Міністерство освіти і науки України
Український державний університет науки і технологій

Комп'ютерні технології і системи
(назва факультету)

Автоматики та телекомунікацій
(повна назва кафедри)

Пояснювальна записка
до кваліфікаційної роботи
перший (бакалаврський)
(ступінь вищої освіти)

на тему: Дослідження режимів роботи чотириквадратного перетворювача напруги

за освітньою програмою "Системи керування рухом поїздів".
зі спеціальності: 273 "Залізничний транспорт"
(шифр і назва спеціальності)

Виконав: студент групи: СК19120

(підпис студента) Ігор ГОНЧАРОВ
(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Керівник: завідувач кафедри
(підпис) Володимир ГАВРИЛЮК
(посада, Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Засвідчую, що у цій роботі немає запозичень з праць інших авторів без відповідних посилань.

Студент
(підпис)

Дніпро – 2022 рік

Міністерство освіти і науки України
Український державний університет науки і технологій

Комп‘ютерні технології і системи
(назва факультету)

Автоматики та телекомунікацій
(повна назва кафедри)

Пояснювальна записка

до кваліфікаційної роботи
перший (бакалаврський)
(ступінь вищої освіти)

на тему: Дослідження режимів роботи чотириквадратного перетворювача напруги

за освітньою програмою "Системи керування рухом поїздів" .
зі спеціальності: 273 "Залізничний транспорт"
(шифр і назва спеціальності)

Виконав: студент групи: СК19120

(підпис студента) Ігор ГОНЧАРОВ (Ім’я ПРІЗВИЩЕ)

Керівник: (підпис) завідувач кафедри Володимир ГАВРИЛЮК (посада, Ім’я ПРІЗВИЩЕ)

Засвідчую, що у цій роботі немає запозичень з праць інших авторів без відповідних посилань.

Студент (підпис)

Дніпро – 2022 рік

Ministry of Education and Science of Ukraine
Ukrainian State University of Science and Technologies

‘Computer technologies and system’
(faculty)

‘Automatics and Telecommunications’
(department)

Explanatory Note
to Master’s Thesis

(higher education degree)

on the topic: Research of operation modes of a four-square voltage converter

according to educational curriculum__Train traffic control systems

in the Speciality: 273 Railway transport
(speciality and its code)

Done by the student of the group: CK19120 Igor GONCHAROV
(name, surname)

Scientific Supervisor: Head of Departrment
Volodymyr HAVRYLIUK
(position, name, surname)

Dnipro – 2022 рік

Міністерство освіти і науки України
Український державний університет науки і технологій

Факультет: Комп'ютерних технологій і систем
Кафедра: Автоматики та телекомунікації
Рівень вищої освіти: Перший(бакалаврський)
Освітня програма: Системи керування рухом поїздів
Спеціальність: 273 Залізничний транспорт
(шифр та назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри _____
_____ Володимир Гаврилюк
(підпис) (Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Дата _____

З А В Д А Н Н Я

на кваліфікаційну роботу Бакалавра
(ступінь вищої освіти)

студенту Гончарову Ігорю Ігоровичу
(Прізвище, Ім'я По батькові)

1. Тема роботи: Дослідження режимів роботи чотириквадратного перетворювача напруги

Керівник роботи: Гаврилюк Володимир Ілліч, д.ф.-м.н., професор
(Прізвище, Ім'я, По батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом від "___" ____ 202_ р. № ____

2. Строк подання студентом роботи: 29.05.202_ р.
3. Вихідні дані до роботи:

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно опрацювати):
4.1 Аналітична частина:

4.2 Основна частина:

4.3.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	1розділ	28.02	
2	2розділ	18.04	
3	3розділ	29.05	
4	Подання кваліфікаційної роботи до кафедри	10.06	
5	Захист кваліфікаційної роботи на засіданні Екзаменаційної комісії	23.06	

Студент _____ Ігор ГОНЧАРОВ
(підпис) (Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Керівник роботи _____ Володимир ГАВРИЛЮК
(підпис) (Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до кваліфікаційної роботи бакалавра:

Об’єкт розробки: Силові напівпровідникові ключи

Мета роботи: Дослідити ключи та процеси роботи MOSFET, керованих випрямлячів та перетворювача напруги

Методи дослідження:

Тиристори (одноопераційні, двоопераційні) для замикання тиристора необхідно у будь-який спосіб знизити анодний струм до нуля і утримувати його на нульовому рівні протягом часу розсмоктування неосновних носіїв, накопичених у базах транзисторів VT1 та VT2.

Керовані випрямлячі - це регулювання швидкості електродвигунів постійного струму по ланцюгу якоря та ланцюга збудження. Інвертори та перетворювачі частоти – частотне регулювання швидкості асинхронних та синхронних електродвигунів.

Чотирьохквадратний перетворювач може працювати в режимах випрямлення, інвертування та тактування та їх поєднанні.

Ключовіслова:ТИРИСТОРИ,КЕРОВАНІ,ВИПРЯМЛЯЧІ,ЧОТИРИКВАДРАТНИЙ ПЕРЕТВОРЮВАЧ, КЛЮЧИ MOSFET, БАЗА ТРАНЗИСТОРІВ.

ЗМІСТ

	с
Вступ	7
1. Силові напівпровідникові ключі	
1.1. Тиристори (одноопераційні, двоопераційні)	9
1.2. MOSFET-ключі	11
1.3. IGBT транзистори	12
1.4. Порівняння параметрів силових ключів	17
1.5. Висновки за розділом	19
2. Керовані випрямлячі і автономні інвертори	
2.1. Керовані випрямлячі	21
2.2. Автономні інвертори	23
2.3. Чотириквадратний перетворювач	24
2.4. Висновки за розділом	28
3. Дослідження роботи чотириквадратного перетворювача напруги на моделі	
3.1. Коротка характеристика Matlab/Simulink	29
3.2. Модель	30
3.3. Результати моделювання	31
3.4. Висновки за розділом	34
Висновки	35
Література	36

ВСТУП

В даний час пристрої силової електроніки широко використовуються в багатьох виробничих процесах та побутовій техніці.

Пов'язано це з освоєнням нових напівпровідникових приладів, але та з розвитком цифрових систем управління, що дозволяють реалізувати будь-які необхідні алгоритми управління.

Найбільш широко напівпровідникові перетворювачі представлені в економічному регульованому електроприводі постійного та змінного струму. Завдяки появі серійних надійних багатофункціональних напівпровідникових перетворювачів частоти для електроприводів змінного струму, з'явилися нові можливості та підходи до автоматизації багатьох технологічних процесів, що дає відчутний економічний ефект.

Електрична енергія, що виробляється на електричних станціях, що передається споживачам у вигляді змінного трифазного струму промислової частоти 50 Гц. Однак, як у промисловості, так і на транспорті є установки, для живлення яких змінний струм частотою 50 Гц не підходить.

У локомотивному господарстві планується запровадити технічні рішення, спрямовані на підвищення енергетичної ефективності, зокрема безколекторний тяговий електропривод із сучасними напівпровідниковими перетворювачами, а також пристрої компенсації реактивної потужності. З метою покращення показників використання локомотивів передбачається поліпшення якості споживаної енергії, за якого очікується її економія до 3%.

Основою сучасних технологій є силова та інформаційна електроніка. З появою нових, повністю керованих силових напівпровідникових приладів розширилася область їх застосування, найбільшою і найважливішою частиною якої є електропривод. Крім того, сучасна напівпровідникова техніка стала основою для появи принципово нових пристроїв, що дозволяють значно покращити якість споживаної енергії.

Поява нових типів силових напівпровідникових вентилів, близьких до ідеального керованого ключового елементу, суттєво змінило підхід до побудови вентильних перетворювачів. Отримали поширення в останні роки тиристори, що замикаються, і біполярні транзистори з ізольованим затвором успішно перекривають діапазон потужностей до сотень і тисяч кіловат, їх динамічні властивості безперервно вдосконалюються, а вартість зі зростанням випуску знижується.

Тому вони успішно витіснили звичайні тиристори із вузлами примусової комутації. Області застосування імпульсних перетворювачів напруги з новими класами прилади також розширилися. Швидко розвиваються потужні імпульсні регулятори як підвищення, так зниження постійної напруги живлення; імпульсні перетворювачі часто використовуються у системах утилізації енергії відновлюваних джерел (вітер, сонячна радіація). Великі вкладення робляться у виробництво енергії з використанням енергозберігаючих технологій, коли відновлювані первинні джерела використовуються або для повернення енергії в мережу, або для заряджання накопичувача (акумулятора) в установках з підвищеною надійністю енергопостачання. З'являються нові класи перетворювачів для електроприводів із вентильно-індукторними двигунами (SRD – switched reluctanse drive).

1 СИЛОВІ НАПІВПРОВІДНИКОВІ КЛЮЧИ

1.1. Тиристори (одноопераційні, двоопераційні)

Конструктивно тиристори виконуються у вигляді дискретних елементів (Пмс. 1.1 а) та силових модулів (рис. 1.1 б). Тиристори є чотиришаровою напівпровідниковою структурою p1-n1-p2-n2-типів провідності (рис. 1.1 в).

Висновок від крайньої області p1 називають анодом, висновок від крайній області п2 називають катодом, а виведення від однієї з проміжних областей (n1 або p2) називають керуючим електродом.

