

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ, МОЛОДІ І СПОРТУ
УКРАЇНИ
Запорізький національний технічний університет**

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до контрольної роботи №1 з дисципліни
«Теорія електричних кіл та сигналів»
для студентів спеціальності 6.050903 «Телекомунікації»
заочної форми навчання

2012

Методичні вказівки до контрольної роботи №1 з дисципліни «Теорія електричних кіл та сигналів» для студентів спеціальності 6.050903 «Телекомунікації» заочної форми навчання / Укладачі: В.О. Костенко, Г.М. Романіченко,— Запоріжжя: ЗНТУ, 2012 – 22 с.

Укладачі: В.О. Костенко, доцент, канд. техн. наук,
Г.М. Романіченко, ст. викладач.

Рецензент: Е.В. Власенко, доцент, канд. техн. наук.

Відповідальний
за випуск В.О. Костенко, доцент, канд. техн. наук.

Експерт: Б.М. Бондарєв, проф., канд. техн. наук.

ЗАТВЕРДЖЕНО
на засіданні кафедри
Радіотехніка та телекомунікації
Протокол №_5_від._17_. _02_ 2012.

ЗМІСТ

ПЕРЕДМОВА	4
1 ЗАГАЛЬНІ ВКАЗІВКИ	4
1.1 Мета контрольних робіт	4
1.2 Зміст і об'єм контрольних робіт	4
1.3 Вимоги до оформлення і захисту контрольних робіт	5
2 НАВЧАЛЬНИЙ ГРАФІК ВИВЧЕННЯ ДИСЦИПЛІНИ	5
2.1 Робоча програма щодо вивчення тем ТЕКС (частина I)	5
2.2 Запитання для самоперевірки вивченого матеріалу за семестр	7
3 АНАЛІЗ ЕЛЕКТРИЧНИХ КІЛ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ	10
3.1 Завдання	10
3.2 Контрольні запитання до завдання	11
4 АНАЛІЗ ЕЛЕКТРИЧНИХ КІЛ ЗМІННОГО СТРУМУ	11
4.1 Завдання	12
4.2 Контрольні запитання до завдання	13
5 ПЕРЕХІДНІ ПРОЦЕСИ В ЕЛЕКТРИЧНИХ КОЛАХ ПЕРШОГО ПОРЯДКУ	11
5.1 Завдання	14
5.2 Контрольні запитання до завдання	15
6 РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА	16
Додаток А	17
Додаток Б	18
Додаток В	21

ПЕРЕДМОВА

Курс "Теорія електричних кіл та сигналів" (ТЕКС) для студентів спеціальності 6.050903 "Телекомунікації" вивчається протягом двох семестрів - у другому і третьому. У другому семестрі виконується одна контрольна робота, яка має три завдання (перше - з розрахунку електричних кіл постійного струму, друге – з розрахунку електричних кіл змінного струму, третє – з розрахунку перехідного процесу) та три лабораторні роботи. У третьому семестрі виконується одна контрольна робота з теорії сигналів , дві лабораторні роботи і одна курсова робота. Другий семестр закінчується заліком, а третій – іспитом.

1 ЗАГАЛЬНІ ВКАЗІВКИ

1.1 Мета контрольних робіт

Метою контрольних робіт є вивчення законів електричних кіл, закріплення теоретичного матеріалу і розвиток навиків його практичного використання.

Методичні вказівки призначені для допомоги студентам заочної форми навчання у їх самостійній роботі з навчальною літературою, в опануванні теоретичних і практичних знань з курсу ТЕКС.

1.2 Зміст і об'єм контрольних робіт

Кожна контрольна робота складається з пояснювальної записки об'ємом 10...15 сторінок, включаючи рисунки, графіки, таблиці, додатки.

Зміст пояснювальної записки:

- титульний лист;
- завдання до контрольної роботи;
- суть пояснювальної записки (пояснення до розрахунків та розрахунки);
- висновки;
- перелік використаних літературних джерел;
- додатки.

1.3 Вимоги до оформлення і захисту контрольних робіт

1.3.1 Контрольна робота виконується на комп'ютері в програмному середовищі Mathcad, оформлюється на білих стандартних аркушах паперу формату А4. Сторінки, малюнки, графіки і таблиці повинні бути пронумеровані. Ніяких виправлень у початковому тексті робити не можна! Виправлення помилок треба робити в кінці звіту після зауважень викладача..

Пояснювальна записка повинна бути оформлена у відповідності з вимогами Державного стандарту та СТП 15-1 ЗНТУ.

1.3.2 Похибки у розрахунках не повинні перевищувати 2 %.

1.3.3 Основні етапи розрахунків повинні мати достатньо докладні пояснення. Всі розрахункові формули необхідно записувати в загальному вигляді, а потім підставляти цифрові значення. В остаточному результаті треба вказати одиниці виміру, в яких отримана відповідь.

1.3.4 Після виконання й оформлення робота проходить рецензію у викладача, що веде заняття з ТЕКС та підлягає захисту перед викладачем у термін, що встановлено учбовим планом.

2 НАВЧАЛЬНИЙ ГРАФІК ВИВЧЕННЯ ДИСЦИПЛІНИ

2.1 Робоча програма щодо вивчення тем ТЕКС (частина І)

2.1.1 Назви тем, їх зміст, об'єм у годинах для самостійного вивчення.

