

**Міністерство аграрної політики України
Миколаївський державний аграрний університет
Факультет механізації сільського господарства**

**Кафедра електротехнологій і
електропостачання**

**МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ ДО САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ З
ДИСЦИПЛІНИ „ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ЕЛЕКТРОТЕХНІКИ”
для студентів, що навчаються за напрямом підготовки
6.100101 „Енергетика та електротехнічні системи в агропромисловому
комплексі ”**

Миколаїв-2010

УДК 621.314

Методичні рекомендації для самостійної роботи з дисципліни “Теоретичні основи електротехніки” для студентів, що навчаються за напрямом підготовки 6.100101 „Енергетика та електротехнічні системи в агропромисловому комплексі”. Розглянуто на засіданні кафедри електротехнологій і електропостачання, протокол № 4 від 10.11.2010 р.

Наведено основні рекомендації до організації самостійної роботи студентів з дисципліни “Теоретичні основи електротехніки” за матеріалом першої та другої частини курсу, який викладається протягом третього та четвертого семестрів студентам, що навчаються за напрямом підготовки 6.100101 „Енергетика та електротехнічні системи в агропромисловому комплексі”. Розглянуто розподіл часу самостійної роботи за темами робочої програми дисципліни. Наведено рекомендації до планування роботи, приклади виконання практичних завдань для закріплення матеріалу, поданого під час аудиторних годин занять. Методичні рекомендації можуть бути корисними для студентів як денної, так і заочної форм навчання.

Укладачі: д.т.н., доцент Дубовенко К.В., Дубовенко Н.С.

Рецензенти: завідувач кафедри теоретичної електротехніки та електронних систем Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова, докт.техн.наук, професор Рябенський В.М.;
доцент кафедри енергетики аграрного виробництва Миколаївського державного аграрного університету к.т.н. Плахтир О.О.

Рекомендовано методичною комісією факультету механізації сільського господарства МДАУ, протокол № 4 від “ 30 “ грудня ” 2010 р.

©Дубовенко К.В., Дубовенко Н.С.

МДАУ, 2010

Зміст

Вступ	6
1. Основні завдання самостійної роботи	7
2. Розподіл часу вивчення дисципліни	9
3. Планування самостійної роботи	10
4. Організація самостійної роботи	15
5. Приклади виконання практичних завдань самостійної роботи	16
6. Питання до модульного контролю знань для самоаналізу під час самостійної роботи	27
Список літературних джерел	32

Вступ

Основна мета методичних рекомендацій полягає у наданні допомоги студентам у засвоєнні матеріалу дисципліни “Теоретичні основи електротехніки” під час самостійної роботи. Матеріал, наведений у методичних рекомендаціях, узгоджений з навчальним планом за напрямом підготовки 6.100101 „Енергетика та електротехнічні системи в агропромисловому комплексі”, затвердженим Департаментом вищої освіти Міністерства освіти і науки України та робочою навчальною програмою дисципліни, розробленою на кафедрі електротехнологій і електропостачання МДАУ та затвердженою методичною комісією факультету механізації сільського господарства. Тематику самостійної роботи з дисципліни та методичні рекомендації до її виконання складено таким чином, що завдання до самостійної роботи розподілені рівномірно практично між усіма темами робочої навчальної програми. Самостійна робота передбачає вивчення теоретичного матеріалу та його закріплення виконанням практичних завдань. Література до самостійної роботи обиралася з літературних джерел робочої навчальної програми дисципліни за принципами наявності у бібліотечному фонді, вичерпності, ясності та стислості подання матеріалу.

1. Основні завдання самостійної роботи з дисципліни

“Теоретичні основи електротехніки ”

Курс “Теоретичні основи електротехніки” (ТОЕ) належить до числа дисциплін циклу професійної та практичної підготовки напряму підготовки 6.100101 “Енергетика та електротехнічні системи в агропромисловому комплексі”, які визначають теоретичний рівень спеціалістів у галузі техніки та енергетики аграрного виробництва.

Вивчення зазначеного курсу базується на знаннях, одержаних з курсів фізики і вищої математики, а його метою є оволодіння основами теорії електротехніки, які є теоретичною базою для оволодіння іншими дисциплінами спеціальності, такими як „Основи електропостачання”, „Електричні машини”, „Електронні пристрої в системах керування”, „Електроніка та мікросхемотехніка” та ін.

Програма першої, другої та третьої частин курсу, які викладаються протягом третього, четвертого та п'ятого семестрів, містить 9 модулів.

Модуль 1. Електричні і магнітні кола постійного струму.

Завданням розділу є засвоєння початкових теоретичних основ електромагнітних явищ, законів, понять та способів розрахунку електричних параметрів кіл, їх зв'язок з характеристиками електромагнітного поля.

Модуль 2. Електричні і магнітні кола змінного струму.

Розділ передбачає оволодіння методами еквівалентних перетворень електричних кіл, методами розрахунку складних кіл, а також символічним методом розрахунку кіл змінного струму та комплексних електромагнітних параметрів.

Модуль 3. Чотириполюсники та частотні фільтри

Завданням розділу є оволодіння методами розрахунку електричних кіл з урахуванням магнітного зв'язку між елементами з індуктивністю, практичного використання явища електромагнітної індукції для перетворення параметрів електричної енергії, а також основами теорії чотириполюсників та теорії фільтрів.

Модуль 4. Трифазні кола змінного струму.

Електричні кола трифазного синусоїдного та одно- і трифазного несинусоїдного періодичного струму

У розділі розглядаються питання аналізу і розрахунку напруг і струмів трифазних кіл та кіл з періодичними несинусоїдними електрорушійними силами.

Модуль 5. Перехідні процеси в електричних колах.

Завданням розділу є оволодіння методами розрахунку перехідних процесів та вивчення особливостей виникнення та протікання перехідних процесів в електричних колах.

Модуль 6. Електричні кола з розподіленими параметрами.

В межах розділу вивчаються властивості та особливості електричних кіл з розподіленими параметрами.

Модуль 7. Синтез електричних кіл.

В межах розділу вивчаються критерії та методи застосування результатів синтезу електричних та магнітних кіл.

Модуль 8. Рівняння електромагнітного поля.

В розділі вивчається математична теорія електромагнітного поля в інтегральній та диференціальній формі. Аналізуються електричні та магнітні явища.

Модуль 9. Змінне електромагнітне поле.

У межах розділу вивчаються характеристики електромагнітного поля в діелектрику та в провідному середовищі, методи чисельного моделювання електромагнітних полів.

На основі знань, отриманих під час вивчення дисципліни “Теоретичні основи електротехніки”, базуються курси циклу професійної та практичної підготовки: “Електричні машини”, “Електроніка та мікросхемотехніка”, “Основи електропостачання”, “Електронні пристрої в системах керування”, “Електропостачання АПК”, “Теоретичні основи автоматики”, „Проектування

систем електрифікації, автоматизації та енергопостачання”. Тому курс теоретичних основ електротехніки має підготувати студентів до розробки і аналізу роботи в усталених та перехідних режимах складних електроенергетичних установок і електротехнічних систем АПК. Згідно з освітньо-кваліфікаційною програмою підготовки фахівців напряму підготовки 6.100101 “Енергетика та електротехнічні системи в агропромисловому комплексі” в результаті вивчення дисципліни “Теоретичні основи електротехніки” студент повинен вміти: виконувати розрахунки усталених режимів лінійних електричних кіл, в яких діють джерела постійних, синусоїдних та несинусоїдних сигналів;

- виконувати розрахунки перехідних процесів в лінійних електричних колах за нульових та ненульових початкових умов;
- виконувати розрахунки усталених та перехідних режимів в однорідних лініях передачі, а також розрахунки нелінійних електричних та магнітних кіл з використанням графічних або чисельних методів.