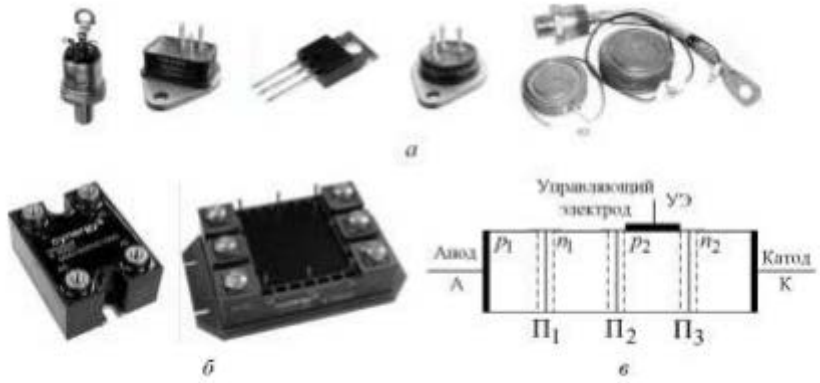


Рис. 1.1 Тиристори: дискретне (а) та модульне (б) виконання; структура тиристорів (в)

Для замикання тиристора необхідно у будь-який спосіб знизити анодний струм до нуля і утримувати його на нульовому рівні протягом часу розсмоктування неосновних носіїв, накопичених у базах транзисторів VT1 та VT2.

Графічне зображення розглянутого тиристора представлено на рис. 1.2 а. Якщо виведення керуючого електрода зроблено від проміжної зони n, тоді керуючий сигнал подають між анодом і керуючим електродом, а графічне зображення такого тиристора представлено на рис. 1.2 б.

Рис.1.2 Одноопераційний тиристор - SCR

Двоопераційний тиристор – це прибор, що не тільки вмикається, але й вимикається сигналом керування. Вмикання відбувається аналогічно звичайному тиристору, а вимикання забезпечується подачею в коло керування імпульсу від'ємної напруги. При цьому переривання струму в структурі відбувається за рахунок виведення об'ємного заряду з бази.

Протягом часу затримки струм у тиристорі наростає до величини струму утримання - мінімального прямого струму тиристора, у якому він ще у відкритому стані. Зазвичай приймають

$$I_{уд} = 01_{н}$$

Залежно від струму керування час затримки може становитиме від 0,1 мкс до 1.2 мкс. Потім відбувається наростання струму до величини, що визначається опором навантаження та напругою джерела живлення. Це відбувається протягом часу $t_{нар}$. У сумі $t_З$ і $t_{нар}$ визначають час включення тиристора:

$$t_{вкл} = t_З + t_{нар}.$$

Після включення тиристора, як вже було зазначено вище, ланцюг управління стає неефективним і струм управління може бути значно зменшеним або навіть вимкнений зовсім. Для замикання тиристора необхідно зменшити його прямий струм до нуля. Для цього до відкритого тиристору зазвичай підключають у зворотному, замикаючому напрямку джерело комутує ЕРС, в якості якого найчастіше використовують заздалегідь заряджений конденсатор. Процес вимкнення складається з двох етапів:

- наростання зворотного струму через тиристор (інтервал t_1);
- спад зворотного струму до нуля (інтервал t_2).

1.2 MOSFET – ключі

У вітчизняній літературі польові транзистори з ізольованим затвором одержали позначення МОП-транзистори (Метал-Окісел-Напівпровідник) або МДП-транзистори (Метал-Діелектрик-Напівпровідник). Останнім часом їх все частіше позначають терміном, запозиченим із зарубіжної літератури MOSFET (Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor).

Аналогічно біполярному транзистору, польовий транзистор має дві області роботи: область лінійного режиму та область насичення (область малого опору сток-витік). Процеси включення та вимикання MOSFET розглянемо з прикладу схеми рис. 3.1. Слід зазначити, що з виготовленні транзистора у його складі завжди присутні паразитні ємності, з яких 29 найбільше значення мають ємності між затвором та витоком $C_{зі}$, і між затвором та стоком $C_{зс}$.

При подачі на затвор прямокутного імпульсу $U_{вх}$ амплітудою U_0 спочатку почне заряджатися ємність $C_{зі}$ від джерела вхідної напруги через нього внутрішній опір $R_і$. До тих пір, поки напруга на ємності $C_{зі}$ не досягне порогового значення $U_{пор}$, струм стоку дорівнює нулю, а напруга на стоку дорівнює напрузі джерела живлення E_0. Коли напруга на ємності $C_{зі}$ досягне порогового значення $U_{пор}$, транзистор відкриється і деякий час. буде знаходитися в області насичення.

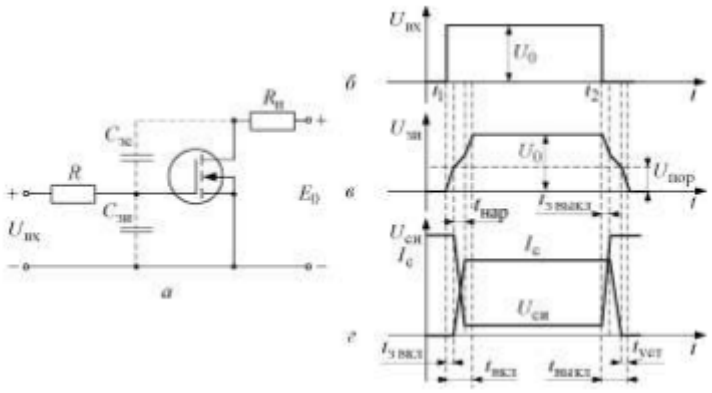


Рис. 1.3 Процеси включення та вимикання MOSFET

Таким чином, MOSFET як керовані силові ключів мають такі очевидні переваги:

- простіші системи управління та мала потужність управління;
- відсутність інжекції не основних носіїв і, отже, відсутність явища накопичення їх як об'ємного заряду, отже, і відсутність так званого часу розсмоктування, що значно покращує динамічні властивості транзистора;
- відсутність саморозігріву польового транзистора, характерного для біполярних транзисторів, а отже, хороша термостійкість, що дозволяє легко та просто вирішувати проблему паралельного включення кількох транзисторів;
- повна відсутність вторинного пробою, що дозволяє ефективніше використовувати польовий транзистор по потужності, що передається.

Аналогічний процес відбувається при вимкненні транзистора (рис. 1.3.).

На малюнку позначено:

$t_{3вкл}$ – час затримки вимкнення транзистора;

$t_{викл}$ час вимкнення, протягом якого спадає імпульс струму стоку;

$t_{уст}$ - час встановлення вихідного стану.

Слід зазначити, що зазначені проміжки часу, характеризуючі динамічні властивості польових транзисторів, значно менші, ніж аналогічні параметри у біполярних транзисторів. До основних недоліків MOSFET слід віднести шкідливий вплив на його роботу низки «паразитних» елементів, що виникають у структурі транзистора на стадії його виготовлення. Вплив деяких із цих елементів на процес перемикання транзистора вже розглядався вище (паразитні ємності Сзі та СЗС). Крім них дуже шкідливий вплив на роботу MOSFET надає паразитний біполярний транзистор.

1.3 IGBT транзистори

Силові біполярні транзистори із ізольованим затвором (IGBT).

Швидкий розвиток на початку 90-х років технології силових транзисторів призвело до появи нового класу приладів – біполярні транзистори з ізольованим затвором (Insulated Gate Bipolar Transistors - IGBT). Основні переваги IGBT - високі значення робочої частоти (10-20кГц), в порівнянні з тиристорами, що замикаються, простота і компактність схем керування. Увімкнення та вимкнення транзистора здійснюються подачею та зняттям позитивної напруги між затвором та витоком.

Транзистори IGBT (рис. 1.4) з'явилися в результаті розвитку технології силових транзисторів зі структурою метал-оксидопівпровідник керованих електричним полем, і поєднують у собі два транзистори в однієї напівпровідникової структури біполярний (утворюючий силовий канал) та польовий (утворюючий канал управління).

Поєднання двох приладів в одній структурі дозволило об'єднати переваги польових та біполярних транзисторів: високий вхідний опір з високим струмовим навантаженням та малим опором у включеному стані. При цьому пряме падіння напруги для сучасних транзисторів із робочою напругою 4500 і струмом 1800 А становить 1,0- 1,5В.

Процес увімкнення IGBT можна розділити на два етапи. Після подачі позитивної напруги між затвором та витоком відбувається відкриття польового транзистора (формується n - канал між витоком та стоком).

Рух зарядів з області n до області p призводить до відкриття біполярного транзистора та виникнення струму від емітера до колектора. Таким чином, польовий транзистор керує роботою біполярного.

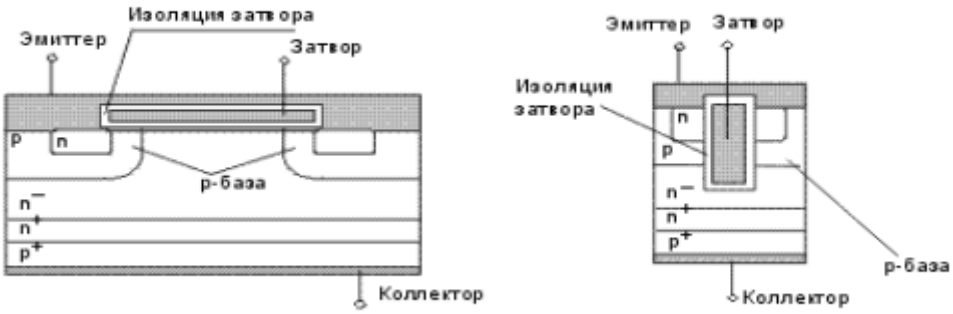


Рис. 1.4 Схематичний розріз структури IGBT

IGBT-модулі.

