

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

МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ

до самостійного вивчення
дисципліни

«ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ЕЛЕКТРОТЕХНІКИ»,
«ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ЕЛЕКТРОТЕХНІКИ. Ч. 2, 3»

*(для студентів денної форми навчання на основі освітнього рівня
«молодший спеціаліст» спеціальності*

141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка)

Харків
ХНУМГ ім. О. М. Бекетова
2018

Методичні рекомендації до самостійного вивчення дисципліни «Теоретичні основи електротехніки», «Теоретичні основи електротехніки. Ч. 2, 3» (для студентів денної форми навчання на основі освітнього рівня «молодший спеціаліст» спеціальності 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка / Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова ; уклад. : Н. О. Сабалаєва, Я. Б. Форкун, М. Л. Глебова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2018. – 23 с.

Укладачі: канд. техн. наук, доц. Н. О. Сабалаєва,
канд. техн. наук, доц. Я. Б. Форкун,
канд. техн. наук, доц. М. Л. Глебова

Рецензент д-р техн. наук, проф. А. Г. Сосков

*Рекомендовано кафедрою теоретичної та загальної електротехніки,
протокол № 8 від 28.02.2017.*

ЗМІСТ

ВСТУП.....	4
1 МЕТА І ЗАВДАННЯ ДИСЦИПЛІНИ «ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ЕЛЕКТРОТЕХНІКИ».....	5
2 МІСЦЕ ДИСЦИПЛІНИ В СТРУКТУРНО-ЛОГІЧНІЙ СХЕМІ ПІДГОТОВКИ ФАХІВЦЯ.....	6
3 МОДУЛЬ 1 ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ЕЛЕКТРОТЕХНІКИ. ЧАСТИНА 2.....	7
3.1 ЗМ 1 Лінійні електричні кола періодичного змінного струму.....	7
3.2 ЗМ 2 Розрахунок перехідних процесів в лінійних електричних колах.....	9
4 МОДУЛЬ 2 ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ЕЛЕКТРОТЕХНІКИ. ЧАСТИНА 3.....	11
4.1 ЗМ 3 Нелінійні електричні і магнітні кола.....	11
4.2 ЗМ 4 Лінійні електричні кола з розподіленими параметрами.....	13
4.3 ЗМ 5 Основи теорії електромагнітного поля.....	15
5 ЗАДАЧІ ДЛЯ САМОСТІЙНОЇ ПІДГОТОВКИ	18
СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	21

ВСТУП

Підвищення якості підготовки молодих спеціалістів тісно пов'язане з розширенням та удосконаленням самостійної роботи студентів у період навчання. Треба відзначити, що роль самостійної роботи студентів при вивченні навчальних дисциплін також суттєво зросла у зв'язку з тим, що обсяг самостійної роботи при вивченні дисципліни складає 60 % від загального обсягу.

Дисципліна «Теоретичні основи електротехніки», «Теоретичні основи електротехніки, ч. 2, 3» (ТОЕ)* є базовою для студентів на основі освітнього рівня «молодший спеціаліст» спеціальності 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка. При чому ТОЕ, ч. 3 викладається студентам освітньої програми «Електротехніка та електротехнології» фахових спрямувань «Електротехнічні системи електроспоживання» (ЕСЕ), «Нетрадиційні та відновлювані джерела енергії» (НВДЕ), студентам фахового спрямування «Світлотехніка і джерела світла» (СДС) – ТОЕ, ч.2, а студентам фахових спрямувань «Електричні системи і комплекси транспортних засобів» (СТ), «Електричний транспорт» (ЕТ), «Електромеханічні системи автоматизації та електропривод» (СА) – ТОЕ.

Ці методичні вказівки дозволять інтенсифікувати самостійне навчання студентів, що, таким чином, дозволяє враховувати сучасні тенденції розвитку вищої освіти.

Методичні вказівки підготовлені на основі робочих програм дисципліни «Теоретичні основи електротехніки» для вказаних фахових спрямувань. Загальний розподіл обсягу навчальної роботи студента та її розподіл у межах семестру за типом навчальної роботи студентів денної форми навчання відповідно до актуальних навчальних планів наведено у таблиці 1.

Таблиця 1 – Розподіл обсягу навчальної роботи студента

Фахові спрямування	Всього кредитів / годин	Семестри	Години								Іспити (семестри)	Заліки (семестри)
			Аудиторні	у тому числі			Самостійна робота (СР)	у тому числі				
				Лекції	Практичні заняття	Лабораторні роботи		Контр. Роботи	КП/КР	РГР (семестри) / кількість		
ЕСЕ, НВДЕ, СДС	4/120	1	64	32	–	32	56	–	–	–	1	–
ЕСЕ, НВДЕ	6/180	3	80	32	16	32	100	–	–	3/20	3	–
ЕТ, СА, СТ, ЕТЕР, ЕМ	4/120	1	64	32	–	32	56	–	–	–	1	–

*Примітка: надалі ТОЕ ч. 2, 3 та ТОЕ називатимуться ТОЕ, оскільки вони мають спільні положення та засади.

1 МЕТА І ЗАВДАННЯ ДИСЦИПЛІНИ «ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ЕЛЕКТРОТЕХНІКИ»

Метою викладання навчальної дисципліни «Теоретичні основи електротехніки» є опанування фундаментальними поняттями, теорією й методологією дослідження і розрахунку електричних кіл; засвоєння фундаментальних знань, що є необхідною базою для подальшого навчання.

Основними **завданнями вивчення дисципліни** «Теоретичні основи електротехніки» є формування у студентів належного рівня знань про методи аналізу та дослідження електричних та магнітних кіл і полів та застосування цих знань при виконанні виробничих завдань.

Згідно з вимогами освітньо-професійної програми студенти повинні **знати:**

- основні закони електротехніки та співвідношення між електричними величинами в електричних та магнітних колах;
- теорію й методологію аналізу електричних кіл постійного та змінного (синусоїдного й несинусоїдного) струмів;
- теорію й методологію аналізу симетричних і несиметричних трифазних кіл з синусоїдними та несинусоїдними джерелами енергії;
- теорію й методологію аналізу перехідних процесів в електричних колах; *тільки для фахових спрямувань ЕСЕ та НВДЕ (другий модуль)*
- основні закони та методи розрахунку нелінійних кіл постійного та змінного струму;
- теорію й методологію аналізу кіл з розподіленими параметрами;
- теорію електромагнітного поля, у якій розглядаються електромагнітні явища у нерухомих ізотропних середовищах;
- методи дослідження і розрахунку електромагнітних полів;

уміти:

- формувати схеми заміщення і топологію електротехнічних об'єктів;
- обчислювати відповідні параметри сталих режимів електричних кіл на підставі різних методів аналізу;
- обчислювати параметри електричних пристроїв: опори, індуктивності, ємності;
- досліджувати методами математичного аналізу та фізичного експерименту явище резонансу, сталі режими однофазних і багатофазних кіл синусоїдного струму;
- досліджувати методами математичного аналізу та фізичного експерименту сталі режими кіл несинусоїдного струму;
- досліджувати перехідні процеси в електричних колах із зосередженими параметрами;

тільки для фахових спрямувань ЕСЕ та НВДЕ (другий модуль)

- досліджувати і проводити розрахунок кіл з розподіленими параметрами;
- розраховувати, досліджувати електромагнітні поля електротехнічних пристроїв.

