

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ ІМЕНІ ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

ЛІНІЙНІ ЕЛЕКТРИЧНІ КОЛА ПОСТІЙНОГО СТРУМУ ПРАКТИКУМ

Навчальний посібник

Рекомендовано Методичною радою КПІ ім. Ігоря Сікорського
як навчальний посібник для здобувачів ступеня бакалавра
за освітніми програмами «Електричні системи і мережі», «Електричні станції»,
«Електричні машини і апарати», «Управління, захист та автоматизація енергосистем»,
«Електромеханічні системи автоматизації, електропривод та електромобільність»,
«Електротехнічні пристрої та електротехнологічні комплекси», «Нетрадиційні та
відновлювані джерела енергії»
спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

Електронне мережеве навчальне видання

1-е видання

Київ
КПІ ім. ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО
2024

УДК 621.3.011.71

П13

Автори: Бурик Микола Петрович, канд. техн. наук, доц.
Бойко Валерій Степанович, д-р техн. наук, проф.
Спінул Людмила Юріївна, канд. техн. наук, доц.
Лободзинський Вадим Юрійович, канд. техн. наук, доц.
Бурик Іван Петрович, канд. фіз.-мат. наук, доц.

Рецензент Чумак, В.В., канд. техн. наук, доц.,
кафедра електромеханіки, ФЕА

Відповідальний редактор Островецьков, М.Я., д-р техн. наук, проф.

*Гриф надано Методичною радою КПІ ім. Ігоря Сікорського
(протокол № 6 від 28.03.2024 р.)
за поданням вченої ради факультету/навчально-наукового інституту
(протокол № 8 від 25.03.2024 р.)*

П13 **Лінійні електричні кола постійного струму.** Практикум [Електронний ресурс]: навч. посіб. для здобувачів ступеня бакалавра за освіт. програмами «Електричні системи і мережі», «Електричні станції», «Електричні машини і апарати», «Управління, захист та автоматизація енергосистем», «Електромеханічні системи автоматизації, електропривод та електромобільність», «Електротехнічні пристрої та електротехнологічні комплекси», «Нетрадиційні та відновлювані джерела енергії» спец. 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка / М. П. Бурик та ін. ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – 1-е вид. – Електрон. текст. дані (1 файл). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2024. – 173 с.

У навчальному посібнику розглянуто метод контурних струмів, метод вузлових потенціалів, метод накладання дії джерел електричної енергії, метод активного двополюсника для аналізу електричних кіл. Показана умова передачі максимальної потужності від активного двополюсника до пасивного. Наведено еквівалентне перетворення у лінійних електричних колах. Представлено приклади побудови потенціальних діаграм для електричних схем.

Навчальний посібник призначено для студентів вищих навчальних закладів денної і заочної форм навчання.

УДК 621.3.011.71

Реєстр. № НП 23/24-396. Обсяг 7,86 авт. арк.

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
проспект Берестейський, 37, м. Київ, 03056
<https://kpi.ua>

Свідоцтво про внесення до Державного реєстру видавців, виготовлювачів і розповсюджувачів видавничої продукції ДК № 5354 від 25.05.2017 р.

© М. П. Бурик, В. С. Бойко, Л. Ю. Спінул, В. Ю. Лободзинський, І. П. Бурик, 2024

© КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2024

ЗМІСТ

	стор.
Вступ	5
Основні положення	7
Практичне заняття №1	
Закон Ома, закони Кірхгофа. Потенціальна діаграма електричного кола..	14
Практичне заняття №2	
Метод контурних струмів.....	31
Практичне заняття №3	
Метод вузлових потенціалів.....	55
Практичне заняття №4	
Метод накладання дії джерел енергії.....	80
Практичне заняття №5	
Еквівалентні перетворення у лінійних електричних колах.....	103
Практичне заняття №6	
Метод активного двополюсника.....	124
Практичне заняття №7	
Модульна контрольна робота «Лінійні електричні кола постійного струму».....	147
Практичне заняття №8	
Передача максимальної потужності від активного двополюсника пасивному.....	148
Бібліографічний список використаної літератури.....	170
Додаток А Зразки завдань до модульної контрольної роботи	171

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

- ВАХ – вольт-амперна характеристика
ДСТУ – державного стандарту України
ЕРС – електрорушійна сила
ЄСКД – єдина система конструкторської документації
КЗ – коротке замикання
НХ – неробочий хід
УГЗ – умовне графічне зображення
УГП – умовне графічне позначення
 E – ідеальне джерело ЕРС
 G – активна провідність
 I – сила електричного струму
 J – ідеальне джерело струму
 P – активний потужність
 $PA(A)$ – амперметр
 $PV(V)$ - вольтметр
 R – активний опір
 U – електрична напруга
 ϕ – електричний потенціал

ВСТУП

«Теоретичні основи електротехніки. Частина 1» є базою в підготовці здобувачів ступеня бакалавра за освітніми програмами «Електротехнічні пристрої та електротехнологічні комплекси», «Нетрадиційні та відновлювальні джерела енергії», «Електричні станції», «Електромеханічні системи автоматизації, електропривод та електромобільність», «Електричні системи і мережі» і «Управління, захист та автоматизація енергосистем» спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка».

Засвоєння освітньої компоненти «Теоретичні основи електротехніки. Частина 1» вимагає від студента отримання практичних навичок під час складання рівнянь електричного кола, що використовуються у методах для аналізу електричних кіл постійного струму (вузлової напруги, контурних струмів та еквівалентного генератора).

Мета навчального посібника (практикуму) полягає у самостійному засвоєнні здобувачами основ теорії кіл постійного струму за допомогою I та II законів Кірхгофа та Ома, потенціальних діаграм електричних кіл, еквівалентних перетворень у лінійних колах та методів аналізу лінійних електричних кіл. Студенти повинні навчитись використовувати загальні правила виконання електричних схем відповідно до єдиної системи конструкторської документації та державного стандарту України, мати поняття про електричний струм I , активний опір R , електричний потенціал ϕ , напругу U , ЕРС E , активну потужність P , структуру (топологію) електричних схем (вузол, вітку і контур), послідовну та паралельну схеми заміщення джерел електричної енергії та визначати активну потужність джерел (напруги та струму) та споживачів енергії.

У навчальному посібнику наведено послідовність розрахунку лінійних кіл постійного струму методами контурних струмів, вузлових потенціалів, накладання дії джерел електричної енергії, еквівалентного генератора

(активного двополюсника), за першим та другим законами Кірхгофа і законом Ома в інтегральній формі. Також розглянуто еквівалентне перетворення пасивних (послідовне та паралельне з'єднання опорів, перетворення зірки і трикутника опорів) та активних ділянок електричних кіл. Досліджено умову передачі максимальної потужності від активного двополюсника пасивному. Наведено правила визначення потенціалів різних точок кола для побудови потенціальної діаграми.

Достовірність розрахованих струмів у вітках та напруг на елементах електричних схем (об'єктах дослідження) перевірено складанням балансу активних потужностей електричного кола.

Для кращого засвоєння наведеного матеріалу крім завдань для самостійної роботи представлено приклади вирішених задач.

Номер варіанта індивідуального завдання студента за відповідною темою практичного заняття визначається встановленим порядком (за номером студента у списку групи).

Навчальний посібник призначений для студентів денної та заочної форм навчання, які вивчають освітню компоненту "Теоретичні основи електротехніки. Частина 1".

ОСНОВНІ ПОЛОЖЕННЯ

Теорія електричних кіл спирається на основні фізичні поняття про електричні та магнітні явища. З них починається розуміння електромагнітних процесів, які відбуваються в колах. Основними елементами електричного кола є джерела електричної енергії (*хімічні, механічні та інші*) та його споживачі (*навантаження*)[1-2].