Складовою частиною засвоєння цих знань разом з аудиторними заняттями є самостійна робота. Якість засвоєння матеріалу великою мірою визначається саме самостійною роботою у позаурочний час. Самостійна робота з дисципліни передбачає опрацювання лекційного матеріалу за вказаними наприкінці посібника літературними джерелами. Розвинути практичні навички та закріпити теорію допомагає виконання практичних завдань самостійної роботи, що полягає у вирішенні задач та комп’ютерному моделюванні електричних кіл.

2. Розподіл часу вивчення дисципліни

Навчальним планом напряму підготовки 6.100101 “Енергетика та електротехнічні системи в агропромисловому комплексі” передбачається наступна структура розподілу часу для вивчення матеріалу з дисципліни “Теоретичні основи електротехніки” (табл. 1). Згідно робочої програми та навчального плану на вивчення дисципліни відведено три години аудиторних

занять на тиждень у третьому семестрі, чотири годин на тиждень у четвертому семестрі. і три години на тиждень у п'ятому семестрі.

Таблиця 1

Розподіл часу вивчення дисципліни “Теоретичні основи електротехніки”

(витяг з навчального плану)

Назва дисципліни	Форма контролю, семестр		Загальний обсяг годин	Обсяг аудиторних годин	Аудиторні заняття, годин			Самостійна робота, годин
	Іс-пит	Залік			Лекції	Прак-тичні	Лабора-торні	
теоретичні основи електротехніки	-	3	108 (3, 0)	64	32	-	32	44
	4	-	162 (4, 5)	90	36	18	36	72
	5	-	108 (3, 0)	64	32	-	32	44
	Всього		378 (10, 5)	218	100	18	100	160

Таким чином, 42 відсотки часу вивчення дисципліни (160 годин) відведено на самостійну роботу. З них обсяг самостійної роботи у третьому, четвертому і п'ятому семестрах складає 160 годин. Цей час розподілено між дев'ятьма вище зазначеними модулями дисципліни. Матеріал трьох модулів першої частини курсу вивчається протягом третього семестру, матеріал п'ятого, шостого, сьомого модулів другої частини вивчається в четвертому семестрі, а наступних три модулі третьої частини – у п'ятому семестрі. Методичні рекомендації до самостійної роботи з третьої частини дисципліни наведені в окремому посібнику і тут не розглядаються.

3. Планування самостійної роботи

В плані самостійної роботи передбачається, згідно з календарним планом, розв'язок типових завдань, проробка конспектів та навчальних посібників. Основна частина часу відведена на виконання розрахунково-графічних завдань, електронне моделювання електричних схем у програмному

середовищі Microcap 7.0/8.0, Electronics Workbench та на оформлення звітів з лабораторних робіт та практичних завдань. Звіти повинні містити стислі теоретичні відомості стосовно теми роботи, необхідні обчислення та графічні матеріали, а також висновки про отримані результати.

Контроль за самостійною роботою здійснюється шляхом перевірки під час захисту розрахунково-графічних завдань і лабораторних робіт.

Рекомендоване планування часу самостійної роботи студентів над теоретичним та практичним матеріалом з дисципліни “Теоретичні основи електротехніки” наведено в табл. 2.

Таблиця 2

Рекомендований розподіл часу самостійної роботи для засвоєння теоретичних знань та практичних навичок з дисципліни “Теоретичні основи електротехніки”

№ з/п	Тема самостійної роботи за навчальним планом	Літературні джерела для загального опрацювання теми	Практичне завдання для засвоєння матеріалу	Література до виконання практичного завдання	Час опрацювання матеріалу, годин
Модуль 1. Електричні і магнітні кола постійного струму					
1	Зв'язок електричного струму та електромагнітного поля, основні характеристики електромагнітних явищ.	[3], с.7-87; [7], с.109-111; [9], с.9-12	Вирішення задач за темою. Моделювання електричних кіл	[2], с.4-13; [4], с.4-13;	8

2	Електричні кола, їх параметри, закон Ома та активні параметри електричних кіл. Само та взаємна індукція	[3], с.88-95; [8], с.11-21;	Аналітичне вирішення задач обчислення електричних кіл, моделювання з використанням програмного забезпечення MicroCAP 8.0	[2], с.14-30; [4], с.20-44; [7], с.413-424	8
3	Співвідношення, методи перетворення та енергетичний баланс електричних кіл, закони Кірхгофа, методи розрахунку складних кіл.	[3], с.90-114; [9], с.13-25; [8], с.23-55; 67-103;	Розробка математичних моделей розгалужених електричних кіл. Вирішення їх методами рівнянь Кірхгофа, суперпозиції, двох вузлів	[4], с.45-56; [4], с.45-66;	10
Модуль 2. Електричні і магнітні кола змінного струму					
4	Характеристики синусоїдного струму, індуктивність та ємність при змінному струмі, символічний метод розрахунку та комплексний опір.	[3], с.229-262;325-346; [9], с.30-42; [8], с.106-148;	Вирішення задач символічним методом. Моделювання електричних кіл у середовищі Electronic Workbench	[4], с.176-212; 253-275;	8

5	Відображення електромагнітних процесів на комплексній площині, активна, реактивна і повна потужність у колах синусоїдного струму	[3], с.265-292; 338-341; [9], с.49-61; [8], с.148-174;175-199	Аналітичний аналіз електричних та енергетичних процесів в електричних колах з магніто пов'язаними контурами та в режимі резонансу.	[4], с.130-144; 233-252	8
---	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------	---

Модуль 3. Чотириполюсники та електричні фільтри

6	Чотириполюсники	[3], с.114-116; [8], с.213-236; [9], с.48-51	Розрахунки параметрів симетричних та несиметричних чотириполюсників	[2], с.136-181; [4], с.67-83	8
7	Призначення, типи та використання електричних фільтрів	[3], с.434-437; [8], с.443-482;	Аналітичне обчислення та комп'ютерне моделювання характеристик електричних фільтрів	[2], с.182-192;	4

Модуль 4. Трифазні кола змінного струму

	Джерела, основні з'єднання та співвідношення	[3], с.371-379; [8], с.256-261; [9], с.52-60	Вирішення задач на симетричні трифазні кола	[3], с.402-412;	10
--	----------------------------------------------	----------------------------------------------------	---------------------------------------------	-----------------	----

8	трифазних систем періодичного струму.			[4], с.276-286;	
9	Несиметричні трифазні кола, розклад струму на послідовності.	[3], с.398-402; [8], с.268-273; [9], с.61-64-	Вирішення задач розрахунку несиметричних трифазних кіл	[3], с.413-422; [4], с.4-19;286-291	8
10	Несиметричне трифазне коло, розклад струму на послідовності.	[3], с.398-402; [8], с.268-273; [9], с.61-64-	Вирішення задач розрахунку несиметричних трифазних кіл (метод симетричних складових)	[3], с.413-422; [4], с.4-19;286-291	8
11	Визначення, відображення та розрахунки несінусоїдальних електричних величин	[3], с.423-442, [8], с.297-327;	Розрахунок кіл несінусоїдально-го струму, потужність кіл несінусоїдально-го струму.	[4], с.301-314;	10
Модуль 5. Перехідні процеси електричних колах					
12	Перехідні процеси у колах постійного та змінного струму	[3], с.484-503; [8], с.687-707; [9], с.65-73-118	Розрахунок перехідних процесів вирішенням	[2], с.78-92; [4], с.329-	8