мати компетентності:

- здатність проводити інженерні розрахунки, що пристосовуються до широкого класу сучасних електротехнічних пристроїв;

- здатність до подальшого вдалого вивчення наступних спеціальних електротехнічних дисциплін;

- здатність розраховувати електротехнічні величини на ділянках електричних кіл будь-якої складності;

- здатність аналізувати та розраховувати електромагнітні поля різних пристроїв за рахунок набуття потужного математичного апарату та формування наукового кругообігу;

- здатність до розв'язання практичних задач електропостачання промислових підприємств;

- здатність правильно поставити та розв'язати електротехнічне завдання;

- здатність правильно скласти та уточнити розрахункову модель електротехнічного пристрою;

- здатність вибору найбільш раціонального рішення електротехнічної задачі;

- здатність коректно інтерпретувати одержані після розрахунків результати.

Дисципліна складається з таких змістових модулів (ЗМ):

Модуль 1 Теоретичні основи електротехніки, частина 2.

ЗМ 1 Лінійні електричні кола періодичного змінного струму.

ЗМ 2 Розрахунок перехідних процесів в лінійних електричних колах.

Модуль 2 Теоретичні основи електротехніки, частина 3.

ЗМ 3 Нелінійні електричні і магнітні кола.

ЗМ 4 Лінійні електричні кола з розподіленими параметрами.

ЗМ 5 Основи теорії електромагнітного поля.

2 МІСЦЕ ДИСЦИПЛІНИ В СТРУКТУРНО-ЛОГІЧНІЙ СХЕМІ ПІДГОТОВКИ ФАХІВЦЯ

Вивчення дисципліни «Теоретичні основи електротехніки» базується на матеріалі таких дисциплін: Фізика розділи (електрика та магнетизм), Електротехнічні матеріали, Вища математика (розділи: системи лінійних алгебраїчних рівнянь, теорія матриць, похідна та інтеграл, диференційні рівняння, функціональні ряди, інтегральні перетворення Лапласа, векторна алгебра, комплексні числа).

На результати вивчення цієї дисципліни безпосередньо спираються такі дисципліни: Електричні машини, Основи метрології та електричних

вимірювань, Електричне обладнання рухомого складу, Теорія електроприводу, Електричні апарати, Перехідні процеси в електроенергетиці, Електричні системи та мережі, Інформаційна електроніка, Електронні перетворювальні пристрої, Мікропроцесорна техніка, Електрична частина станцій та підстанцій, Основи релейного захисту та автоматизації енергосистем.

3 МОДУЛЬ 1 ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ЕЛЕКТРОТЕХНІКИ. ЧАСТИНА 2

В першому модулі дисципліни вивчають лінійні електричні кола періодичного змінного струму, а саме: основні закони, поняття електричних кіл однофазного синусоїдного струму; методи розрахунку електричних кіл однофазного синусоїдного струму електричних кіл та їх особливості; резонансні явища в колах синусоїдного струму; методику побудови векторних і кругових діаграм; основи теорії чотириполюсників.

Модуль 1 складається з двох змістових модулів (ЗМ). В таблицях 3.1 та 3.2 наведений зміст самостійної роботи за кожним з цих змістових модулів.

3.1 ЗМ 1 Лінійні електричні кола періодичного змінного струму

План-графік самостійного вивчення ЗМ 1 наведений в таблиці 3.1.

Після вивчення ЗМ 1 студент повинен знати:

– основні положення теорії електричних кіл змінного однофазного синусоїдного струму. Баланс потужностей в колах однофазного синусоїдного струму;

– основні поняття трифазних кіл змінного синусоїдного струму. Основні схеми з'єднання трифазних кіл та співвідношення між лінійними і фазними величинами. Розрахунок симетричних та несиметричних режимів трифазних кіл для різних схем («зірка-зірка», «зірка-трикутник»). Активна, реактивна, повна потужності в трифазних колах.

– аналіз кіл з несинусоїдними періодичними струмами та напругами. Зображення несинусоїдних струмів і напруг за допомогою рядів Фур'є. Активна, реактивна, повна та потужність викривлення. Несинусоїдні криві з періодичною обвідною: биття, модульовані коливання. Несинусоїдні струми у трифазних колах: вищі гармоніки в трифазних колах.

Контрольні питання

1. Синусоїдний струм активного опору, індуктивності та ємності. Тригонометричний метод розрахунку кіл синусоїдного струму.

2. Застосування комплексних чисел для розрахунку кіл синусоїдного струму. Основи символічного методу розрахунку кіл синусоїдного струму.

3. Зображення різниці потенціалів на комплексній площині. Порядок побудови векторно-топографічної діаграми.

Таблиця 3.1 – План-графік самостійного вивчення ЗМ 1 Лінійні електричні кола періодичного змінного струму

