

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

12 Дәріс. Қуат көздері және кернеу тұрақтандырғыштар

Дәрістің мақсаты: Қуат көздері мен кернеу тұрақтандырғыштардың құрылымын, жұмыс істеу принципін және олардың электрондық құрылғылардағы рөлін түсіндіру; олардың түрлерін (сызықты және импульстік) салыстырып, артықшылықтары мен кемшіліктерін ажырату; сонымен қатар қуат көздерін жобалау кезінде ескерілетін негізгі параметрлерді талдап, нақты қолдану салаларында тиімді пайдалану тәсілдерін меңгеру.

1. Қуат көздерінің маңызы

Аналогты электроникада дәлдік пен тұрақтылық – негізгі талаптардың бірі. Операциялық күшейткіштер, сілтемелік кернеу көздері, аналогты датчиктер және күшейткіш каскадтар сияқты құрылғылардың жұмысы тікелей қорек көзінің сапасына тәуелді. Қуат көзі – бұл аналогты схемалардың жұмысын қамтамасыз ететін негізгі элемент, себебі ол барлық белсенді компоненттерге керекті тұрақты токты (DC) және кернеуді береді.

Электр желісінен алынатын айнымалы ток (AC) тікелей аналогты құрылғыларға қолдануға жарамайды, себебі ол жиілікке және амплитудаға байланысты өзгеріп тұрады. Сондықтан қуат көзі бұл айнымалы токты сүзгілеу, түзету және тұрақтандыру арқылы қажетті тұрақты токқа түрлендіреді. Аналогты схемаларда әсіресе кернеу тұрақтылығы аса маңызды – тіпті кернеудің шағын ауытқуы сигналдың бұрмалануына, өлшеу дәлдігінің төмендеуіне және күшейткіш коэффициентінің өзгеруіне алып келуі мүмкін.

Сонымен қатар, аналогты құрылғылар жиі кіші кернеу диапазонында және шуылға (шу, пульсация, кедергілер) сезімтал жағдайда жұмыс істейді. Осы себептен, қуат көзінің шу деңгейінің төмен болуы, сүзгілеу сапасы және шығыс кернеудің дәлдігі аса маңызды рөл атқарады. Мысалы, төменгі шу деңгейлі ± 15 В симметриялы қорек көздері операциянды күшейткіштермен жұмыс істейтін аналогты сигналдық жолдарда кеңінен қолданылады.

2. Қуат көздерінің түрлері

Электрондық құрылғылардың ерекшелігіне байланысты қуат көздерінің бірнеше түрі қолданылады. Аналогты схемаларда қорек көзінің тұрақтылығы, шуыл деңгейі және кернеудің дәлдігі өте маңызды болғандықтан, олардың түрлері мен құрылымы мұқият таңдалады.

2.1 Айнымалы токты тұрақты токқа түрлендіруші (AC-DC Converter)

Бұл типті қуат көздері ең кең таралған болып табылады және олар стационарлы құрылғыларда, зертханалық жабдықтарда, аналогты күшейткіш жүйелерінде жиі қолданылады. Осындай түрлендіргіш төрт негізгі блоктан тұрады:

❖ Трансформатор

Айнымалы ток көзінен (көбінесе 220 В, 50 Гц) келетін жоғары кернеуді қажетті деңгейге дейін төмендетеді немесе, кей жағдайда, жоғарылатады. Сонымен қатар, трансформатор galvanic isolation (электрлік оқшаулау) қамтамасыз етеді, бұл қауіпсіздік пен шуылдың азаюына ықпал етеді. Аналогты құрылғыларда

трансформатор арқылы $\pm 12\text{ В}$, $\pm 15\text{ В}$ немесе басқа да кернеулерге түрлендіру жиі қажет.



❖ Түзеткіш (Rectifier)

Айнымалы токты бір бағытта ағатын токқа (яғни, тұрақты токқа жақын) айналдырады. Екі негізгі түрі қолданылады:

- Жарты толқынды түзеткіш – тек бір жарты периодты қолданады, тиімділігі төмен, бірақ қарапайым.
- Толық толқынды түзеткіш – екі жарты периодты да пайдаланып, жоғары тиімділік береді (мысалы, көпірлік түзеткіш – Graetz схемасы). Түзеткіштің нәтижесінде шыққан ток пен кернеуде пульсациялар (айнымалылық) сақталады.