			диференціальних рівнянь	346;	
13	Методи розрахунку перехідних процесів	[8], с.383-424; 424-441;	Практичне засвоєння методів розрахунку пере- хідних процесів. Комп'ютерне мо- делювання пере- хідних процесів	[2], с.93- 124; [4], с.347- 349;	8
Модуль 6. Електричні кола з розподіленими параметрами					
14	Кола з розподіле- ними параметрами. Визначення, рівнян- ня, параметри.	[3], с.506- 524; [8], с.513- 550;	Вирішення задач розрахунку кіл з розподіленими параметрами	[2], с.198- 214;	10
Усього за першою та другою частинами курсу:					116

4. Організація самостійної роботи

Сто шістнадцять годин самостійної роботи, заплановані на час вивчення першої та другої частин дисципліни протягом двох семестрів, розподілені приблизно пропорційно до кількості тижнів навчання у семестрах (16 і 18). Тому в середньому на самостійну роботу з дисципліни припадає більше трьох годин на тиждень. Важливо, щоб цей час був використаний в режимі найвищої ефективності засвоєння матеріалу. У великій мірі цьому сприяє правильна організація самостійної роботи.

Для досягнення цього по-перше, - необхідно заздалегідь підбати про наявність літератури для самостійної роботи; по-друге, - лекційний матеріал

має опрацьовуватися в день його подання в аудиторії або, у крайньому випадку, наступного дня; по-третє, - бажано, щоб до завдань з самостійної роботи студенти приступали перед виконанням практичних та лабораторних робіт, що стосуються відповідного лекційного матеріалу. В такому разі з'ясовується більшість питань і підготовка до лабораторних робіт вимагає менше часу. Крім того, з'являється додаткова можливість вирішити незрозумілі питання під час занять. Практичні завдання самостійної роботи з моделювання цифрових пристроїв рекомендовано виконувати із застосуванням програмного забезпечення, наприклад, MicroCAP 7.0/8.0, Electronics Workbench. Результати самостійної роботи необхідно ретельно реєструвати у вигляді схем, що моделюються, векторних діаграм, електричних величин на входах та виходах пристроїв, тощо. Результати опрацювання лекційного матеріалу занотовуються у вигляді тез, виписок з підручників та монографій. Найбільш складні питання розтлумачуються повністю у письмовому вигляді або у вигляді електронного набору. Самостійна робота з теми завершується відповіддю на питання для контролю знань під час самостійної роботи (розділ 6). У подальшому весь матеріал, напрацьований під час самостійної роботи, використовується для підготовки до виконання звітів з лабораторних робіт, розрахунково-графічних завдань, заліку або іспиту з дисципліни.

5. Приклади виконання практичних завдань самостійної роботи

5.1. Приклад завдання до модуля 1. Два джерела живлення з напругою $E_1=11,5\text{ В}$ і $E_2=12,5\text{ В}$ мають внутрішній опір $R_1=R_2=0,1\text{ Ом}$ кожне і призначені для спільної паралельної роботи на зовнішнє електричне коло у вигляді активного опору навантаження R_3 (рис. 1). Визначити значення струмів у гілках електричного кола, якщо опір навантаження дорівнює

$$R_3 = 2\text{ Ом}.$$

Розв'язок завдання.

Оскільки електричне коло, що розглядається, має два вузли, найбільш ефективним методом вирішення задачі є метод двох вузлів.

Порядок вирішення задачі є наступним.

1) Визначення електропровідності гілок електричного кола

$$G_1 = G_2 = \frac{1}{r_1} = \frac{1}{0,1} = 10 \text{ Сим}; \quad G_3 = \frac{1}{r_3} = \frac{1}{2} = 0,5 \text{ Сим}. \quad (1)$$

2) Розрахунок напруги між двома вузлами

$$U = \frac{E_1 G_1 + E_2 G_2}{G_1 + G_2 + G_3} = \frac{11,5 \cdot 10 + 12,5 \cdot 10}{10 + 10 + 0,5} = \frac{115 + 125}{20,5} \approx 11,707 \text{ В}. \quad (2)$$

3) Визначення струмів в електричному колі

$$I_1 = (E_1 - U) \cdot G_1 = (11,5 - 11,707) \cdot 10 = -0,207 \cdot 10 = -2,07 \text{ А}, \quad (3)$$

$$I_2 = (E_2 - U) \cdot G_2 = (12,5 - 11,707) \cdot 10 = 0,793 \cdot 10 = 7,93 \text{ А}, \quad (4)$$

$$I_3 = (E_3 - U) \cdot G_3 = (0 - 11,703) \cdot 0,5 = -5,85 \text{ А}. \quad (5)$$

4) Перевірка виконання першого закону Кірхгофа

$$I_1 + I_2 + I_3 = -2,07 + 7,93 - 5,85 \approx 0. \quad (6)$$

Таким чином, під час паралельної роботи джерел напруги навіть невелика різниця значень електрорушійних сил джерел веде до великої розбіжності умов їх роботи у схемі. Так, значення струмів, що течуть у джерелах, розрізняються більше, ніж у три рази за абсолютною величиною. Крім того, якщо джерело живлення E_2 віддає енергію у зовнішній контур (струм I_2 має позитивне значення і електрорушійна сила E_2 перевищує напругу між вузлами U), то джерело E_1 споживає енергію з контуру (струм I_1 має негативне значення) і не виконує своєї основної функції.

Результати комп'ютерного моделювання роботи схеми з використанням програмного забезпечення Electronics Workbench наведено на рис. 1. Амперметри вказують струм у розгалуженнях електричного кола, вольтметр –

напругу між вузлами. Результати комп'ютерного моделювання практично співпадають з аналітичними розрахунками.

