

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

5 Дәріс

Тақырыбы: Автономды және желілік инверторлардың принциптері, қолданылуы

Дәрістің мақсаты мен міндеттері:

Дәрістің мақсаты: Автономды және желілік инверторлардың жұмыс принциптері, құрылымдық ерекшеліктері және қолдану салалары туралы жүйелі теориялық білім алу. Жаңартылатын энергия көздерімен жұмыс істейтін инверторлардың техникалық сипаттамаларын түсіндіру арқылы олардың энергетикалық жүйелердегі маңыздылығын ашу. Сонымен қатар, әртүрлі инвертор түрлерінің артықшылықтары мен шектеулерін салыстыра отырып, инверторлық жүйелерді жобалау мен таңдау дағдыларын қалыптастыру.

Міндеттері:

1. Автономды және желілік инверторлардың құрылымы мен жұмыс принципін түсіндіру.
2. Инверторлардың тұрақты токты айнымалы токқа түрлендіру процесін кезең-кезеңімен көрсету.
3. Автономды инверторлардың қолданылу салаларын анықтау және олардың ерекшеліктерін сипаттау.
4. Желілік инверторлардың желімен синхрондалу принципін, MPPT технологиясын және қауіпсіздік жүйелерін түсіндіру.
5. Әр түрлі инвертор түрлерінің артықшылықтары мен шектеулерін салыстыра отырып, жобалау және таңдау дағдыларын қалыптастыру.
6. Студенттердің жаңартылатын энергия көздерімен жұмыс істейтін жүйелерде инверторларды қолдану қабілетін дамыту.

Түйінді ұғымдар мен терминдер

- Инвертор (Inverter) – тұрақты токты (DC) айнымалы токқа (AC) түрлендіретін электр құрылғысы.
- Автономды инвертор (Off-Grid Inverter) – желіге қосылмаған жүйелерде энергияны түрлендіру және тұтынушыны қуаттандыру үшін қолданылады.
- Желілік инвертор (Grid-Tied Inverter) – тұрақты токты желіге синхронды түрде айнымалы токқа айналдырады.
- Толқын түрлендіру (Waveform conversion) – DC-ден AC-ке түрлендірудің бірінші кезеңі.
- PWM (Pulse Width Modulation) – импульс енін модуляциялау әдісі, синусоидалы толқын пішінін түзету үшін қолданылады.
- Фазалық синхрондау (Phase Synchronization) – желілік инвертордың желі кернеуі мен жиілігіне сәйкестенуі.

- Anti-islanding protection – желі өшкен кезде инверторды автоматты ажырату жүйесі.
- MPPT (Maximum Power Point Tracking) – күн немесе жел генераторының максималды қуатты алу үшін жұмыс нүктесін бақылау әдісі.
- Таза синусоидалы сигнал (Pure Sine Wave) – құрылғылардың дұрыс жұмыс істеуін қамтамасыз ететін жоғары сапалы АС толқыны.
- Тиімділік (Efficiency, η) – инвертордың пайдалы әсер коэффициенті, % арқылы.

Дәріс жоспары

Кіріспе

1. Автономды инверторлар
 2. Желілік инверторлар
- Білімді бекітуге арналған сұрақтар
Қорытынды
Әдебиеттер тізімі

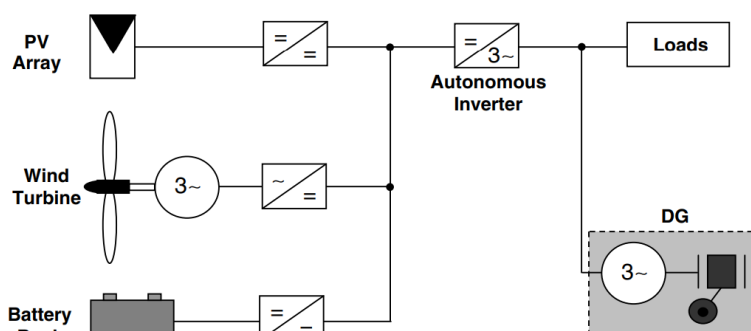
Кіріспе

Инверторлар қазіргі заманғы энергетикада маңызды рөл атқарады, себебі олар тұрақты токты (DC) айнымалы токқа (AC) түрлендіру арқылы әртүрлі құрылғыларды қуаттандыруға мүмкіндік береді. Бұл құрылғылар күн, жел және басқа да жаңартылатын энергия көздерінен алынған энергияны пайдалануға мүмкіндік береді. Инверторлар екі негізгі типке бөлінеді: автономды инверторлар және желілік инверторлар. Әрбір типтің жұмыс принципі, қолданылуы мен ерекшеліктері бар.