№	Питання, що вивчаються	Лекції, практичні заняття		Лабораторні заняття		Індивідуальне завдання (РГР)		Самостійна робота студентів (рекомендовані джерела)
		№ ЛК, № ПЗ	МВ	№ЛР	МВ	Номер, частина	МВ	
2	3	4	5	6	7	8	9 10	11
1	Основні закони та методи розрахунку лінійних електричних кіл постійного струму; основні положення теорії електричних кіл змінного однофазного синусоїдного струму (тригонометричний, символічний методи розрахунку). Баланс потужностей в колах постійного та однофазного синусоїдного струму	ЛК: № 8, 9, 10, 11 ПЗ: № 5, 6	М 1, с. 30–43; с. 49–50 М 12, с. 4–27	№ 2,3	М 4, с. 15–32	-	М 6, с. 26-50	Л 1, с. 81–106, Л 2 с. 61–68, 71-92, 92–100 Л 7 с. 62–90
2	Основні поняття та визначення, переваги трифазних кіл. Основні схеми з'єднання трифазних кіл та співвідношення між лінійними і фазними величинами. Розрахунок симетричних та несиметричних режимів трифазних кіл для різних схем («зірка-зірка», «зірка-трикутник»). Активна, реактивна, повна потужності в трифазних колах. Вимірювання потужності. Оператор трифазної системи. Обертове магнітне поле	ЛК: № 1, 2, 3 ПЗ: № 1	М 2, с. 8–21 М 13, с. 5–11	№ 1,2	М 5, с. 8–25	–	–	Л 1, с. 184–203 Л 2 с. 169–199, Л 7 с. 119–126
3	Визначення періодичних несинусоїдних струмів і напруг. Зображення несинусоїдних струмів і напруг за допомогою рядів Фур'є. Деякі властивості періодичних кривих, що мають симетрію. Розкладання в ряд Фур'є кривих геометрично правильної та неправильної форми. Особливості розрахунку кіл з несинусоїдними струмами. Діючі й середні значення несинусоїдних струмів та напруг. Коефіцієнти, що характеризують несинусоїдні періодичні криві. Активна, реактивна, повна та потужність викривлення. Еквівалентні синусоїди. Несинусоїдні криві з періодичною обвідною: биття і модульовані коливання	ЛК: № 4, 5, 6, 7 ПЗ: № 2, 3, 4	М 2, с. 22–36; с. 42–45 М 13, с. 12–29	№ 3	М 5, с. 26–37	–	М 7, с. 4-49	Л 1, с. 204–216; с. 221–226 Л 2 с. 200–219 Л 7 с. 195–205

Примітка: посилання на джерела, позначаються літерою Л, а посилання на методичні вказівки: – з літерою М; ЛК – лекція, ПЗ – практичне заняття, ЛР – лабораторна робота, РГР – розрахунково-графічна робота.

4. Активна, реактивна та повна потужності. Комплексна форма запису повної потужності. Баланс активних та реактивних потужностей в електричних колах синусоїдного струму.

5. Резонанс напруг. Резонансні й частотні характеристики. Векторні діаграми. Резонанс струмів у колі з двома паралельними вітками.

6. Поняття взаємної індукції та індуктивно зв'язаних кіл. Визначення взаємної індуктивності за допомогою досліду.

7. Визначення чотиріполюсника, коефіцієнти чотиріполюсника за допомогою досвіду і розрахунку.

8. Трифазна система ЕРС. Переваги трифазних систем. Основні поняття. Оператор трифазної системи, його властивості. Співвідношення між лінійними і фазними напругами.

9. Визначення періодичних несинусоїдних струмів і напруг, причини їх появи. Розкладання у ряд Фур'є кривих геометрично неправильної форми та кривих, що мають деякі види симетрії

10. Вищі гармоніки в трифазних колах. Особливості роботи трифазних систем, що викликані гармоніками, кратними трьом.

Після вивчення ЗМ 1 максимальний процент набраних балів складає 35 %. При цьому студент повинен засвоїти теоретичний матеріал ЗМ, виконати та захистити передбачені лабораторні роботи.

3.2 ЗМ 2 Розрахунок перехідних процесів в лінійних електричних колах.

План-графік самостійного вивчення ЗМ 2 наведений в таблиці 3.2.

Після вивчення ЗМ 2 студент повинен знати:

- основні поняття і закони, що характеризують перехідний процес;
- методику розрахунку перехідних процесів класичним методом;
- методику розрахунку перехідних процесів операторним методом;
- методику розрахунку перехідних процесів методом інтеграла Дюамеля.

Контрольні питання

1. Визначення перехідних процесів. Закони комутації.
2. Визначення класичного методу розрахунку перехідних процесів.
3. Визначення примусових і вільних складових струмів та напруг; незалежних та залежних, нульових та ненульових початкових умов.
4. Методи складання характеристичного рівняння: метод головного визначника і метод вхідного опору.
5. Визначення ступеня характеристичного рівняння і властивості коренів характеристичного рівняння.

Таблиця 3.2 – План-графік самостійного вивчення ЗМ 2 Розрахунок перехідних процесів в лінійних електричних колах

№ з/п	Питання, що вивчаються	Лекції, практичні заняття		Лабораторні заняття		Індивідуальне завдання (РГР)		Самостійна робота студентів (рекомендовані джерела)
		№ ЛК, № ПЗ	МВ	№ЛР	МВ	Номер, частина	МВ	
1	Класичний метод розрахунку перехідних процесів. Визначення перехідних процесів. Закони комутації. Незалежні і залежні початкові умови. Складання характеристичного рівняння методом вхідного опору. Характер вільного процесу в залежності від коренів характеристичного рівняння. Визначення постійних інтегрування у класичному методі. Порядок розрахунку перехідних процесів класичним методом.	ЛК: № 10, 11, 12, 13 ПЗ: № 6, 7	М 2, с. 47–70 М 13, с. 39–41; 43–44; 46–48; 51–54	№ 4	М 5, с. 38–49	–	М 7, с. 50–78	Л 1, с. 226–249; 252–258, Л 2 с. 234–258, Л 7 с. 112–239
2	Розрахунок перехідних процесів операторним методом. Перетворення Лапласа, основні положення операторного методу. Зображення постійної, показової, похідної, інтеграла; напруги на ємкості та індуктивності. Закони Ома і Кірхгофа в операторній формі. Формула розкладання. Порядок розрахунку перехідних процесів операторним методом	ЛК: № 14, 15 ПЗ: № 8	М 2, с. 70–80 М 13, с. 41–42; 44–45; 48–51	№ 4	М 5, с. 38–49	–	М 7, с. 50–78	Л 1, с. 258–282, Л 2 с. 278–288, Л 7 с. 251–274

6. Визначення постійних інтегрування у класичному методі розрахунку перехідних процесів.

7. Порядок розрахунку перехідних процесів класичним методом.

8. Аналіз перехідних процесів при короткому замиканні та підключенні R - C кола до джерела постійної напруги.

9. Аналіз перехідних процесів при короткому замиканні R - L кола при постійному струмі, при підключенні R - L кола до джерела постійної напруги.

10. Аналіз перехідних процесів при підключенні R - L та R - C кола до джерела синусоїдної напруги.

11. Аналіз перехідних процесів у послідовному R - L - C контурі: аперіодичний режим, критичний режим, коливальний режим.

12. Визначення операторного методу. Перетворення Лапласа. Зображення постійної величини й показової функції.
13. Деякі теореми й граничні співвідношення операторного методу.
14. Закони Ома та Кірхгофа в операторній формі.
15. Формула розкладання для визначення оригіналу струму (напруги) при перехідному процесі операторним методом й особливості її використання.
16. Послідовність розрахунку перехідних процесів операторним методом.
17. Поняття перехідної провідності й перехідної функції за напругою. Застосування інтегралу Дюамеля для розрахунку перехідних процесів.
18. Загальна характеристика методів аналізу перехідних процесів.