❖ Сүзгі (Filter)

Сүзгілеу тізбегі кернеудегі пульсацияны азайтады және оны мүмкіндігінше тұрақты токқа жақындатады. Ең қарапайым сүзгі – үлкен сыйымдылықтағы конденсатор, ол пульсацияны "жұтып", кернеуді тегістейді. Күрделі аналогты құрылғыларда LC немесе RC сүзгілері де қолданылады.



❖ Стабилизатор (Regulator)

Бұл блок сүзгіден кейінгі кернеуді тұрақты мәнде ұстауға арналған. Кіріс кернеуі өзгерсе немесе жүктеме ауытқыса да, шығыс кернеу өзгермей сақталуы керек.

- Сызықты стабилизаторлар (мысалы, 78XX, 79XX, LM317) – аналогты

схемалар үшін жиі қолданылады, себебі олар аз шу шығарады. – Импульстік стабилизаторлар – жоғары тиімділікке ие, бірақ жиіліктік шу тудыруы мүмкін, сондықтан аналогты тізбектерде тек қажет жағдайда ғана пайдаланылады.

Стабилизатор аналогты құрылғылардың дәл және сенімді жұмыс істеуі үшін өте маңызды.



2.2 Батареялар мен аккумуляторлар

Бұл – химиялық энергияны тікелей электр энергиясына айналдыратын өздігінен жұмыс істейтін қуат көздері. Олар көбіне портативті немесе автономды жүйелерде (мысалы, датчик модульдері, портативті аналогты осциллографтар, өлшеу құралдары) қолданылады.

- ❖ Батареялар (бір реттік) – зарядталмайтын, бір рет қолданылатын қуат көздері. Мысалы, AA, AAA, 9V батареялар.

- ❖ Аккумуляторлар (қайта зарядталатын) – бірнеше рет қолдануға болады, олардың ішіне Li-Ion, NiMH және т.б. жатады.



Аналогты құрылғыларда қолданған кезде келесі шектеулерді ескеру қажет:

- ❖ Кернеу деңгейі шектеулі – мысалы, бір аккумулятор 3.7 В береді, бұл ± 15 В қажет ететін аналогты схемалар үшін жеткіліксіз болуы мүмкін.

- ❖ Сыйымдылығы шектеулі – ұзақ уақыт жұмыс істеу үшін сыйымдылығы жоғары элементтер немесе арнайы қуат басқару тізбектері қажет.

- ❖ Тұрақты кернеу қажет болса, батареямен жұмыс істейтін жүйеге арнайы кернеу тұрақтандырғыштар немесе DC-DC түрлендіргіштер қажет.

Сонымен қатар, аккумулятор разрядталу кезінде кернеуі төмендейді, бұл аналогты схемаларда қателер мен бұрмалануларға әкелуі мүмкін. Сондықтан батареямен қоректенетін аналогты құрылғыларда кернеу бақылауы және қуат тиімділігі маңызды орын алады.

3. Кернеу тұрақтандырғыштар (Voltage Regulators)

Кернеу тұрақтандырғыш – бұл электрондық құрылғылардың сенімді әрі дұрыс жұмыс істеуі үшін тұрақты шығыс кернеуін қамтамасыз ететін құрылғы. Ол кіріс кернеуі өзгергенде немесе жүктеме тоқы ауытқығанда да, шығыс кернеудің өзгерісін ең аз шамаға дейін шектеп отырады. Аналогты схемаларда, әсіресе күшейткіштерде, сілтемелік кернеу тізбектерінде, аналогты-цифрлық түрлендіргіштерде кернеу тұрақтылығы өте маңызды, өйткені тіпті кішігірім кернеу ауытқуы да өлшеу дәлдігіне, күшейткіштің жұмыс режиміне немесе сигналдың сапасына айтарлықтай әсер етеді.

3.1 Тұрақтандырғыштардың негізгі міндеттері

Кернеу тұрақтандырғыштар тек кернеуді тұрақты ұстап қана қоймай, сонымен қатар электрондық жүйелердің сенімділігін, ұзақмерзімділігін және дәлдігін қамтамасыз ететін маңызды элементтер болып табылады. Олардың негізгі міндеттері төмендегідей:

- ❖ Электрондық схемалардың жұмыс сенімділігін арттыру

Кернеудің тұрақты болуы схемадағы транзисторлар мен интегралды сұлбалардың оңтайлы жұмыс істеу нүктесін қамтамасыз етеді. Мысалы, операциондық күшейткіш симметриялы ± 15 В кернеуді қажет етуі мүмкін. Егер бұл кернеу өзгерсе, күшейту коэффициенті немесе кіріс/шығыс шектер бұзылады. Тұрақтандырғыш осы ауытқуды жойып, аналогты құрылғының дәл және қайталанатын нәтижелер беруін қамтамасыз етеді.