1. Автономды инверторлар

1.1. Жұмыс принципі

Автономды инверторлар тұрақты токты (DC) айнымалы токқа (AC) түрлендіру үшін қолданылатын құрылғылар болып табылады. Бұл инверторлар электр энергиясының көздері мен тұтынушы құрылғылары арасындағы байланыс рөлін атқарады. Олар негізінен күн батареялары немесе аккумуляторлардан алынған энергияны айнымалы токқа түрлендіреді, себебі көптеген тұрмыстық және өнеркәсіптік құрылғылар айнымалы токпен жұмыс істейді.



Жұмыс принципі келесі қадамдардан тұрады:

1) Кіріс энергиясын алу: Автономды инверторлар көбінесе күн батареяларынан немесе аккумуляторлардан тұрақты ток алады. Күн жүйесінде күн элементтерінен (фотоэлектрлік панельдер) шығарылатын тұрақты ток инверторға түседі.

2) Тұрақты токты түрлендіру: Инвертор ішіндегі қуат электронды компоненттерінің көмегімен тұрақты токты айнымалы токқа түрлендіреді. Бұл процесте көбінесе екі кезең болады:

❖ Толқын түрлендіру: Тұрақты ток бір деңгейде болатын энергияны айнымалы токтың тербеліс жиілігіне және кернеуіне түрлендіреді.

❖ Толқынның пішінін түзету: Айнымалы токтың синусоидалы толқыны (толқынның идеалды пішіні) жасалады. Бұл процесс әртүрлі схемалар арқылы жүзеге асырылады, соның ішінде импульс ені модуляциясы (PWM) әдісі кеңінен қолданылады.

3) Түзетілген айнымалы токты шығару: Инвертор айнымалы токты өзінің шығысында береді, ол энергияны тұтынушы құрылғыларға немесе жүйелерге жеткізеді.

1.2. Қолданылуы

Автономды инверторлар күнделікті өмірде кеңінен қолданылады, себебі олар тәуелсіз және тұрақты қуат көздерін қамтамасыз ету үшін өте тиімді. Олардың қолданылуы көп түрлі және әр түрлі индустриалды салаларда, тұрмыста және арнайы жағдайларда көрінеді:

1) Күн энергиясы жүйелері: Автономды инверторлар күн батареяларынан алынған тұрақты токты айнымалы токқа түрлендіреді. Бұл технологияны үй шаруашылығында немесе шағын электр станцияларында пайдалануға болады, онда электр энергиясы желіге қосылмайтын жағдайда қажетті болады.

2) Арнайы энергетикалық құрылғылар: Мысалы, кемелер, шалғай аймақтардағы электр энергиясын тұтынатын мобильді құрылғылар мен далалық жұмыстардағы электр жүйелері. Бұл жүйелерде автономды инверторлар мобильді энергия көздері ретінде қолданылып, энергия көздерін тасымалдауға мүмкіндік береді.

3) Ашық далада немесе алыстағы аймақтарда: Ашық жерде немесе электр желісіне қосылмаған аймақтарда тұрақты энергия қажет болғанда автономды инверторлар маңызды рөл атқарады. Мысалы, шалғайдағы ғимараттар мен ауылдарда, табиғатқа жақын аймақтарда.

4) Өнеркәсіптік және ауыл шаруашылығында: Өнеркәсіптік жүйелерде автономды инверторлар суару жүйелерін, экологиялық мониторинг, мал шаруашылығы және басқа ауыл шаруашылығы құралдарын қуаттандыру үшін қолданылуы мүмкін. Әсіресе, энергия көздері шектеулі жерде немесе электр желісіне қолжетімсіз жерлерде.