Після вивчення ЗМ 2 максимальний процент набраних балів складає 35 %. При цьому студент повинен засвоїти теоретичний матеріал, виконати й захистити лабораторну роботу «Дослідження перехідних процесів у колах постійного струму першого та другого порядку».

4 МОДУЛЬ 2 ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ЕЛЕКТРОТЕХНІКИ. ЧАСТИНА 3.

В другому модулі дисципліни вивчають лінії з розподіленими параметрами, теорію електромагнітного поля, а саме розглядаються електромагнітні явища у нерухомих ізотропних середовищах, а також методи дослідження і розрахунку електромагнітних полів: теорія електростатичного поля, стаціонарне електричне поле в провідному середовищі, магнітне поле постійного струму; теорія змінних електромагнітних полів.

Модуль 2 складається з трьох ЗМ. У таблицях 4.1, 4.2, 4.3 наведений зміст самостійної роботи за кожним з цих ЗМ.

4.1 ЗМ 3 Нелінійні електричні і магнітні кола

План-графік самостійного вивчення ЗМ 3 наведений в таблиці 4.1.

Після вивчення ЗМ 3 студент повинен знати:

- основні властивості нелінійних електричних кіл постійного й змінного струму;
- методику розрахунку нелінійних електричних кіл постійного струму (зокрема магнітних кіл при постійних потоках) і нелінійних кіл змінного струму.

Контрольні питання

1. Визначення та основні властивості нелінійних електричних кіл постійного струму.
2. Графоаналітичний метод розрахунку нелінійних кіл постійного струму при послідовному, паралельному і змішаному з'єднанні елементів.

3. Розрахунок нелінійного кола з двома вузлами.
4. Статичний та диференційний опори нелінійних елементів.
5. Заміна нелінійного елемента лінійним опором і ЕРС.
6. Практичне застосування нелінійних елементів постійного струму.
7. Основні поняття та закони магнітних кіл.
8. Розрахунок нерозгалуженого магнітного кола постійного струму.
9. Розрахунок розгалуженого магнітного кола постійного струму.
10. Властивості нелінійних елементів при дії змінного струму.

Таблиця 4.1 – План-графік самостійного вивчення ЗМ 3. Нелінійні електричні і магнітні кола

№ з/п	Питання, що вивчаються	Лекції, практичні заняття		Лабораторні заняття		Індивідуальне завдання (РГР)		Самостійна робота студентів (рекомендовані джерела)
		№ ЛК, № ПЗ	МВ	№ЛР	МВ	Номер, частина	МВ	
1	Основні властивості і методи розрахунку нелінійних електричних і магнітних кіл постійного струму. Графоаналітичний метод розрахунку нелінійних електричних кіл постійного струму при послідовному, паралельному і змішаному з'єднанні елементів. Розрахунок нелінійного кола з двома вузлами. Статичний та диференційний опори нелінійних елементів. Заміна нелінійного елемента лінійним опором і ЕРС. Практичне застосування нелінійних елементів постійного струму. Основні поняття та закони магнітних кіл. Пряма та зворотна задачі розрахунку нерозгалуженого та розгалуженого магнітного кола постійного струму.	ЛК: № 1, 2 ПЗ: № 1, 2, 3	М 2, с. 84–98 М 13, с. 55–67	№ 1	М 5, с. 50–56	–	–	Л 1, с. 404–449, Л 2 с. 386–408, 418–430
2	Деякі загальні властивості нелінійних елементів при дії змінного струму. Апроксимація нелінійних вольт-амперних характеристик графоаналітичним методом трьох ординат та ступеневим поліномом. Одно- й двопівперіодне випрямлення змінного струму. Ферорезонанс напруги та струму.	ЛК: № 3, 4 ПЗ: № 4, 5	М 2, с. 98–102 М 13, с. 67–70	№ 2	М 5, с. 50–56	–	–	Л 1, с. 449–461, 492–509 Л 2 с. 430–436, 455–458

11. Апроксимація нелінійних вольт-амперних характеристик графоаналітичним методом трьох ординат, ступеневим поліномом і методом трьох ординат.

12. Одно- й двопівперіодне випрямлення змінного струму.

Після вивчення ЗМ 3 максимальний процент набраних балів складає 10 %. При цьому студент повинен засвоїти теоретичний матеріал модуля, написати контрольну роботу за матеріалом змістового модулю, виконати й захистити лабораторну роботу «Дослідження нелінійних електричних кіл постійного струму».

4.2 ЗМ 4. Лінійні електричні кола з розподіленими параметрами

План-графік самостійного вивчення ЗМ 4 наведений в таблиці 4.2.

Після вивчення ЗМ 4 студент повинен знати:

- основні визначення кіл з розподіленими параметрами;
- рівняння та характеристики однорідної двопровідної лінії;
- поняття вхідного опору лінії та коефіцієнту відбиття хвилі;
- поняття лінія без спотворень та лінії без втрат.

Контрольні питання

1. Визначення електричного кола (лінії) з розподіленими параметрами.
2. Визначення магнітного кола з розподіленими параметрами.
3. Визначення первинних та вторинних параметрів однорідної двопровідної лінії.
4. Диференціальні рівняння однорідної двопровідної лінії.
5. Визначення та характеристик усталеного режиму в однорідній лінії.
6. Визначення напруги та струму в будь-якій точці ліній при відомих напрузі та струму на початку лінії (рівняння в гіперболічній формі).
7. Визначення напруги та струму в будь-якій точці ліній при відомих напрузі та струмі на кінці лінії (рівняння в гіперболічній формі).
8. Визначення фазової швидкості та довжини хвилі.
9. Визначення вхідного опору лінії та коефіцієнта відбиття хвилі.
10. Визначення та характеристики узгодженого навантаження лінії.
11. Визначення лінії без спотворень та хвилі, що стоїть.
12. Практичне застосування лінії без втрат.

Після вивчення ЗМ 4 максимальний процент набраних балів складає 15 %. При цьому студент повинен засвоїти теоретичний матеріал ЗМ, виконати й захистити розрахунково-графічну роботу № 3 за темою «Розрахунок ємності та індуктивності ліній передачі». Процент набраних балів за РГР складає 20 %.