- ❖ Жабдықтың зақымдануын болдырмау

Қуат көзіндегі кернеудің күрт көтерілуі немесе «кернеу шоқылары» (spikes) электрондық компоненттердің қызып кетуіне, диодтардың тесіліп кетуіне немесе микросхемалардың күйіп кетуіне алып келуі мүмкін. Тұрақтандырғыштар бұл жағдайларды болдырмауға көмектеседі, тіпті кейбіреулерінде артық кернеуден қорғайтын тізбектер (мысалы, crowbar схемасы немесе overvoltage protection) орнатылады.

- ❖ Жиілік пен деңгей тұрақтылығын қамтамасыз ету

Аналогты сигнал өңдеу құрылғыларында – мысалы, осцилляторлар мен фильтрлерде – қорек кернеуінің тұрақтылығы тікелей генерацияланатын жиіліктің дәлдігіне әсер етеді. Жиіліктің дрейфі (ағымдағы уақыт ішінде өзгеруі) жиі кернеудің тұрақсыздығына байланысты болады. Осы себепті, аналогты сигналдарды өңдейтін жүйелерде кернеу тұрақтандырғыштар жиілік және амплитуда тұрақтылығын қамтамасыз етеді.

4. Кернеу тұрақтандырғыштардың түрлері

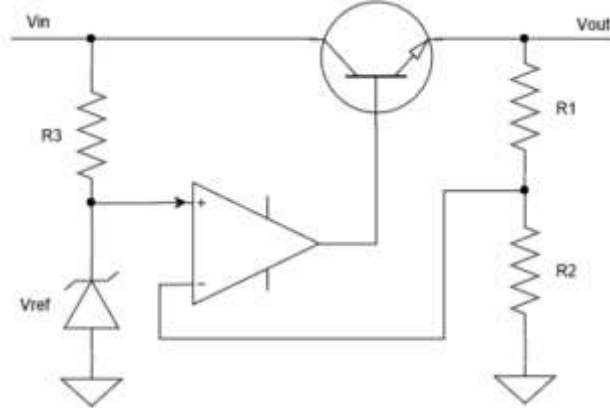
Кернеу тұрақтандырғыштар жұмыс істеу принципі мен құрылымына қарай сызықты (linear) және импульстік (switching) болып екі негізгі түрге бөлінеді. Әрқайсысының өзіндік артықшылықтары мен кемшіліктері бар және нақты қолдану салаларына байланысты таңдалады. Аналогты электроникада көбінесе шу деңгейі төмен және қарапайым құрылымды тұрақтандырғыштар талап етілетіндіктен, сызықты тұрақтандырғыштар жиі қолданылады. Алайда қуат тиімділігі қажет болғанда немесе кіріс-шығыс кернеу айырмасы жоғары болғанда импульстік тұрақтандырғыштар да қолданылады.

4.1 Сызықты тұрақтандырғыштар (Linear Regulators)

Жұмыс

принципі:

Сызықты тұрақтандырғыштар кіріс кернеуінен қажетті тұрақты кернеуді алу үшін артық қуатты жылуға айналдырып, тікелей кернеу түсуін қамтамасыз етеді. Бұл ретте олар транзисторды (немесе шығару элементін) сызықты режимде жүргізіп, оның көмегімен кернеуді реттейді.



Артықшылықтары:

- ❖ Қарапайым құрылым: қосымша күрделі компоненттерді қажет етпейді, схемаларда оңай қолданылады.

- ❖ Шу аз (low noise): жиілік бойынша жұмыс істемейтіндіктен, аналогты сигналдар үшін электромагниттік кедергі туғызбайды. Сондықтан дәл өлшеу, аудио немесе күшейткіш жүйелерде жиі пайдаланылады.

- ❖ Жылдам жауап беру: кернеудің ауытқуына тез жауап береді.

Кемшіліктері:

- ❖ ПӘК төмен (пайдалы әсер коэффициенті): кіріс пен шығыс кернеуі арасындағы айырма жылу ретінде ысырап болады. Бұл әсіресе, кіріс кернеу шығыс кернеуден едәуір жоғары болған жағдайда айқын байқалады.

- ❖ Жылулық мәселелер: көп қуат жылуға айналғандықтан, қыздыруды азайту үшін қосымша радиаторлар қажет болуы мүмкін.

