

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

6 Дәріс. Тұрақты кернеу түрлендіргіштері. Төмендеткіш және жоғарылатқыш түрлендіргіштердің жұмыс принциптері.

Дәрістің мақсаты: Тұрақты кернеу түрлендіргіштерінің негізгі түрлерін – төмендеткіш (Buck) және жоғарылатқыш (Boost) түрлендіргіштердің құрылымын, жұмыс істеу принциптерін және қолданылу салаларын түсіндіру, сонымен қатар олардың жұмысының физикалық және техникалық негіздерін меңгеру.

1. Кіріспе

Тұрақты кернеу түрлендіргіштері (DC-DC converters) – бұл тұрақты ток кернеуін бір деңгейден екінші деңгейге түрлендіретін электрондық құрылғылар. Олар қуат тиімділігін арттыру, құрылғыларды автономды қоректендіру және әртүрлі электрондық жүйелердің қажетті кернеу деңгейлерін қамтамасыз ету үшін кеңінен қолданылады.

2. Тұрақты кернеу түрлендіргіштерінің түрлері

Тұрақты ток (DC) түрлендіргіштері – бұл бір тұрақты кернеу деңгейін екінші деңгейге түрлендіретін электрондық құрылғылар. Олар көбінесе автономды қорек көздерінде (мысалы, аккумуляторлар, күн панельдері), электрондық құрылғыларда, телекоммуникацияда, өнеркәсіптік автоматикада және көлікте қолданылады.

Екі негізгі түрі бар:

Төмендеткіш түрлендіргіш (Buck Converter)

→ Шығыс кернеуі кіріс кернеуінен төмен

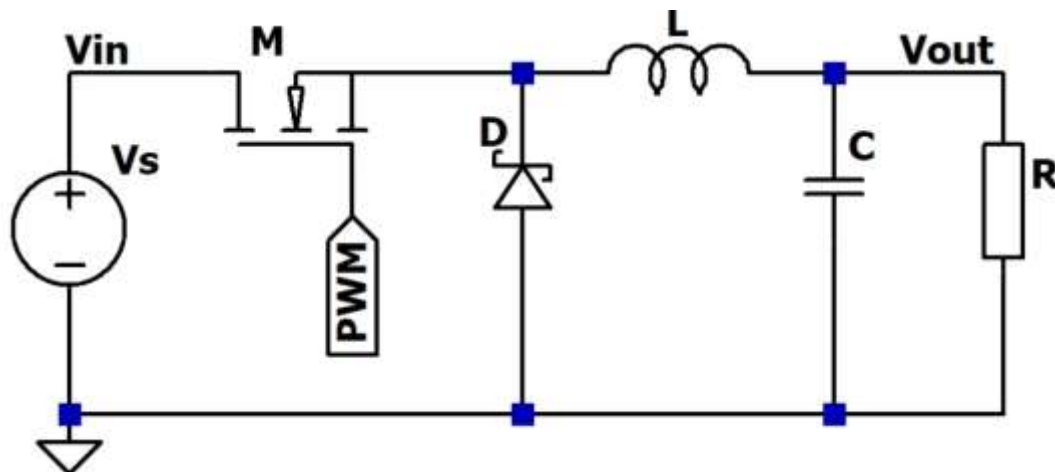
Жоғарылатқыш түрлендіргіш (Boost Converter)

→ Шығыс кернеуі кіріс кернеуінен жоғары

3. Төмендеткіш түрлендіргіш (Buck Converter)

Жұмыс принципі:

Buck Converter — тұрақты токтың кернеуін төмендету үшін қолданылатын импульстік түрлендіргіш. Оның негізгі мақсаты — жоғары кіріс кернеуін қажетті деңгейге дейін азайтып, сонымен қатар жоғары тиімділікті сақтау.



Негізгі құрылымдық элементтері:

1) Кілт (MOSFET, BJT немесе IGBT):

- Кернеуді индуктивке қосып-өшіру қызметін атқарады.
- Импульстік түрде ашылып-жабылады (PWM — импульс ені бойынша модуляция арқылы).

2) Диод (еркін жүретін ток үшін):

- Кілт жабық кезде индуктивтегі токты жүктеме арқылы өткізу үшін қолданылады.

3) Индуктивтік (L):

- Электромагниттік өріспен энергияны жинайды және оны жүктемеге біркелкі таратады.

4) Конденсатор (C):

- Шығыс кернеуін тегістеп, пульсацияны азайтады.