Таблиця 4.2 – План-графік самостійного вивчення ЗМ 4 Лінійні електричні кола з розподіленими параметрами

№	Питання, що вивчаються	Лекції, практичні заняття		Лабораторні заняття		Індивідуальне завдання (РГР)		Самостійна робота студентів (рекомендовані джерела)
		№ ЛК, № ПЗ	МВ	№ЛР	МВ	Номер, частина	МВ	
1	Основні поняття та рівняння кола з розподіленими параметрами. Основні визначення. Первинні параметри. Рівняння однорідної двопровідної лінії. Рівняння однорідної лінії при усталеному синусоїдному процесі. Вторинні параметри однорідної лінії: коефіцієнт розповсюдження, хвильовий опір. Рівняння однорідної лінії гіперболічних функціях. Визначення напруги та струму в будь якій точці лінії при відомих комплексах напруги та струму на початку лінії. Визначення напруги та струму в будь якій точці лінії при відомих комплексах напруги та струму наприкінці лінії.	ЛК: № 5, 6, 7 ПЗ: № 6, 7, 8	М 3, с. 8–18	№ 3		РГР №3	М 8, с. 5–31	Л 1, с. 350–368, Л 2 с. 344–350
2	Лінії з розподіленими параметрами без втрат та без спотворень. Падаючі та відбиті хвилі. Коефіцієнт відбиття хвилі. Фазова швидкість та довжина хвилі. Лінія без спотворень. Узгоджене навантаження. Визначення напруги та струму при узгодженому навантаженні. ККД при узгодженому навантаженні. Лінія без втрат: визначення напруги та струму. Вхідний опір при неробочому ході та при короткому замиканні наприкінці лінії. Застосування ліній без втрат. Визначення електромагнітних хвиль, що стоять.	ЛК: № 8, 9 ПЗ: № 9, 10	М 3, с. 18–26	№ 4		РГР №3	М 8, с. 5–31	Л 1, с. 359–369 Л 2 с. 351–364,.

4.3 ЗМ 5 Основи теорії електромагнітного поля

План-графік самостійного вивчення змістового ЗМ 5 наведений в таблиці 4.3.

Після вивчення ЗМ 5 студент повинен знати:

- основні поняття, визначення та закони електростатичного поля;
- основні поняття, визначення та закони електричного поля постійного струму в провідному середовищі;
- основні поняття, визначення та закони магнітного поля постійного струму.
- рівняння Максвелла у комплексно-векторній формі для середовищ з діелектричними, електропровідними та магнітопровідними властивостями;
- поняття про основні параметри електромагнітних явищ: довжину, швидкість, глибину проникності тощо в електропровідних та діелектричних середовищах;
- основне рівняння плоского електромагнітного поля в комплексно-векторній формі;
- явища поверхового ефекту й ефекту близькості.

Таблиця 4.3 – План-графік самостійного вивчення ЗМ 5. Основи теорії електромагнітного поля

№	Питання, що вивчаються	Лекції, практичні заняття		Лабораторні заняття		Індивідуальне завдання (РГР)		Самостійна робота студентів (рекомендовані джерела)
		№ ЛК, № ПЗ	МВ	№ ЛР	МВ	Номер, частина	МВ	
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Електричне поле нерухомих зарядів. Закон Кулона. Напруженість електричного поля. Електричне поле об'ємного заряду, поверхневого заряду. Лінії вектора напруженості. Потік та дивергенція вектора напруженості електричного поля. Теорема Остроградського і Гауса для однорідного середовища. Робота сил електричного поля. Зв'язок потенціалу з напруженістю поля. Рівняння Пуассона і Лапласа. Поляризація діелектриків. Вектор електричної індукції. Теорема Гауса в диференціальній та в інтегральній формі для неоднорідного середовища. Провідник в електричному полі. Електрична ємність. Енергія електричного поля.	ЛК: № 10, 11 ПЗ: № 10, 11	М 3, с. 27–52	–	–	–	–	Л 4, с. 11–42

Продовження таблиці 4.3

1	2	3	4	5	6	7	8	9
2	<p>Електричний струм у провідному середовищі. Густина електричного струму. Закони Ома і Джоуля-Ленца в диференціальній формі. Закони Кірхгофа. Рівняння Лапласа для електричного поля у провідному середовищі. Граничні умови. Аналогія між електричним полем постійного струму і електростатичним полем.</p> <p>Електричне і магнітне поле як дві сторони єдиного електромагнітного поля. Індукція магнітного поля. Закон Біо-Савара. Магнітний потік і його неперервність. Сили магнітного поля, які діють на рухомий заряд та на провідник зі струмом. Ротор векторної величини. Теорема Остроградського-Стокса. Вектор-потенціал магнітного поля. Намагнічування середовища. Напруженість магнітного поля. Закон повного струму в інтегральній формі. Загальні відомості про індуктивність і взаєміндуктивність. Енергія магнітного поля.</p>	<p>ЛК: № 12, 13</p> <p>ПЗ: № 12, 13</p>	<p>М 3, с. 53–77</p>	–	–	–	–	Л 4, с. 83–136
3	<p>Визначення змінного електромагнітного поля. Струм зсуву. Рівняння неперервності змінного струму. Перше та друге рівняння Максвелла. Повна система рівнянь Максвелла. Граничні умови в електромагнітному полі. Баланс енергії електромагнітного поля. Вектор Пойтинга. Теорема Умова – Пойтинга. Електродинамічні потенціали у тому числі в комплексній формі. Рівняння електромагнітного поля в провідному середовищі. Плоскі електромагнітні хвилі. Поверхневий ефект.</p>	<p>ЛК: № 14, 15</p> <p>ПЗ: № 14, 15</p>	<p>М 3, с. 78–106</p>	–	–	–	–	Л 4, с. 139–274

Контрольні питання

1. Визначення електростатичного поля. Закон Кулона.
2. Напруженість електростатичного поля.
3. Поняття про об'ємний, поверхневий і лінійний заряди. Електричне поле об'ємного, поверхневого і лінійного заряду.
4. Лінії вектора напруженості \vec{E} , потік і дивергенція.
5. Теорема Гауса для однорідного середовища.
6. Робота сил електричного поля. Потенціал. Зв'язок потенціалу з напруженістю поля.
7. Рівняння Пуассона та рівняння Лапласа.
8. Вільні та пов'язані заряди. Поляризація діелектриків. Вектор електричної індукції \vec{D} .
9. Теорема Гауса в інтегральній формі для неоднорідного середовища.
10. Теорема Гауса в диференціальній формі для неоднорідного середовища.
11. Поле всередині провідного тіла в умовах електростатики.
12. Граничні умови в електростатичному полі. Умови на межі розподілу провідника та діелектрика.
13. Поле зарядженої осі, двопровідної лінії. Поняття ємності.
14. Енергія електростатичного поля
15. Густина струму і струм.
16. Закон Ома та закони Кірхгофа в диференціальній формі.
18. Диференціальна форма закону Джоуля-Ленца.
19. Зв'язок основних величин, які характеризують магнітне поле. Механічні сили в магнітному полі.
20. Інтегральна форма закону повного струму. Диференціальна форма закону повного струму.
21. Індукція магнітного поля. Закон Біо-Савара-Лапласа.
22. Скалярний і векторний потенціали магнітного поля.
23. Аналогія між електричним полем постійного струму й електростатичним полем.
24. Магнітний потік і його непереривність.
25. Сили магнітного поля, що діють на рухомий заряд та сили магнітного поля, що діють на провідник із струмом.
26. Ротор векторної величини. Теорема Остроградського-Стокса.
27. Вектор-потенціал магнітного поля.
28. Намагнічування середовища. Напруженість магнітного поля.
29. Енергія магнітного поля.
30. Визначення змінного електромагнітного поля.