Для дослідження кіл необхідно знати основні визначення [3]:

- **лінійне електричне коло** – електричне коло, електричні параметри якого не залежать від значень та напрямків струмів і напруг кола;
- **схема заміщення** – схема електричного кола, яка відображає властивості кола за певних умов;
- **еквівалентна електрична схема** – електрична схема заміщення, в якій величини, що підлягають розгляду, мають ті ж значення, що й у вихідній схемі заміщення;
- **електрорушійна сила (E)** – скалярна величина, якою характеризують здатність стороннього поля та індукованого електричного поля викликати електричний струм;
- **елемент електричного кола** – окремий електротехнічний пристрій, який входить до складу електричного кола і який виконує у ньому певну функцію. Існують пасивні (що не містять джерел ЕРС) та активні (що містять в собі чи самі є джерелами ЕРС) елементи електричного кола;
- **джерело електрорушійної сили** – джерело електромагнітної енергії, яке характеризується електрорушійною силою та внутрішнім опором;
- **ідеальне джерело електрорушійної сили** – джерело електрорушійної сили, внутрішній електричний опір якого дорівнює нулю і напруга якого не залежить від струму, що в ньому протікає;
- **резистор (R)** – елемент електричного кола, призначений для використання його електричного опору;

- **електричний опір** (R) – чинник теплового розсіювання електричної енергії, який визначають як відношення постійної наруги на ділянці електричного кола до постійного струму в ній в разі відсутності на ділянці ЕРС4

- **провідність** (G) – величина, обернена до електричного опору;

- **джерело струму** – джерело електромагнітної енергії, яке характеризується струмом в ньому та внутрішньою провідністю;

- **ідеальне джерело струму** (J) – джерело струму, внутрішня провідність якого дорівнює нулю і струм якого не залежить від наруги на його затискачах;

- **потенціал електричного поля** (ϕ) – фізична скалярна величина, яка є енергетичною характеристикою взаємодії зарядів у даній точці поля та обчислюється як лінійний інтеграл вектора напруженості поля вздовж довільного шляху від фіксованої точки;

- **електрична наруга** (U) – скалярна величина, що дорівнює лінійному інтегралу напруженості електричного поля;

- **різниця електричних потенціалів** (U) – електрична наруга в безвихровому електричному полі, яка характеризується незалежністю від вибраного шляху інтегрування;

- **спад наруг** (U) – наруга на ділянці електричного кола чи елементі кола;

- **електричний струм провідності** (I) – явище направленої руху вільних носіїв електричного заряду у речовині чи вакуумі;

- **сила струму провідності** (I) – скалярна величина, яка характеризує величину струму провідності і дорівнює похідній у часі від електричного заряду, який переносять носії заряду через певну поверхню. Умовно за напрямком струму провідності приймають напрямок руху позитивних зарядів;

- **електропровідність** – властивість речовини проводити під дією незмінного у часі електричного поля незмінний у часі електричний струм.

Електричні кола, в яких створення електричної енергії у джерелах, її передача та перетворення у споживачах відбувається за сталих у часі струмах та напругах, зазвичай називають *колами постійного струму*.

Топологія електричного кола складається з:

- *вітки електричного кола* – ділянка електричного кола, по елементах якої протікає один і той самий струм;
- *вузла електричного кола* – місце з'єднання трьох чи більше віток електричного кола;
- *електричного з'єднання* – з'єднання ділянок електричного кола, внаслідок якого утворюється електричне коло;
- *послідовного з'єднання* – з'єднання, в якому через усі його елементи протікає один і той самий струм;
- *паралельного з'єднання* – з'єднання, в якому усі вітки з'єднуються з одною парою вузлів, тобто знаходяться під дією однієї і тієї самої напруги;
- *шляху* – сукупність віток, які з'єднують початковий та кінцевий вузли;
- *контур* – замкнутий шлях, в якому початковий та кінцевий вузли співпадають;
- *незалежного контуру* – контур в якому дійсний струм його вітки дорівнює струму цього контуру.

Простим електричним колом називається коло, що складається з одного джерела електричної енергії та будь-якої кількості послідовно або паралельно з'єднаних споживачів енергії, які поступовим перетворенням можна звести до одного еквівалентного опору. *Складним* називають коло, в якому групи споживачів не можна звести до одного еквівалентного опору.

Правила виконання електричних схем [3]

ЕСКД призначена для встановлення в організаціях та на підприємствах єдиних правил виконання, оформлення та обертання конструкторської документації. Тому елементи електричного кола представляють на схемах у

вигляді умовних графічних зображень (УГЗ) відповідно до правил ЄСКД та ДСТУ, згідно яких:

- *схема* – це конструкторський документ, на якому представлені у вигляді УГЗ або умовних графічних позначень (УГП) складові частини виробу та зв'язки між ними;

- *елемент схеми* – це складова частина схеми, яка виконує певну функцію у виробі та не може бути розділена на частини, має самостійне призначення та власне графічне та літерно-цифрове позначення;

- *лінія взаємозв'язку* – відрізок лінії, який показує наявність зв'язку між функціональними складовими виробу згідно з ДСТУ ГОСТ 2.701-84.

Схема електрична – це документ, в якому представлені у вигляді УГЗ або позначень складові частини виробу, що діють за допомогою електричної енергії, та їх взаємозв'язку згідно з ДСТУ ГОСТ 2.702:2013.

Під час оформлення графічної частини розрахункової роботи (електричні схеми) треба дотримуватись правил, що наведені в ДСТУ ГОСТ 2.702:2013:

- елементи та пристрої зображують на схемі у вигляді УГЗ;
- порядкові номери елементам слід надавати, починаючи з одиниці, у межах групи елементів, яким на схемі надано однакове літерне позначення, наприклад *R1*, *R2* та *R3*;

- порядкові номери потрібно надавати у відповідності до розміщення елементів та пристроїв на схемі зверху до низу у напрямку зліва направо;

- позиційні позначення проставляють на схемі біля УГЗ елементів з правої сторони або згори. Дозволяється позиційне позначення проставляти у середині прямокутника УГЗ;

- на схемі рекомендується вказувати технічні характеристики функціональних частин (біля графічного позначення або на вільній ділянці схеми);

- при вказівці біля УГП номіналів резисторів допускається застосовувати спрощений спосіб позначення одиниць величин, наприклад від 0 до 999 Ом величини одиниць не проставляються.

Загальні вимоги до виконання електричних схем

1. Відстань між сусідніми паралельними лініями зв'язку не повинно бути менше 3,0 мм. Відстань між окремими УГЗ повинно бути не менше 2,0 мм згідно з ГОСТ 2.701-84.

2. Усі розміри графічних зображень дозволяється пропорційно змінювати.

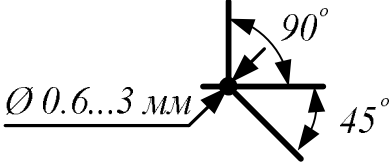
3. *Лінії зв'язку* виконують товщиною від 0,2 до 1,0 мм в залежності від форматів схеми та розмірів графічних позначень. Рекомендована товщина лінії від 0,3 до 0,4 мм.

