

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА імені О.М.БЕКЕТОВА

МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ

до організації самостійної роботи
з навчальної дисципліни

ЕНЕРГЕТИЧНА ЕЛЕКТРОНІКА

*(для студентів усіх форм навчання
освітнього рівня «магістр» за спеціальністю
141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка)*

Харків – ХНУМГ ім. О. М. Бекетова – 2018

УДК 621.314

Методичні рекомендації до організації самостійної роботи з навчальної дисципліни «Енергетична електроніка» (для студентів усіх форм навчання освітнього рівня «магістр» за спеціальністю 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка) /. Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова; уклад. В. Г. Ягуп. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова. – 16 с.

Укладач

д-р техн. наук, проф. В. Г. Ягуп

Рецензент:

В. А. Маляренко, доктор технічних наук, професор кафедри систем електропостачання та електроспоживання міст (Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова)

Рекомендовано кафедрою систем електропостачання та електроспоживання міст, протокол № 8 від 12 червня 2016 р.

Методичні рекомендації складені з метою допомогти студентам електротехнічних спеціальностей під час підготовки до занять, заліків та іспитів із дисципліни «Енергетична електроніка».

ВСТУП

Самостійна робота з дисципліни «Енергетична електроніка» ставить своєю метою поглиблення знань з дисципліни та придбання навиків праці з науково-технічною літературою.

Перед виконанням роботи слід вивчити відповідні розділи дисципліни, застосування основних понять і математичних співвідношень для опису процесів в електричних системах з напівпровідниковими нелінійними елементами, методів формування рівнянь процесів у перетворювачах електричної енергії. Крім того, слід мати уявлення про аналітичні та числові розв'язання рівнянь напівпровідникових перетворювачів електричної енергії з урахуванням дискретного характеру зміни стану діодів, а також вміти практично застосувати сучасні комп'ютерні засоби для отримання результатів розрахунків процесів у напівпровідникових перетворювачах.

Самостійну роботу слід оформлювати у робочих зошитах або папках, в яких фіксувати час, використаний на самостійну роботу, перелік питань, які вибули розглянуті, а також умови та результати розв'язань розглянутих завдань. Результати самостійної роботи, оформлені належним чином, можуть враховуватися при підсумковому оцінюванні.

1 СИЛОВІ НАПІВПРОВІДНИКОВІ ПРИЛАДИ

При вивченні силових напівпровідникових приладів слід уявляти принципи побудови конструкції приладів, матеріали і технології, що використовуються при їх створенні, основні характеристики приладів та їх параметри.

1. Накреслити умовно-графічні зображення діода, тиристора, силових транзисторів.
2. Накреслити вольт-амперні характеристики діода, тиристора, силових транзисторів.
3. Записати рівняння Еберса - Мола, що вони описують вольт-амперну характеристику напівпровідникового діоду.

4. Поясніть особливості вмикання та вимикання діода, тиристора, силових транзисторів.

2 МЕТОДИ АНАЛІЗУ ПРИСТРОЇВ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ЕЛЕКТРОНІКИ

При вивченні методів аналізу напівпровідникових перетворювачів слід усвідомлювати проблеми, пов'язані з нелінійністю вольт-амперних характеристик силових напівпровідникових приладів, а також стало нестационарний характер процесів в перетворювачах. Це обумовлює необхідність оперувати диференціальними рівняннями, що описують згідно методу припасовування процеси на кожному інтервалі незмінності стану напівпровідникових вентилів. Слід вміти пояснити принцип кусково-лінійної апроксимації нелінійних вольт-амперних характеристик силових напівпровідникових приладів.

1. Накресліть кусково-лінійно характеристики діода, тиристора, силових транзисторів з реальними параметрами.

2. Накресліть кусково-лінійно характеристики ідеальних діода, тиристора, силових транзисторів.

3. Поясніть принцип кусково-лінійної апроксимації.

4. В чому полягає метод припасовування?

5. Які методи застосовуються для складання та розв'язання диференціальних рівнянь для окремих інтервалів незмінності станів напівпровідникових приладів?

3 ОДНОФАЗНІ ВИПРЯМЛЯЧІ

При вивченні однофазних випрямлячів слід зосередитись на з'ясуванні принципів роботи кожної схеми. Треба вміти накреслити часові діаграми напруг та струмів в схемі, зрозуміти логіку перемикань силових вентилів, оцінювати основні співвідношення, що характеризують якість роботи випрямляча в системі електропостачання.