31. Струм зсуву. Рівняння неперервності змінного струму.
32. Повна система рівнянь Максвелла.
33. Граничні умови в електромагнітному полі. Баланс енергії електромагнітного поля.
37. Вектор Пойтинга. Теорема Умова – Пойтинга.
38. Електродинамічні потенціали.
39. Рівняння Максвелла в комплексній формі запису.
40. Рівняння електромагнітного поля в провідному середовищі.
41. Плоскі електромагнітні хвилі.
42. Поверхневий ефект та ефекту близькості. Їх практичне застосування у техніці.

Після вивчення ЗМ 5 максимальний процент набраних балів складає 25 %. При цьому студент повинен засвоїти теоретичний матеріал модуля у повному обсязі, написати контрольну роботу, пройти тестування.

5 ЗАДАЧІ ДЛЯ САМОСТІЙНОЇ ПІДГОТОВКИ

Нижче наведені типові задачі, які дозволяють глибше вивчити теоретичний матеріал.

Задача № 1 за ЗМ 1 Лінійні електричні кола періодичного змінного струму

До затискачів однофазного кола з параметрами $X_L^{(1)} = 50 \text{ Ом}$, $X_C^{(2)} = 40 \text{ Ом}$, $R = 50 \text{ Ом}$ прикладена несинусоїдна напруга:

$u(t) = 50 + 200 \cdot \sin(\omega t - 30^\circ) - 150 \cdot \sin(2\omega t + 60^\circ)$, В. Знайти покази приладів електродинамічної системи. Записати миттєві значення $i(t)$, $u_R(t)$, $u_L(t)$, $u_C(t)$.

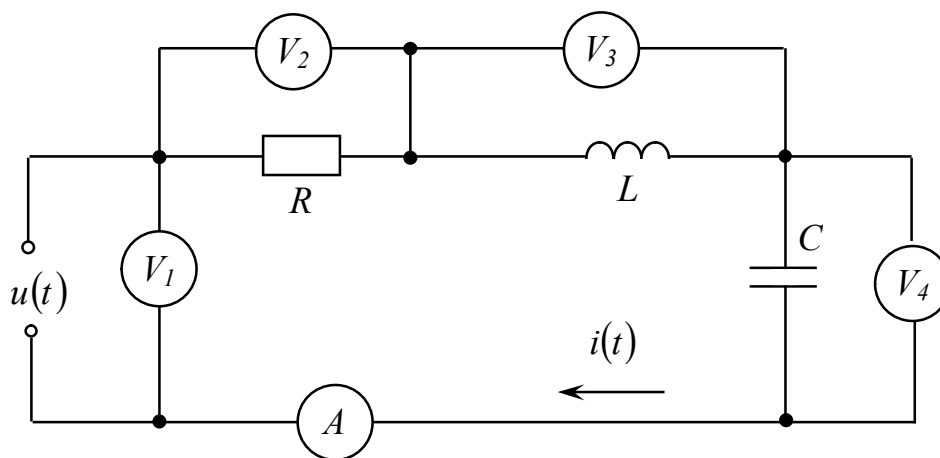


Рисунок 5.1 – Схема досліджуваного кола

Визначити потужності (активну, реактивну, повну й потужність викривлення).

Задача № 2 за ЗМ 1 Лінійні електричні кола періодичного змінного струму

У розгалуженому колі на вході – синусоїдна напруга: $u = 10 \cdot \sin\left(\omega \cdot t + 90^\circ \cdot \frac{\pi}{180^\circ}\right)$, В. Частота мережі $f = 50$ Гц. Параметри кола: $R_1 = 3$ Ом, $R_2 = 8$ Ом, $R_3 = 5$ Ом, $L_1 = 25$ мГн, $C_2 = 800$ мкФ, $C_3 = 800$ мкФ. Визначити $i_1(t)$, $i_2(t)$, $i_3(t)$; активну P , реактивну Q та повну \tilde{S} потужності. Побудувати векторно-топографічну діаграму струмів і напруг. Розрахунок проводити за символічним методом.

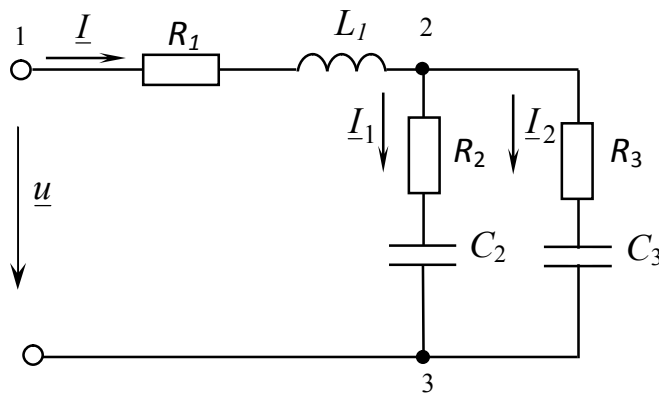


Рисунок 5.2 – Схема досліджуваного кола

Задача № 3 за ЗМ 1 Лінійні електричні кола періодичного змінного струму

У трифазному колі діє несинусоїдна періодична ЕРС, що задана рядом Фур'є: $e_A = 20 \cdot \sin(\omega t - 15^\circ) - 10 \cdot \sin(3\omega t + 10^\circ) + 5 \cdot \sin(5\omega t - 25^\circ)$, В. Параметри кола для першої гармоніки: $\underline{Z}_\phi^{(1)} = (15 - j \cdot 15)$ Ом, $\underline{Z}_0^{(1)} = j \cdot 2$ Ом. Визначити покази приладів електродинамічної системи.