В даний час транзистори IGBT випускаються, як правило, вигляді модулів у прямокутних корпусах з одностороннім притиском і охолодженням («Mitsubishi», «Siemens», «Semikron» та ін.) та таблетковому виконанні з двостороннім охолодженням (Toshiba Semiconductor Group). У модулях IGBT ланцюги керування (драйвери) безпосередньо включені до їх структури. Струм управління IGBT малий, тому ланцюг управління конструктивно компактне.

«Інтелектуальні» транзисторні модулі (ІТМ), виконані на IGBT, містять пристрої захисту від струмів короткого замикання; захист від зникнення керуючого сигналу; одночасної провідності у протилежних плечах силової схеми; зникнення напруги джерела живлення та інших аварійних явищ.

Передбачено також системи діагностування. У структурі ІТМ на IGBT передбачається у ряді випадків система управління з широкоімпульсною модуляцією (ШІМ) та однокристальна ЕОМ.

У багатьох модулях є схема активного фільтра для корекції коефіцієнта

потужності та зменшення вмісту вищих гармоній у живильній мережі. IGBT-модуль за внутрішньою електричною схемою може представляти собою одиничний IGBT, подвійний модуль (half-bridge), де два IGBT з'єднані послідовно (напівмост), переривник (chopper), в якому одиничний IGBT послідовно з'єднаний з діодом, однофазний або трифазний міст. У всіх

випадках, крім переривника, модуль містить паралельно кожному IGBT вбудований зворотний діод. Найбільш розповсюджені схеми з'єднань IGB - модулів наведено на рис. 1.5.

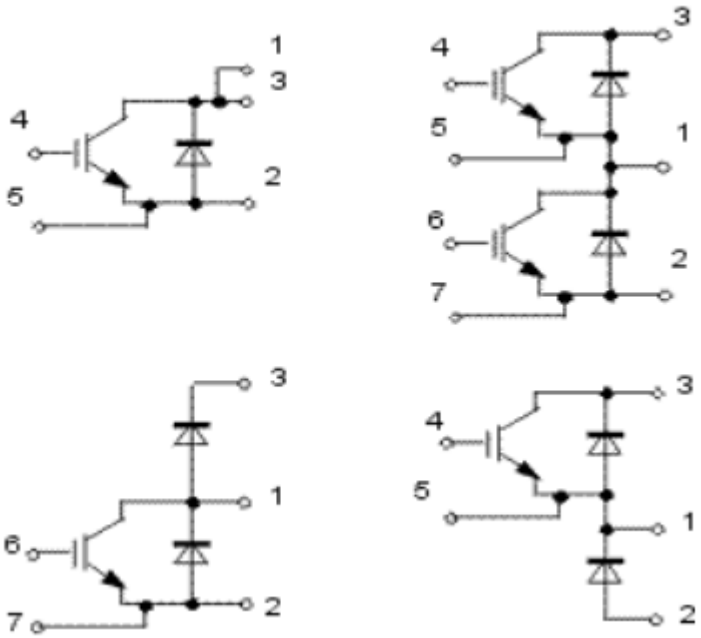


Рис. 1.5 - Схеми IGBT-модулей

В даний час IGBT як клас приладів силової електроніки займає і займатиме домінуюче положення для діапазону потужностей від одиниць кіловат до одиниць мегават при створенні керованих випрямлячів та перетворювачів частоти для регульованого електроприводи.

Відмінність у структурі полягає в матеріалі вихідної підкладки, в якості якої використовується напівпровідникова пластина з дірочною p^+-електропровідністю (рис. 1.6 а).

В результаті вийде комбінована схема (рис. 1.6 б), що містить: МДП – транзистор, паразитний біполярний транзистор VT1 та підключений до нього ще один біполярний транзистор VT2. Структура, що утворилася з транзисторів VT1 і VT2 має позитивний внутрішній зворотний зв'язок, оскільки базовий струм транзистора VT1 є частиною колекторного струму транзистора VT2, і навпаки – базовий струм транзистора VT2 є частиною колекторного струму транзистора VT1.

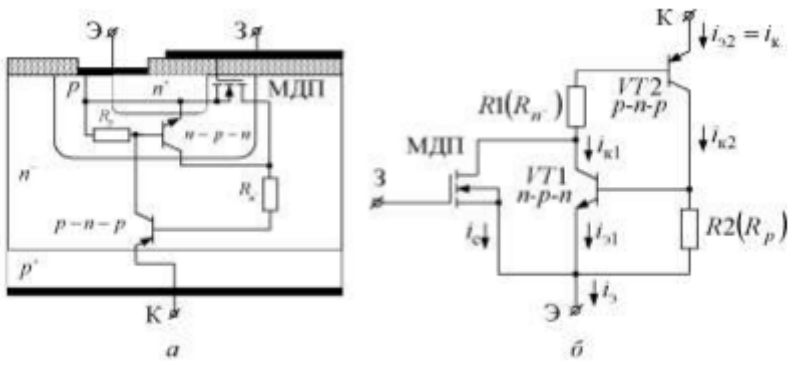


Рис. 1.6 Структура IGBT (а) та її еквівалентна схема (б)

Коефіцієнти передачі струму транзисторів VT1 і VT2 рівні, відповідно, α_1 та α_2.

Конструктивно IGBT виконуються у вигляді дискретних елементів (рис. 1.7 а), силових модулів (рис. 1.8 б), що мають у своєму складі кілька IGBT, виконаних в єдиному корпусі. Умовне графічне зображення транзисторів представлено на рис 1.7 в, г.

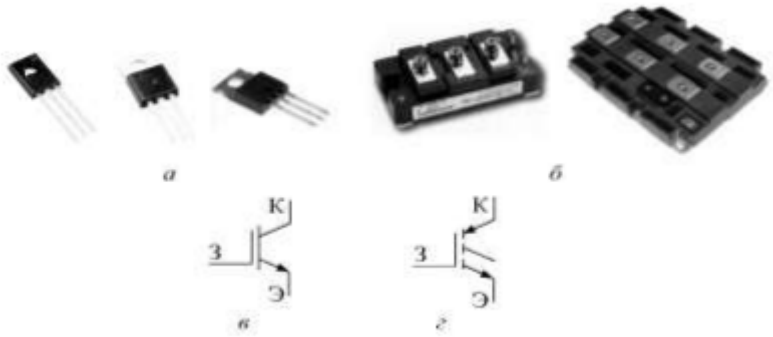


Рис.1.7 Конструкція IGBT: дискретне (а) та модульне (б)виконання;
(умовне графічне позначення) в) вітчизняне;
г) закордонне

Динамічні властивості IGBT дещо гірші, ніж у MOSFET, але значно краще, ніж у біполярних транзисторів. Це з явищем накопичення заряду неосновних носіїв з урахуванням біполярного транзистора і, як наслідок, з часом розсмоктування цих носіїв.

На рис. 1.8 зображено типові колекторні характеристики (вихідні).

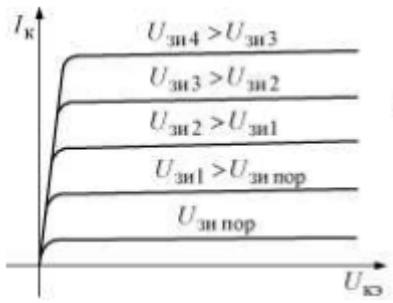


Рис. 1.8. Вихідні характеристики IGBT

Процес замикання IGBT представлений на рис. 1.9. Заряд, накопичений в основі біполярного транзистора, викликає характерний "хвіст" струму при включенні IGBT. Щойно наявний у складі IGBT МДП-транзистор перестає проводити струм, у силовому ланцюзі починається рекомбінація неосновних носіїв, що є початком «хвоста». Цей «хвіст» веде до збільшення теплових втрат, а також його необхідно враховувати у мостових схемах та вводити проміжок між інтервалами провідності двох ключів, встановлених в одному плечі мосту. Для зменшення «хвоста» необхідно знижувати коефіцієнт посилення біполярного транзистора, але тоді збільшується напруга насичення відкритого IGBT і, відповідно, статичні втрати. Тим не менш, незважаючи на зазначені особливості, IGBT на сьогоднішній день видаються найперспективнішими елементами для використання як силові керовані ключів у діапазоні потужностей від одиниць кіловат до одиниць мегават.

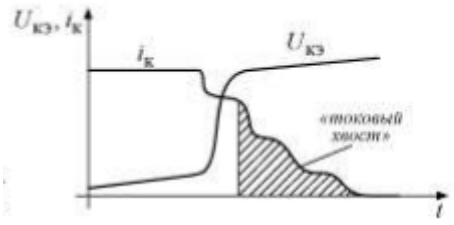


Рис. 1.9. Процес замикання IGBT

1.4. Порівняння параметрів силових ключів

Усі перераховані силові перетворювальні пристрої виконуються на основі силових напівпровідникових ключів (керованих чи некерованих).

Силові ключі, побудовані на біполярних транзистори, мають ряд серйозних недоліків, головними з яких є:

- низька швидкодія, порівняно із силовими ключами інших типів;
- низький коефіцієнт передачі струму в області великих навантажень і, як наслідок, складність та велика вартість систем управління;
- мала стійкість до навантажень.