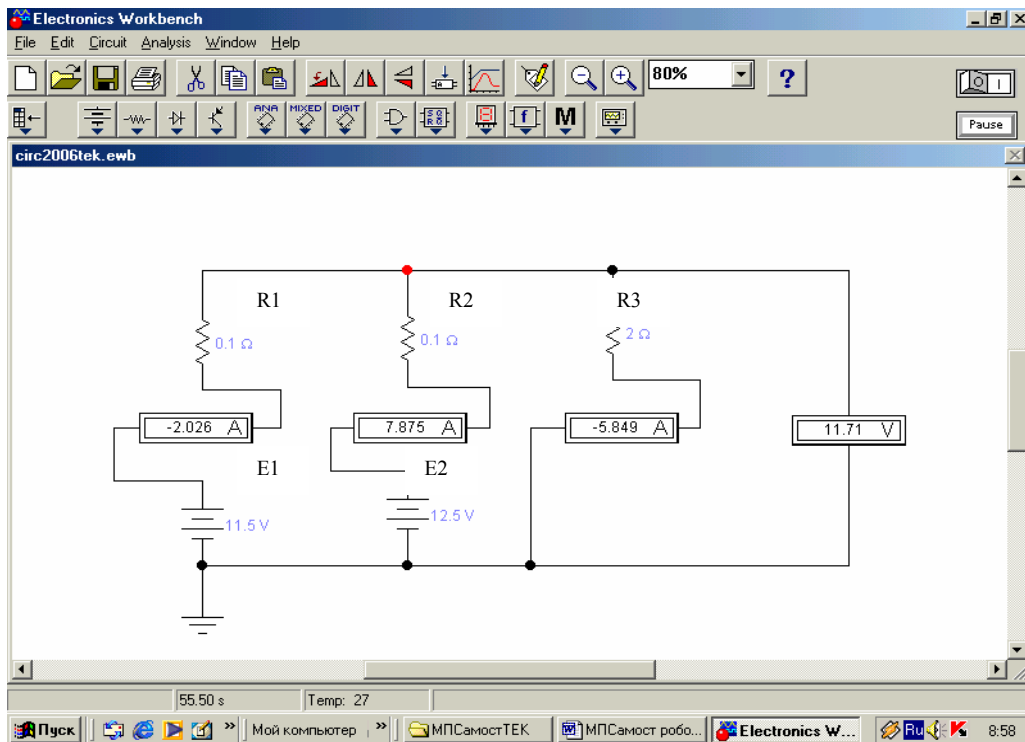


Рис. 1. Результати застосування програми Electronics Workbench до вирішення завдання розрахунку струмів в електричному колі.

5.2. Приклад завдання до модуля 2. Розрахувати струми в електричному колі (рис. 2) за методом суперпозиції

Метод суперпозиції можна застосовувати для визначення струмів у лінійному колі, в якому одночасно діють кілька ЕРС. Суть принципу суперпозиції полягає в тому, що струм в будь-якій гілці контуру з постійними опорами є алгебраїчною сумою частинних струмів, що створюються в цій гілці усіма ЕРС, які діють по черзі. Тому спочатку вважають, що в контурі діє тільки перша ЕРС $E1$. Всі опори кола і опори джерел, ЕРС яких прирівнюються нулю, залишаються незмінними. Для такого контуру знаходять часткові струми у всіх гілках. Потім розрахунок повторюють, вважаючи, що діє тільки друга ЕРС $E2$. Аналогічно розрахунки виконують по черзі для всіх джерел ЕРС.

Таким чином, для кожної гілки отримують стільки часткових струмів, скільки джерел ЕРС містить електричне коло. Алгебраїчна сума цих часткових струмів і дорівнює струму в гілці при одночасній дії всіх ЕРС.

$$I = I' + I'' + I''' + \dots, \quad (7)$$

де I', I'', \dots — частинні струми.

В деяких випадках зручніше всі джерела ЕРС поділити на дві або більшу кількість груп і струм будь-якої гілки розглядати як алгебраїчну суму частинних струмів цих груп джерел ЕРС.

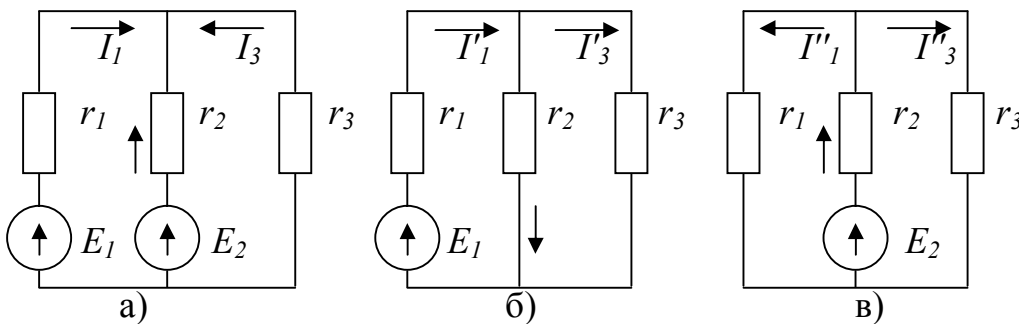


Рис. 2. Три схеми до розрахунку кола методом суперпозиції.

Розглянемо контур, зображений на рис. 2,а. Припустимо спочатку, що в контурі діє тільки одна ЕРС E_1 (рис. 2,б). Тоді загальний або еквівалентний контуру буде складатися з послідовно з'єднаних опорів - опору r_1 і опору розгалуження, що складається з двох паралельних опорів r_2 і r_3

$$r_{\Sigma 1} = r_1 + \frac{r_2 r_3}{r_2 + r_3}. \quad (8)$$

Струм в нерозгалуженій частині кола дорівнює

$$I'_1 = \frac{E_1}{r_{\Sigma 1}}. \quad (9)$$

Струми в паралельних гілках, падіння напруги на яких є однаковим

$$I'_2 = I'_1 \frac{r_3}{r_2 + r_3}; \quad I'_3 = I'_1 \frac{r_2}{r_2 + r_3}. \quad (10)$$

Потім, припустимо, що діє тільки одна друга ЕРС E_2 (рис. 2,в). Знайдемо загальний опір і струм в нерозгалуженій частині кола

$$r_{\Sigma 2} = r_2 + \frac{r_1 r_3}{r_1 + r_3}, \quad I_2'' = \frac{E_2}{r_{\Sigma 2}}. \quad (11)$$

Струми в паралельних гілках

$$I_1'' = I_2'' + \frac{r_3}{r_1 + r_3}, \quad I_3'' = I_2'' + \frac{r_3}{r_1 + r_3}. \quad (12)$$

Знаходимо струми в гілках як алгебраїчні суми частинних струмів

$$I_1 = I_1' - I_1'', \quad I_2 = I_2'' - I_2', \quad I_3 = -I_3' - I_3''. \quad (13)$$

Знак, який ставиться перед частинним струмом, залежить від того, чи співпадає напрям частинного струму (рис. 2,б і 2,в) з обраним позитивним напрямом струму в електричному колі (рис. 2,а) або є протилежним до його напрямку.

5.3. Приклад завдання до модуля 3. Дослідження чотиріполюсника. Визначити напругу U_I і струм I_I чотиріполюсника в робочому режимі, якщо для наданих значень $U_2 = 110$ В і $I_2 = 1,5$ А в режимі неробочого ходу отримано $U_{Ix} = 285$ В, $I_{Ix} = 5$ А, а в режимі короткого замикання за результатами вимірювань $U_{Ik} = 20$ В, $I_{Ik} = 95$ А. Знайти, у скільки разів потужність джерела під час тестування в робочому режимі буде більше потужності джерела в дослідах неробочого ходу і короткого замикання.

Розв'язок. Важливою властивістю пасивного чотиріполюсника є можливість розглядати його режим як результат суперпозиції режимів неробочого ходу і короткого замикання. Такий підхід, з одного боку, спрощує вимірювання чотиріполюсника, а з іншого – вимагає порівняно невисокої потужності джерела живлення для виконання тестувань.

Під час випробувань в режимі неробочого ходу (рис. 3-38) напругу на вихідних затискачах (2'-2'') можна вибрати такою, що дорівнює заданій величині U_2 , яка встановлюється регулюванням первинної напруги $U_{Iх}$. В режимі короткого замикання (рис. 3-39) струм у вихідному контурі можна вибрати таким, що дорівнює заданій величині $I_2 = U_2/r_2$, яка встановлюється регулюванням первинної напруги U_{Ik} . Напруги і струми вимірюються включеними приладами.