- ❖ Тек төмендету режимі: кіріс кернеуі шығыс кернеуден жоғары болуы тиіс (boost жасау мүмкін емес).

Мысалдар:

- ❖ 78XX сериялы тұрақтандырғыштар – үш терминалды тұрақты кернеу көздері. Мысалы, 7805 – 5 В тұрақты кернеу береді, 7812 – 12 В.

- ❖ 79XX сериясы – теріс кернеу тұрақтандырғыштары (мысалы, 7905 – -5 В).

- ❖ LM317 – реттелетін шығыс кернеуі бар тұрақтандырғыш (1.25 В–37 В диапазонында). Бұл құрылғы внешний резисторлар арқылы кернеуді икемді түрде орнатуға мүмкіндік береді.

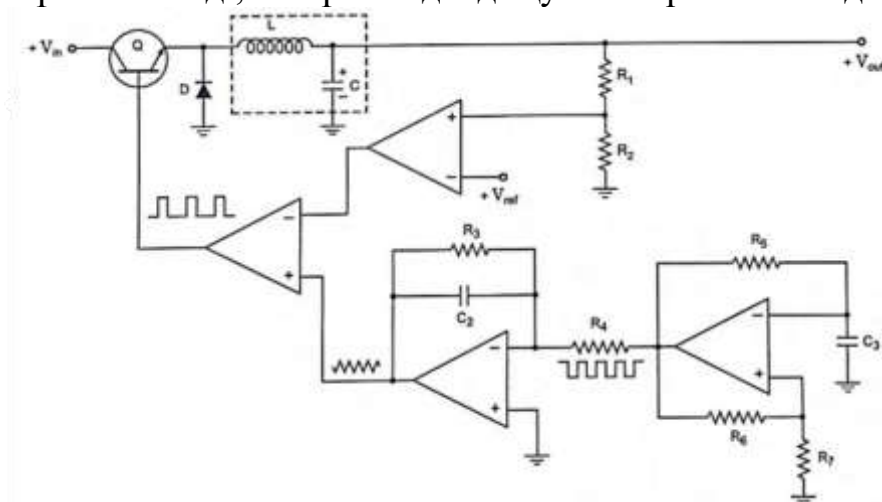
4.2 Импульстік тұрақтандырғыштар (Switching Regulators / SMPS)

Жұмыс

принципі:

Импульстік тұрақтандырғыштар қуатты басқарылатын кілт (мысалы, MOSFET) арқылы жоғары жиілікте қосу/өшіру арқылы түрлендіреді. Жиналған энергия индуктивтілік пен сыйымдылық элементтері арқылы

шығуға беріледі. Бұл әдіс өте тиімді, себебі кілт ашық немесе жабық күйде болғанда ғана жұмыс істейді, ал бұл жағдайда қуат ысырап аз болады.



Артықшылықтары:

- ❖ Жоғары ПӘК (85–95%) – қуат шығыны аз, қызу төмен. Бұл батареямен жұмыс істейтін құрылғылар үшін аса маңызды.
- ❖ Кіріс пен шығыс кернеудің кең диапазоны: бір құрылғыда кіріс кернеу төмен болса да, шығыс кернеуді көтеруге немесе түсіруге болады.
- ❖ Кішірек көлем: жоғары жиілікте жұмыс істейтіндіктен, қолданылатын индуктивтілік және сыйымдылық компоненттері ықшам болады.

Кемшіліктері:

- ❖ Күрделі құрылым: басқару схемалары мен қорғау тізбектері қажет. Микроконтроллер немесе кері байланыс схемасы жиі пайдаланылады.
- ❖ Электромагниттік кедергілер (EMI): жоғары жиілікте жұмыс істеуі себепті, арнайы сүзгілер немесе экрандау қажет болуы мүмкін.
- ❖ Аналогты жүйелерге енгізу қиынырақ: кейде шулы ортада жұмыс істеуі аналогты сигнал сапасына әсер етеді.

Негізгі түрлері:

- ❖ Buck Converter (төмендеткіш): кіріс кернеуді төмендетіп, тиімді шығу кернеуін қамтамасыз етеді.
- ❖ Boost Converter (жоғарылатқыш): шығыс кернеу кіріс кернеуден жоғары болатын кезде қолданылады.
- ❖ Buck-Boost Converter: қажетті жағдайға байланысты кернеуді әрі төмендетуге, әрі жоғарылатуға мүмкіндік береді – бұл кіріс кернеу өзгермелі жағдайда өте пайдалы.
- ❖ SEPIC, Flyback, Push-pull – көп кіріс/шығыс конфигурацияларды қажет ететін жүйелерге арналған күрделірек нұсқалар.