Тому нині біполярні транзистори майже повністю витіснені ефективнішими силовими ключами, крім пристроїв масового застосування, де визначальним чинником є низька вартість одиницю потужності

Захист перетворювальної схеми та її елементів йде в основному за двома напрямками:

- усунення причин та джерел електричного навантаження;
- боротьба із природними навантаженнями.

Тому на початку необхідно встановити причини появи перевантажень за струмом і напругою, а також оцінити їх амплітуду та потужність.

Основними видами навантаження за напругою є:

- сплески напруги в мережі живлення;
- сплески напруги, пов'язані з процесами комутації у схемі перетворювача та зумовлені кінцевим часом перемикання силових ключів;
- перенапруги, пов'язані з характером навантаження.

Основними видами аварійних перевантажень за струмом є:

- коротке замикання ланцюга навантаження;
- коротке замикання вихідних клем перетворювача;
- короткі замикання через пошкодження силових ключів перетворювача;

- струмові перевантаження, пов'язані з порушенням алгоритму роботи силових ключів («перекидання» інвертора, мимовільне включення ключа, що виходить з роботи і т. д.);
- струмові навантаження, пов'язані з особливостями роботи силової схеми та не ідеальністю ключів (наскрізні струми в мостових схемах тощо);
- струмові навантаження, зумовлені перехідними процесами та характером навантаження (пусковий режим, реверс двигуна, перевантаження двигуна тощо).

В усіх випадках силовий ключ або включається на коротко-замкнутий контур, або потрапляє в режим струмового навантаження в процесі нормального відкритого стану. Для захисту від струмових перевантажень найважливішими заходами є:

- підвищення схибленості систем управління і самого силового ключа, що виключає мимовільне, несанкціоноване включення;
- використання зовнішніх захисних пристроїв, що обмежують вплив струмового навантаження на силові ключі та інші елементи схеми (токообмежувальні ланцюжки та дроселі);
- використання швидкодіючих систем захисту

В результаті, при включенні ключів S1, S4 відбувається одночасна модуляція потенціалів вузла a щодо 0 модуляція потенціалу вузла b при включенні ключів S3, S2.

Таблиця 1.1 Стан ключів

Стан ключа	S1	S2	S3	S4
I	1	1	0	0
II	0	0	1	1
III	1	0	1	0
IV	0	1	0	1

1.5 Висновки за розділом

Розглянуто основні види перетворювальної техніки, що застосовується на нафтохімічних виробництвах. Проаналізовано основні схеми перетворювальних пристроїв. При викладанні матеріалу особливу увагу приділено фізичній стороні принципу роботи того чи іншого пристрою, аналізу основних характеристик та показників, підходів до розрахунку та вибору елементів схеми.

Перетворювачі на тиристорах прийнято ділити на дві групи: ведені та автономні. У перших періодичний перехід струму з одного вентиля на інший (комутація струму) здійснюється під дією змінної напруги будь-якого зовнішнього джерела. Якщо таким джерелом є мережа змінного струму, говорять про перетворювача, що ведеться мережею.

До таких перетворювачів відносяться: випрямлячі, ведені мережею (залежні) інвертори, безпосередні перетворювачі частоти, перетворювачі числа фаз, перетворювачі змінної напруги Якщо зовнішнім джерелом напруги, що забезпечує комутацію, є машина змінного струму (наприклад, синхронний генератор або двигун) перетворювач називають веденим машиною.

Автономні перетворювачі виконують функції перетворення форми або регулювання напруги (струму) шляхом зміни стану керованих силових ключових елементів під впливом сигналів управління. До автономних перетворювачів відносяться імпульсні регулятори постійного та змінної напруги, деякі види інверторів напруги.

Імпульсні перетворювачі отримують широке розпросторування в джерелах живлення побутової апаратури, зарядних пристроях, зварювальних агрегатах та цілій низці нових застосувань (пускорегулюючі пристрої освітлювальних установок, електрофільтри та ін.).

Крім удосконалення елементної бази силових перетворювальних ланцюгів на стратегію вирішення схемо-технічних завдань вплинув

розвиток мікроконтролерних пристроїв і цифрових методів обробки інформації.

2 КЕРОВАНІ ВИПРЯМЛЯЧІ І АВТОНОМНІ ІНВЕРТОРИ

2.1 Керовані випрямлячі

Керовані випрямлячі - це регулювання швидкості електродвигунів постійного струму по ланцюгу якоря та ланцюга збудження. Інвертори та перетворювачі частоти – частотне регулювання швидкості асинхронних та синхронних електродвигунів.

Різного типу імпульсні регулятори – регулювання швидкості електродвигунів як постійного, так і змінного струму.

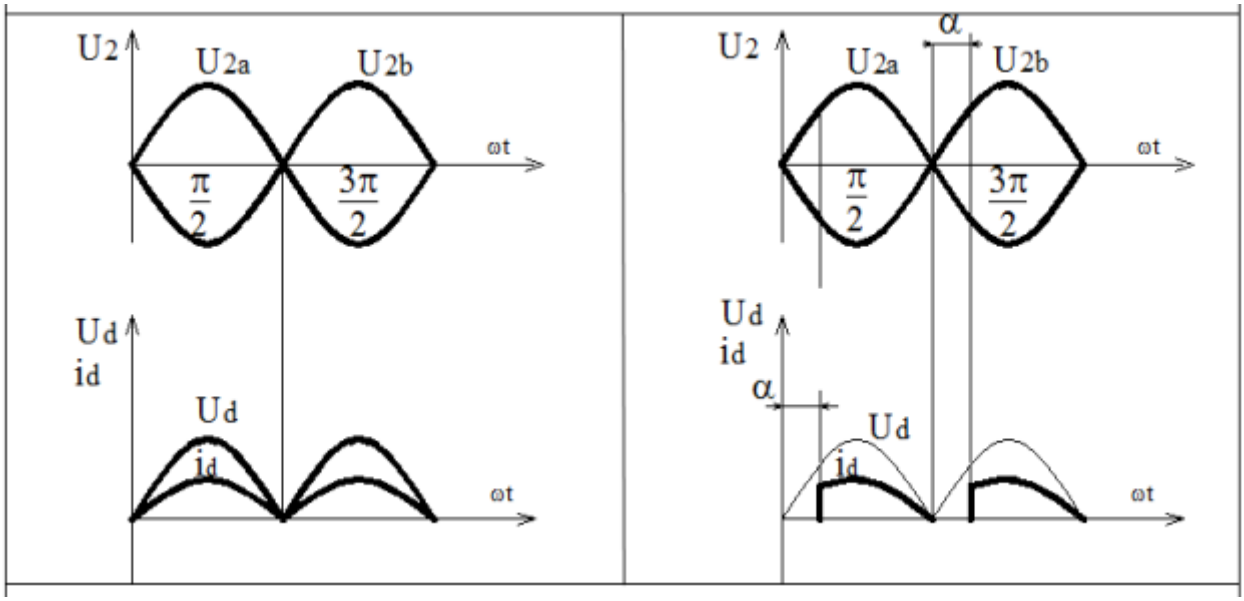
Основою для реалізації напівпровідникових перетворювачів є такі елементи, як силові діоди, тиристори, транзисторні ключі. Виробниками освоєно широку номенклатуру цих напівпровідникових приладів на різні струми та напруги, що дозволяє розробникам постійно вдосконалювати та розробляти нові схеми з покращеними технічними параметрами та можливостями.

Найчастіше керовані випрямлячі знаходять застосування для харчування якорів та обмоток збудження машин постійного струму. Тому найбільш характерним для них є режим роботи на активно-індуктивну навантаження з кутом управління $\alpha > 0$. У цьому випадку форма випрямленого струму буде залежати від індуктивності L_d, частоти пульсацій ω випрямленого напруги та активного опору R_d. При цьому форма струму стає більш згладженою, та зі збільшенням індуктивності чи частоти випрямленої напруги пульсації випрямленого струму знижуються, а при

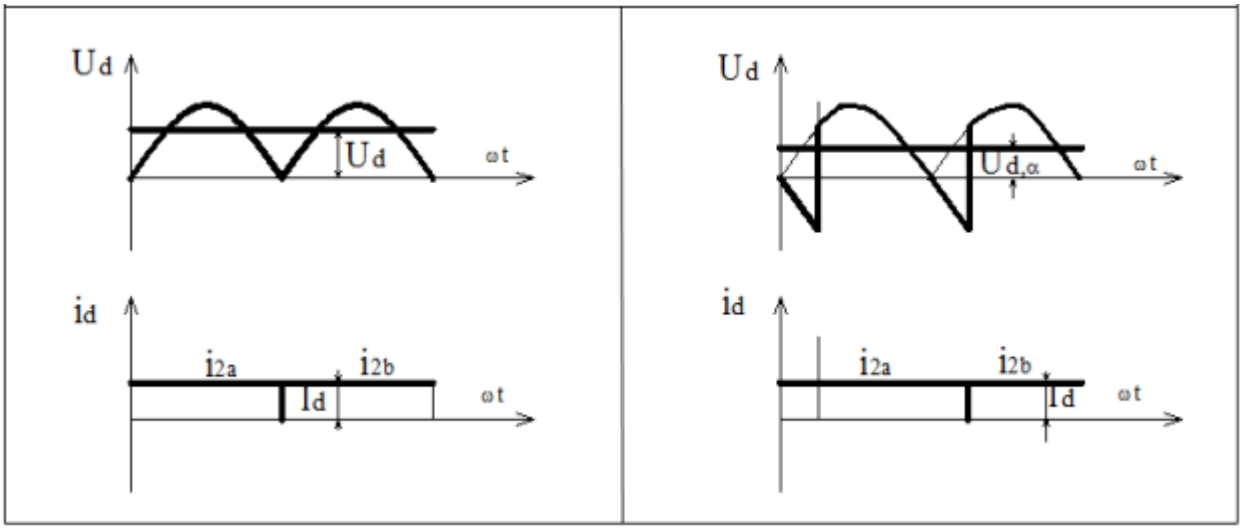
$X_d = \omega L_d = \infty$ струм стає ідеальним згладженим (таблиця 2.1). Наявність індуктивності L_d в ланцюзі постійного струму при кутах управління $\alpha > 0$ призводить до того, що після проходження напруги через нуль у тиристоре, що знаходиться в провідному стані, продовжує протікати струм за рахунок енергії, що накопичується в індуктивності. При досить великий індуктивності цей тиристор буде проводити струм до доки не буде подано керуючий імпульс на наступний тиристор. За рахунок цього процесу забезпечується безперервність струму в навантаженні, а в кривою вихідної напруги з'являються негативні ділянки, що в свою чергу призводить до зниження середньої випрямленої напруги (Таблиця 2.1).