В режимі неробочого ходу вхідна напруга і вхідний струм визначаються рівняннями

$$U_{Ix} = A \cdot U_2 \text{ і } I_{Ix} = C \cdot U_2. \quad (14)$$

В режимі короткого замикання вхідна напруга і вхідний струм визначаються рівняннями (14)

$$U_{Ik} = B \cdot I_2, \quad I_{Ik} = D \cdot I_2. \quad (15)$$

Отже, заданий режим роботи чотирьохполюсника, який визначається рівнянням (15), може бути обчислений суперпозицією режимів роботи неробочого ходу і короткого замикання, оскільки

$$U_I = A \cdot U_2 + B \cdot I_2 = U_{Ix} + U_{Ik} \quad (16)$$

і

$$I_I = C \cdot U_2 + D \cdot I_2 = I_{Ix} + I_{Ik}. \quad (17)$$

Вхідні значення напруги і струму дорівнюють

$$U_I = U_{Ix} + U_{Ik} = 285 + 20 = 305 \text{ В}; \quad (18)$$

$$I_I = I_{Ix} + I_{Ik} = 5 + 95 = 100 \text{ А}. \quad (19)$$

Потужність джерела в досліді неробочого ходу

$$P_x = U_{Ix} \cdot I_{Ix} = 285 \cdot 5 = 1,425 \text{ кВт}, \quad (20)$$

а в досліді короткого замикання

$$P_k = U_{Ik} \cdot I_{Ik} = 20 \cdot 95 = 1,900 \text{ кВт}. \quad (21)$$

Потужність джерела під час тестування чотириполюсника в робочому режимі

$$P_I = U_I \cdot I_I = 305 \cdot 100 = 30,5 \text{ кВт.} \quad (22)$$

Відношення

$$P_I/P_x = 30,5/1,425 = 21,4, \quad (23)$$

а

$$P_I/P_k = 30,5/1,900 = 16. \quad (24)$$

Таким чином, потужність джерела під час тестування чотириполюсника в робочому режимі повинна бути в 21,4 раза більше потужності джерела в досліді неробочого ходу і в 16 разів більше, ніж в досліді короткого замикання.

5.4. Практичне завдання до модуля 4. Визначити ефективне значення струму та коефіцієнт гармонік у контурі з джерелом, що має несинусоїдальну електрорушійну силу

$$e = 282 \sin \omega t + 141 \sin 3\omega t + 70,5 \sin 5\omega t \quad (25)$$

та активне навантаження $R = 2 \text{ Ом}$ (рис. 2).

Аналітичне вирішення завдання.

Згідно схеми струм, що тече у навантаженні, дорівнює

$$i = e/R = 141 \sin \omega t + 70,5 \sin 3\omega t + 35,25 \sin 5\omega t. \quad (26)$$

Ефективні значення гармонійних складових струмів дорівнюють

$$I_1 = 141/\sqrt{2} = 100 \text{ А}, \quad I_3 = 70,5/\sqrt{2} = 50 \text{ А}, \quad I_5 = 35,25/\sqrt{2} = 25 \text{ А}, \quad (27)$$

Ефективне значення несинусоїдального струму визначається формулою

$$I = \sqrt{I_1^2 + I_3^2 + I_5^2} = \sqrt{100^2 + 50^2 + 25^2} = \sqrt{13125} = 114,6 \text{ А}. \quad (28)$$

Слід зазначити, що цій ефективній величині відповідає амплітудне значення еквівалентного синусоїдального струму

$$I_{me} = \sqrt{2} \cdot I = 114,6\sqrt{2} = 161,6 A \quad (29)$$

Коефіцієнт гармонік K_G , що характеризує рівень викривлення не-синусоїдального струму, розраховується з використанням наступного співвідношення

$$K_G = \frac{\sqrt{I_3^2 + I_5^2}}{I_1} = \frac{\sqrt{50^2 + 25^2}}{100} = \frac{\sqrt{3125}}{100} = 0,559. \quad (30)$$

З виразу (30) зрозуміло, що чим більшим значенням K_G відрізняється від нуля, тим сильнішим є викривлення форми струму у порівнянні з синусоїдою (тобто з першою гармонійною складовою I_1).

Вимірювальні прилади електромагнітної системи фіксують ефективні значення величин. Натомість електронні прилади можуть реєструвати амплітудні значення, що відповідають ефективним значенням еквівалентної синусоїди (11). Комп'ютерне моделювання цього факту наведено на рис. 2 у вигляді показників віртуального електронного амперметра. На екрані двохканального осцилографа відображено криву несинусоїдального струму, що розглядається у завданні. Також на панелі віртуального осцилографа наведено масштаб напруги, що відповідає вертикальній осі, та параметри горизонтальної розгортки осцилографа. Слід урахувувати, що на схемі до вимірювань підімкнено канал В осцилографа (горизонтальна клемма, що розташована праворуч). Тому масштаб для відліку напруги на екрані потрібно обирати саме для цього каналу на зображенні панелі осцилографа.

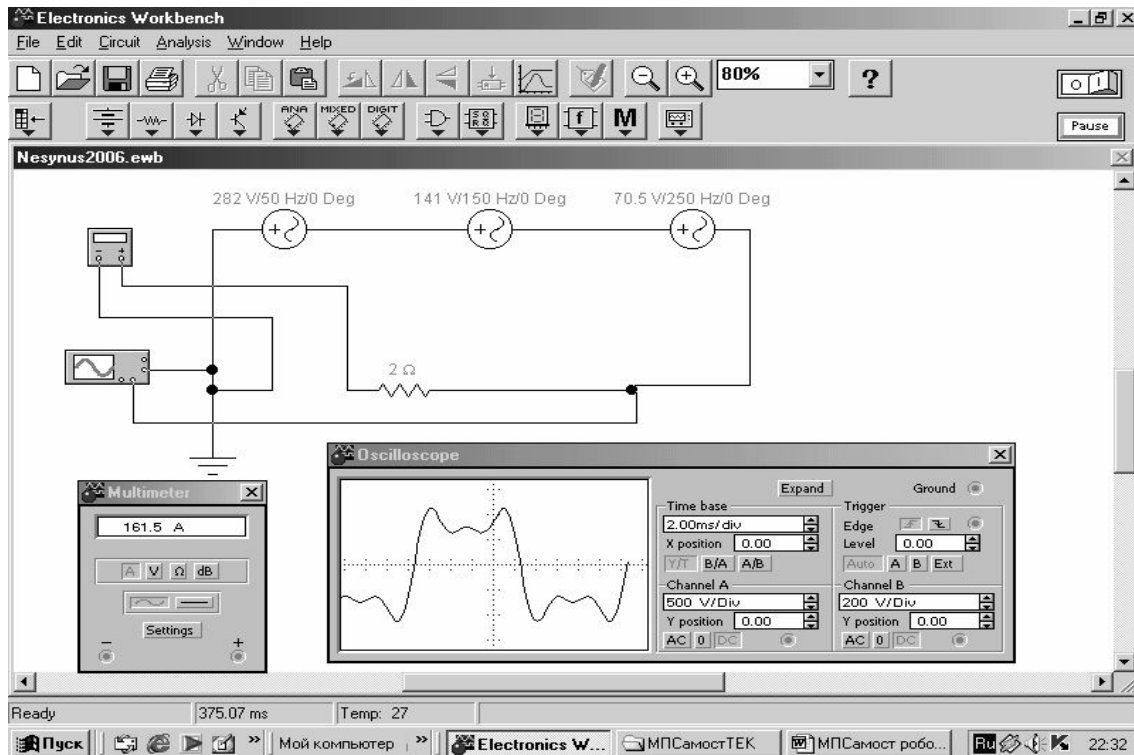


Рис. 3. Результати визначення характеристик несинусоїдного струму методом комп'ютерного моделювання.