Жұмыс циклі (екі фазалы жұмыс режимі):

Жұмыс циклі (Duty Cycle) — бұл кілттің жабық күйде болу уақытының жалпы цикл уақытына қатынасы:

$$D = t_{ON} / T$$

1) Кілт жабық кезде (ON фазасы):

- ❖ MOSFET қосылады (тұйықталады).
- ❖ Кіріс кернеуі индуктивке тікелей беріледі.
- ❖ Индуктив токты жинақтайды, яғни энергияны магнит өрісі түрінде сақтайды.
- ❖ Жүктемеге ток индуктив арқылы өтеді.
- ❖ Шығыс кернеуінің мәні кіріс кернеуден аздау болса да, тұрақты болып қалады.

2) Кілт ашық кезде (OFF фазасы):

- ❖ MOSFET ажыратылады.
- ❖ Индуктив кернеу көзі сияқты жұмыс істей бастайды.
- ❖ Диод арқылы жүктемеге энергия береді.
- ❖ Бұл фаза кезінде индуктив баяу разрядталады, бірақ жүктемеге үздіксіз қуат береді.

Шығыс кернеуі:

Орташа шығыс кернеуі жұмыс цикліне пропорционал:

$$V_{out} = D \cdot V_{in}$$

мұндағы:

- ❖ V_{out} — шығыс кернеуі,
- ❖ V_{in} — кіріс кернеуі,
- ❖ D — жұмыс циклі ($0 < D < 1$).

Мысал:

- ❖ Егер кіріс кернеуі $V_{in} = 12$ В, ал жұмыс циклі $D = 0.5$ (яғни, кілт цикл уақытының жартысын жабық күйде өткізсе), онда:

$$V_{out} = 0.5 \cdot 12 = 6 \text{ В}$$

Режимдері:

- 1) Үздіксіз ток режимі (Continuous Conduction Mode, CCM):
 - Индуктивтегі ток ешқашан нөлге дейін түспейді.
 - Жүктеме үлкен болғанда байқалады.
- Жұмыс тұрақты, ауытқуы аз.
- 2) Үзілмелі ток режимі (Discontinuous Conduction Mode, DCM):
 - Кейбір уақыт аралығында индуктив ток нөлге түседі.
 - Жүктеме жеңіл болғанда байқалады.
- Басқару қиындайды, тиімділік азаяды.

Артықшылықтары:

- ❖ Жоғары тиімділік (90%+ дейін).
- ❖ Қарапайым құрылым.
- ❖ Температуралық шығын аз.

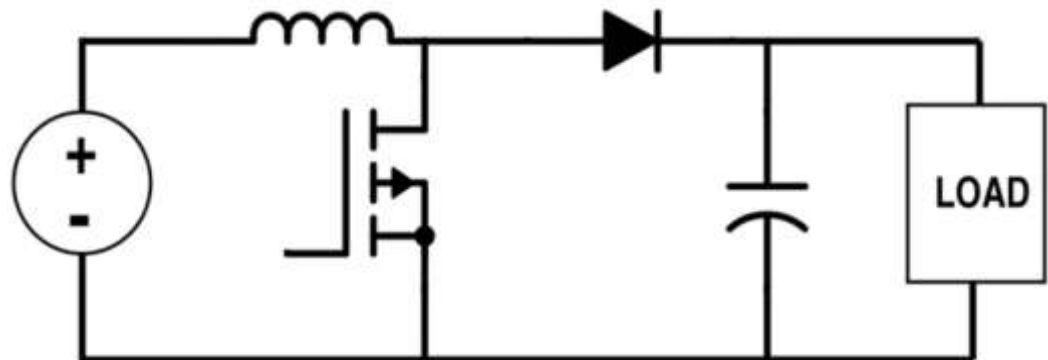
Кемшіліктері:

- ❖ Импульстік сигналдар электромагниттік кедергі тудырады.
- ❖ Жұмыс циклін нақты басқару керек.
- ❖ Индуктив пен конденсаторды дұрыс таңдау қажет (динамикалық жауапты жақсарту үшін).

4. Жоғарылатқыш түрлендіргіш (Boost Converter)

Жұмыс принципі:

Boost Converter — бұл тұрақты ток түрлендіргішінің бір түрі, ол кіріс кернеуден *жоғарырақ* тұрақты ток кернеуін алуға мүмкіндік береді. Бұл түрлендіргіштің негізгі ерекшелігі — салыстырмалы түрде төмен кернеуді алып, оны жүктеме үшін қажетті жоғары кернеуге дейін арттыру.