Таблиця 2.1

Активне навантаження



Активно-індуктивне навантаження



Як основні режими розглянемо випадки роботи випрямлячів на такі види навантажень: а) суто активне навантаження; б) активно-індуктивне навантаження.

У всіх цих випадках проаналізуємо роботу випрямляча за кутом α = 0 та кутом α >0.

2.2 Автономні інвертори

Автономні інвертори струму.

Автономні інвертори – це пристрої, що перетворюють постійний струм у змінний з постійною або регульованою частотою та працюючі на автономне навантаження, що не містить джерел активної енергії тієї ж частоти, як і вихідна частота інвертора. При цьому частота, напруга та його форма на виході визначаються режимом роботи автономного інвертора, на відміну від інвертора, веденого мережею, вихідні, частота та напруга якого відповідають параметрам мережі.

За характером електромагнітних процесів, що протікають у схемі автономні інвертори поділяються на інвертори струму, інвертори напруги та резонансні інвертори.

Так само, як і випрямлячі, інвертори різняться за потужністю, напруги, числу фаз вторинної обмотки трансформатора, способу регулювання вихідної напруги, за схемою інвертування та іншим факторів.

Робота автономного інвертора та його техніко-економічні показники в основному визначаються схемою інвертування, під якою, як правило, розуміють схему з'єднання вентильних елементів та елементів для їх комутації, а також трансформатора та в окремих випадках вхідного або вихідного фільтра (якщо останній надає безпосереднє вплив на процес інвертування).

Від схеми інвертування залежать форма кривої вихідної напруги, форма кривої споживаного струму, зовнішня (або навантажувальна) характеристика, к. п. д. інвертора, допустиме зміна коефіцієнта потужності навантаження (зазначається зазвичай за основний гармоніці напруги на навантаженні), максимальне (миттєве) значення струму навантаження, що визначає для більшості схем поріг сталої роботи інвертора.

Автономний інвертор струму (АІТ) – це інвертор, форма струму на виході якого визначається лише порядком перемикання тиристорів (транзисторів) інвертора, а форма напруги залежить від характеру навантаження. Живлення АІТ повинно проводитись від джерела струму. Якщо АІТ живиться від керованого випрямляча, то переведення випрямляча в режим регульованого джерела струму зазвичай досягається або шляхом включення згладжуючого реактора дуже великої індуктивності, або за допомогою охоплення випрямляча сильним негативним зворотним зв'язком по струму і використання згладжуючого реактора, індуктивність якого достатня для згладжування пульсацій випрямленого струму.

Схема трифазного АІТ та діаграми струму в навантаженні показані на рис. 2.1. Для ідеалізованого інвертора можна вважати, що вхідний Струм ідеально згладжений, а на виході формуються струми прямокутної форми. При цьому кожен тиристор проводить струм на інтервалі тривалістю $2\pi/3$.

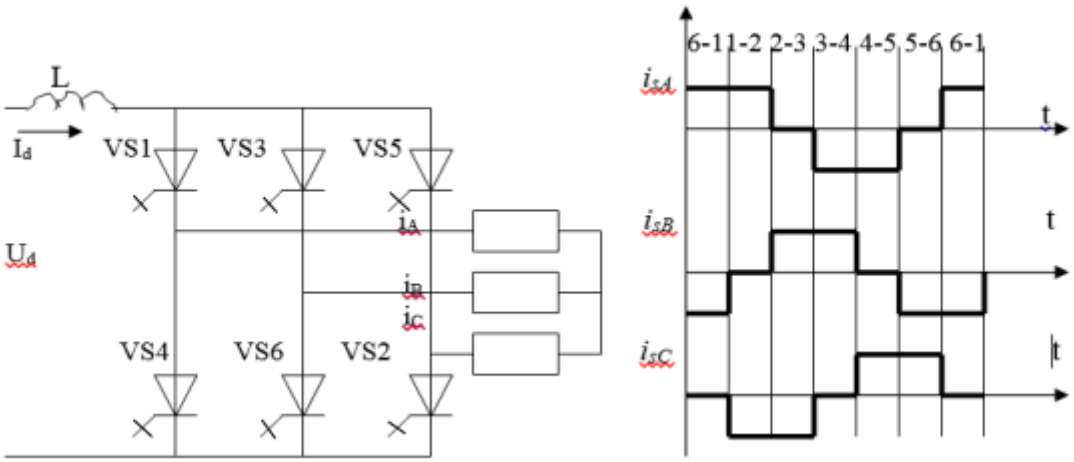


Рисунок 6.3 - Схема та діаграми струмів у навантаженні трифазного інвертора струму

2.3 Чотириквадрантний перетворювач

За своїм схемним виконанням та алгоритмом управління чотириквадрантний (4qS) перетворювач є автономним інвертором напруги (АІН) з широтно-імпульсною модуляцією напруги.

Принцип дії та основні співвідношення, що характеризують роботу перетворювача розглянемо з допомогою схеми (рис. 2.2).

Транзистори VS1-VS4 та діоди VD1-VD4 утворюють схему чотириквадрантного перетворювача, підключеного до джерела змінної напруги ес через узгоджувальний дросель L_c. Індуктивність L_c приймає різницю напруг e_c і u_1 на вході перетворювача. У ланцюг постійного струму включено джерело постійної напруги E_d та конденсатор фільтра C_d , призначений для шунтування вищих гармонік струму навантаження i_d. Підключення конденсатора C_d великої ємності до джерела E_d надає йому властивостей джерела напруги. Транзистори VS1-VS4 та зустрічно-паралельно включені зворотні діоди VD1-VD4 утворюють ключові елементи схеми, що мають двосторонню провідність.

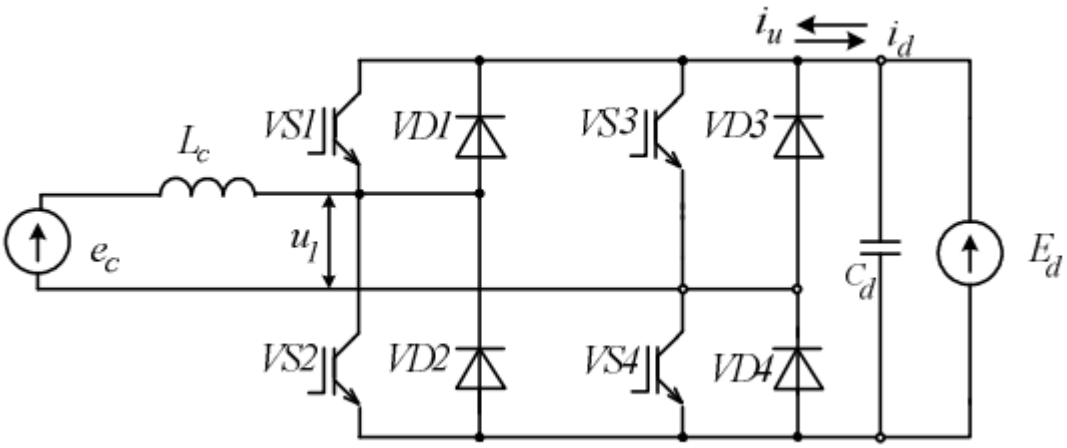


Рис. 2.2. Схема увімкнення 4qS-перетворювача

Схема чотириквадрантного перетворювача являє собою два зустрічно включених мостових випрямлячів – керованого VS1-VS4 та некерованого VD1-VD4 , з'єднаних з боку затискачів постійного напруги. До затискачів змінної напруги через індуктивність L_c підключений вхідний джерело змінної напруги e_c , а навантаження у вигляді джерела едс E_d та конденсатора C_d включена між анодною та катодною групами некерованого випрямляча VD1-VD4. Принцип роботи перетворювача передбачає включення індуктивності L_c ланцюг джерела e_c.

Чотириквадрантний перетворювач може працювати в режимах випрямлення, інвертування та тактування та їх поєднанні.

У режимі випрямлення (рис. 2.3.) струм у ланцюгу з $i_c = i_d$ протікає в один напівперіод через зворотні діоди VD1, VD4, а в інший – через VD2, VD3.