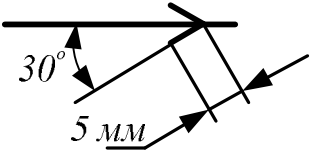
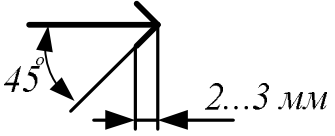
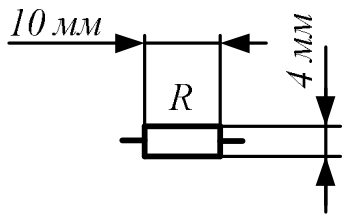
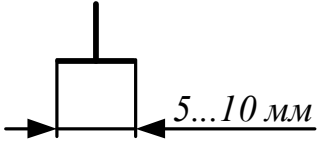
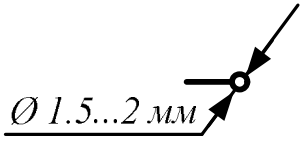
4. Графічні зображення на схемах необхідно виконувати тієї ж товщиною, що і лінії зв'язку згідно з ГОСТ 2.728-74.

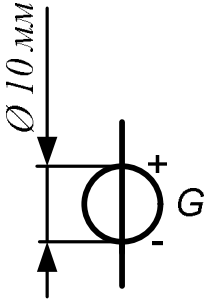
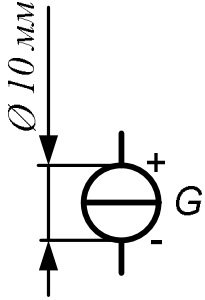
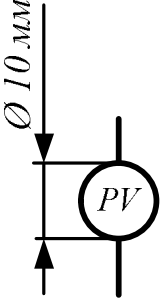
5. УГЗ елементів представляють на схемі в положенні, в якому вони приведені у відповідних стандартах, або оберненими на кут, кратний 90°, якщо у відповідних стандартах відсутні спеціальні вказівки.

У табл. 1 наведено умовні графічні зображення електричних елементів та їх найменування.

Таблиця 1 – Умовні графічні позначення елементів електричної схеми

№	Найменування елемента	Графічне зображення та позначення елемента
1	Лінія електричного зв'язку із двома відгалуженнями, які дозволяють зображувати під кутами, що кратні 45° згідно з ГОСТ 2.721-74	

№	Найменування елемента	Графічне зображення та позначення елемента
2	<p>Напрямок енергетичного потоку (сигнал електричний в одному напрямку) згідно з ГОСТ 2.721-74</p>	
3	<p>Контакт роз'ємного з'єднання згідно з ГОСТ 2.755-87</p>	
4	<p>Резистор постійний згідно з ГОСТ 2.728-74</p>	
5	<p>Електричне з'єднання з корпусом згідно з ГОСТ 2.721-74</p>	
6	<p>Контакт розбірного з'єднання згідно з ГОСТ 2.755-87</p>	

№	Найменування елемента	Графічне зображення та позначення елемента
7	<p>Ідеальне джерело напруги [ГОСТ 2.721-74, ІЕС 617-2:1996]</p>	
8	<p>Ідеальне джерело струму [ГОСТ 2.721-74, ІЕС 617-2:1996]</p>	
9	<p>Прилад електровимірювальний згідно з ГОСТ 2.747-68 Літерно-цифрове позначення вольтметра на електричних схемах згідно з ГОСТ 2.710-81</p>	

Практичне заняття №1 Закон Ома, закони Кірхгофа. Потенціальна діаграма електричного кола

Використання закону Ома для розгалуженого кола з одним джерелом ЕРС. Розрахунок складного кола на основі рівнянь Кірхгофа. Визначення значень потенціалів різних точок кола та побудова потенціальної діаграми

Рекомендований список літератури для засвоєння навчального матеріалу:

1. Курило І.А. Розрахунок електричних кіл постійного струму: для студентів електротехнічних напрямів підготовки 0906 «Електротехніка», 0914 «Електроніка», 0914 «Комп'ютеризовані системи, автоматика і управління», 0915 «Комп'ютерна інженерія» / Уклад.: І. А. Курило, І. Н. Намацалюк, А. А. Щерба. – К.: НТУУ «КПІ», 2006.- 51 с.

2. Бойко В.С. Теоретичні основи електротехніки: Підручник: У 3 т. / В.С. Бойко, В.В. Бойко, Ю.Ф. Видолоб та ін. // Т.1: Усталені режими лінійних електричних кіл із зосередженими параметрами. – К.: ІВЦ Видавництво «Політехніка», 2004. – 272 с.

3. Корощенко О.В. Теоретичні основи електротехніки. Збірник задач: Навчальний посібник / О.В. Корощенко, В.Ф. Денник, О.А. Журавель та ін.; За заг. ред. О.В. Корощенко. – Донецьк: ДВНЗ «ДонНТУ», 2012. – 673 с.

Задача №1.1

Розрахувати та побудувати вольт-амперні характеристики (ВАХ) ідеальних та реальних (лінеаризованих) джерел ЕРС та струму (рис. 1.1.1). Якщо напруга неробочого ходу $U_{нх}$ джерела енергії дорівнює 100 (В), струм короткого замикання $I_{кз} = 50$ (А) та опір навантаження $R_1 = 18$ (Ом).

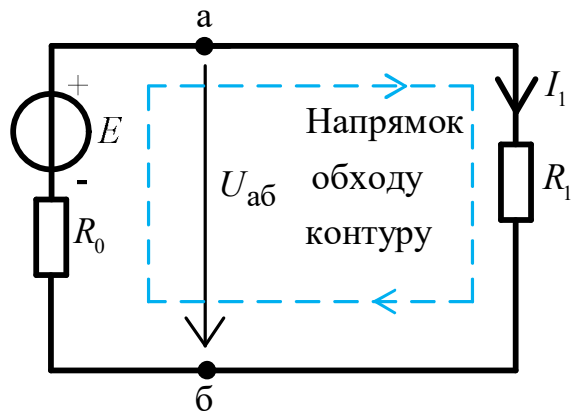


Рисунок 1.1.1 – Схема заміщення електричного кола

Розв'язання

Рівняння ВАХ джерела ЕРС [1.1, 1.2] є наступним:

$$\begin{aligned}
 R_0 \cdot I_1 + R_1 \cdot I_1 &= E; \\
 U &= R_1 \cdot I_1; \\
 R_0 \cdot I_1 + U &= E; \\
 \boxed{U = E - R_0 \cdot I_1}, &
 \end{aligned}
 \tag{1.1.1}$$

де R_0 - внутрішній опір джерела енергії, Ом.

Визначимо параметри джерела енергії з двох режимів, а саме:

- 1) режим неробочого ходу для джерела ЕРС рис. 1.1.2.

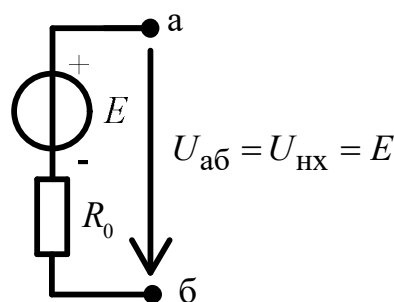


Рисунок 1.1.2 – Схема заміщення реального джерела ЕРС під час режиму неробочого ходу (НХ)

$$\begin{aligned}
 E &= U_{\text{нх}} = 100(\text{В}), \\
 R_1 &= \infty, \\
 I_1 &= 0, \\
 U &= E - R_0 \cdot 0 = E, \\
 U_{\text{аб}} &= U_{\text{нх}} = E = 100(\text{В}).
 \end{aligned}
 \tag{1.1.2}$$

2) режим короткого замикання для реального джерела напруги наведено на рис. 1.1.3.