Негізгі құрылымдық элементтері:

- 1) Кілт (MOSFET, BJT немесе IGBT):
 - Тізбектегі индуктив пен кіріс кернеуді кезектесіп қосу және ажырату қызметін атқарады.
 - PWM арқылы басқарылып отырады.
- 2) Диод (қайтару ағынын болдырмау үшін):
 - Кілт ажыратылған кезде индуктивтің энергиясы жүктемеге бағытталады, ал диод кернеудің кері ағынын тоқтатады.
- 3) Индуктивтік (L):
 - Кернеу импульстары арқылы магнит өрісі түрінде энергия жинайды.
 - Жұмыс кезінде ток өзгерісі баяу болады, бұл тұрақты токтың пайда болуына мүмкіндік береді.

4) Конденсатор

(C):

- Шығыс кернеуіндегі пульсацияны тегістеу үшін қолданылады.
- Жүктеме үздіксіз әрі тұрақты кернеу алады.

Жұмыс циклі (екі фазалы режим):

Жоғарылатқыш түрлендіргіш екі жұмыс фазасын қамтиды — кілттің ашық және жабық болуына қарай:

1) Кілт жабық кезде (ON фазасы):

- ❖ MOSFET қосылады, яғни индуктив пен кіріс тікелей жалғанады.
- ❖ Индуктив магнит өрісі түрінде энергия жинайды.
- ❖ Диод кері бағытта болады, яғни жүктемеге ток берілмейді.
- ❖ Осы кезде барлық ток тек индуктивте айналады.

2) Кілт ашық кезде (OFF фазасы):

- ❖ MOSFET ажыратылады.
- ❖ Индуктивте жиналған энергия азайып, ток бағыты өзгермей, диод арқылы жүктемеге өтеді.

❖ Индуктив кернеуінің үстіне кіріс кернеуі қосылады — нәтижесінде, жүктемеге жоғары кернеу беріледі.

- ❖ Шығыс кернеуі кіріс кернеуінен жоғары болады.

Шығыс кернеуінің формуласы:

Идеал жағдайдағы Boost Converter үшін шығыс кернеуі мына формуламен анықталады:

$$V_{out}=V_{in}/(1-D)$$

мұндағы:

- ❖ V_{out} — шығыс кернеуі,
- ❖ V_{in} — кіріс кернеуі,
- ❖ D — жұмыс циклі (Duty Cycle), яғни кілттің қосылып тұру уақытының толық циклге қатынасы.

Маңызды:

❖ Егер $D \rightarrow 1$, яғни кілт үнемі жабық болса, онда $V_{out} \rightarrow \infty$ (идеал теория бойынша).

❖ Бірақ шынайы жағдайда бұл шексіз емес — компоненттердің шектеулері, кедергілер мен шығындар бар.

Мысал:

Егер:

- $V_{in}=5\text{ В}$
- $D=0.6$

Онда:

$$V_{out}=5/(1-0.6)=5/0.4=12.5\text{ В}$$

Яғни 5 В-тан 12.5 В алуға болады.

Режимдері:

1) Үздіксіз ток режимі (CCM):

- Индуктивтегі ток ешқашан нөлге дейін түспейді.
- Бұл режимде түрлендіргіштің жұмысы тұрақты, тиімділігі жоғары.

- 2) Үзілмелі ток режимі (DCM):
- Индуктив ток белгілі бір сәтте нөлге дейін түседі.
 - Бұл режимде басқару күрделірек, бірақ жеңіл жүктемелерде жиі кездеседі.

Артықшылықтары:

- ❖ Төмен кіріс кернеуден жоғары қуатты алуға мүмкіндік береді.
- ❖ Жоғары тиімділік (85–95%).
- ❖ Қарапайым құрылымы бар.

Кемшіліктері:

- ❖ Кернеу шегі — компоненттердің шектеулі мүмкіндігіне тәуелді.
- ❖ Шығыс кернеуі басқаруға сезімтал.
- ❖ Электромагниттік кедергілер туындауы мүмкін (индуктивті импульс әсерінен).

5. Түрлендіргіштердің қолданылуы

Тұрақты кернеу түрлендіргіштері (DC-DC converters) – қазіргі заманғы электронды құрылғылардың маңызды бөлігі. Олар кіріс кернеуді жүктеменің қажетті деңгейіне дейін төмендету немесе жоғарылату үшін пайдаланылады.

Buck Converter – Төмендеткіш түрлендіргіштің қолданылуы:

Мақсаты: Жоғары кернеуді төмен кернеуге түрлендіру.

1) Микроконтроллер жүйелері:

- ❖ Көптеген микроконтроллерлер 3.3 В немесе 5 В кернеумен жұмыс істейді.
- ❖ Бірақ қоректендіру көзі (мысалы, батарея, адаптер) жиі 12 В немесе 24 В болады.
- ❖ Buck түрлендіргіш осы жоғары кернеуді қажетті деңгейге дейін төмендетеді.

