян келтіріп, жүйенің толық істен шығуына себеп болуы мүмкін. Сондықтан әрбір түрлендіргіште осы қауіптерге қарсы тиімді қорғаныс әдістері қарастырылуы тиіс.

Асқын кернеуден қорғау варисторлар, газразрядты түтікшелер және стабилизаторлар арқылы жүзеге асырылады. Қысқа тұйықталудан қорғану үшін ток шектеу, электрондық қорғау схемалары және жылдам әрекет ететін сақтандырғыштар қолданылады. Шамадан тыс жүктемеден қорғау жүктеме шектеу, температуралық бақылау, жұмыс уақытын шектеу және тиімді салқындату арқылы қамтамасыз етіледі.

Түрлендіргіштерді қорғау әдістерін дұрыс таңдау және іске асыру тек құрылғының өзін ғана емес, оған қосылған барлық жүйені де сақтайды. Бұл, өз кезегінде, өндірістік процестердің тұрақтылығын арттырып, техникалық және қаржылық шығындардың алдын алуға мүмкіндік береді.

Әдебиеттер тізімі:

1. Rizzoni, G. Introduction to Modern Power Electronics. Wiley, 2015.
2. Batarseh, I. Power Electronics: Devices, Circuits, and Applications. Prentice Hall, 2011.
3. Mohammad, M. Power Converter Circuits: Principles, Modeling, and Control. CRC Press, 2017.
4. Liserre, M., Timbus, A., de Doncker, R. W. Grid Converters for Photovoltaic and Wind Power Systems. Wiley, 2012.
5. Zhang, C., Xu, L. Overcurrent Protection of Power Electronic Converters: Methods and Techniques. Springer, 2014.
6. Raja, L., Jain, R. K. Power Electronics and Motor Drives: Advances and Trends. Elsevier, 2016.
7. IEEE Power Electronics Society. IEEE Transactions on Power Electronics, 2010.
8. Takahashi, I., Noguchi, T. Development of an MPPT Control for Photovoltaic Power Generation System. IEEE Transactions on Industrial Electronics, 2002.
9. Erickson, R. W., Maksimovic, D. Fundamentals of Power Electronics. Springer, 2001.
10. Krause, P. C., Wasynczuk, O., Sudhoff, S. D. Analysis of Electric Machinery and Drive Systems. Wiley, 2013.