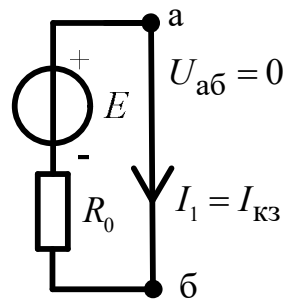


Рисунок 1.1.3 – Схема заміщення реального джерела ЕРС під час режиму короткого замикання

$$\begin{aligned}
 R_1 &= 0, \\
 U &= I_1 \cdot R_1 = 0, \\
 I_1 &= I_{\text{кз}} = 50(\text{А}), \\
 0 &= E - R_0 \cdot I_{\text{кз}}, \\
 R_0 &= \frac{E}{I_{\text{кз}}} = \frac{100}{50} = 2(\text{Ом}).
 \end{aligned}
 \tag{1.1.3}$$

Визначимо струм навантаження:

$$\begin{aligned}
 I_1 \cdot R_1 &= E - R_0 \cdot I_1, \\
 I_1 &= \frac{E}{R_0 + R_1} = \frac{100}{2 + 18} = 5(\text{А}); \\
 U &= I_1 \cdot R_1 = 5 \cdot 18 = 90(\text{В}), \\
 U_0 &= I_1 \cdot R_0 = 5 \cdot 2 = 10(\text{В}), \\
 U_0 &= E - U = 100 - 90 = 10(\text{В}).
 \end{aligned}
 \tag{1.1.4}$$

Побудуємо ВАХ ідеального та реального джерела ЕРС рис. 1.1.4.

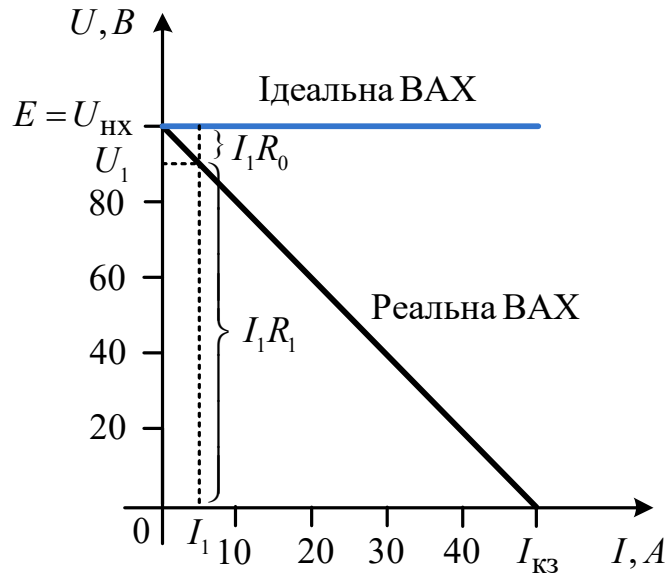


Рисунок 1.1.4 – ВАХ джерел ЕРС

Рівняння ВАХ джерела струму описується формулою:

$$\begin{aligned}
 U &= E - R_0 \cdot I_1, \\
 R_0 \cdot I_1 &= E - U,
 \end{aligned}
 \tag{1.1.5}$$

$$\boxed{I_1 = \frac{E}{R_0} - \frac{U}{R_0} = I_{\text{кз}} - I_0 = J - \frac{U}{R_0}}$$

Представимо задану схему заміщення з джерелом струму на рис. 1.1.5.

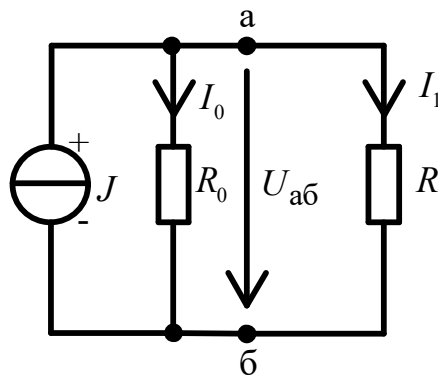


Рисунок 1.1.5 – Схема заміщення електричного кола з реальним джерелом струму

Визначимо параметри джерела струму використовуючи два режимами:

1) режим короткого замикання, що представлений на рис. 1.1.6.

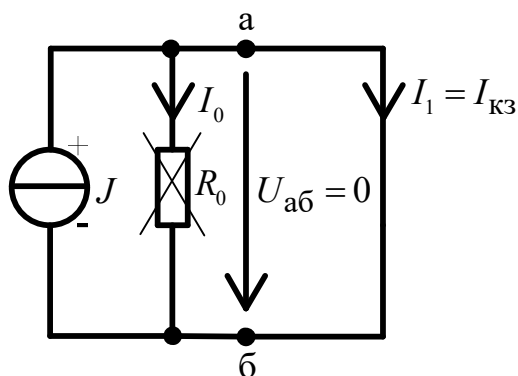


Рисунок 1.1.6 – Схема заміщення реального джерела струму під час режиму короткого замикання

$$\begin{aligned}
 R_1 &= 0, \\
 U &= I_1 \cdot R_1 = I_1 \cdot 0 = 0, \\
 I_1 &= J - \frac{0}{R_0}, \\
 I_1 &= I_{кз} = J = 50(\text{A}).
 \end{aligned}
 \tag{1.1.6}$$

2) режим неробочого ходу для джерела струму зображено на рис. 1.1.7.

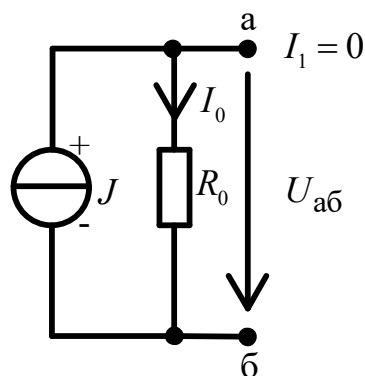


Рисунок 1.1.7 – Схема заміщення реального джерела струму під час режиму неробочого ходу

$$\begin{aligned}
 R_1 &= \infty, \\
 I_1 &= 0, \\
 0 &= J - \frac{U}{R_0}, \\
 U_{\text{нх}} &= JR_0 = U_{\text{аб}} = 100(\text{В}), \\
 R_0 &= \frac{U_{\text{нх}}}{J} = \frac{100}{50} = 2(\text{Ом}).
 \end{aligned}
 \tag{1.1.7}$$

Побудуємо ВАХ ідеального та реального джерела струму рис. 1.1.8.

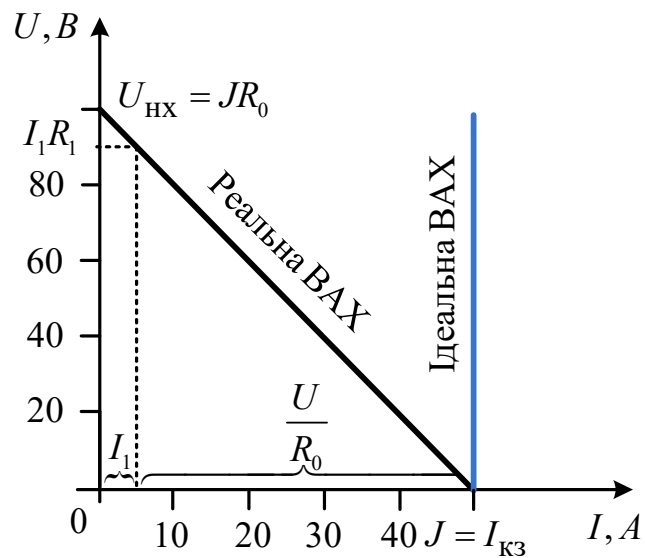


Рисунок 1.1.8 – ВАХ джерела ЕРС

Задача №1.2

Визначити внутрішній опір джерела ЕРС. Якщо $E=220$ (В), напруга на навантаженні $U_{\text{н}} = 200$ (В), $I_{\text{н}} = 10$ (А).