1. Накресліть основні схеми однофазних випрямлячів.

2. Які вимоги ставляться до силового трансформатора випрямляча?

3. Накресліть часові діаграми вихідної напруги та струми вентилів однофазного однофазного випрямляча, поясніть їх.
4. Поясніть особливості роботи трансформатора в однофазному однофазному випрямлячу.
5. Яким чином здійснюється вибір силових діодів для однофазного однофазного випрямляча?
6. Розгляньте питання 3,4,5 для двотактних однофазних випрямлячів.
7. Виведіть математичний вираз для величини вихідної напруги однофазного і двотактного випрямляча (використати операцію інтегрування виразу для вихідної напруги відповідного випрямляча).
8. Змодельуйте роботу однофазного випрямляча, використовуючи один з математичних комп'ютерних пакетів. Здійсніть вимірювання основних показників випрямляча і порівняйте результати з теоретичними показниками.

4 ФІЛЬТРАЦІЯ ВИХІДНОЇ НАПРУГИ ВИПРЯМЛЯЧІВ

При розгляді вихідної напруги слід розуміти, що реальна напруга випрямляча відрізняється від потрібної ідеальної постійної напруги, і на відміну від останньої має форму пульсуючих імпульсів. Основне призначення пристроїв фільтрації вихідної напруги полягає у наближенні форми вихідної напруги до потрібної. Рекомендується повторити розділ вищої математики, пов'язаний з розкладанням періодичних функцій в тригонометричний ряд.

1. Запишіть формули для розкладання функцій в тригонометричний ряд.
2. Яка фізична суть коефіцієнтів ряду Фур'є для напруг і струмів випрямляча.
3. Виведіть формули для гармонійного складу вихідної напруги однофазного і двотактного випрямлячів (використати формули для розкладання парних періодичних функцій, представивши відповідним чином вихідну напругу випрямляча).
4. Які номери гармонік містяться в спектрі вихідної напруги однофазного і двотактного випрямлячів?

5. Використовуючи пакет комп'ютерної математики, змодельуйте однотактний випрямляч без трансформатора, навантажений на активний резистор, і отримайте чисельним методом гармонійний склад вихідної напруги. Порівняйте отримані результати з теоретичними.

6. Запишіть математичні вирази для коефіцієнта пульсації випрямляча та коефіцієнта згладжування фільтра.

7. Поясніть, чому для згладжувальних фільтрів випрямлячів слід використовувати виключно реактивні елементи.

8. Виведіть математичні вирази для коефіцієнта згладжування фільтрів RC, RL та LC-фільтрів.

5 ВПЛИВ РЕАКТИВНИХ ЕЛЕМЕНТІВ ФІЛЬТРІВ

НА РОБОТУ ВИПРЯМЛЯЧІВ

При вивченні впливу реактивних елементів фільтрів на роботу випрямлячів необхідно з'ясувати динамічні процеси, які супроводжують роботу випрямляча сумісно із згладжувальним фільтром. Слід приділити основну увагу впливу згладжувальних фільтрів на тривалість інтервалів провідності силових вентилів, а також на форми кривих струмів і напруг випрямляча.

1. Накресліть розрахункову схему однотактного випрямляча при роботі на ємність.

2. Накресліть розрахункові схеми для інтервалів, коли діод проводить і не проводить електричний струм.

3. Запишіть диференціальні рівняння для динамічних процесів для обох станів діода.

4. Виведіть вираз для тривалості інтервалу провідності діода при роботі однотактного випрямляча на ємність нескінченної величини.

5. Розв'яжіть рівняння для тривалості інтервалу провідності діода при роботі однотактного випрямляча на ємність нескінченної величини числовим методом при амплітуді живлячої напруги 10В, навантажені 10 Ом, опорі джерела живлення 0.1 Ом.

6. Перевірте результати розрахунків за п.5 на математичній комп'ютерній моделі.

6 БАГАТОФАЗНІ ВИПРЯМЛЯЧІ

При розгляді багатофазних випрямлячів слід з'ясувати, яким чином перемикаються силові вентиля в процесі роботи випрямляча. Завдяки такому з'ясуванню далі можна будувати діаграми вихідної напруги випрямляча, струми вентилів, а також струми первинної і вторинної обвиток живлячого трансформатора.