2.1.1.1 Основні поняття теорії електричних кіл

Електричне коло. Активні та пасивні елементи кола. Поняття струму, напруги, ЕРС, миттєвої потужності та енергії. Опір, індуктивність, ємність. Зв'язок між струмом, напругою, миттєвою потужністю та енергією у цих елементах.

Самостійних занять - 5 годин. Література: [1] с. 5-10, [2] с.84-86 , [3] с.12-42, [6] с.5-23, [7] с.129-148.

2.1.1.2 Методи аналізу лінійних кіл зі сталими параметрами. Закон Ома. Закони Кірхгофа. Послідовне, паралельне з'єднання елементів. Еквівалентні перетворення опорів, з'єднаних "зіркою" і "трикутником". Застосування законів Кірхгофа для розрахунку

складних кіл. Метод контурних струмів. Метод накладання. Теорема еквівалентного генератора напруги та струму. Баланс потужностей.

Самостійних занять – 32 години. Л: [1] с.10-50, [2] с.4-43, [3] с.42-115, [6] с.28-52, [7] с.149-173.

2.1.1.3 Електричні кола однофазного синусоїдного струму. Основні величини, що характеризують синусоїдну функцію. Середнє, діюче, миттєве значення синусоїдного струму. Лінійні кола з R , L , C - елементами. Векторні діаграми, амплітудно-частотні характеристики. Коефіцієнт потужності.

Символічний метод розрахунку електричних кіл синусоїдного струму. Закон Ома і закони Кірхгофа у символічній формі.

Комплексний опір і комплексна провідність. Розрахунок електричних кіл при змішаному з'єднанні елементів. Режим передачі максимальної потужності від джерела енергії до споживача. Електричні кола зі взаємною індуктивністю. Погоджене та зустрічне вмикання котушок. Трансформатор без феромагнітного осердя (лінійний трансформатор).

Самостійних занять – 32 годин. Л: [1] с.67-85, 100-105, [2] с.44-84, [3] с.116-250, [6] с.63-92, [7] с.177-301..

2.1.1.4 Частотні характеристики послідовного і паралельного коливальних контурів.

Послідовний коливальний контур. Резонанс напруг. Вхідні та передаточні частотні характеристики. Вибірність та смуга пропускання. Навантажений послідовний коливальний контур.

Паралельний коливальний контур. Резонанс струмів. Вхідні та перехідні частотні характеристики. Паралельний коливальний контур основного виду. Контур з неповним включенням індуктивності. Контур з неповним включенням ємності. Складний паралельний коливальний контур.

Зв'язані коливальні контури. Види зв'язку. Коефіцієнти зв'язку. Настроювання системи зв'язаних контурів. Частотні характеристики зв'язаних контурів. Вибірність та смуга пропускання зв'язаних коливальних контурів.

Самостійних занять – 20 годин. Л: [1] с.91-100, [2] с.84-86, 96-149, [3] с.260-368, [6] с.92-99, [7] с.302-320.

2.1.1.5 Перехідні процеси. Закони комутації. Вільна та

примушена складові струму. Початкові значення величин. Складання характеристичного рівняння кола. Властивості коренів характеристичних рівнянь. Характер вільного процесу у процесах с одним та двома коренями.

Класичний метод розрахунку перехідного процесу. Визначення постійних інтегрування. Особливості графічного відображення перехідних процесів на комп'ютері за допомогою програми *MathCAD*.

Поняття про операторний метод розрахунку перехідних процесів та інтеграл Дюамеля.

Самостійних занять – 22 години. Л: [1] с.198-255, [2] с.172-195, [3] с.8-45 , [6] с.260-315.

2.1.1.6 Лінії з розподіленими параметрами. Складання диференційних рівнянь однорідної лінії. Телеграфні рівняння. Постійна розповсюдження та хвильовий опір. Формули для визначення комплексів напруги та струму в будь-якій точці лінії через комплекси напруги та струму на початку лінії, на кінці лінії.

Падаюча та відбита хвилі. Лінія без перетворень. Визначення стоячих хвиль та хвиль, що біжать. Узгодження опорів передавача, лінії розповсюдження та приймача.

Самостійних занять – 21 година. Л: [1] с.314-333, [2] с.248-284, [3] с.242-422 , [6] с.192-215.

2.2 Запитання для самоперевірки вивченого матеріалу за семестр

2.2.1 Що таке вузол, вітка, контур?

2.2.2 Чому дорівнює опір двох резисторів, включених послідовно, паралельно?

2.2.3 Закони Ома і Кірхгофа.

2.2.4 Формули еквівалентного перетворення опорів, з'єднаних "зіркою" і "трикутником".

2.2.5 Скільки рівнянь треба скласти для розрахунку будь-якої схеми за I та II законами Кірхгофа?

2.2.6 Який алгоритм знаходження струмів в гілках електричної схеми постійного струму при використанні метода вузлових потенціалів?

2.2.7 В чому полягає метод контурних струмів?

2.2.8 Скільки рівнянь складають для будь-якої схеми за методом контурних струмів?

2.2.9 Суть метода накладання. Теорема про активний двополюсник. Послідовність розрахунків методом еквівалентного генератора.

2.2.10 За допомогою якого пакета програм можливо змоделювати роботу електричної схеми постійного струму? Які вимірювальні прилади при цьому можна використовувати?