Розв'язання

$$R_0 = \frac{E - U_{\text{н}}}{I_{\text{н}}} = \frac{220 - 200}{10} = \frac{20}{10} = 2 \text{ (Ом)}.
 \tag{1.2.1}$$

Задача №1.3

Визначити силу струму за законом Ома, якщо $\varphi_a = 40(\text{В})$, $\varphi_b = 20(\text{В})$, $E_1 = 10(\text{В})$ та $R_1 = 10(\text{Ом})$.

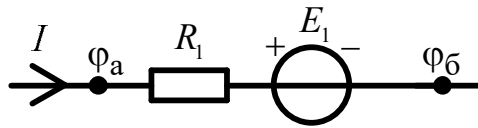


Рисунок 1.3.1 – Схема ділянки електричного кола

Розв'язання

$$\varphi_b + E_1 + I_1 \cdot R_1 = \varphi_a;$$

$$I_1 \cdot R_1 = \varphi_a - \varphi_b - E_1; \quad (1.3.1)$$

$$I_1 = \frac{\varphi_a - \varphi_b - E_1}{R_1} = \frac{40 - 20 - 10}{10} = 1 \text{ (А)}.$$

Простим називається коло, що складається з одного джерела електричної енергії та будь-якої кількості послідовно або паралельно з'єднаних споживачів енергії, які поступовим перетворенням можна звести до одного еквівалентного опору.

Задача №1.4

В електричній схемі (рис. 1.4.1) знайти сили струмів у всіх вітках, якщо $E_1 = 4.36(\text{В})$, $R_0 = 0.1(\text{Ом})$, $R_1 = 0.5(\text{Ом})$, $R_2 = 1.4(\text{Ом})$, $R_3 = 2.5(\text{Ом})$, $R_4 = 3(\text{Ом})$ та $R_5 = 3(\text{Ом})$ [1.3].

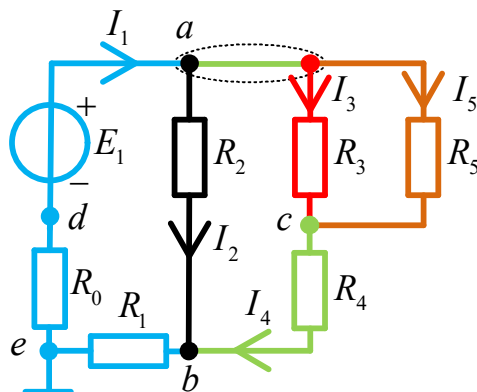


Рисунок 1.4.1 – Електрична схема

Розв'язання

Значення еквівалентного опору R_{35} двох паралельно з'єднаних опорів R_3 та R_5 дорівнює

$$R_{35} = \frac{R_3 \cdot R_5}{R_3 + R_5} = \frac{2.5 \cdot 5}{2.5 + 5} = 1.667 \text{ (Ом)}. \quad (1.4.1)$$

Величину опору R_{345} визначимо за формулою

$$R_{345} = R_{35} + R_4 = 1.667 + 3 = 4.667 \text{ (Ом)}. \quad (1.4.2)$$

Обрахуємо значення опору R_{ab}

$$R_{ab} = \frac{R_{345} \cdot R_2}{R_{345} + R_2} = \frac{4.667 \cdot 1.4}{4.667 + 1.4} = 1.077 \text{ (Ом)}. \quad (1.4.3)$$

Значення загального еквівалентного опору електричного кола (рис. 1.4.1) дорівнює

$$R_e = R_0 + R_1 + R_{ab} = 0.1 + 0.5 + 1.077 = 1.677 \text{ (Ом)}. \quad (1.4.4)$$

Знайдемо значення сили струму I_1 за законом Ома

$$I_1 = \frac{E}{R_e} = \frac{4.36}{1.677} = 2.6 \text{ (А)}. \quad (1.4.5)$$

За правилом «Чужого плеча» визначимо значення сили струму I_4

$$I_4 = I_1 \cdot \frac{R_2}{R_2 + R_{345}} = 2.6 \cdot \frac{1.4}{1.4 + 4.667} = 0.6 \text{ (А)}. \quad (1.4.6)$$

За I законом Кірхгофа визначимо силу струму I_2

$$I_2 = I_1 - I_4 = 2.6 - 0.6 = 2 \text{ (А)}. \quad (1.4.7)$$

За правилом «Чужого плеча» визначимо значення сили струму I_3

$$I_3 = I_4 \cdot \frac{R_5}{R_3 + R_5} = 0.6 \cdot \frac{5}{2.5 + 5} = 0.4(\text{A}). \quad (1.4.8)$$

За I законом Кірхгофа визначимо значення сили струму I_5

$$I_5 = I_4 - I_3 = 0.6 - 0.4 = 0.2(\text{A}). \quad (1.4.9)$$

Приймемо потенціал вузла e за нуль та відповідно до закону Ома для вітки визначимо:

$$\varphi_e = 0;$$

$$\varphi_e - \varphi_d = I_1 \cdot R_0;$$

$$\varphi_d = -I_1 \cdot R_0 = -2.6 \cdot 0.1 = -0.26(\text{В});$$

$$\varphi_d - \varphi_a = -E_1;$$

$$\varphi_a = E_1 + \varphi_d = E_1 - I_1 \cdot R_0 = 4.36 - 0.26 = 4.1(\text{В});$$

$$\varphi_a - \varphi_c = I_3 \cdot R_3;$$

$$\varphi_c = \varphi_a - I_3 \cdot R_3 = 4.1 - 0.4 \cdot 2.5 = 4.1 - 1 = 3.1(\text{В});$$

$$\varphi_a - \varphi_c = I_5 \cdot R_5;$$

$$\varphi_c = \varphi_a - I_5 \cdot R_5 = 4.1 - 0.2 \cdot 5 = 4.1 - 1 = 3.1(\text{В});$$

$$\varphi_c - \varphi_b = I_4 \cdot R_4;$$

$$\varphi_b = \varphi_c - I_4 \cdot R_4 = 3.1 - 0.6 \cdot 3 = 3.1 - 1.8 = 1.3(\text{В}); \quad (1.4.10)$$

$$\varphi_a - \varphi_b = I_2 \cdot R_2;$$

$$\varphi_b = \varphi_a - I_2 \cdot R_2 = 4.1 - 2 \cdot 1.4 = 4.1 - 2.8 = 1.3(\text{В});$$

$$\varphi_e = \varphi_b - I_1 \cdot R_1 = 1.3 - 2.6 \cdot 0.5 = 1.3 - 1.3 = 0.$$

Побудуємо потенціальну діаграму для електричного кола на рис. 1.4.2.