1.3. Ерекшеліктері

Автономды инверторлардың кейбір техникалық және қолданушылық ерекшеліктері мыналар:

1) Өздігінен жұмыс істеу мүмкіндігі: Автономды инверторлар, әсіресе күн немесе жел энергиясымен қамтамасыз етілетін жүйелерде, тікелей сыртқы қуат көздеріне тәуелді болмай жұмыс істей алады. Бұл оларды толық автономды жүйелерде қолдануға мүмкіндік береді.

2) Энергия көзімен тікелей байланыссыз жұмыс істеу: Бұл инверторлар аккумуляторлармен немесе басқа энергия сақтау құрылғыларымен біріктірілуі мүмкін. Бұл жағдайда олар тек энергияны түрлендіріп қана қоймай, сондай-ақ қуатты сақтау мен қажет болған кезде пайдалануға мүмкіндік береді.

3) Таза синусоидалы толқындар: Инверторлар энергияны түрлендірген кезде айнымалы токтың синусоидалы толқындарын шығаруы маңызды, себебі бұл көптеген тұрмыстық және өнеркәсіптік құрылғыларға қажетті кернеу мен жиілікті береді. Таза синусоидалы толқындардың артықшылығы – олар құрылғыларды зақымданудан сақтайды және энергия тұтыну тиімділігін арттырады.

4) Жоғары тиімділік: Қазіргі заманғы автономды инверторлар, әсіресе қуат түрлендірудің жоғары тиімділігімен ерекшеленеді, бұл энергия шығынын азайтады және жүйенің жұмыс уақытын ұзартады. Әдетте, автономды инверторлар 90-97% аралығында тиімділік көрсетеді.

5) Қоршаған ортаға әсері: Әдетте автономды инверторлар экологиялық таза энергия көздерімен жұмыс істейді (күн, жел), сондықтан олар экологиялық тұрғыдан тиімді. Олар энергия тұтынуды төмендетеді және көміртек ізін азайтады.

6) Кешенді бақылау және қорғаныс жүйелері: Қазіргі автономды инверторларда тұрақты ток пен айнымалы ток арасында үздіксіз қадағалау жүргізіледі. Бұл құрылғыларда кернеу, ток және жиілік мониторингі бар, олар жүйенің қалыпты жұмысын қамтамасыз етеді. Сондай-ақ, инверторда қысқа тұйықталуға немесе артық жүктемеге қарсы қорғаныс механизмдері болуы мүмкін.

1.4. Техникалық шешімдер мен компоненттер

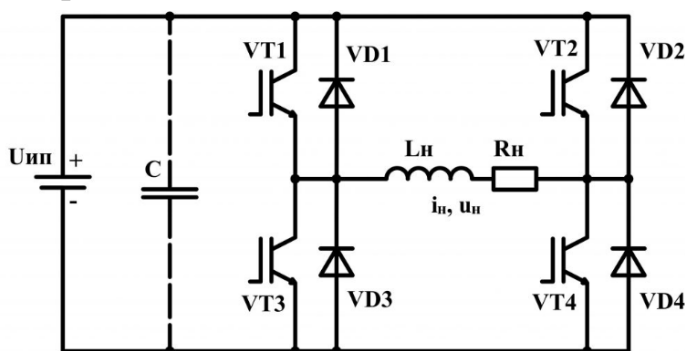
Автономды инверторлар бірнеше негізгі компоненттерден тұрады:

1) Тұрақты ток көздері: Күн панельдері, аккумуляторлар немесе басқа энергия сақтау құрылғылары.

2) DC-AC түрлендіргіштері: Қуатты түрлендіру үшін негізгі компоненттер, олар жоғары жиілікті қуат қосқыштарымен, трансформаторлармен және сүзгілермен бірге жұмыс істейді.

3) Қорғаныс схемалары: Қысқа тұйықталудан, артық жүктемеден және жоғары температурадан қорғауға арналған жүйелер.