2.2.11 Скільки величин характеризують синусоїдну функцію?

2.2.12 Поняття комплексної амплітуди.

2.2.13 Закон Ома для ланцюгів синусоїдального струму.

2.2.14 Закони Кірхгофа в символічній формі запису.

2.2.15 Опишіть послідовність дій при знаходженні струмів в гілках електричної схеми синусоїдального струму при використанні метода вузлових потенціалів.

2.2.16 Чим відрізняються розрахунки синусоїдальних струмів від розрахунків постійних струмів у програмному середовищі Mathcad?

2.2.17 Які вимірювальні прилади використовуються при моделюванні роботи електричних схем змінного струму?

2.2.18 За яких умов здійснюється максимальна передача енергії в навантаження в умовах постійного та змінного струмів?

2.2.19 Умова резонансу напруг. Умова резонансу струмів.

2.2.20 Вибірність і смуга пропускання коливального контуру.

2.2.21 Частотні характеристики послідовного і паралельного коливальних контурів.

2.2.22 Складний паралельний коливальний контур.

2.2.23 Види зв'язку зв'язаних коливальних контурів.

2.2.24 Які різновиди резонансу розрізняють в системі зв'язаних коливальних контурів?

2.2.25 Які можуть бути частотні характеристики зв'язаних коливальних контурів?

2.2.26 Як визначити смугу пропускання в системі зв'язаних коливальних контурів?

2.2.27 Які закони комутації Ви знаєте і що треба розуміти під терміном незалежні початкові умови під час розрахунків перехідних процесів?

2.2.28 Які складові струму або напруги знаходять під час розрахунку перехідних процесів?

2.2.29 Як скласти характеристичне рівняння для знаходження його коренів?

2.2.30 Який характер має вільний процес у випадку одного дійсного кореня характеристичного рівняння?

2.2.31 Який характер має вільний процес у випадку двох рівних дійсних коренів характеристичного рівняння?

2.2.32 Який характер має вільний процес у випадку двох комплексно – спряжених коренів характеристичного рівняння?

2.2.33 Опишіть алгоритм знаходження струмів або напруг у гілках електричної схеми класичним методом.

2.2.34 Запишіть перший та другий закони Кирхгофа в операторній формі.

2.2.35 Запишіть на папері зображення напруги на ємності та зображення струму в котушці у випадку ненульових початкових умов під час перехідних процесів.

2.2.36 Яка послідовність розрахунків в операторному методі пошуку струмів або напруг в електричних схемах під час перехідних процесів?

2.2.37 Яким чином можливо повернутися від зображення до функції часу в операторному методі розрахунку перехідних процесів?

2.2.38 Запишіть формулу розкладання і поясніть її призначення під час розрахунків в перехідних процесах операторним методом.

2.2.39 Запишіть формулу інтеграла Дюамеля, що використовується під час розрахунків перехідних процесів. Прокоментуйте її, зробіть відповідні графічні нотатки.

2.2.40Що треба розуміти під терміном «лінії з розподіленими параметрами», або «довгі лінії»? Чим вони відрізняються від кіл з зосередженими параметрами?

2.2.41 Зобразити схему заміщення ділянки однорідної лінії з розподіленими параметрами.

2.2.42Запишіть основні диференціальні рівняння для лінії з розподіленими параметрами (телеграфні рівняння).

2.2.43Що розуміють під термінами: постійна поширення, стала загасання, фазова стала, хвильовий опір, фазова швидкість?

3 АНАЛІЗ ЕЛЕКТРИЧНИХ КІЛ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ

3.1 Завдання

Згідно із номером варіанту (Додаток А) обрати схему для електричного кола (Додаток Б), та визначити параметри елементів схеми. Далі треба виконати наступне:

а) складання спрямованого графу цього кола, обрати дерево графа (зобразити жирними лініями), гілки зв'язку;

б) складання систем рівнянь за законами Кірхгофа та розрахунок струмів кожної гілки для обраної схеми електричного кола за допомогою математичного пакета *MathCAD*;

в) складання системи рівнянь за методом вузлових потенціалів та розрахунок струмів кожної гілки електричного кола;

г) складання системи рівнянь за методом контурних струмів та розрахунок власних струмів кожної гілки;

д) перевірка балансу потужностей електричного кола, побудова потенціальної діаграми уздовж контуру із двома джерелами ЕРС;

е) моделювання роботи кола у середовищі *Electronics Workbench*. Перевірка струмів кожної гілки та напруги між базовим вузлом та усіма іншими. Для цього підключить до схеми відповідні прилади із бібліотеки індикаторів середовища *EWB*;

є) результати розрахунків та моделювання звести у таблицю 3.1:

Таблиця 3.1 - Порівняльна таблиця вихідних даних

	I_1	I_2	...	I_n
Кіргоф				
м. вузл. п.				
м конт. стр				
EWB				

ж) висновки з порівняння результатів розрахунків кола у пакеті *MathCAD* із результатами моделювання в середовищі *Electronics Workbench*.