2) Смартфондар мен планшеттер:

- ❖ Жоғары тиімділікті қуат басқару жүйелері қажет.
- ❖ Процессорлар мен ішкі құрылғылар әртүрлі кернеулермен жұмыс істейді – Buck түрлендіргіштер әрқайсысына жеке-жеке кернеу береді.

3) Сенсорлық жүйелер:

- ❖ Өнеркәсіптік сенсорлар, IoT құрылғылар, Arduino жобалары – барлығы төмен кернеу (3.3 В немесе 5 В) талап етеді.
 - ❖ Buck түрлендіргіштер тұрақты және тегіс кернеу береді.
- 4) Электр көліктері мен робототехника:
- ❖ Жоғары кернеулі аккумуляторлардан басқару блоктарына немесе датчиктерге төмен кернеу керек болады.

Boost Converter – Жоғарылатқыш түрлендіргіштің қолданылуы:

Мақсаты: Төмен кернеуді жоғары кернеуге түрлендіру.

1) Батареямен жұмыс істейтін құрылғылар:

- ❖ Мысалы, 1.5 В немесе 3.7 В батареялардан 5 В немесе 12 В керек болатын құрылғылар (қалта шамдар, USB құрылғылар).
- ❖ Boost түрлендіргіш батарея заряды азайса да, тұрақты жоғары кернеу береді.

2) Жарықдиодты шамдар (LED драйверлер):

- ❖ Кейбір жарықдиодтар жоғары кернеу мен тұрақты ток талап етеді.
 - ❖ Boost түрлендіргіш ток пен кернеуді тұрақтандырып, жарық тұрақтылығын қамтамасыз етеді.
- 3) Күн энергиясы жүйелері:
- ❖ Күн панельдері аз кернеу (мысалы, 12 В) шығарады.
 - ❖ Бұл кернеу аккумуляторды зарядтау үшін немесе 24 В, 48 В сияқты жоғары деңгейге жеткізу үшін Boost түрлендіргішпен көтеріледі.
- 4) Электронды инверторлар мен энергия сақтау жүйелері:
- ❖ Аккумуляторлардан немесе суперконденсаторлардан алынған кернеу жоғары деңгейге жеткізіледі.
- 5) Автономды портативті құрылғылар:
- ❖ Power bank, сымсыз зарядтау құрылғылары – ішінде Boost түрлендіргіш арқылы 3.7 В батареядан 5 В USB шығарылады.

Қорытынды:

Тұрақты кернеу түрлендіргіштері – заманауи электроникада кеңінен қолданылатын құрылғылар, олар кіріс кернеуді қажетті деңгейге дейін төмендетуге (Buck) немесе жоғарылатуға (Boost) мүмкіндік береді. Бұл түрлендіргіштер жоғары тиімділігімен, энергия үнемдеуімен және тұрақты жұмысымен ерекшеленеді. Олар микроконтроллерлерден бастап күн энергиясы жүйелеріне дейін түрлі салаларда қолданылады. Buck түрлендіргіші жоғары кернеуді тұрақты түрде төмендету үшін, ал Boost түрлендіргіші төмен кернеуді жоғарыға түрлендіру үшін пайдаланылады. Осы құрылғылардың жұмыс принциптерін түсіну – тиімді қуат жүйелерін жобалау мен басқару үшін маңызды.

Әдебиеттер тізімі:

1. Базарбаев К.Ж., Асанова С.К. Электроника және электротехника негіздері. – Алматы: Қазақ университеті, 2021.
2. Sedra, A.S., & Smith, K.C. Microelectronic Circuits. – Oxford University Press, 2019.
3. Rashid, M.H. Power Electronics: Circuits, Devices and Applications. – Pearson Education, 2013.
4. Рожков Ю.И. Электронные преобразователи напряжения: теория и практика. – М.: Додэка XXI, 2017.
5. Erickson, R.W., & Maksimovic, D. Fundamentals of Power Electronics. – Springer, 2001.
6. Черняев А.В., Черняев А.А. Импульсные источники питания и преобразователи постоянного напряжения. – СПб.: Питер, 2016.
7. Мұстафин А.Ж. Электр машиналары және түрлендіргіш құрылғылар. – Алматы: Эверо, 2019.
8. Pressman, A.I., Billings, K., & Morey, T. Switching Power Supply Design. – McGraw-Hill, 2009.
9. Бабичев В.Н. Силовая электроника. – М.: Лань, 2018.

10. Кенжебаев Е.Б. Қуат түрлендіргіштері және олардың қолданылуы. – Алматы: Полиграфкомбинат, 2020.