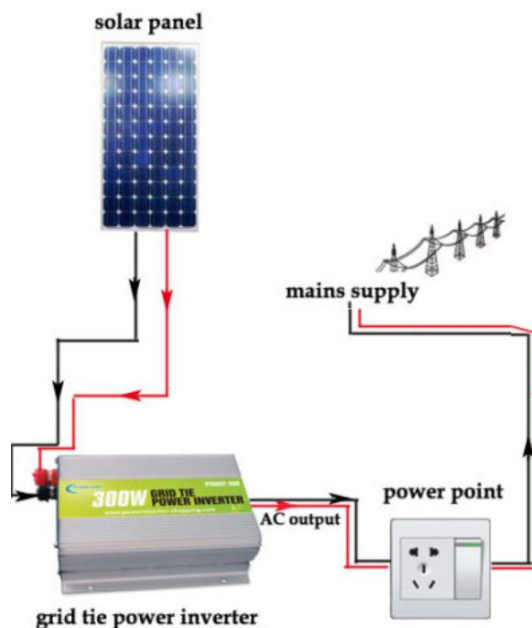
4) Бақылау және басқару жүйелері: Электронды басқару жүйелері, инвертордың жұмысын реттейді, оның энергия шығыны мен тиімділігін бақылауға мүмкіндік береді.



2. Желілік инверторлар

2.1. Жұмыс принципі

Желілік инверторлар (grid-tied немесе grid-connected inverters) – бұл тұрақты токты (DC) айнымалы токқа (AC) түрлендіріп, оны жалпы электрлік желіге беруге арналған инвертор түрі. Олар жаңартылатын энергия көздері (мысалы, күн батареялары немесе жел турбиналары) арқылы өндірілген энергияны мемлекеттік немесе аймақтық электр желісіне бағыттауға мүмкіндік береді.



Желілік инвертордың негізгі жұмыс принципі келесі кезеңдерден тұрады:

1) DC энергиясын қабылдау: Күн батареялары немесе жел генераторы арқылы өндірілген тұрақты ток инвертордың кірісіне беріледі.

2) Айнымалы токқа түрлендіру: Инвертор ішіндегі қуат түрлендіргіш схемасы (әдетте MOSFET немесе IGBT негізінде) тұрақты токты айнымалы токқа айналдырады.

3) Фазалық синхрондау (синхронизация): Желілік инвертор желінің кернеуі мен жиілігіне сәйкестеніп жұмыс істеуі тиіс. Бұл үшін инвертор желідегі сигналмен нақты синхрондалады:

- ❖ Кернеу амплитудасы (мысалы, 220 В),
- ❖ Жиілік (мысалы, 50 Гц),
- ❖ Фаза.

4) Энергияны желіге беру: Айнымалы ток желі параметрлеріне сәйкес болғаннан кейін, инвертор арқылы өндірілген электр энергиясы тұтынушыға ғана емес, керісінше, қажет болған жағдайда артық қуат тікелей электр желісіне беріледі.

5) MPPT (Maximum Power Point Tracking) технологиясы**: Желілік инверторларда MPPT контроллері қолданылады, бұл күн панельдері немесе жел генераторлары өндіріп жатқан қуатты тиімді пайдалану үшін жұмыс нүктесін тұрақты қадағалап отырады.

2.2. Қолданылуы

Желілік инверторлар кең ауқымды қолдану салаларында кездеседі, себебі олар электр энергиясын орталық жүйеге бағыттап, тұтыну мен өндіруді теңестіреді:

1) Жаңартылатын энергия жүйелері:

❖ Күн энергетикасы жүйелері: Фотоэлектрлік модульдер (PV жүйелер) арқылы өндірілген токты желіге беру.

❖ Жел энергетикасы: Кішігірім жел генераторлары мен турбиналарда, әсіресе үй жүйелерінде немесе фермерлік шаруашылықтарда.

2) Тұрмыстық жүйелер:

- ❖ Үй шатырындағы күн батареяларынан алынған қуатты желіге жіберу.
- ❖ Электр тұтынуын азайту және артығын сату арқылы коммуналдық төлемдерді төмендету.

3) Өнеркәсіптік және коммерциялық жүйелер:

- ❖ Қуатты үлкен көлемде өндіретін және оны ішкі өндірісте қолданумен қатар желіге өткізетін кәсіпорындарда.

4) Энергияны желіге қайтару жүйелері (Net Metering):

- ❖ Егер тұтынушы өндірген энергияны пайдаланбай, желіге қайтарса, арнайы есептегіштер арқылы кері есептеу жүргізіледі және бұл электр қуатының ақысын азайтуға мүмкіндік береді.