3.2 Контрольні запитання до завдання

- 3.2.1 Поняття рівняння енергетичного стану кола.
- 3.2.2 Топологічні методи аналізу складних кіл.
- 3.2.3 Суть методу рівнянь Кірхгофа.
- 3.2.4 Алгоритм аналізу кіл методом контурних струмів.
- 3.2.5 В чому полягає метод вузлових потенціалів?
- 3.2.6 Способи перевірки вірності розв'язку рівнянь енергетичного стану.
- 3.2.7 Порядок побудови потенціальної діаграми засобами *MathCAD*.
- 3.2.8 Основи роботи з інтерфейсом *MathCAD*.
- 3.2.9 Основи роботи з інтерфейсом *Electronics Workbench*.
- 3.2.10 Основні поняття теорії графів.
- 3.2.11 Що таке незалежні контури і незалежні вузли?
- 3.2.12 Від чого залежить кількість можливих незалежних рівнянь енергетичного стану кола?
- 3.2.13 Переваги і недоліки метода рівнянь Кірхгофа.
- 3.2.14 Переваги і недоліки метода контурних струмів.
- 3.2.15 Переваги і недоліки метода вузлових потенціалів
- 3.2.16 Властивості ідеальних джерел струму та напруги.
- 3.2.17 В чому полягають еквівалентні перетворення складних схем з метою їх спрощення?
- 3.2.18 Сформулюйте закони Ома та Кірхгофа.
- 3.2.19 Порівняльний аналіз методів аналізу складних кіл постійного струму.
- 3.2.20 Недоліки моделювання складних схем постійного струму в програмному середовищі *Electronics Workbench*.
- 3.2.21 Недоліки моделювання складних схем постійного струму в програмному середовищі *MathCAD*.
- 3.2.22 Засоби вимірювання струму, напруги та потужності в *Electronics Workbench*.
- 3.2.23 Що означають від'ємні значення струмів та напруг, що виміряні в *Electronics Workbench*?
- 3.2.24 Що означають від'ємні значення струмів, які отримані в результаті розв'язку системи рівнянь енергетичного стану кола?
- 3.2.25 Що може означати невиконання умов балансу потужностей кола?

4 АНАЛІЗ ЕЛЕКТРИЧНИХ КІЛ ЗМІННОГО СТРУМУ

4.1 Завдання

Згідно з номером варіанту (додаток В) обрати схему для електричного кола із гармонічними (що змінюється у часі за законом синуса) джерелами живлення ($U_k(t)$). На схемі біля елементів указані опори елементів на частоті коливань $f = 1000$ Гц.

Далі треба виконати наступне:

а) вказати умовний напрям струмів у гілках схеми та їх нумерацію;

б) Знайти значення L і C для моделювання у середовищі *Electronics Workbench*;

в) скласти систему рівнянь за законами Кірхгофа та зробити розрахунок струмів кожної гілки для обраної схеми електричного кола за допомогою математичного пакета *MathCAD*;

г) скласти систему рівнянь для наданої схеми за методом контурних струмів та зробити розрахунок струмів кожної гілки;

д) скласти систему рівнянь для наданої схеми за методом вузлових потенціалів та зробити розрахунок струмів кожної гілки;

е) перевірка балансу потужностей електричного кола;

є) здійснити моделювання роботи кола у середовищі *Electronics Workbench*. Зробити перевірку струмів кожної гілки та напруги між базовим вузлом та усіма іншими. Для цього підключить до схеми відповідні прилади із бібліотеки індикаторів середовища *EWB*;

ж) результати розрахунків та моделювання треба звести у таблицю 4.1:

Таблиця 4.1 – Порівняльна таблиця вихідних даних

	I_1	I_2	...	I_n
Кіргоф				
м. вузл. п.				
м конт. стр				
EWB				

4.2 Контрольні запитання до завдання

4.2.1 Що називають миттєвим, діючим, амплітудним, середнім значенням змінного струму?

4.2.2 Яким чином переходять від миттєвої до комплексної форми запису змінного струму? Які бувають різновиди форм запису комплексних чисел та формули співвідношень між ними?

4.2.3 Як залежить опір котушки індуктивності від частоти струму в ній? Наведіть приклади запису опору в комплексній формі.

4.2.4 Як залежить опір ємності від частоти зміни напруги на її обкладинках? Наведіть приклади запису опору в звичайній і комплексній формах.

4.2.5 Чому дорівнює повний опір ділянки електричного кола, яка складається із послідовного сполучення R та L елементів?

4.2.6 Чому дорівнює повний опір ділянки електричного кола, яка складається із послідовного сполучення R та C елементів?

4.2.7 Якщо напруга $u = 5 \cdot \sin(\omega \cdot t + 30^\circ)$ прикладена до кола із опором $Z = 3 + j4$. Чому дорівнює струм цього кола?

4.2.8 Якщо напруга $u = 5 \cdot \sin(106 \cdot t + 0^\circ)$ прикладена до кола із послідовного сполучення $R = 6 \text{ Ом}$ та $C = 12.5 \text{ нФ}$. Чому дорівнює струм цього кола?

4.2.9 Як струм $i = 5 \cdot \sin(106 \cdot t - 135^\circ)$ представити у алгебраїчній та у експоненціальній формах запису?

4.2.10 Як знайти повний, активний та реактивний опори ділянки електричного кола, яка складається із послідовного сполучення R , L та C - елементів?

4.2.11 Як знайти кут зсуву фаз між струмом і напругою на вході електричного кола, яка складається із послідовного сполучення R , L та C - елементів?