1. Накресліть нульову та мостову схеми трифазних випрямлячів.
2. Поясніть, яким чином перемикаються вентиля трифазних випрямлячів при роботі на активне навантаження.
3. Виведіть математичні вирази для середнього значення вихідної напруги трифазних схем випрямлячів.
4. Складіть рівняння рівноваги трифазного трансформатора при роботі в складі нульової та мостової схем трифазних випрямлячів.
5. Побудуйте часові діаграми струмів обвиток трифазного трансформатора для випадку постійного струму у навантаженні трифазних випрямлячів.

7 ТРИВАЛА КОМУТАЦІЯ В ВИПРЯМЛЯЧАХ

Вивчаючи тривалу комутацію, слід мати на увазі, що виникнення тривалої комутації слід розглядати її вплив як на навантаження, так і на живлячу мережу. Треба уявити причини виникнення тривалої комутації, вміти отримувати математичні вирази, що характеризують поведінку випрямляча, в якому виникає тривала комутація.

1. Що є причиною виникнення тривалої комутації в багатофазному випрямлячі?
2. Накресліть заступну схему трансформатора, що живить випрямляч.
3. Накресліть розрахункову схему для дослідження інтервалу тривалої комутації

4. Виведіть математичний вираз для струмів комутуючих фаз випрямляча (складіть і розв'яжіть диференціальне рівняння для струму комутуючої фази).
5. Накресліть діаграми комутуючих струмів на інтервалі тривалої комутації.
6. Як впливає на довжину інтервалу комутації збільшення струму навантаження?
7. Як змінюється діаграма вихідної напруги багатофазного випрямляча за впливом тривалої комутації?
8. Поясніть, чому виникають викривлення напруги мережі обмеженої потужності?

8 КЕРОВАНІ ВИПРЯМЛЯЧІ

При вивченні керованих випрямлячів слід мати на увазі, що необхідність зміни вихідної напруги випрямляча обумовлена не тільки потребами навантажень приймати на себе певні рівні постійної напруги. Можливість керування вихідної напруги відкриває включення випрямлячів в структуру систем автоматичного керування та стабілізації режимів, що є необхідним в разі забезпечення електричною енергією відповідальних пристроїв високих технологій. Керування вихідною напругою випрямляча забезпечується завдяки використанню керованих вентилів – тиристорів та транзисторів, тому треба чітко уявляти особливості перемикачів останніх.

1. В чому полягають умови вмикання і вимикання тиристорів?
2. Яким чином протікає вимикання тиристора і відновлювання якостей тиристора?
3. Поясніть принцип побудови системи керування випрямлячем за вертикальним принципом і накресліть діаграми, що пояснюють процеси в цій системі керування.
4. Яким чином формується вихідна напруга однофазного та багатофазного керованих випрямлячів?
5. Від якої точки слід вимірювати кут керування?

6. Накресліть залежність вихідної напруги випрямляча від величини кута керування.

7. Як виглядає діаграма вихідної напруги керованого випрямляча в разі виникнення режиму тривалої комутації?

9 КОЕФІЦІЄНТ ПОТУЖНОСТІ ВИПРЯМЛЯЧА

Розглядаючи випрямляч як навантаження для живильної мережі змінного струму, важливо оцінювати характер потужності, що споживає випрямляч від мережі. Найбільш бажаним є режим споживання лише активної потужності. Це означає, що при синусоїдальній напрузі мережі струм, що споживається її навантаженням, повинен, по-перше, бути також синусоїдальним, а по-друге, цей струм точнісінько співпадає за фазою з живильною напругою. Аналіз струмів, що споживаються випрямлячами, показує, що ці струми зсуваються в бік відставання відносно живильної напруги, тобто, для випрямлячів характерним є режим, аналогічним поведінці індуктивності. Але, крім цього, слід враховувати, що струм, споживаний випрямлячем, не є синусоїдальним. Якщо вважати струм навантаження ідеально згладженим, то цей струм має вигляд прямокутних імпульсів. Такий струм можна розкласти в тригонометричний ряд і виділяти першу, основну гармоніку струму і вищі гармоніки. Перша гармоніка зміщена на кут φ , і сумісно з живлючою синусоїдальною напругою основної частоти U_1 визначає активну і реактивну потужності за основною гармонікою. Наявність фазового зсуву обумовлює споживання від мережі реактивної потужності крім активної потужності.

1. Поясніть, в чому полягають особливості випрямлячів як споживачів електричної енергії від живлячої мережі.
2. Поясніть вплив кута керування на зсув першої гармоніки струму, що споживається від мережі, відносно фазної напруги мережі.
3. Запишіть вираз для коефіцієнта спотворень первинного струму перетворювача.