Оскільки струм із $i_c = i_d$ збігається з напругою вхідного джерела ес, він є джерелом електрики. Її споживачем стає ланцюг постійної напруги E_d , оскільки напрям струму d і протилежно до напруги джерела E_d.

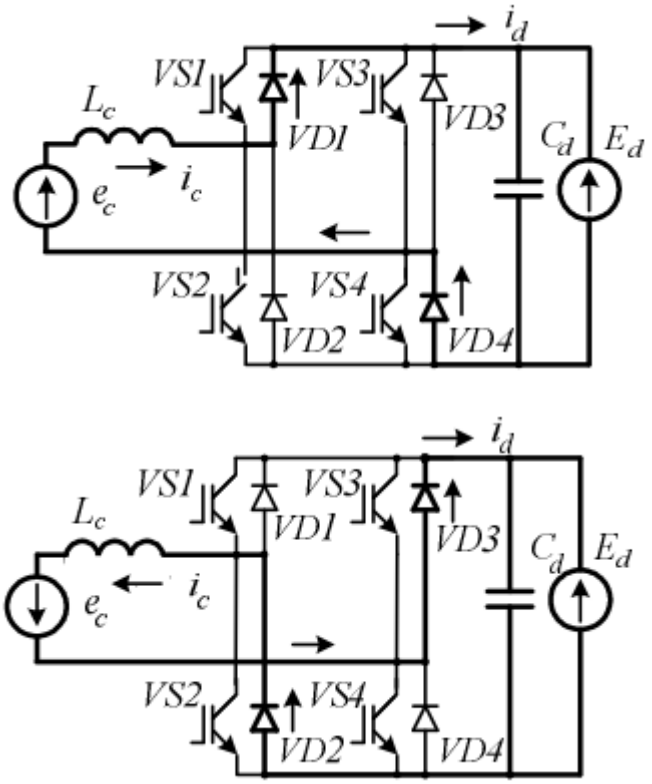


Рис. 2.3. Випрямний режим роботи

Рекуперація енергії від джерела E_d (режим інвертування) здійснюється шляхом увімкнення пари транзисторів VS1, VS4 (VS2, VS3) різних груп перетворювача (рис. 3.4.).

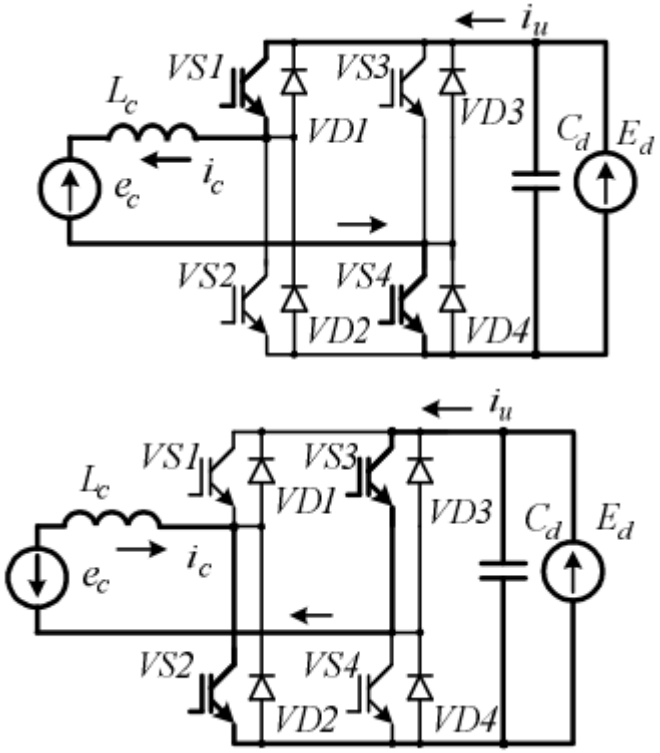


Рис. 3.4. Інверторний режим роботи

В цьому випадку в перетворювачі протікає струм $i_и = i_c$, що збігається з E_d і спрямований зустрічно напрузі ес, що вказує на режим генерування енергії джерелом E_d та її споживанням ланцюгом вхідного джерела ес. Для реалізації цього режиму напруга E_d на виході перетворювача повинна бути більше амплітудного значення напруги джерела живлення, тобто $E_d > 2e_c$. З цієї умови випливає, що перетворювач не може регулювати вихідну напругу нижче за амплітудне значення джерела живлення e_c.

Режим тактування характеризується включенням однієї з транзисторів перетворювача. В цьому випадку вхід перетворювача закорочений відкритим транзистором одного та зворотним діодом іншого плеча моста. Наприклад, за полярності e_c, вказаної на рис. 3.5., струм ic може протікати через VS1, VS3 або VS2, VS4. У цьому режимі відбувається запас магнітної енергії в індуктивності L_c; вихідний ланцюг з джерелом E_d відключено від перетворювача закритими транзисторами VS2, VS4 (VS1, VS3).

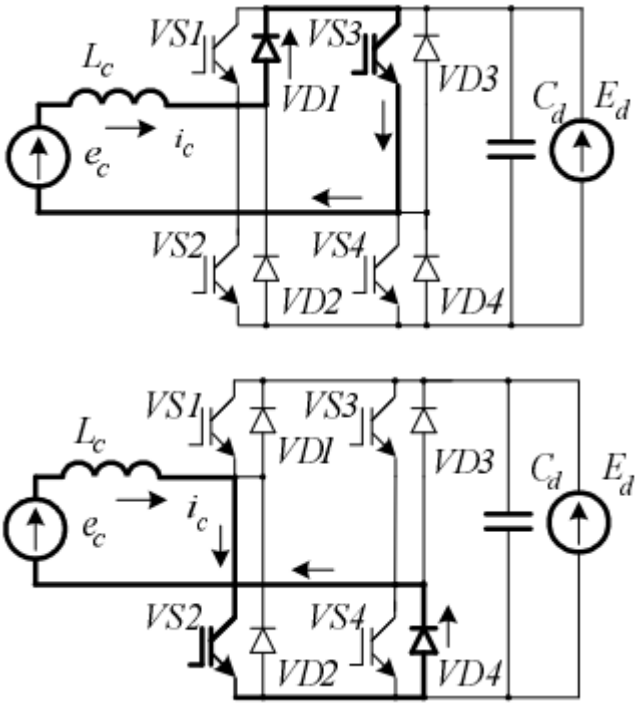


Рис. 3.5. Режим тактування

Включення та вимкнення транзисторів VS1–VS4 перетворювача здійснюється за алгоритмом, що забезпечує широтно-імпульсну модуляцію напруги за синусоїдальним законом.

Цей інтервал роботи перетворювача відповідає режиму тактування (див. мал. 3.5). Джерело E_d відключено від перетворювача закритими транзисторами VS1, VS3(VS2, VS4), тому напруга на затискачі змінного струму u_1, а також струм навантаження i_d дорівнюють нулю. Вхідний струм перетворювача з i_c обмежений індуктивністю L_c, При u1 = 0

2.4 Висновки за розділом

Дав основні відомості про призначення пристроїв перетворювальної техніки вивчити їхню елементну базу.

Вивчити принцип роботи однофазних випрямлячів та їх Основні технічні характеристики вивчити принцип роботи трифазних випрямлячів та їх основні технічні характеристики.

У цьому розділі розглянуто принцип дії та роботу різних типів перетворювачів, включаючи сучасні пристрої (4qS-перетворювач) перетворення енергії, виконані на базі повністю керованих силових ключів (IGBT-транзисторів)

3. ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ ЧОТИРИКВАДРАНТНОГО ПЕРЕТВОРЮВАЧА НАПРУГИ НА МОДЕЛІ

3.1 Коротка характеристика Matlab/Simulink

Чотирьохквадрантний перетворювач може працювати в режимах випрямлення, інвертування та тактування та їх поєднанні.

У режимі випрямлення (рис. 3. 1) струм в ланцюзі ic = id протікає в один напівперіод через зворотні діоди VD1, VD4, а в інший – через VD2, VD3. Оскільки струм ic = id збігається з напругою вхідного джерела, він є

джерелом електричної енергії. Її споживачем стає ланцюг постійної напруги Ed, оскільки напрямок струму id протилежний напрузі джерела Ed.

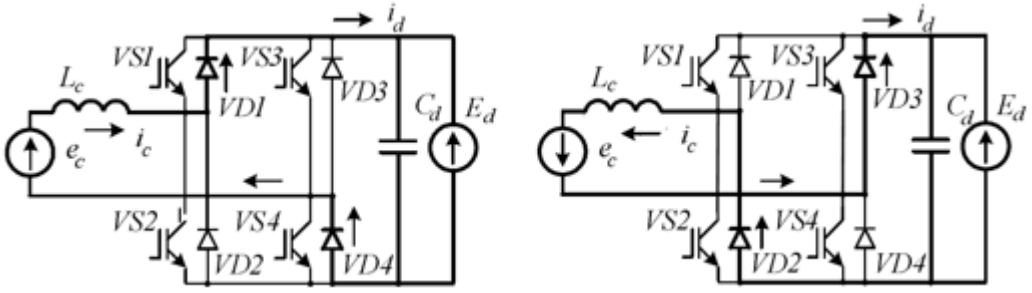


Рис. 3.1. Випрямний режим роботи 4qS

Рекуперація енергії від джерела Ed (режим інвертування) здійснюється шляхом увімкнення пари транзисторів VS1, VS4 (VS2, VS3) різних груп перетворювача (рис. 3.2).