5 ПЕРЕХІДНІ ПРОЦЕСИ В ЕЛЕКТРИЧНИХ КОЛАХ ПЕРШОГО ПОРЯДКУ

5.1 Завдання

Намалюємо в звіті дві наступні схеми (рис. 5.1 та рис. 5.2).

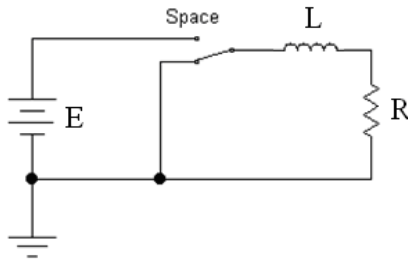


Рисунок 5.1 – Схема електричного кола з резистором та котушкою індуктивності (RL).

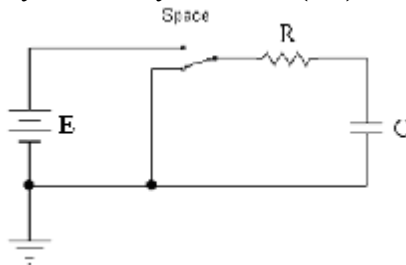


Рисунок 5.2 – Схема електричного кола з резистором та конденсатором (RC).

На рис. 5.1 подана схема електричного кола з резистором R та котушкою індуктивності L , причому активний опір котушки додано до опору резистора.

На рис. 5.2 подана схема електричного кола з резистором R та ємністю C .

Визначимо параметри елементів схем наступним чином.

Якщо N – порядковий номер прізвища студента в журналі групи, то $h = N/10$. Тоді вхідні параметри для схеми рис. 5.1 визначимо, як:

$$E = 12 + h \text{ (В)}, \quad R = 10 + N \text{ (кОм)}, \quad L = 10 + h \text{ (мГ)}.$$

а для схеми рис. 5.2, як:

$$E = 12 + h \text{ (В)}, \quad R = 1 + h \text{ (кОм)}, \quad C = 1 + h \text{ (мкФ)};$$

Зробимо попередній розрахунок за допомогою калькулятора. Знайдемо для схем (рис. 5.1 та рис. 5.2) корені характеристичних рівнянь p , стали часу τ . Якщо момент включення перемикача (Spase) означити $t_1 = 0$, тоді будемо вважати що

$$t_2 = 5 * \tau.$$

Тобто t_2 - момент закінчення перехідного процесу. Тоді час існування перехідного процесу:

$$tim = t_2 - t_1.$$

Визначимо сталу інтегрування A . Запишемо перехідний струм з урахуванням вільної та примушеної складових у загальній формі. За допомогою пакету *MathCAD* моделюємо перехідний процес для схеми рис. 5.1 та для схеми рис. 5.2.

5.2 Контрольні запитання до завдання

- 5.2.1 В яких електричних колах і при яких умовах виникають перехідні процеси?
- 5.2.2 Що таке вільні та усталені складові струми та напруги? Як вони визначаються.
- 5.2.3 Сформулюйте перший та другий закони комутації. Дати їм пояснення.
- 5.2.4 Як визначаються сталі інтегрування у виразах перехідних струмів та напруг?
- 5.2.5 Яка тривалість перехідного процесу та від чого вона залежить?

- 5.2.6 Як протікають перехідні процеси при підключенні котушки індуктивності до джерела з постійною ЕРС?
- 5.2.7 Що таке характеристичне рівняння?
- 5.2.8 Чим визначається число коренів характеристичного рівняння?
- 5.2.9 У чому полягає сутність класичного методу розрахунку перехідного процесу?
- 5.2.10 Який принцип складання рівнянь для визначення постійних інтегрування?
- 5.2.11 Як протікають перехідні процеси при підключенні конденсатору до джерела з постійною ЕРС?

6 РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Бессонов Л.А. Теоретические основы электротехники. - М.: Высшая школа, 1984.–528 с.
2. Шебес М.Р. Задачник по теории линейных электрических цепей / Шебес М.Р. – М.: Высшая школа, 1982. – 332 с.
3. Коваль Ю.О. Основи теорії кіл: підручник для студентів вищих навчальних закладів. Ч.1 / Ю.О. Коваль, Л.В. Гринченко, І.О. Мілютченко, О.І. Рибін – Х.: Компанія СМІТ, 2008. – 437 с.
4. Коваль Ю.О. Основи теорії кіл: підручник для студентів вищих навчальних закладів. Ч.2 / Ю.О. Коваль, Л.В. Гринченко, І.О. Мілютченко, О.І. Рибін – Х.: Компанія СМІТ, 2008. – 560 с
5. Дьяконов В.П. Энциклопедия MathCAD 2001i и MathCAD 11. / Дьяконов В.П. - М.: СОЛОН – Пресс, 2004. - 832 с.
6. Сборник задач и упражнений по теоретическим основам электротехники: Учебное пособие для вузов/ Под ред. проф. П.А. Ионкина.– М.: Энергоиздат, 1982. – 768 с.
7. Демирчян К.С. Теоретические основы электротехники. - М.: «Питер», 2004. – 463 с.
8. Карлащук В.И. Электронная лаборатория на IBM PC. *Electronics Workbench* и её применение. М.: СОЛОН – Р., 2001. – 726 с.
9. Кирьянов Д.В. Самоучитель по MathCAD 2001 – СПб.: БХВ – Петербург, 2002. – 544 с.