5.5. Практичне завдання до модулів 5 і 6. Визначити характеристики багатокаскадного *LC*-фільтра за схемою і параметрами, наведеними на рис. 4.

Вирішення завдання буде достатньо ефективним із застосуванням програмного забезпечення Мігросар 7.0/8.0, призначеного для комп'ютерного моделювання електронних схем.

Недоліками простих *RC*-фільтрів високих та низьких частот є пологі характеристики спаду коефіцієнта підсилення в залежності від частоти сигналу. Так само, характеристики смугових *RC*-фільтрів, що будуються каскадним з'єднанням фільтрів високих та низьких частот, є також пологими. Такі фільтри знаходять застосування у випадках, коли сигнал, який має бути відсіченим, далеко зсунутий за частотою відносно бажаної смуги пропускання. Однак часто виникає необхідність у фільтрах з крутими схилами частотних характеристик з формою в ідеалі близької до прямокутної. Такі фільтри застосовують тоді, коли

необхідно відділити сигнал від близької за частотою електромагнітної завади. Як показано в роботі [12], фільтри, побудовані з конденсаторів та індуктивностей, можуть мати загострені характеристики. Таким прикладом є схема паралельного резонансного LC -контур, наведена на рис. 3.

Побудова амплітудно-частотних характеристик фільтрів виконується у логарифмічних координатах.

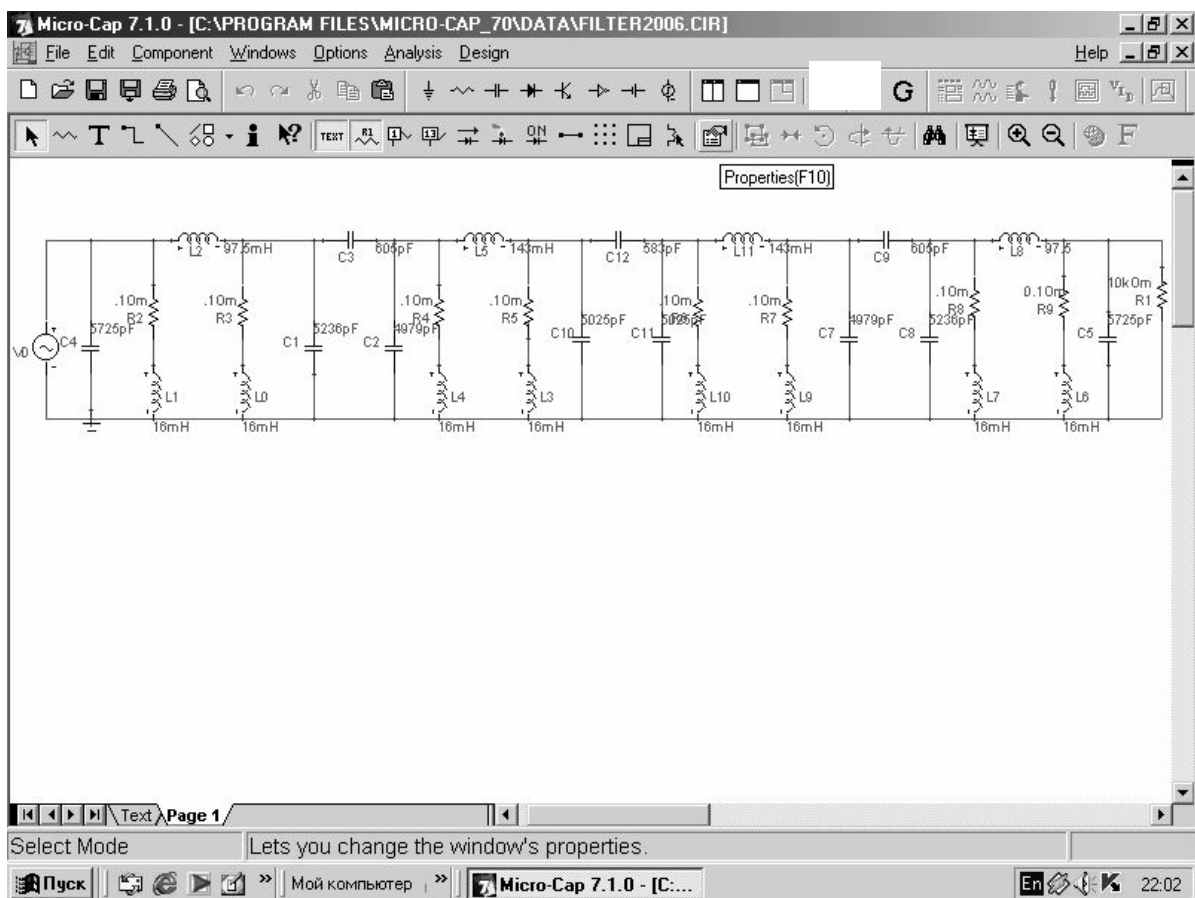


Рис. 4. Електрична схема LC -фільтра

Діапазон характеристик для побудови амплітудно-частотної характеристики у режимі AC analysis Microcap 7.0 наведено на рис. 5.

Амплітудно-частотну характеристику фільтра, що моделюється, наведено на рис. 5. На ньому амплітуду вихідного сигналу (сигналу на опорі $R1$) подано у децибелах. Характеристика має дуже круті схили за межами частотного

діапазону від 16,5 кГц до 19 кГц. Проте недоліком фільтру з вказаними параметрами є коливальний характер амплітудно-частотної характеристики у вказаному діапазоні.