4. Яким чином визначається коефіцієнт потужності у випадку роботи випрямляча з несинусоїдним струмом, що споживається від мережі?
5. Яким чином можна підвищити коефіцієнт потужності випрямляча?

10 ПРИМУСОВА КОМУТАЦІЯ

При розгляді примусової комутації треба пам'ятати, що тиристор є напівкерований пристрій, тобто можна керувати лише моментом вмикання тиристора. Для цього потрібно дві умови: наявність позитивної анодної напруги на силових електродах тиристора і подача імпульсу на керуючий електрод. Після цього тиристор вмикається і його можна вважати звичайним діодом. Тиристор, як і діод, ввімкнеться в момент, коли його струм, зменшуючись, досягне нульового значення (точніше, значення струму утримання, який близький до нуля). В перетворювальних пристроях з'являється потреба вимкнути тиристор раніше моменту досягнення природної комутації. Для цього до тиристора приєднуються спеціальні вузли, які містять в собі реактивні і напівпровідникові елементи. Їх називають вузлами примусової комутації.

1. Поясніть, яке призначення вузлів примусової комутації.
2. Яким чином реалізується жорстка примусова комутація?
3. Поясніть недоліки жорсткої примусової комутації.
4. Що є основою м'якої примусової комутації?
5. Які кількісні показники характеризують контур м'якої конденсаторної комутації? Поясніть розрахунками і часовими діаграмами.

11 ВИПРЯМЛЯЧІ З ПІДВИЩЕНИМ КОЕФІЦІЄНТОМ ПОТУЖНОСТІ

Слід усвідомлювати, що проблема підвищення коефіцієнту потужності випрямлячів виглядає надзвичайно актуальною, оскільки в більшості випадків саме випрямляч є тією проміжною ланкою, яка контактує з живильною мережею. На сьогоднішній день розв'язання цих проблем є важливим в плані боротьби за підвищення якості електроенергії і умов електроспоживання.

1. Накресліть діаграми напруг і струмів для пояснення зменшення коефіцієнта потужності керованого випрямляча при збільшенні кута керування.
2. Поясніть, яким чином вмикання нульового діоду дозволяє покращати коефіцієнт потужності випрямляча.
3. В чому полягає принцип дії схеми з компенсацією, запропонованою І.М. Чиженко?
4. Промодельуйте схему І.М. Чиженка і з'ясуйте форми напруг на конденсаторах

12 АВТОНОМНІ ІНВЕРТОРИ

Автономні інвертори призначені для перетворення електричної енергії постійного струму в електричну енергію змінного струму. Принцип роботи інвертора рекомендується з'ясувати на прикладах схем з механічними ключами. В схемах з напівпровідниковими комутаторами типи тиристора обов'язково потрібно вводити вузли примусової комутації. Треба знати класифікацію автономних інверторів та основні схеми однофазних та трифазних інверторів.

1. Накресліть схему та часові діаграми інвертора з механічними комутаторами.
2. Накресліть схему однофазного інвертора струму.
3. Яким чином здійснюється подача керуючих імпульсів на тиристори однофазного інвертора струму?
4. Як здійснюється примусова комутація в схемі однофазного інвертора струму?
5. Як виглядають часові діаграми струмів і напруг в схемі однофазного інвертора струму?
6. В чому полягає особливість інвертора з відсікаючими діодами?

13 ПЕРЕТВОРЮВАЧІ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ

Вивчаючи самостійно цей розділ, слід взяти до уваги, що перетворювачі постійного струму призначені для перетворення електричної енергії постійного струму з одного рівня напруги до другого. В зв'язку з цим такі перетворювачі можна назвати своєрідними трансформаторами постійного струму. Вихідна на-

пруга таких перетворювачів може бути зображена як нижче, так і вище вхідної напруги. Ці перетворювачі перетворюють електричну енергію за рахунок широтно-імпульсної модуляції, застосування котрої в кожній конкретній схемі перетворювача постійного струму приводить до процесів, завдяки яким вихідна напруга змінюється.

1. Поясніть, в чому полягає призначення перетворювачів постійного струму?
2. Поясніть принцип широтно-імпульсної модуляції на часових діаграмах.
3. Чому при індуктивному навантаженні потрібно вмикати зворотній діод?
4. Поясніть принцип дії і часові діаграми перетворювачів знижуючого, підвищуючого і інвертуючого типу.
5. Яку роль відіграє індуктивність в перетворювачах підвищуючого і інвертуючого типів?