В цьому випадку в перетворювачі протікає струм ii = ic, що збігається з Ed і спрямований зустрічно напрузі ec, що вказує на режим генерування енергії джерелом Ed та її споживанням ланцюгом вхідного джерела ec. Для реалізації цього режиму напруга Ed на виході перетворювача має бути більшою за амплітудне значення напруги джерела живлення, тобто Ed > 2ec. З цієї умови випливає, що перетворювач не може регулювати вихідну напругу нижче за амплітудне значення джерела живлення ec.

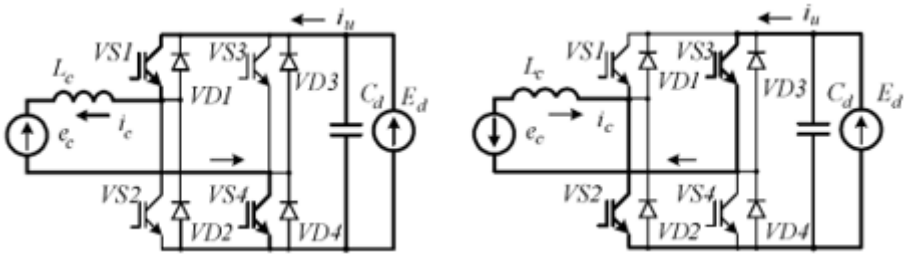


Рис. 3.2. інверторний режим роботи 4qS

Для проведення моделювання вибрано пакет моделювання Simulink.Matlab.

3.2 Модель

Модель автономного інвертора напруги із трифазним асинхронним двигуном в середовищі Simulink/Matlab наведено на рис. 3.3.

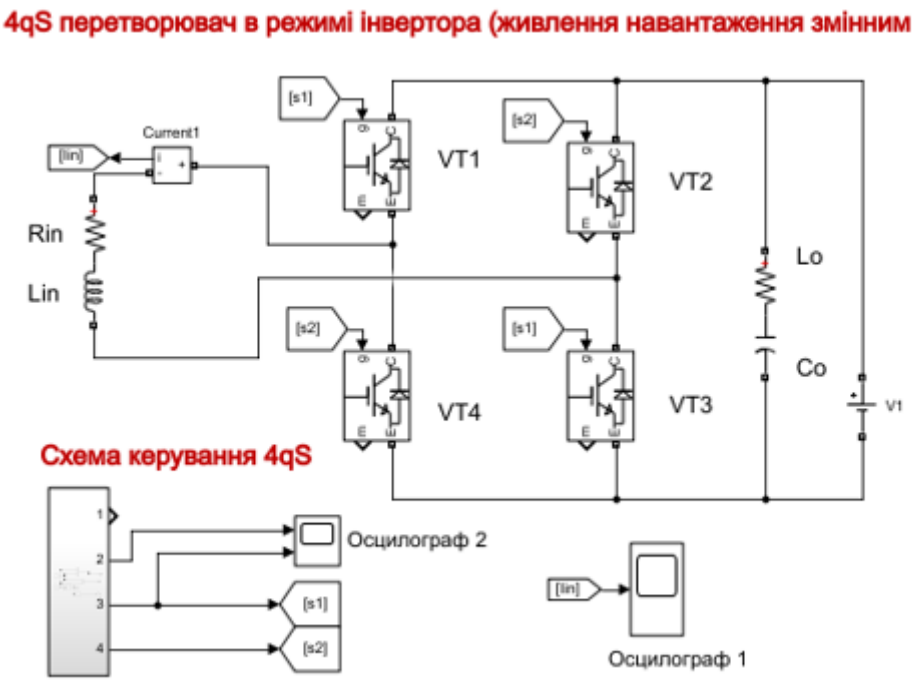


Рис. 3.4. Симулінк-модель чотириквадратного перетворювача напруги в режимі інвертора

В цьому режимі перетворювач енергію джерела постійного струму (на правому кінці схеми) перетворює в змінний струм, що живить навантаження розташоване ліворуч схеми.

Управляючі імпульси, що подають на затвор IGBT транзисторів, формуються пристроїм управління, у вигляді широтно-імпульсних імпульсів, модульованиї синусоідалним сигналом (рис. 3.5).

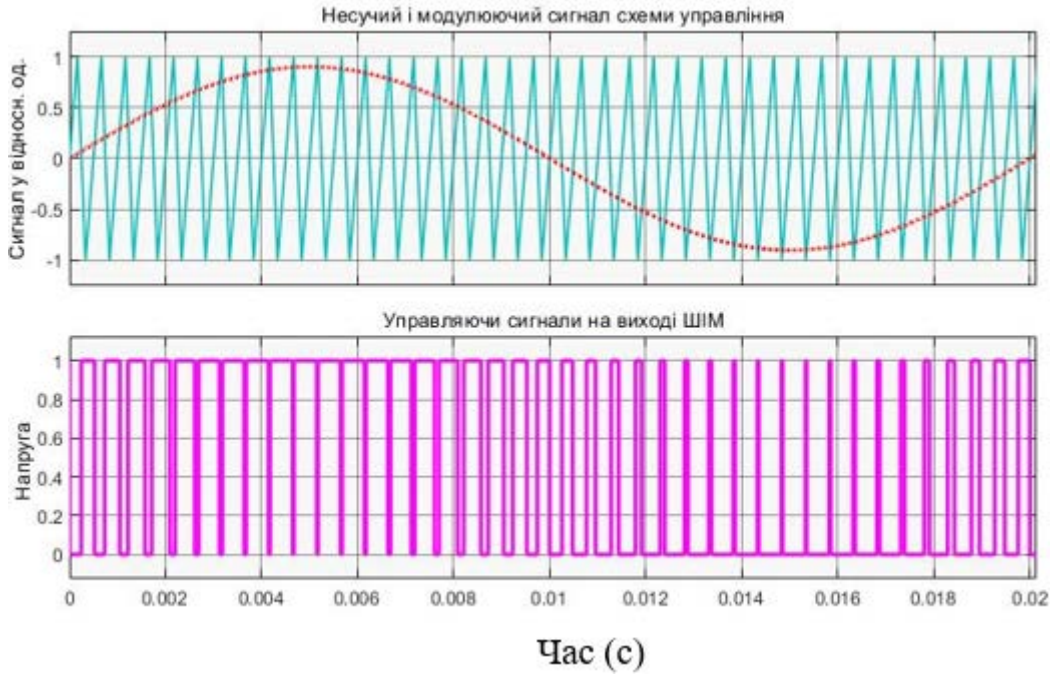


Рис. 3.5. Формування управляючих широтно-імпульсних сигналів

Струм через навантаження має синусоідальну форму і частоту 50 Гц (рис. 3.6).

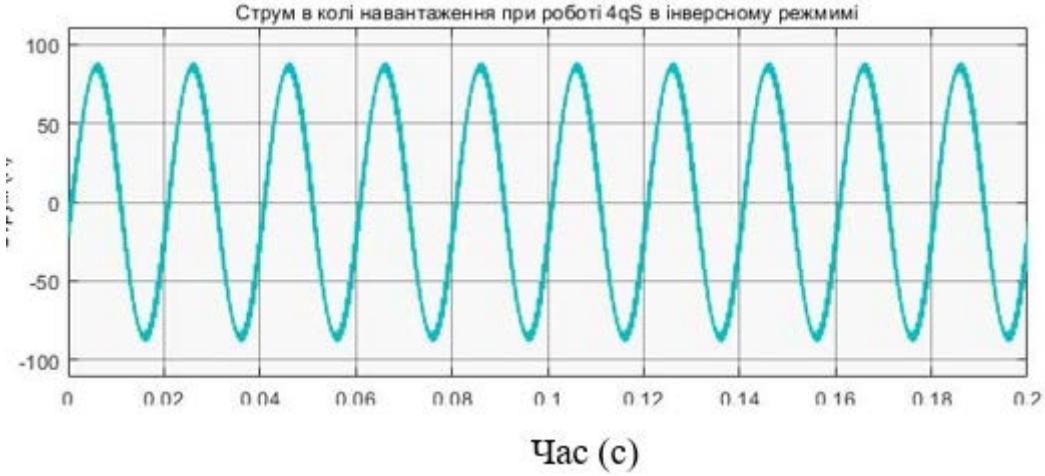


Рис. 3.6. Струм на виході АІН

3.3 Результати моделювання

В цьому режимі енергія з лівого кінця, - від активного навантаження, наприклад від двигуна, який працює в режимі генератора, випрямляється і передається на правий кінець схеми, тобто до джерела постійної напруги. Такий процес називається рекуперацією енергії. Очевидно, що для протікання рекуперації необхідно, щоб діюче значення змінної напруги було більше напруги постійного струму.

Модель чотириквадратного перетворювача напруги в режимі рекуперації наведена на рис. 3.7.