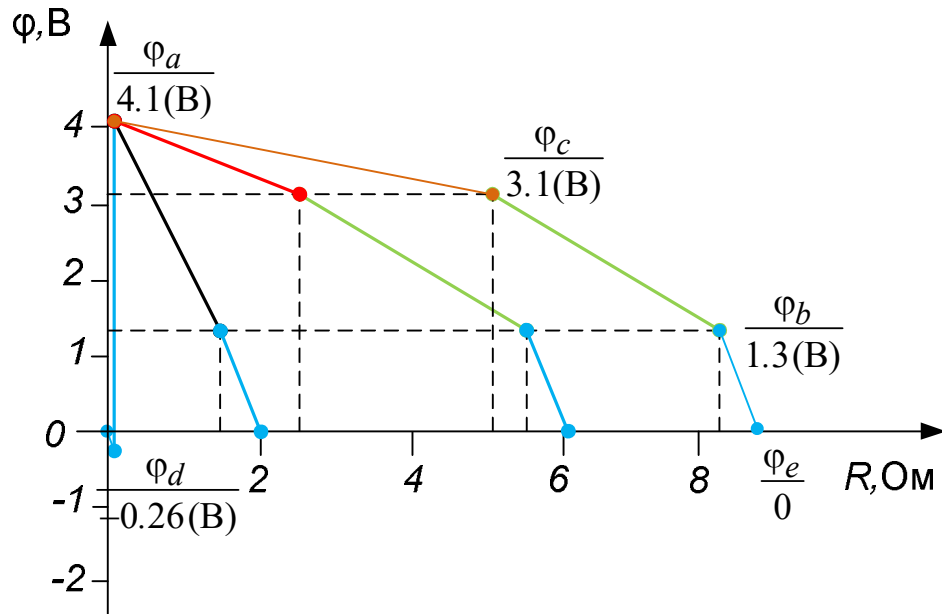


Рисунок 1.4.2 – Потенціальна діаграма електричного кола

Задача №1.5

Визначити показ вольтметра (рис. 1.5.1), значення внутрішнього опору якого досить велике у порівнянні із значеннями опорів R_1 та R_2 .

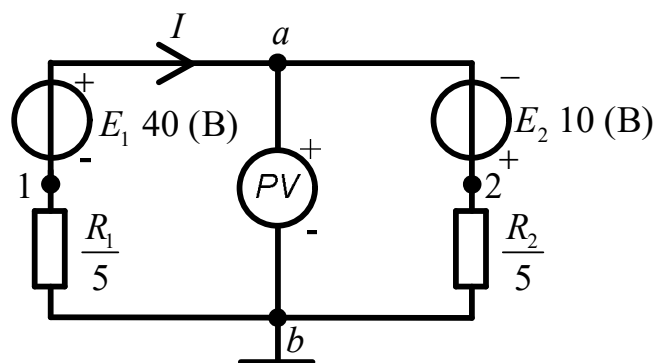


Рисунок 1.5.1 – Схема електричного кола

Розв'язання

Величина опору вольтметра прямує до нескінченності (розрив), тому джерела напруги (ЕРС) підключені послідовно. За правилом перетворення активних частин електричного кола отримаємо еквівалентне значення

джерела напруги, як алгебраїчну суму значень джерел ЕРС (враховуються напрямки ЕРС)

$$E_e = E_1 + E_2 = 40 + 10 = 50(\text{В}). \quad (1.5.1)$$

Значення еквівалентного опору для послідовно з'єднаних пасивних елементів знаходиться як їх арифметична сума

$$R_e = R_1 + R_2 = 5 + 5 = 10(\text{Ом}). \quad (1.5.2)$$

В результаті, після еквівалентного перетворення, отримаємо наступну електричну схему, що представлена на рис. 15.2.

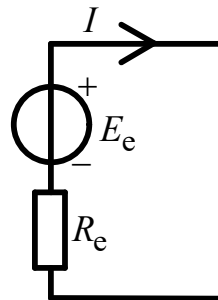


Рисунок 1.5.2 – Схема еквівалентного електричного кола

За законом Ома знайдемо значення сили струму у цьому колі

$$I = \frac{E_e}{R_e} = \frac{50}{10} = 5(\text{А}). \quad (1.5.3)$$

Приймемо потенціал вузла b за нуль та відповідно до закону Ома для вітки визначимо значення вольтметра PV :

$$\begin{aligned}
\varphi_b &= 0; \\
\varphi_b - \varphi_1 &= I \cdot R_1; \\
\varphi_1 &= \varphi_b - I \cdot R_1 = 0 - 5 \cdot 5 = -25(\text{В}); \\
\varphi_1 - \varphi_a &= -E_1; \\
\varphi_a &= \varphi_1 + E_1 = -25 + 40 = 15(\text{В}); \\
U_{PV} &= \varphi_a - \varphi_b = 15 - 0 = 15(\text{В}); \\
\varphi_2 - \varphi_b &= I \cdot R_2 = 5 \cdot 5 = 25(\text{В}); \\
\varphi_a - \varphi_2 &= -E_2; \\
\varphi_a &= -E_2 + \varphi_2 = -10 + 25 = 15(\text{В}).
\end{aligned}
\tag{1.5.4}$$

Побудуємо потенціальну діаграму для електричного кола рис. 1.5.1.

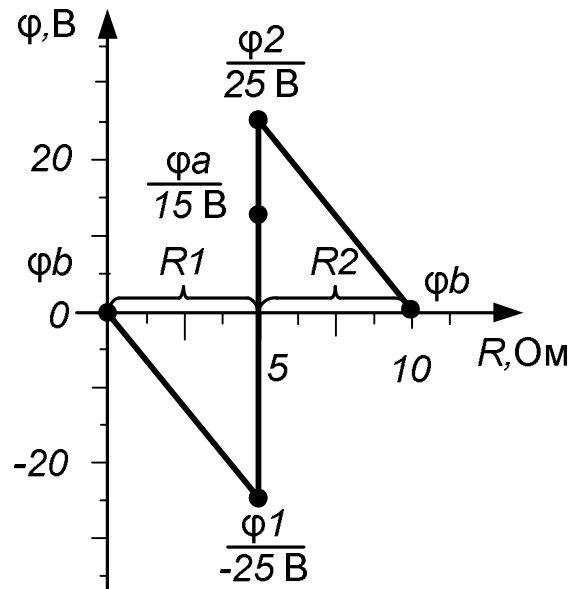


Рисунок 1.5.3 – Потенціальна діаграма замкнутого контуру

Задача №1.6

Використовуючи правило “Чужого опору” визначити сили струмів у простому електричному колі рис. 1.6.1.

Розв'язання

За I законом Кірхгофа достатньо скласти відповідно n незалежний рівнянь для вузлів

$$n_{\text{нез.вузлів}} = n_{\text{вузлів}} - 1 = 4 - 1 = 3, \quad (1.7.1)$$

де $n_{\text{вузлів}}$ – кількість вузлів в електричному колі, шт.

Задаємо довільно напрями струмів у вітках та записуємо систему рівнянь по I закону Кірхгофа:

$$\begin{cases} I_1 = I_2 + I_3; \\ I_5 = I_3 + I_6; \\ I_4 = I_5 - I_6; \\ I_3 = I_4. \end{cases} \quad (1.7.2)$$

За II законом Кірхгофа достатньо скласти відповідно n незалежний рівнянь для контурів

$$n_{\text{нез.контурів}} = n_{\text{віток}} - (n_{\text{вузлів}} - 1) - J_{\text{віток}}, \quad (1.7.3)$$

де $n_{\text{віток}}$ – кількість віток в електричному колі, шт.;

$J_{\text{віток}}$ – кількість віток, в яких знаходиться джерело струму, шт.

$$n_{\text{нез.контурів}} = 6 - (4 - 1) - 0 = 3.$$

Представимо систему рівнянь II законом Кірхгофа для трьох незалежних контурів:

$$\begin{cases} I_5 \cdot R_5 + I_6 \cdot R_6 = E_3; \\ -I_4 \cdot R_4 - I_5 \cdot R_5 - I_3 \cdot R_3 + I_2 \cdot R_2 = -E_2; \\ -I_2 \cdot R_2 - I_1 \cdot R_1 = -E_1. \end{cases} \quad (1.7.4)$$