14 ТИРИСТОРНІ ПЕРЕТВОРЮВАЧІ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ

Перетворювачі постійного струму складаються, як і автономні інвертори, з комутаторів і вузлів примусової комутації, які потребуються для вимикнення силового тиристора в призначений момент часу. Рекомендується розглянути класифікацію тиристорних перетворювачів постійного струму. Роботу такого пристрою бажано пояснити на конкретній схемі за вибором студента. Тут треба розглянути електромагнітні процеси в схемі і вміти пояснити часові діаграми струмів і напруг в силовій частині перетворювача і вузлі комутації.

1. Де застосовуються тиристорні перетворювачі постійного струму?
2. Яким чином реалізується –регулювання струму в перетворювачах постійного струму?
3. Які вимоги виставляються для вузлів комутації тиристорних перетворювачів постійного струму?
4. Чому конденсатор комутуючого контуру заряджається до напруги, яка перевищує напругу джерела живлення?
5. В якій послідовності комутують вентилі в перетворювачі постійного струму?

6. Накресліть еквівалентні схеми для кожного комутаційного етапу перетворювача постійного струму та складіть для них рівняння за методом змінних стану.

15 КОРЕКТОРИ КОЕФІЦІЄНТА ПОТУЖНОСТІ

При розгляді коректорів коефіцієнта потужності слід з'ясувати, що вони призначені для підвищення коефіцієнта потужності, тобто, до наближення його значення до одиниці. Їх застосування обумовлено підвищенням вимог до електромагнітної сумісності перетворювачів з живильною мережею. Ці вимоги підвищуються і стосуються навіть перетворювачів малої потужності. До таких перетворювачів відносяться джерела живлення радіоелектронної апаратури – комп'ютерної та аудіовідеотехніки. Ці перетворювачі мають невелику потужність (десятки-сотні ват) споживання електроенергії від живлючої мережі, однак кількість таких споживачів стрімко зростає, і тому міжнародна електротехнічна комісія включила і ці перетворювачі до списку обладнання з нормованим коефіцієнтом потужності.

1. В чому полягає призначення коректорів коефіцієнта потужності?
2. Чому при відсутності коректора електромагнітна сумісність випрямляча з мережею представляється нераціональною?
3. Яка схема перетворювача постійного струму полягає в основі коректора?
4. Чим відрізняються можливі режими роботи коректора?
5. Яким чином покращується коефіцієнт потужності за допомогою коректора?

16 ТИРИСТОРНІ РЕГУЛЯТОРИ ЗМІННОЇ НАПРУГИ

Регулятори змінної напруги перетворюють фіксовану змінну напругу заданої частоти в регульовану змінну напругу тієї ж частоти. Ці регулятори називаються також двоспрямованими комутаторами змінного струму. Вони широко використовуються як апарати пуску і управління швидкістю обертання асинхронних електродвигунів, в зварювальних апаратах, в приладах нагрівання, регулюванні ламп розжарювання. .

1. Яке сполучення тиристорів називають зустрічно-паралельним?

2. Наведіть часові діаграми, які характеризують роботу однофазного регулятора змінного струму.
3. Яким чином впливає система управління однофазного регулятора змінного струму на вихідну напругу?
4. Що називають характеристикою регулювання?
5. Виведіть формули для характеристики регулювання для випадків одностороннього і двостороннього управління.
6. Побудуйте обидві характеристики (п.5) за допомогою електронних таблиць.
7. Наведіть схеми трифазних регуляторів змінної напруги.
8. Де застосовують трифазні регулятори змінної напруги?

17 БЕЗПОСЕРЕДНІ ПЕРЕТВОРЮВАЧІ ЧАСТОТИ

В ряді випадків для живлення споживачів необхідний струм з частотою, що менша за частоту промислової мережі. В такому разі можна використовувати перетворювачі з безпосереднім зв'язком з живильною мережею. При цьому мережева напруга передається до навантаження без проміжного випрямлення її випрямлячем і застосуванням в подальшому автономного інвертора.

1. В яких випадках використовуються перетворювачі частоти з безпосереднім зв'язком?
2. В чому полягають особливості побудови схеми безпосереднього перетворювача частоти (на прикладі однофазного навантаження)?
3. Поясніть принцип утворення вихідної напруги безпосереднього перетворювача частоти.
4. В чому полягають особливості управління групами тиристорів в безпосередньому перетворювачі?
5. Якими співвідношеннями описують залежність вторинної частоти від первинної для безпосереднього перетворювача?