2.3. Ерекшеліктері

Желілік инверторлардың автономды инверторлармен салыстырғанда өзіндік ерекшеліктері бар, олар негізінен желіге қосылған ортада тұрақтылық пен қауіпсіздікті қамтамасыз етуге бағытталған:

1) Желілік синхрондау мүмкіндігі:

- ❖ Инвертор желідегі айнымалы токпен (фаза, жиілік және кернеу) синхронды жұмыс істеуі тиіс.

- ❖ Бұл инвертордың кернеуді өздігінен емес, желідегі мәнге сәйкестендіріп шығаруын қамтамасыз етеді.

2) Таза синусоидалық сигнал:

- ❖ Желілік инверторлар желіде кернеудің бұрмалануын болдырмау үшін өте жоғары сапалы (түзетілген) синусоидалық толқындарды шығарады.

- ❖ Бұл электр құрылғыларының дұрыс әрі қауіпсіз жұмыс істеуін қамтамасыз етеді.

3) Анти-айналымдық қорғау (Anti-islanding protection):

- ❖ Егер электр желісінде ақау немесе өшірілу болса, инвертор автоматты түрде желіден ажыратылады.

- ❖ Бұл қауіпсіздік шарасы электр желісінің қызметкерлерін электр тоғынан қорғауға арналған.

4) Энергияны басқару жүйелері:

- ❖ Желілік инверторлар деректерді қадағалап, нақты уақыттағы өндіріс пен тұтыну туралы ақпарат бере алады.

- ❖ Wi-Fi немесе Ethernet арқылы бұл деректер қашықтан бақылануы мүмкін.

5) Қайтарылатын энергияның тіркелуі:

- ❖ Жүйеге қосылған арнайы екі бағытты есептегіштер (bidirectional meters) өндірушінің желіге қанша қуат бергенін және қаншасын тұтынғанын нақты тіркейді.

6) Жоғары тиімділік:

- ❖ Қазіргі заманғы желілік инверторлардың пайдалы әсер коэффициенті (ПӘК) 95–99% жетеді.

- ❖ Бұл тұрақты токты түрлендіру кезінде минималды шығындарды қамтамасыз етеді.

7) Модульдік және масштабталатын құрылым:

энергияны тиімді пайдалануға және оны орталық желіге интеграциялауға мүмкіндік береді. Желілік жүйелерде синхрондау, жиілікті бақылау, және қауіпсіздік жүйелерінің болуы – бұл инверторлардың күрделі әрі интеллектуалды құрылғылар екендігін көрсетеді.

Жалпы, инверторлар – энергия тиімділігін арттыру, экологиялық таза энергия көздерін қолдану және тұтынушылардың энергетикалық тәуелсіздігін қамтамасыз ету жолында маңызды құрал. Бүгінгі таңда олардың қолдану аясы күннен-күнге кеңейіп келеді, бұл технологиялық прогресс пен жасыл энергетикаға көшудің айқын белгісі болып табылады.

Әдебиеттер тізімі:

1. Жуматаев Ж.А., Асылбеков А.Ж. Қуатты түрлендіргіштер және инверторлар. – Алматы: КазҰТЗУ, 2019. – 215 б.
2. Мухамеджанов Е.К. Жаңартылатын энергия көздері. – Алматы: Эверо, 2020. – 180 б.
3. Николаев Д.А. Инверторы: теория, схемы, применение. – Москва: Энергия, 2018. – 272 с.
4. Erickson R.W., Maksimovic D. Fundamentals of Power Electronics. – 2nd ed. – Springer, 2001. – 850 p.
5. Krauter S. Solar Electric Power Generation: Photovoltaic Energy Systems. – Springer, 2006. – 290 p.
6. Blaabjerg F., Ma K. Power Electronics for Renewable Energy Systems – IEEE Transactions on Industrial Applications, 2013.
7. Villalva M.G., Gazoli J.R. Comprehensive Approach to Modeling and Simulation of Photovoltaic Arrays – IEEE Transactions on Power Electronics, 2009.
8. IEEE Std 1547-2018 – Standard for Interconnection and Interoperability of Distributed Energy Resources with Associated Electric Power Systems Interfaces.
9. Datasheets and application notes: SMA, Huawei, Victron Energy, Fronius – Grid-Tied and Off-Grid Inverter Technical Manuals, 2020–2024.
10. Kazakhstan Renewable Energy Association (KAZREN) – Жаңартылатын энергия туралы ақпараттық бюллетеньдер, 2022–2024.