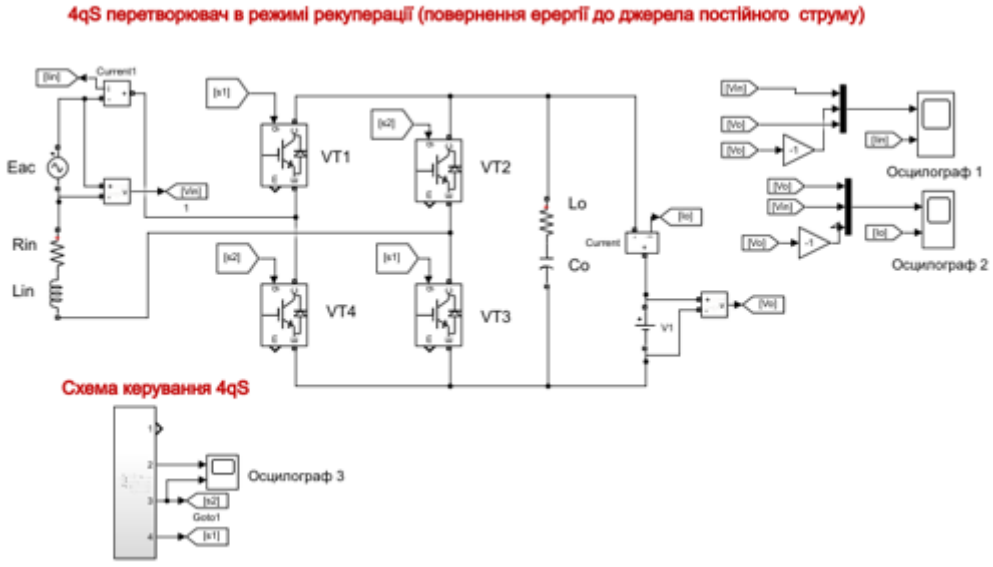


Рис. 3.7. Симулінк-модель чотириквадратного перетворювача напруги в режимі рекуперації

Результати моделювання часової залежності напруги і струму в колі джерела змінного струму наведено на рис. 3.8. Напруга має синусоідальну форму з частотою 50 Гц. На цьому графіку в першому і четвертому квадрантах червоною лінію проведені лінії на рівні 100 В, що відповідають напрузі джерела постійного струму. Діоди випрямляча перетворювача відкриваються і пропускають струм тільки за умови, що змінна напруга більше ніж постійна (100 В). Тому струм має вигляд обрізаних сегментів синусоїди.

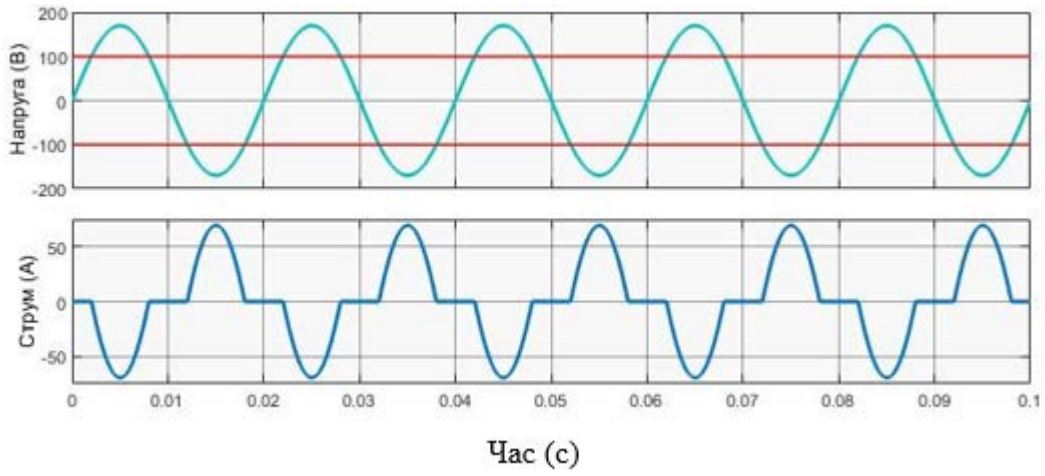


Рис. 3.8. Часові залежності напруги (верхній графік) і струму в колі джерела змінного струму.

Результати моделювання часової залежності струму в колі джерела постійного струму наведено на рис. 3.9. Відповідно до вищезазначенного, струм буде протікати тільки в інтервалах часу, коли діоди відкриті. Тому струм має також форму обрізаних сегментів синусоїди. Струм протікає в одному напрямку (тобто він випрямлений), а негативний знак струму показує, що він протікає назустріч ЕРС (напрузі) джерела постійного струму, тото енергія передається до нього.

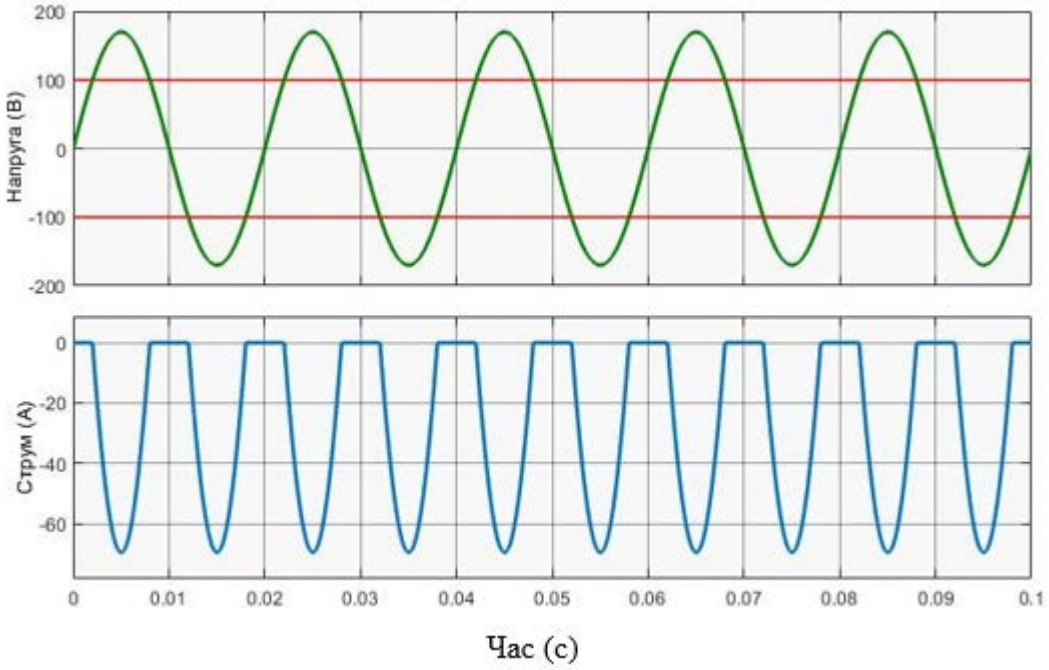


Рис. 3.9. Часові залежності напруги в колі джерела змінного струму (верхній графік) і струму в колі джерела постійного струму.

3.4 Висновки за розділом

Розроблено модель чотириквадратного перетворювача напруги і досліджено його роботу.

Отримані в результати моделювання дозволяють проаналізувати роботу чотириквадратного перетворювача напруги в режимі випрямляча і інверторному режимі.

ВИСНОВКИ

У дипломному проекті розглянув режим роботи чотириквадратного перетворювача напруги.

1. Розглянуто силові напівпровідникові ключи. Розглянуто основні види перетворювальної техніки, що застосовується на нафтохімічних виробництвах. Проаналізовано основні схеми перетворювальних пристроїв. При викладанні матеріалу особливу увагу приділено фізичній стороні

принципу роботи того чи іншого пристрою, аналізу основних характеристик та показників, підходів до розрахунку та вибору елементів схеми.

2. Розглянуто керовані випрямлячі та автономні інвертори. Дав основні відомості про призначення пристроїв перетворювальної техніки вивчити їхню елементну базу. Вивчити принцип роботи однофазних випрямлячів та їх Основні технічні характеристики вивчити принцип роботи трифазних випрямлячів та їх основні технічні характеристики.

3. Дослідив роботу чотириквадратного перетворювача напруги.

Література

1. Електроніка та мікросхемотехніка [Електронний ресурс]: навчальний посібник для студентів напряму підготовки 6.050702 «Електромеханіка» / А. А. Щерба, К. К. Побєдаш, В. А. Святненко ; – Київ : НТУУ «КПІ».

2. Електроніка і мікросхемотехніка: Підручник для студентів вищ. закл. освіти, що навчаються за напрямками "Електромеханіка" та

"Електротехніка": У 4-х т. / Сенько В.І., Панасенко М.В., Сенько Є.В., Юрченко М.М., Сенько Л.І., Ясінський В.В. -К.: ТОВ "Видавницгво"Обереги", 2000. Т.1. Елементна база електронних пристроїв.

3. Електроніка і мікросхемотехніка: Підручник для студентів вищ. закл. освіти, що навчаються за напрямками "Електромеханіка" та "Електротехніка": У 4-х т. / Сенько В.І., Панасенко М.В., Сенько Є.В., Юрченко М.М., Сенько Л.І., Ясінський В.В. - Харків: Фоліо, 2002. Т.2. Аналогові та імпульсні пристрої.

4. Руденко В.С. та ін. Промислова електроніка: Підручник /В.С. Руденко В.Я. Ромашко, В.В.Трифонюк.- Київ, Либідь, 1993.

5. Скаржепа В.А., Новацкий А.А., Сенько В.И. Электроника и микросхемотехника: Лабораторный практикум. Под ред. А.А Краснопрошиной. - К., Вища школа.

6. Перетворювальна техніка. Підручник. Ч.1,2/ Ю.П.Гончаров, О.А.Будьонний, 4. В.Г.Морозов, М.В. Панасенко, В.Я. Ромашко, В.С. Руденко. За ред. В.С.Руденко. – Харків: Фоліо. 2000.

7. Радіотехніка: Енциклопедичний навчальний довідник: Навч. посібник / За ред. Ю.Л.Мазора, Є.А.Мачуського, В.І.Правди. – К.: Вища шк., 1999.