6. За яким законом повинно бути здійсненню управління тиристорами, аби покращити гармонійний склад вихідної напруги безпосереднього перетворювача?
7. Яким чином забезпечують трифазний режим роботи безпосереднього перетворювача?
8. Які недоліки характеризують роботу безпосередніх перетворювачів частоти?

18 НАПІВПРОВІДНИКОВІ КОМПЕНСАТОРИ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ

Слід мати на увазі, що напівпровідникові компенсатори реактивної потужності широко застосовуються для компенсації реактивної потужності. Їх застосування характеризується високою швидкодією та високою точністю компенсації. Розгляд цих питань рекомендується проводити в напрямках застосування тиристорних комутаторів для вмикання косинусних конденсаторів, використання тиристорно-індуктивних регуляторів реактивної потужності, а також побудови силових активних фільтрів на основі широтно-імпульсної содуляції.

1. В чому переваги тиристорних комутаторів косинусних конденсаторів перед електромеханічними комутаторами?
2. Яким умовам повинно відповідати вмикання конденсаторів тиристорами без імпульсів комутаційних струмів в конденсаторах?
3. Поясніть принцип регулювання індуктивної складової в компенсаторах реактивної потужності за допомогою тиристорів.
4. Накресліть структуру системи електропостачання з силовим активним фільтром.
5. Поясніть принцип дії силового активного фільтра з гистерезисним управлінням.
6. Змодельуйте однофазну або трифазну систему електропостачання з силовим активним фільтром.

СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Розанов Ю. К. Силовая электроника / Ю. К. Розанов. - М.: Издательский дом МЭИ, 2009. – 632 с.
2. Рама Рейди С. Основы силовой электроники / С.Рама Рейди – М.: Техносфера, 2006. -288 с.
3. Сукер Кит. Силовая электроника. Руководство разработчика / К. Сукер - М.: Изд. дом «Додэка-XXI», 2008. -.252 с.
4. Воронин П.А. Силовые полупроводниковые ключи: семейства, характеристики, применение / П. А. Воронин – М.: Изд. дом «Додэка-XXI», 2005. -.384 с.
5. Чиженко И.М. Основы преобразовательной техники / И. М. Чиженко, В. С. Руденко, В. И. Сенько - М : Высш.школа, 1974. - 430 с
6. Гончаров Ю. П. Перетворювальна техніка / Ю. П. Гончаров, С. В. Будьонний, Морозов В.Г. – Х.: Фоліо, 2006. – 357 с.
7. Бурков А. Т. Электронная техника и преобразователи / А. Т. Бурков – М.: Транспорт, 1999. – 464 с.
8. Энергетическая электроника / Под ред В. А. Лабунцова. – М.: Энергоатомиздат, 1987. - 464с.
9. Полупроводниковые выпрямители./ Под ред. Ф. И. Ковалева. – М: Энергия, 1978. - 448 с.
- 10.Ривкин Г. А. Преобразовательные устройства / Г. А. Ривкин - М: Энергия, 1980.- 544 с.
- 11.Ягуп В. Г. Автоматизированный расчет тиристорных схем / В. Г. Ягуп – Харьков : Вища школа, 1986.- 160 с.
12. Ягуп В. Г. Компьютерное моделирование переходных и установившихся процессов в преобразователях электрической энергии / В. Г. Ягуп, Е. В. Ягуп – Харьков : ХНАГХ, 2013. – 181 с.
- 13.Герман-Галкин С.Г. Силовая электроника / С. Г. Герман-Галкин - СПб: Учитель и ученик. КОРОНА принт, 2002.-304 с.

Виробничо-навчальне видання

Методичні рекомендації
до організації самостійної роботи
з навчальної дисципліни

«ЕНЕРГЕТИЧНА ЕЛЕКТРОНІКА»

*(для студентів усіх форм навчання
освітнього рівня «магістр» за спеціальністю
141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка)*

Укладач **ЯГУП** Валерій Григорович

Відповідальний за випуск *П. П. Рожков*
За авторською редакцією
Комп'ютерне верстання *В. Г. Ягуп*

План 2016, поз. 232М

Підп.. до друку 01.06.2018. Формат 60×84/16
Друк на ризографі. Ум. друк. арк. 0,7.
Тираж 50 пр. Зам. №

Видавець і виготовлювач:
Харківський національний університет
міського господарства імені О. М. Бекетова,
вул. Маршала Бажанова, 17, Харків, 61002.
Електронна адреса: rectorat@kname.edu.ua
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи
ДК № 5328 від 11.04.2017.