5. Қолдану мысалдары

Қуат көздері мен кернеу тұрақтандырғыштар түрлі электрондық құрылғыларда олардың техникалық талаптарына сай таңдалып қолданылады. Әрбір құрылғы нақты кернеу мен ток деңгейін талап ететіндіктен, дұрыс қуат көзі мен тұрақтандырғышты таңдау құрылғының сенімді әрі тиімді жұмысын қамтамасыз етеді. Төменде бірнеше нақты мысал келтірілген:

❖ Микроконтроллерлер: Көптеген микроконтроллерлер 5 В немесе 3.3 В кернеумен жұмыс істейді. Егер қуат көзі ретінде стандартты 5 В USB порты пайдаланылса, бірақ кіріс кернеуі одан жоғары (мысалы, 9 В немесе 12 В) болса, онда 7805 сияқты сызықты тұрақтандырғыш қолданылады. Алайда, егер қуат тиімділігі маңызды болса немесе құрылғы батареямен жұмыс істесе, онда импульстік тұрақтандырғыш (мысалы, Buck Converter) пайдаланылады.

❖ Лазерлік диодтар: Бұл құрылғылар өте сезімтал және кернеуден гөрі токтың тұрақтылығы маңызды. Мұндай жағдайда LM317 чипі ток тұрақтандырғыш ретінде пайдаланылады. Ол реттелетін резистор арқылы қажетті ток мәнін ұстап тұруға мүмкіндік береді, бұл лазердің қауіпсіз жұмыс істеуін қамтамасыз етеді.

❖ Ноутбук адаптері: Көптеген ноутбуктар 220 В айнымалы ток желісінен қуат алады, бірақ ішкі схемалар 19 В тұрақты токпен жұмыс істейді. Бұл жағдайда импульстік қуат көзі (SMPS – Switched Mode Power Supply) қолданылады. Мұндай адаптерлер тиімділігі жоғары, әрі ықшам, оларда кіріс кернеудің ауытқуына қарсы қорғаныс пен кернеу тұрақтылығын қамтамасыз ететін күрделі басқару схемалары бар.

Осылайша, нақты құрылғыға байланысты қуат көзі мен кернеу тұрақтандырғыш түрі дұрыс таңдалуы тиіс, себебі олар құрылғының сенімділігін, энергия тиімділігін және ұзақ жұмыс істеу мерзімін тікелей анықтайды.

Қорытынды:

Қуат көздері мен кернеу тұрақтандырғыштар – аналогтық электрониканың ажырамас құрамдас бөліктері болып табылады. Электрондық құрылғылардың дұрыс және сенімді жұмыс істеуі, көбінесе, осы элементтердің сапасына, тиімділігіне және дұрыс таңдалуына байланысты. Айнымалы токты тұрақты токқа түрлендіру, пульсацияны азайту, қажетті кернеу мен токты тұрақтандыру – бұл процестердің барлығы заманауи электрондық жүйелердің негізін қалайды. Сызықты және импульстік тұрақтандырғыштардың әрқайсысының өзіне тән артықшылықтары мен шектеулері бар, сондықтан нақты қолдану саласына байланысты ең тиімді шешімді таңдай білу – болашақ инженерлер үшін аса маңызды. Бұл тақырыпты терең меңгеру арқылы студенттер аналогтық құрылғылардың қуаттандырылуын жобалау және оңтайландыру қабілеттерін дамытады.

Әдебиеттер тізімі:

1. Morris, S. (2014). Introduction to Power Electronics. Prentice Hall.
2. Horan, S., & Erickson, R. (2011). Fundamentals of Power Electronics. Springer.
3. Kuo, B. C. (2015). Automatic Control Systems. Wiley.
4. Horowitz, P., & Hill, W. (2015). The Art of Electronics. Cambridge University Press.
5. Chryssostomidis, G. (2002). Switching Power Supplies: Design and Troubleshooting. Newnes.

6. Nakamura, K., & Kurokawa, M. (2000). Linear and Switching Voltage Regulators: Analysis and Design. Wiley-Interscience.
7. Singh, M., & Bhatnagar, D. (2012). Power Electronics: Devices, Circuits, and Applications. Prentice Hall.
8. Rashid, M. H. (2013). Power Electronics Handbook. Elsevier.
9. Stevenson, W. D. (2013). Electric Power Systems. Wiley.
10. Teymour, M. (2019). Linear Power Supplies: Theory and Design. CRC Press.