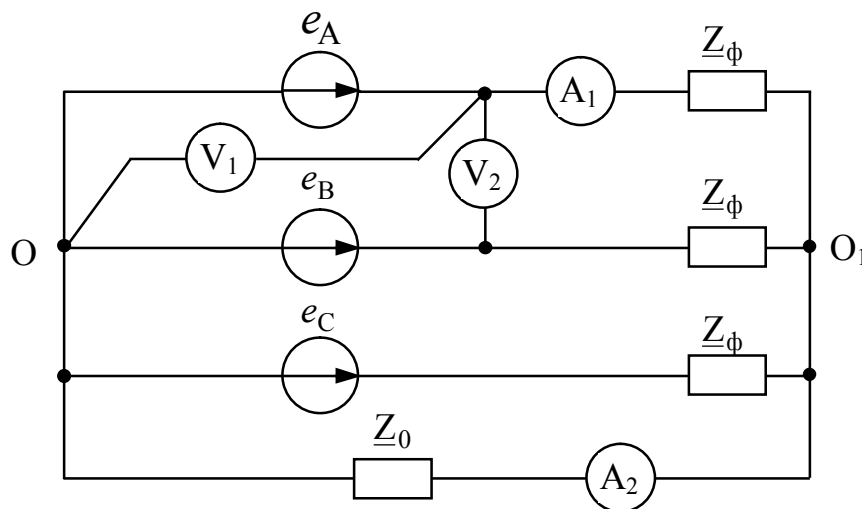


Рисунок 5.3 – Схема досліджуваного кола

Задача № 4 за ЗМ 2 Розрахунок перехідних процесів в лінійних електричних колах

В розгалуженому електричному колі на рисунку 5 з параметрами $L = 0,1$ Гн, $R_1=R_2=R_3=4$ Ом, $E=12$ В при замиканні ключа K відбувається перехідний процес. Визначити: струми $i(t)$, $i_1(t)$, $i_2(t)$ класичним методом; струм $i(t)$ операторним методом.

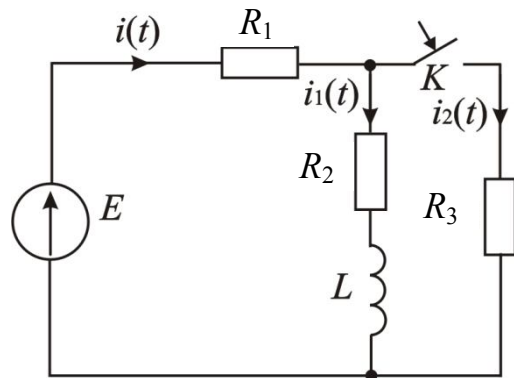


Рисунок 5.4 – Схема досліджуваного кола

Задача № 5 за ЗМ 3 Нелінійні електричні і магнітні кола

Визначити струм I через нелінійний елемент, якщо $E = 36$ В, $R_1 = 5$ Ом, $R_2 = 9$ Ом. Вольт-амперна характеристика нелінійного елемента задана у вигляді таблиці 5.1.

Таблиця 5.1

I, A	0	2	4	6	8	10
U, B	0	4	9	15	23	35

Задача № 6 за ЗМ 4 Лінійні електричні кола з розподіленими параметрами

Трифазна лінія передачі електроенергії довжиною $l = 900$ км працює з напругою $U_{\text{л}} = 400$ кВ й частоті $f = 50$ Гц. Первинні параметри лінії: $R_0 = 0,8$ Ом/км; $L_0 = 1,336 \cdot 10^{-3}$ Гн/км; $C_0 = 8,6 \cdot 10^{-9}$ Ф/км. Втрати P_0 у ізоляції та на корону складають $2\,000$ Вт/км.

Визначити вторинні параметри, довжину хвилі та фазову швидкість.

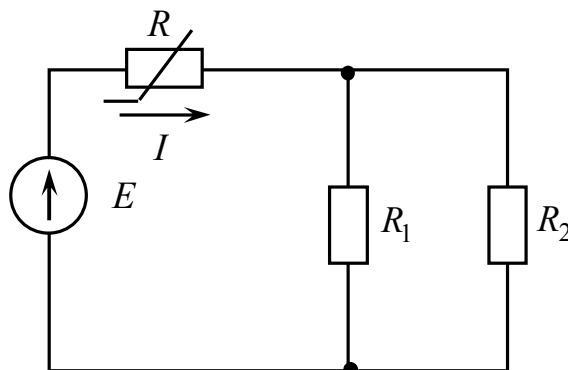


Рисунок 5.6 – Схема досліджуваного кола

СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНИХ ДЖЕРЕЛ

Основні джерела

1. Бессонов Л. А. Теоретические основы электротехники. Электрические цепи : учебник / Л. А. Бессонов. – М. : Гардарики, 2002. – 640 с.
2. Основы теории цепей : учебник / [Г. В. Зевеке, П. А. Ионкин, Н. Н. Нетушил та ін.]. – М. : Энергоатомиздат, 1989. – 528 с.
3. Паначевний Б. І. Загальна електротехніка. Теорія і практикум : підручник. / Б. І. Паначевний, Ю. Ф. Свергун. – Київ : Каравела, 2004. – 440 с.
4. Бессонов, Л. А. Теоретические основы электротехники. Электромагнитное поле : учебник / Л. А. Бессонов. – М. : Гардарики, 2001. – 317 с.
5. Перхач В. С. Теоретична електротехніка. Лінійні кола : підручник / В. С. Перхач. – Київ : Вища школа, 1992. – 439 с.
6. Рибалко М. П. Теоретичні основи електротехніки. Лінійні електричні кола : підручник. / М. П. Рибалко, В. О. Есауленко, В. І. Костенко. – Донецьк : Новий світ, 2003 – 513 с.
7. Шебес М. Р. Задачник по теории линейных электрических цепей. / М. Р. Шебес, М. В. Каблукова. – М. : Высшая школа, 1990. – 544 с.
8. Воробкевіч А. Ю. Збірник задач з теоретичних основ електротехніки : навч. посібник: / А. Ю. Воробкевіч, О. І. Шегедін. – Київ : Магнолія плюс, 2004. – ч. 1. – 224 с.