Додаток А

Варіанти електричних кіл постійного струму

Таблиця А.1 – Вхідні дані для розрахунку завдання №1

Номер варіанта	Номер рисунка	R_1	R_2	R_3	R_4	R_5	R_6	R_7	E_1	E_2	J_k
		Ом							В		А
1	Б.1	40	30	20	10	15	9	4	60	20	0.1
2	Б.2	50	40	10	20	20	12	3	40	35	0.2
3	Б.3	60	50	20	30	30	18	5	30	25	0.3
4	Б.4	70	60	30	40	40	20	6	20	15	0.4
5	Б.5	80	15	40	15	20	30	9	10	5	0.5
6	Б.6	90	20	50	25	25	35	10	24	18	0.6
7	Б.7	40	18	40	30	30	40	20	42	30	0.7
8	Б.8	21	14	28	18	38	48	8	18	28	0.8
9	Б.9	22	15	29	19	39	49	9	19	29	0.9
10	Б.10	23	16	30	20	40	50	10	20	30	1.0
11	Б.11	24	17	31	21	41	51	11	21	31	1.1
12	Б.12	25	18	32	22	42	52	12	22	32	1.2
13	Б.13	26	19	33	23	43	53	13	23	33	1.3
14	Б.14	27	20	34	24	44	54	14	24	34	1.4
15	Б.15	28	21	35	25	45	55	15	25	35	1.5
16	Б.16	29	22	31	26	21	11	11	4	21	1.6
17	Б.17	29	22	31	26	21	12	12	6	22	1.7
18	Б.18	31	24	33	33	23	13	13	8	23	1.8
19	Б.1	32	25	34	34	24	14	14	19	24	1.9
20	Б.2	33	26	35	35	25	15	15	15	25	2.0
21	Б.3	34	27	36	36	26	16	16	16	26	2.1
22	Б.4	35	27	37	37	27	17	17	17	27	2.2
23	Б.5	36	28	38	38	28	18	18	18	28	2.3
24	Б.6	37	29	39	39	29	19	19	19	29	2.4
25	Б.10	38	30	40	40	30	20	20	20	30	2.5
26	Б.11	39	31	41	41	31	21	21	21	31	2.6
27	Б.12	40	32	42	42	32	22	22	22	32	2.7
28	Б.13	10	33	43	43	33	23	23	23	33	2.8
29	Б.14	60	34	44	44	34	24	24	24	34	2.8
30	Б.15	20	35	45	45	35	25	25	25	35	3.0

Додаток Б

Схеми до розрахунку електричних кіл постійного струму

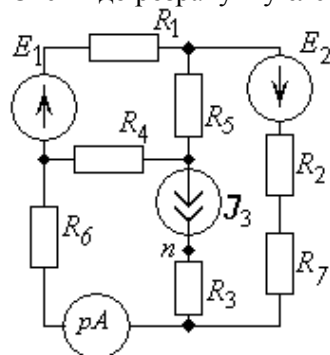


Рисунок Б.1 – Схема

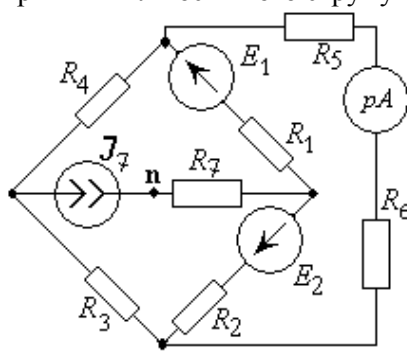


Рисунок Б.2 – Схема

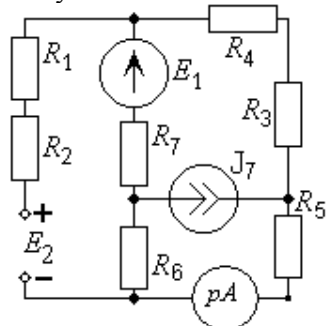


Рисунок Б.3 – Схема

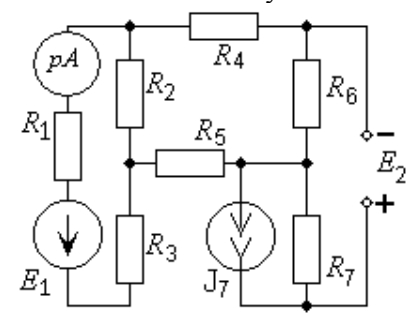


Рисунок Б.4 – Схема

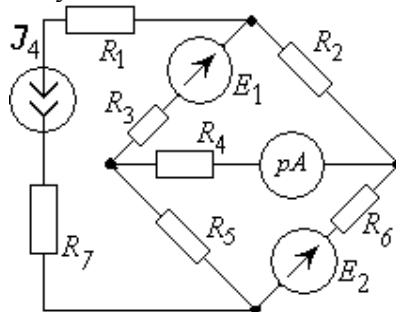


Рисунок Б.5 – Схема

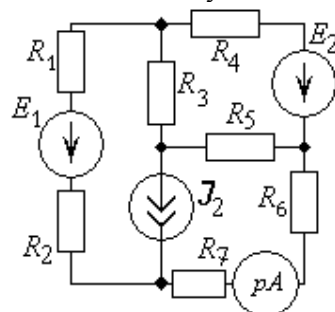


Рисунок Б.6 – Схема

Додаток Б (Продовження)