З 1-го рівняння системи (1.7.4) визначимо значення струму I_5

$$I_5 = \frac{E_3 - I_6 \cdot R_6}{R_5} = \frac{80 - 8 \cdot 6}{2} = 40 - 24 = 16(\text{A}). \quad (1.7.5)$$

За I законом Кірхгофа знаходимо значення сили струму I_3

$$I_3 = I_4 = I_5 - I_6 = 16 - 8 = 8(\text{A}). \quad (1.7.6)$$

Знайдемо значення сили струму I_2

$$\begin{aligned} I_2 &= \frac{-E_2 + I_4 \cdot R_4 + I_5 \cdot R_5 + I_3 \cdot R_3}{R_2} = \frac{-6 + 8 \cdot 3 + 16 \cdot 2 + 8 \cdot 2}{6} = \\ &= \frac{-6 + 8 \cdot 3 + 16 \cdot 2 + 8 \cdot 2}{6} = \frac{-6 + 40 + 32}{6} = \frac{66}{6} = 11(\text{A}). \end{aligned} \quad (1.7.7)$$

Визначимо значення сили струму I_1

$$I_1 = I_2 + I_3 = 11 + 8 = 19(\text{A}). \quad (1.7.8)$$

З системи (1.7.4) обрахуємо значення ЕРС E_1

$$E_1 = I_1 \cdot R_1 + I_2 \cdot R_2 = 19 \cdot 2 + 11 \cdot 6 = 38 + 66 = 104(\text{В}). \quad (1.7.9)$$

Перевірку розрахунків проводимо за допомогою складання балансу активних потужностей:

$$\begin{aligned} \Sigma P_{\text{дж}} &= \Sigma P_{\text{спож}}; \\ \Sigma P_{\text{дж}} &= \sum_{k=1}^n E_k \cdot I_k = E_1 \cdot I_1 + E_2 \cdot I_3 + E_3 \cdot I_6 = 104 \cdot 19 + 6 \cdot 8 + 80 \cdot 8 = \\ &= 1976 + 48 + 640 = 2664(\text{Вт}); \\ \Sigma P_{\text{спож}} &= \sum_{k=1}^n I_k^2 \cdot R_k = I_1^2 \cdot R_1 + I_2^2 \cdot R_2 + I_3^2 \cdot R_3 + I_4^2 \cdot R_4 + I_5^2 \cdot R_5 + I_6^2 \cdot R_6 = \\ &= 19^2 \cdot 2 + 11^2 \cdot 6 + 8^2 \cdot 2 + 8^2 \cdot 3 + 16^2 \cdot 2 + 8^2 \cdot 6 = \\ &= 722 + 726 + 128 + 192 + 512 + 384 = 2664(\text{Вт}). \end{aligned} \quad (1.7.10)$$

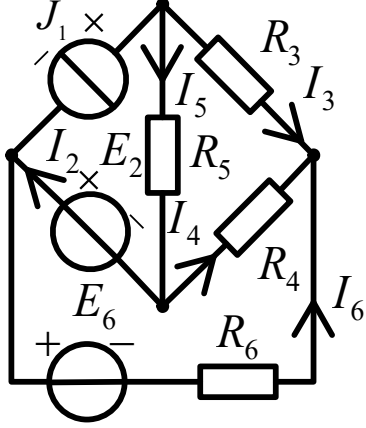
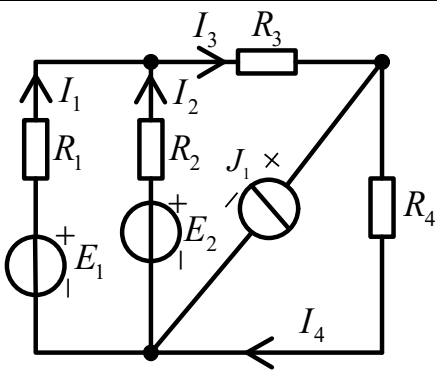
САМОСТІЙНА РОБОТА

Застосування методу законів Кірхгофа та Ома для розрахунку складного електричного кола постійного струму

Дані для розрахунку: $A = \begin{cases} 1, & \text{для ЕВ;} \\ 2, & \text{для ЕД; } N=\text{номер студента за списком} \\ 3, & \text{для ЕТ.} \end{cases}$

групи.

$R_1 = A + N + 1, \quad R_2 = A + N + 2, \quad R_3 = A + N + 3, \quad R_4 = A + N + 4, \quad R_5 = A + N + 5,$
 $R_6 = A + N + 6$ (значення опорів задано в омах).

 <p>Рисунок 1 – Схема електричного кола</p>	<p style="text-align: center;">Задача 1</p> <p>Значення параметрів джерел енергії електричного кола, яке зображено на рис. Д.1, є наступними:</p> <p style="text-align: center;">$J_1 = 2 \text{ (A)},$ $E_2 = 10 \text{ (В)} \text{ та } E_6 = 5 \text{ (В)}.$</p> <p>Розрахувати усі значення сил струмів в електричному колі. Достовірність розрахунків перевірити за допомогою балансу потужностей</p>
 <p>Рисунок 2 – Схема електричного кола</p>	<p style="text-align: center;">Задача 2</p> <p>Для електричного кола, показаного на рис. Д.2, параметри джерел енергії мають наступні значення:</p> <p style="text-align: center;">$J_1 = 4 \text{ (A)},$ $E_1 = 12 \text{ (В)} \text{ та } E_2 = 6 \text{ (В)}.$</p> <p>Розрахувати всі сили струмів в колі. Правильність розрахунків перевірити за балансом потужностей</p>

Бібліографічний список використаної літератури

1.1 Бойко В.С. Теоретичні основи електротехніки: Підручник: У 3 т. / В.С. Бойко, В.В. Бойко, Ю.Ф. Видолоб та ін. // Т.1: Усталені режими лінійних електричних кіл із зосередженими параметрами. – К.: ІВЦ Видавництво «Політехніка», 2004. – 272 с.

1.2 Курило І.А. Розрахунок електричних кіл постійного струму: для студентів електротехнічних напрямів підготовки 0906 «Електротехніка», 0914 «Електроніка», 0914 «Комп'ютеризовані системи, автоматика і управління», 0915 «Комп'ютерна інженерія» / І. А. Курило, І. Н. Намацалюк, А. А. Щерба. - К.: НТУУ «КПІ», 2006.- 51 с.

Практичне заняття №2 Метод контурних струмів

Послідовність розрахунку електричного кола методом контурних струмів. Визначення контурних опорів і контурних ЕРС. Визначення сил струмів віток за допомогою контурних струмів. Складання балансу потужностей електричного кола

Запропонована методика базується на другому законі Кірхгофа та законі Ома. При дослідженні кола вважають, що кожному незалежному контуру протікає свій контурний струм. Рівняння для контурних струмів складають за II законом Кірхгофа. Кількість рівнянь дорівнює кількості незалежних контурів.

Послідовність розрахунку електричного кола методом контурних струмів:

1. Вибираємо незалежні контури та орієнтуємо в них контурні струми. Через вітку, в якій діє тільки джерело струму без паралельно підключеного резистора, протікає один контурний струм, що дорівнює струму джерела;
2. Визначаємо власні та спільні опори контурів та контурні ЕРС;
3. Розв'язуємо систему рівнянь і визначаємо значення контурних струмів;
4. За знайденими контурними струмами визначаємо значення сил струмів віток, як алгебраїчні суми контурних струмів [2.1].