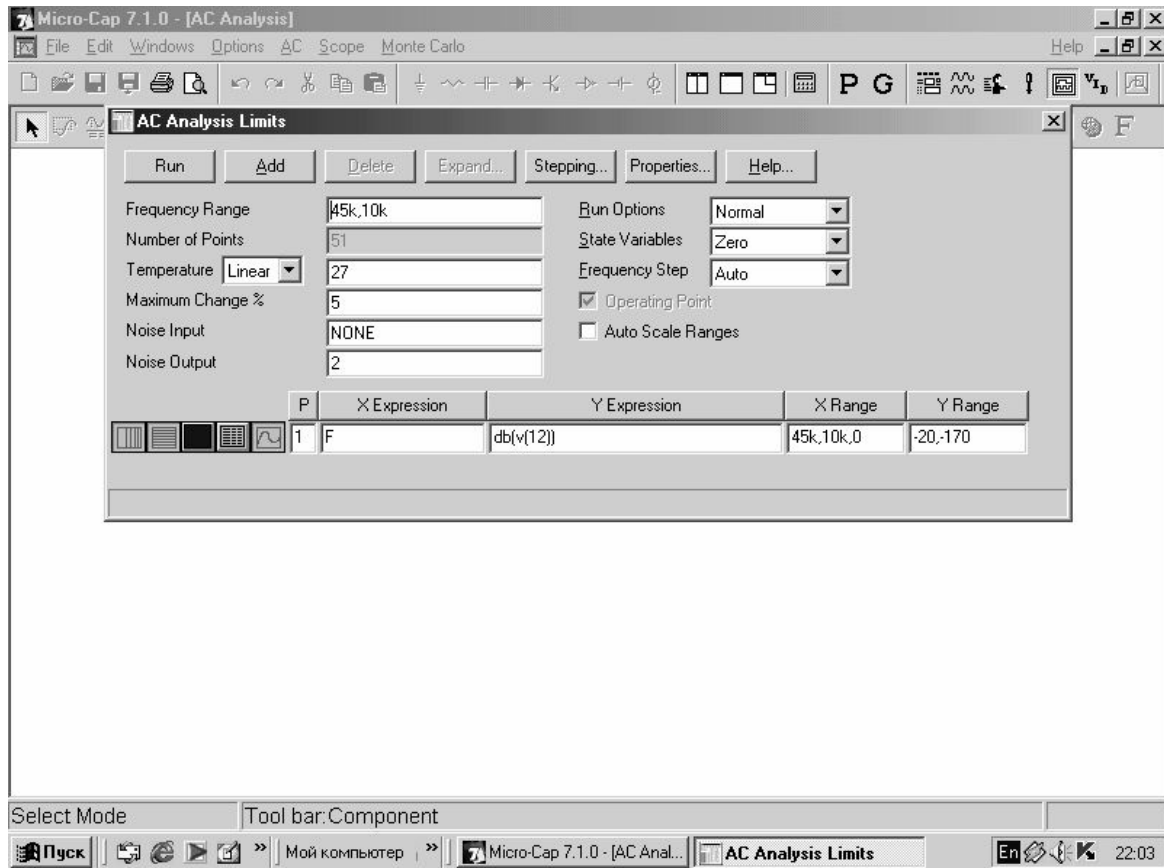


Рис. 5. Вікно завдання параметрів аналізу амплітудно-частотних характеристик у Microcap 7.0.

пропускання частот. Цей недолік є загальним для LC -фільтрів, оскільки відомо, що LC -контур є коливальним контуром. Мистецтво проектування фільтрів якраз і полягає в тому, щоб одночасно забезпечити прийнятні колювання амплітудно-частотних, а також фазочастотних характеристик фільтрів у частотній смузі пропускання та круті сходи цих характеристик за її межами.

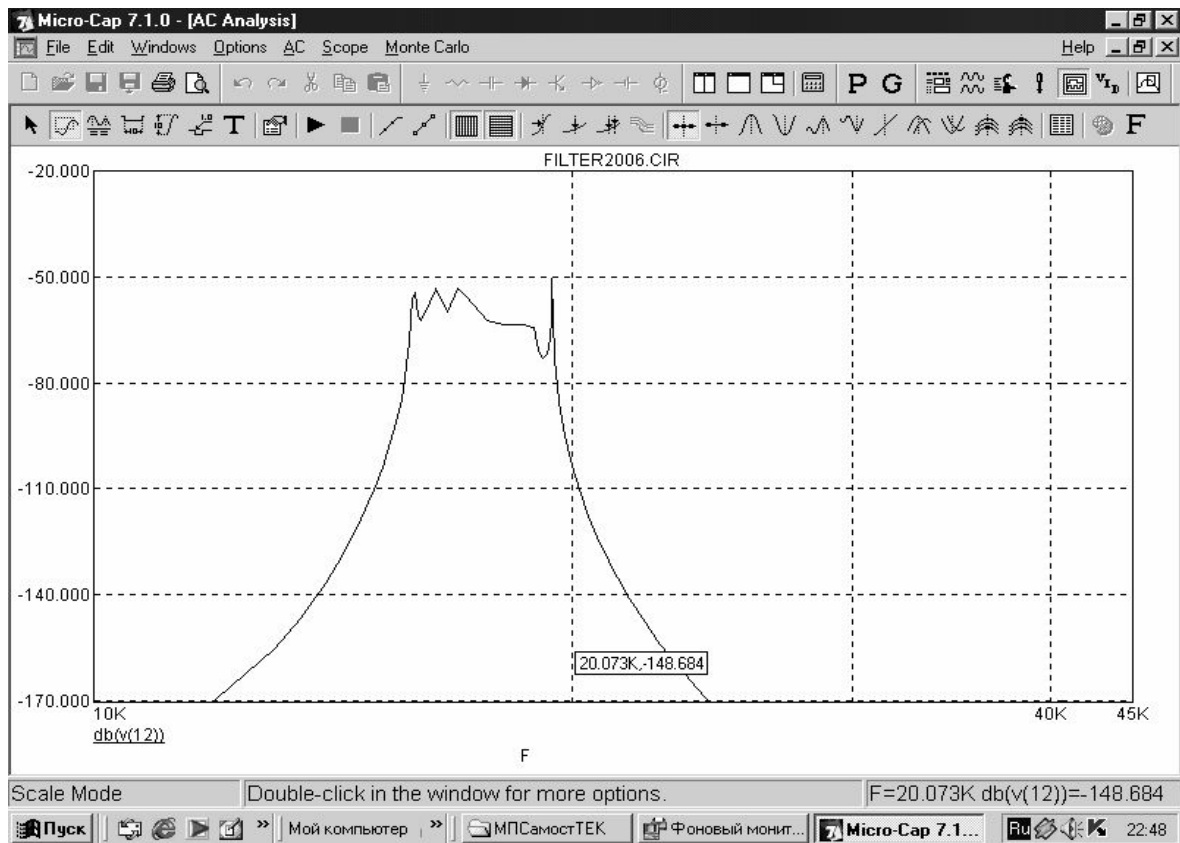


Рис. 6. Амплітудно-частотна характеристика фільтра.

6. Питання до модульного контролю знань для самоаналізу під час самостійної роботи

III семестр

Модуль 1. Електричні і магнітні кола постійного струму.

- 1.1. Що називається напругою, електричним струмом, напруженістю електричного поля і густиною струму?
- 1.2. Електричний опір твердих провідників.
- 1.3. Поясніть поняття електричного кола, гілки вузла.
- 1.4. Закон Ома для електричних кіл.
- 1.5. Перший закон Кірхгофа.

- 1.6. Другий закон Кірхгофа.
- 1.7. Пряма та зворотня проблеми розрахунку електричних кіл.
- 1.8. Розрахунок електричних кіл за законами Кірхгофа. Енергетичний баланс в електричних колах.
- 1.9. Розрахунок електричних кіл методом суперпозиції.
- 1.10. Розрахунок електричних кіл методом вузлових потенціалів.
- 1.11. Поняття про магнітні кола. Напруженість магнітного поля, індукція магнітного поля. Магнітний потік.
- 1.12. Магнітний опір. Закон Ома для магнітних кіл.
- 1.13. Закони Кірхгофа для магнітних кіл.
- 1.14. Розрахунок магнітних кіл.
- 1.15. Аналогія електричних і магнітних кіл.

Модуль 2. Електричні і магнітні кола змінного струму.

- 2.1. Параметри сигналів змінних величин. Причини виникнення змінних струмів і напруг.
- 2.2. Падіння напруги на активному опорі, індуктивності, ємності в колах змінного струму.
- 2.3. Диференціальні рівняння кіл змінного струму, складені за законами Кірхгофа.
- 2.4. Розрахунок простих електричних кіл змінного струму за диференціальними рівняннями.
- 2.5. Поняття про сучасні чисельні методи розрахунку електричних кіл змінного струму. Метод Ейлера.
- 2.6. Поняття про гармонічні сигнали: електрорушійні сили, напруги, струми. Параметри, що їх характеризують.
- 2.7. Активний, індуктивний і ємнісний опір в електричних колах синусоїдального струму.
- 2.8. Резонанс в електричних колах.
- 2.9. Основи символічного методу розрахунку електричних кіл.