Методичне забезпечення

1. Текст лекцій з дисципліни «Теоретичні основи електротехніки», частина I (для студентів усіх форм навчання напрямків 6.050701 – «Електротехніка та електротехнології», 6.050702 – «Електромеханіка») / Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова; уклад. : Я. Б. Форкун, М. Л. Глебова, Н. О. Сабалаєва. – Харків : ХНАМГ, 2015. – 79 с.
2. Форкун Я. Б. Конспект лекцій з дисципліни «Теоретичні основи електротехніки», частина II : для студентів усіх форм навчання напрямків 6.050701 – Електротехніка та електротехнології, 6.050702 – Електромеханіка та спеціальності 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка / Я. Б. Форкун, М. Л. Глебова, Н. О. Сабалаєва ; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2016. – 105 с.
3. Форкун Я. Б. Текст лекцій з дисципліни «Теоретичні основи електротехніки», частина III : для студентів усіх форм навчання напряму підготовки 6.050701 – «Електротехніка та електротехнології» / Я. Б. Форкун, М. Л. Глебова ; Харків. нац. акад. міськ. госп-ва. – Харків : ХНАМГ, 2012. – 115 с.

4. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт за темами «Лінійні електричні кола постійного та синусоїдного струму» з дисципліни «Теоретичні основи електротехніки» (для студентів усіх форм навчання напрямів 6.050701 – Електротехніка та електротехнології і 6.050702 – Електромеханіка) / Харків. нац. акад. міськ. госп-ва ; уклад. : Я. Б. Форкун, В. П. Самошкін, Г. В. Капустін. – Харків : ХНАМГ, 2010. – 44 с.

5. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з дисципліни «Теоретичні основи електротехніки», ч. 2 (для студентів усіх форм навчання напрямів 6.050701 – Електротехніка та електротехнології, 6.050702 – Електромеханіка та спеціальності 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка) / Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова; уклад.: Я. Б. Форкун, М. Л. Глєбова, Н. О. Сабалаєва. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2016. – 60 с.

6. Методичні вказівки до виконання розрахунково-графічної роботи за темою «Розрахунок складного кола постійного струму і розгалуженого кола синусоїдного струму» з дисципліни «Теоретичні основи електротехніки» (для студентів усіх форм навчання напрямів 6.050701 «Електротехніка та електротехнології», 6.050702 «Електромеханіка») / Харків. нац. акад. міськ. госп-ва ; уклад. : Я. Б. Форкун, В. П. Самошкін; Г. В. Капустін. – Харків : ХДАМГ, 2011. – 52 с.

7. Методичні вказівки до виконання розрахунково-графічної роботи за темами «Розрахунок трифазних кіл, що живляться негармонійними джерелами напруги. Розрахунок перехідних процесів у лінійних електричних колах» з дисципліни «Теоретичні основи електротехніки» (для студентів всіх форм навчання напрямків 6.050701 – «Електротехніка та електротехнології» і 6.050702 – «Електромеханіка») / Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова; уклад. : Я. Б. Форкун, В. П. Самошкін, Д. В. Тугай. – Харків : ХНУМГ, 2014. – 80 с.

8. Методичні вказівки до виконання розрахунково-графічної роботи з дисципліни «Теоретичні основи електротехніки» за темою «Розрахунок ємності та індуктивності ліній передачі» (для студентів всіх форм навчання напрямків 6.050701 – «Електротехніка та електротехнології» і 6.050702 – «Електромеханіка») / Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова; уклад. : Я. Б. Форкун, О. Ф. Білоусов, Д. В. Тугай. – Харків : ХНУМГ, 2013. – 32 с.

9. Методичні вказівки до виконання розрахунково-графічної роботи за темою «Розрахунок складних кіл постійного і синусоїдного струму» з дисципліни «Теоретичні основи електротехніки» (для студентів заочної форми навчання напрямів 0906 – Електротехніка і 0922 – Електромеханіка) / Харків. нац. акад. міськ. госп-ва; уклад. : Я. Б. Форкун, В. П. Самошкін, Г. В. Капустін, С. М. Юрченко. – Харків: ХНАМГ, 2008. – 42 с.

10. Методичні вказівки до виконання розрахунково-графічної роботи за темою «Розрахунок трифазних кіл, що живляться негармонійними джерелами напруги та аналіз перехідних процесів у лінійних електричних колах постійного струму» з дисципліни «Теоретичні основи електротехніки» (для студентів заочної форми навчання напрямів 6.050701 – Електротехніка та електротехнології і 6.050702 – Електромеханіка) / Харків. нац. акад. міськ. госп-ва ; уклад. : Я. Б. Форкун, В. П. Самошкін, Г. В. Капустін, С. М. Юрченко. – Харків : ХНАМГ, 2008. – 42 с.

11. Методичні вказівки до практичних занять за темою «Розрахунок лінійних електричних кіл з джерелами постійної напруги і струму» з дисципліни «Теоретичні основи електротехніки» (для студентів усіх форм навчання напрямів 6.050701 – Електротехніка та електротехнології, 6.050702 – Електромеханіка) / Харків. нац. акад. міськ. госп-ва ; уклад. : Я. Б. Форкун, В. П. Самошкін, Г. В. Капустін, Д. В. Тугай. – Харків : ХНАМГ, 2009. – 43 с..

12. Методичні вказівки до практичних занять за темою «Розрахунок лінійних електричних кіл з джерелами синусоїдної напруги і струму» з дисципліни «Теоретичні основи електротехніки» (для студентів усіх форм навчання напрямів 6.050701 – Електротехніка та електротехнології, 6.050702 – Електромеханіка) / Харків. нац. акад. міськ. госп-ва; уклад. : Я. Б. Форкун, / Д. В. Тугай. – Харків: ХНАМГ, 2009. – 47 с.

13. Методичні вказівки до практичних занять з дисципліни «Теоретичні основи електротехніки» за змістовими модулями «Лінійні електричні кола періодичного змінного струму», «Розрахунок перехідних процесів в лінійних електричних колах», «Сталі процеси в нелінійних колах і методи їх розрахунку» (для студентів усіх форм навчання напрямів 6.050701 – Електротехніка та електротехнології), 6.050702 – Електромеханіка та спеціальності 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка) / Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова ; уклад. : Я. Б. Форкун, М. Л. Глебова, Н. О. Сабалаєва. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2016. – 72 с.

Виробничо-практичне видання

МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ

до самостійного вивчення
дисципліни

«ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ЕЛЕКТРОТЕХНІКИ», «ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ЕЛЕКТРОТЕХНІКИ. Ч. 2, 3»

*(для студентів денної форми навчання на основі освітнього рівня
«молодший спеціаліст» спеціальності
141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка)*

Укладачі: **САБАЛАСВА** Наталія Олегівна,
ФОРКУН Яна Борисівна,
ГЛІБОВА Марина Леонідівна

Відповідальний за випуск *Я. Б. Форкун*

За авторською редакцією

Комп'ютерне верстання *І. В. Волосожарова*

План 2017, поз. 234 М

Підп. до друку 01.02.2018р. Формат 60*84/16
Друк на ризографі Ум. друк. арк. 2,2
Зам. № Тираж 50 пр.

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.