Схеми до розрахунку електричних кіл постійного струму

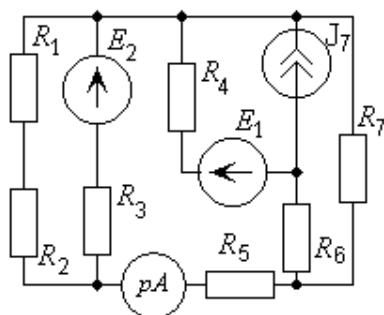


Рисунок Б.7 – Схема

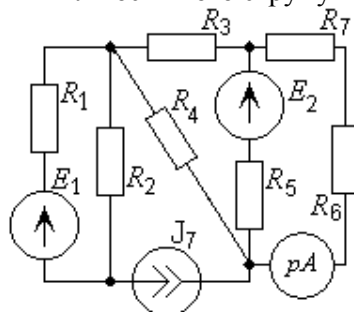


Рисунок Б.8 – Схема

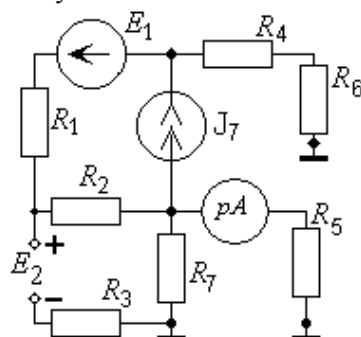


Рисунок Б.9 – Схема

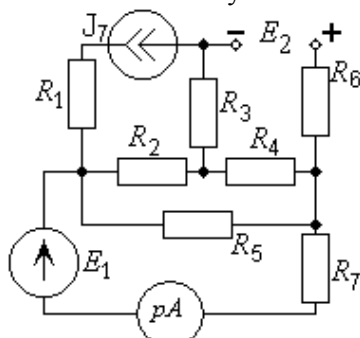


Рисунок Б.10 – Схема

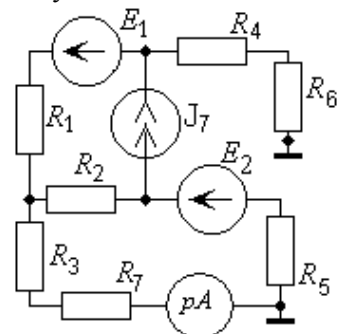


Рисунок Б.11 – Схема

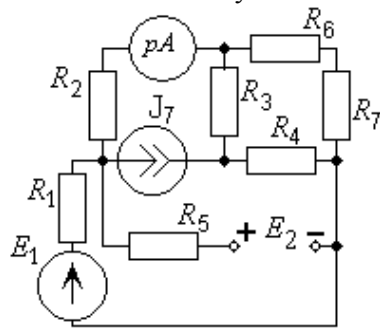


Рисунок Б.12 – Схема

Додаток Б (Продовження)