- 2.10. Розрахунок електричних кіл символічним методом.
- 2.11. Топографічні (векторні) діаграми.
- 2.12. Активна, реактивна і повна потужності в електричних колах змінного струму.
- 2.13. Індуктивно пов'язані електричні кола.
- 2.14. Нелінійні електричні кола. Розрахунок нелінійних електричних кіл.

Модуль 3. Чотириполюсники та електричні фільтри.

- 3.1. Поняття чотириполюсника.
- 3.2. Приклади електротехнічних і електронних пристроїв, що мають схеми заміщення у вигляді чотириполюсника.
- 3.3. Схеми заміщення чотириполюсника.
- 3.4. Активні та пасивні, симетричні та несиметричні чотириполюсники.
- 3.5. Рівняння чотириполюсників.
- 3.6. T -подібні та Π -подібні схеми заміщення чотириполюсників.
- 3.6. Визначення постійних чотириполюсників.
- 3.7. Тестування чотириполюсників в режимах неробочого ходу та короткого замикання.
- 3.8. Поняття про електричні фільтри.
- 3.9. Ємність та індуктивність як найпростіші електричні фільтри.
- 3.10. Багатоланкові схеми фільтрів. Коефіцієнт фільтрації.
- 3.11. Фільтри нижніх частот, фільтри високих частот, смугові фільтри, фільтри-пробки.

IV семестр

Модуль 4. Трифазні кола змінного струму.

- 4.1. Поняття про багатофазні системи. Будова та технічні переваги трифазних систем електропостачання. Області застосування інших багатофазних систем.

4.2. Багатофазні з'єднання обмоток генераторів і приймачів.

4.3. Еквівалентні перетворення з'єднань, виконаних за схемою «зірка» на з'єднання «трикутником» і навпаки.

4.4. Топографічні діаграми трифазних електричних кіл.

4.5. Симетричні та несиметричні трифазні електричні кола. Поняття про зсув напруг.

4.6. Застосування символічного метода для розрахунку симетричних трифазних електричних кіл.

4.7. Застосування метода двох вузлів для розрахунку несиметричних електричних кіл. Поняття про зсув напруг. Роль нульового проводу в трифазних електричних колах.

4.8. Потужність трифазних електричних кіл.

4.9. Метод симетричних складових.

4.10. Поняття про електромагнітне поле, що обертається.

4.10. Поняття про несинусоїдальні струми. Теорема Фур'є. Постійна та гармонічні складові періодичного несинусоїдального сигналу.

4.11. Види періодичних кривих. Розклад періодичних несинусоїдальних кривих на гармоніки.

4.12. Реальні значення несинусоїдальних стумів і напруг

4.13. Потужність в електричних колах несинусоїдального струму.

4.14. Несинусоїдальні струми в трифазних лінійних електричних колах.

4.15. Нелінійні електричні кола змінного струму

Модуль 5. Перехідні процеси в електричних колах

5.1. Поняття про перехідні процеси в електричних колах. Поясніть суть першого закону комутації.

5.2. Поясніть суть другого закону комутації.

5.3. Вільний та примушений режим перехідного процесу. Формулювання рівнянь вільних струмів і напруг, алгебраїчні та характеристичні рівняння перехідних процесів, властивості їх корнів.

5.4. Математичне вираження перехідних процесів диференціальними рівняннями. Визначення початкових умов для перехідних процесів.

5.5. Виконати аналіз перехідних процесів в простих електричних колах класичним методом. Ввімкнення кола з індуктивністю та опором на постійну напругу.

5.6. Розрахувати класичним методом перехідний процес вимкнення кола з індуктивністю та опором з мережі постійного струму.

5.7. Розрахувати класичним методом перехідний процес ввімкнення кола з ємністю та опором в мережу постійного струму.

5.8. Розрахувати класичним методом перехідний процес розряду ємності на опір.

5.9. Ввімкнення електричних кіл в мережу змінної напруги.

5.10. Поняття про операторний метод розрахунку перехідних процесів. Прямі та зворотні перетворення.

5.11. Виконати аналіз перехідних процесів в простих електричних колах операторним методом. Ввімкнення кола з індуктивністю та опором на постійну напругу.

5.12. Розрахувати операторним методом перехідний процес вимкнення кола з індуктивністю та опором з мережі постійного струму.

5.13. Розрахувати операторним методом перехідний процес ввімкнення кола з ємністю та опором в мережу постійного струму.

Модуль 6. Електричні кола з розподіленими параметрами

6.1. Поясніть поняття «розподілені параметри електричних кіл». Коли їх необхідно враховувати?

6.2. Схема заміщення довгої однорідної лінії.

6.3. Диференціальні рівняння однорідної лінії.

6.4. Характеристичний опір лінії.

6.5. Пряма та зворотні хвилі в лінії.

6.6. Фазова швидкість, довжина хвилі, коефіцієнти згасання і фази.

- 6.7. Лінія як чотириполюсник. Основні рівняння.
- 6.8. Узгоджене та неузгоджене навантаження лінії.
- 6.9. Лінії без втрат
- 6.10. Перехідні процеси в довгих лініях.

Список літературних джерел

1. Бессонов Л.А. Теоретические основы электротехники. Электрические цепи. – М.: Высшая школа, 1978 – 528 с.
2. Бирюков В.Н., Попов В.П., Семенцов В.И. Сборник задач по теории цепей. – М.: Высшая школа, 1985. – 239с.
3. Евдокимов Ф.Е. Теоретические основы электротехники. – М.: Высшая школа: 1991. – 543 с.
4. Зайчик М.Ю. Сборник задач и упражнений по теоретической электротехнике. – М.: Энергия, 1988. – 359с.
5. Нейман Л.Р., Демирчян К.С. Теоретические основы электротехники. – Л.: Энергоиздат, 1981, т. 1, 2 – 536 с.
6. Нестеренко А. Д. Введение в теоретическую электротехнику.– К.: Наукова думка, 1969 – 352 с.
6. Опадчий Ю.Ф., Глудкин О.П., Гуров А.И. Аналоговая и цифровая электроника.- М.: Горячая линия – Телеком, 2003. – 768 с.
7. Основы теории цепей / Г.В. Зевеке, П.А. Ионкин, А.В. Нетушил, С.В. Страхов. – М.: Энергия, 1988. – 749 с.с.
8. Паначевний Б.І., Свергун Ю.Ф. Загальна електротехніка: теорія і практикум. – К.: Каравела, 2003. – 440 с.
9. Попов В.С. Теоретическая электротехника. – М.: Высшая школа, 1993. – 608 с.
10. Карлащук В.И. Электронная лаборатория IBM PC.Программа Electronics Workbench и ее применение. – М.: СОЛОН-Р. – 2001. – 736с.

11. Хоровиц П., Хилл У. Искусство схемотехники. Т.1.- М.: Мир: 1993. – 598 с.
12. Шебес М. Р. Задачник по теории линейных электрических цепей. – М., Высшая школа, 1982 – 488 с.