Схеми до розрахунку електричних кіл постійного струму

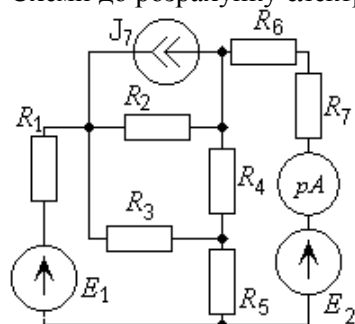


Рисунок Б.13 – Схема

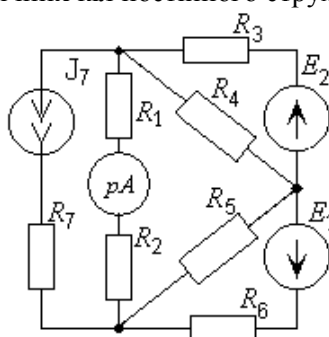


Рисунок Б.14 – Схема

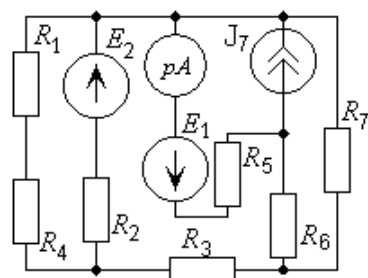


Рисунок Б.15 – Схема

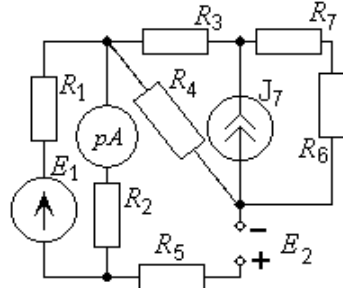


Рисунок Б.16 – Схема

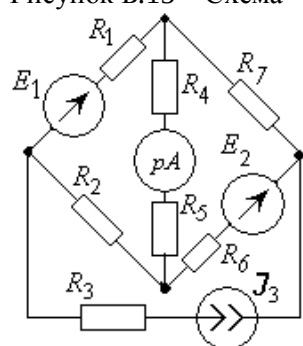


Рисунок Б.17 – Схема

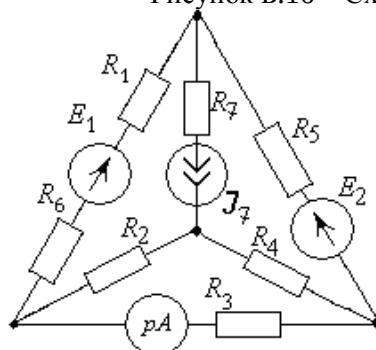
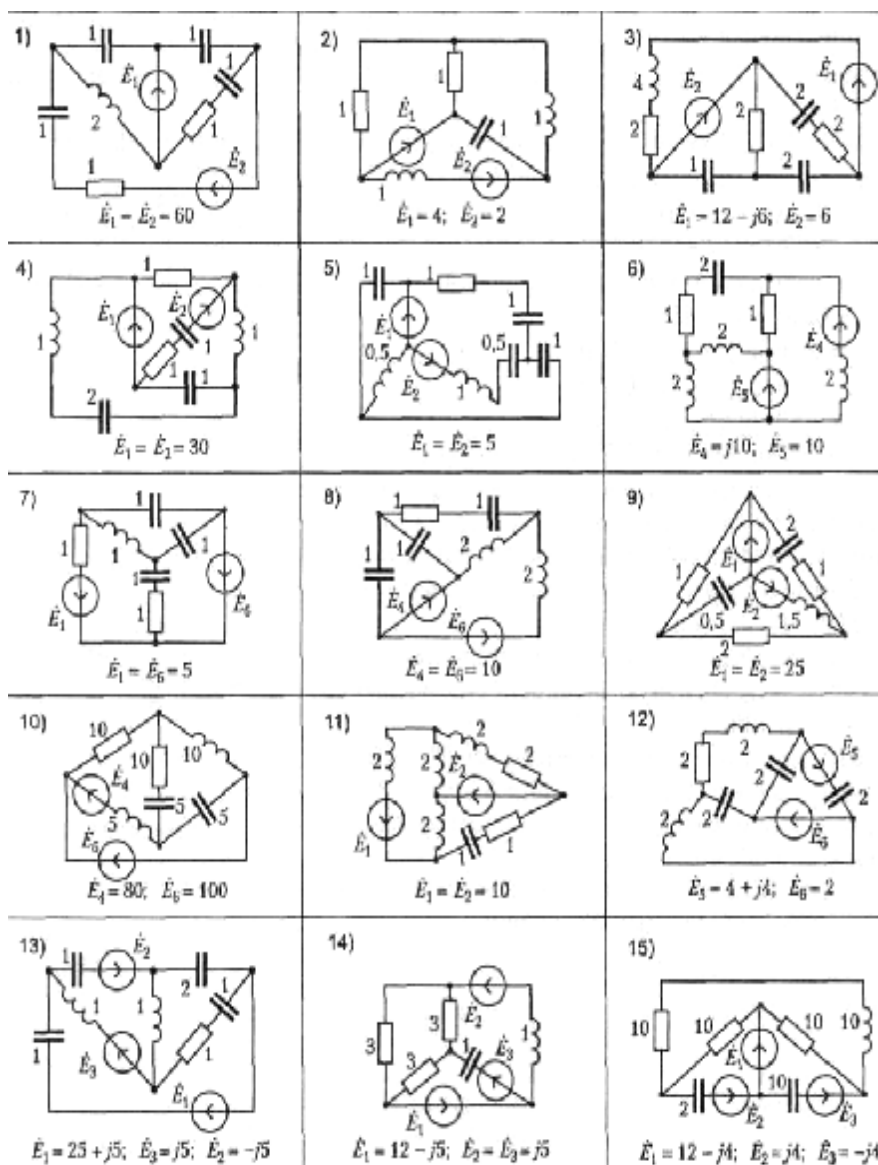


Рисунок Б.18 – Схема

Додаток В



Додаток В (Продовження)

16) $\hat{E}_1 = 10 + j25; \hat{E}_2 = \hat{E}_3 = 10$	17) $\hat{E}_1 = 5 - j5; \hat{E}_2 = -\hat{E}_3 = -j5$	18) $\hat{E}_1 = 65 + j30; \hat{E}_2 = -\hat{E}_3 = j30$
19) $\hat{E}_1 = 20 - j50; \hat{E}_2 = -\hat{E}_3 = 20$	20) $\hat{E}_1 = 20 - j10; \hat{E}_2 = -\hat{E}_3 = j10$	21) $\hat{E}_1 = 50 - j8; \hat{E}_2 = -\hat{E}_3 = j8$
22) $\hat{E}_1 = 50 - j10; \hat{E}_2 = -\hat{E}_3 = j10$	23) $\hat{E}_1 = 18 - j9; \hat{E}_2 = -\hat{E}_3 = -j9$	24) $\hat{E}_1 = 15 + j8; \hat{E}_2 = -\hat{E}_3 = j8$
25) $\hat{E}_1 = 5 - j5; \hat{E}_2 = -\hat{E}_3 = 20 + j50$	26) $\hat{E}_1 = 10 - j10; \hat{E}_2 = -\hat{E}_3 = j10$	27) $\hat{E}_1 = 20 - j8; \hat{E}_2 = -\hat{E}_3 = j8$
28) $\hat{E}_1 = 10 + j25; \hat{E}_2 = \hat{E}_3 = 10$	29) $\hat{E}_1 = 27 - j9; \hat{E}_2 = -\hat{E}_3 = -j9$	30) $\hat{E}_1 = 10 + j50; \hat{E}_2 = -\hat{E}_3 = 20$