Складаючи рівняння слід пам'ятати, що:

- напруга на власних опорах контурів завжди є додатною;
- напруга на спільних (взаємних або суміжних) опорах є додатною коли обидва контурні струми обтікають вітку в одному напрямку та береться від'ємною коли напрямки контурних струмів є різними;

- при обчисленні контурної ЕРС необхідно вибирати *додатний знак* ЕРС окремих джерел напруги під час у разі збігання з напрямком контурного струму та *від'ємний* коли напрямки не збігаються.

Задача №2.1

Для електричного кола показаного на рис. 2.1.1 визначити значення сил струмів у всіх вітках, якщо $E_1 = 220(\text{В})$, $E_3 = 110(\text{В})$, $R_{01} = 2(\text{Ом})$, $R_{03} = 1(\text{Ом})$, $R_1 = 5(\text{Ом})$, $R_2 = 3(\text{Ом})$, $R_3 = 4(\text{Ом})$, $R_4 = 10(\text{Ом})$, $R_5 = 8(\text{Ом})$ та $R_6 = 6(\text{Ом})$. Скласти баланс активних потужностей для заданого електричного кола.

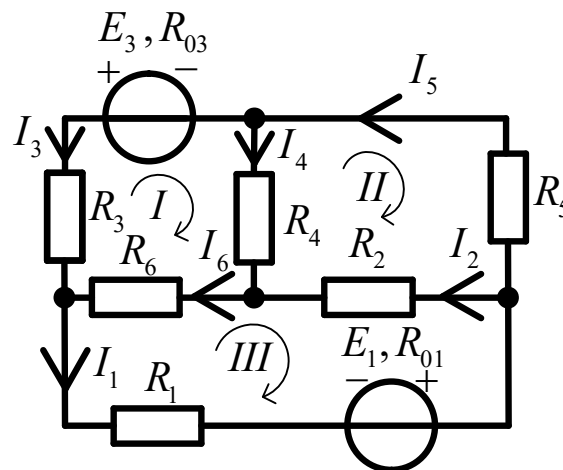


Рисунок 2.1.1 – Електрична схема

Розв'язання

Складне електричне коло (рис. 2.1.1) має три незалежні контури. Напрямок струмів у вітках I_1, I_2, I_3, I_4, I_5 та I_6 вибираємо довільно.

Вибираємо незалежні контури та напрямки контурних струмів. Відповідно отримаємо систему рівнянь з трьома невідомими за другим законом Кірхгофа:

$$\begin{cases} R_{11} \cdot I_{K1} + R_{12} \cdot I_{K2} + R_{13} \cdot I_{K3} = E_{K1}; \\ R_{21} \cdot I_{K1} + R_{22} \cdot I_{K2} + R_{23} \cdot I_{K3} = E_{K2}; \\ R_{31} \cdot I_{K1} + R_{32} \cdot I_{K2} + R_{33} \cdot I_{K3} = E_{K3}. \end{cases} \quad (2.1.1)$$

Знайдемо значення власних опорів незалежних контурів, як арифметичну суму значень опорів контуру:

$$R_{11} = R_{03} + R_3 + R_6 + R_4 = 1 + 4 + 6 + 10 = 21(\text{Ом});$$

$$R_{22} = R_2 + R_5 + R_4 = 3 + 8 + 10 = 21(\text{Ом});$$

$$R_{33} = R_1 + R_{01} + R_2 + R_6 = 5 + 2 + 3 + 6 = 16(\text{Ом}).$$

Взаємні контурні опори при різних напрямках контурних струмів мають від'ємне значення:

$$R_{12} = R_{21} = -R_4 = -10(\text{Ом});$$

$$R_{23} = R_{32} = -R_2 = -3(\text{Ом});$$

$$R_{31} = R_{13} = -R_6 = -6(\text{Ом}).$$

Значення контурної ЕРС дорівнює алгебраїчній сумі значень ЕРС окремих віток відповідного контуру:

$$E_{K1} = -E_3 = -110(\text{В});$$

$$E_{K2} = 0;$$

$$E_{K3} = -E_1 = -220(\text{В}).$$

Підставляємо величини опорів та ЕРС до системи рівнянь (2.1.1):

$$\begin{cases} 21 \cdot I_{K1} - 10 \cdot I_{K2} - 6 \cdot I_{K3} = -110; \\ -10 \cdot I_{K1} + 21 \cdot I_{K2} - 3 \cdot I_{K3} = 0; \\ -6 \cdot I_{K1} - 3 \cdot I_{K2} + 16 \cdot I_{K3} = -220. \end{cases} \quad (2.1.2)$$

Знайдемо контурні струми електричної схеми за допомогою визначників (метод Крамера):

$$\Delta = \begin{vmatrix} \boxed{21} & -10 & -6 \\ -10 & 21 & -3 \\ -6 & -3 & 16 \end{vmatrix} = \boxed{21} \cdot (21 \cdot 16 - (-3) \cdot (-3)) - \dots$$

$$\dots - \boxed{-10} \cdot ((-10) \cdot 16 - (-6) \cdot (-3)) + \boxed{-6} \cdot ((-10) \cdot (-3) - (-6) \cdot 21) = 4151;$$

$$\Delta_{JK1} = \begin{vmatrix} \boxed{-110} & -10 & -6 \\ 0 & 21 & -3 \\ -220 & -3 & 16 \end{vmatrix} = \boxed{-110} \cdot (21 \cdot 16 - (-3) \cdot (-3)) - \dots$$

$$\dots - \boxed{-10} \cdot ((0) \cdot 16 - (-220) \cdot (-3)) + \boxed{-6} \cdot ((0) \cdot (-3) - (-220) \cdot 21) = -70290;$$

$$\Delta_{JK2} = \begin{vmatrix} \boxed{21} & -110 & -6 \\ -10 & 0 & -3 \\ -6 & -220 & 16 \end{vmatrix} = \boxed{21} \cdot (0 \cdot 16 - (-220) \cdot (-3)) - \dots$$

$$\dots - \boxed{-110} \cdot ((-10) \cdot 16 - (-6) \cdot (-3)) + \boxed{-6} \cdot ((-10) \cdot (-220) - (-6) \cdot 0) = -46640;$$

$$\Delta_{JK3} = \begin{vmatrix} \boxed{21} & -10 & -110 \\ -10 & 21 & 0 \\ -6 & -3 & -220 \end{vmatrix} = \boxed{21} \cdot (21 \cdot (-220) - (-3) \cdot (0)) - \dots$$

$$\dots - \boxed{-10} \cdot ((-10) \cdot (-220) - (-6) \cdot (0)) + \boxed{-110} \cdot ((-10) \cdot (-3) - (-6) \cdot 21) = -92180.$$

Так як визначник $\Delta \neq 0$, то система (2.1.2) має єдине рішення. За формулами

Крамера визначаємо контурні струми:

$$I_{K1} = \frac{\Delta_{JK1}}{\Delta} = \frac{-70290}{4151} = -16.933;$$

$$I_{K2} = \frac{\Delta_{JK2}}{\Delta} = \frac{-46640}{4151} = -11.236;$$

$$I_{K3} = \frac{\Delta_{JK3}}{\Delta} = \frac{-92180}{4151} = -22.207.$$

Зайдемо значення сил струмів віток та їх напрямки, які дорівнюють алгебраїчній сумі контурних струмів:

$$\begin{aligned}
I_1 &= -I_{K3} = -(-22.207) = 22.207 \text{ (A)}; \\
I_2 &= I_{K2} - I_{K3} = -11.236 - (-22.207) = 10.971 \text{ (A)}; \\
I_3 &= -I_{K1} = -(-16.933) = 16.933 \text{ (A)}; \\
I_4 &= I_{K1} - I_{K2} = -16.933 - (-11.236) = -5.697 \text{ (A)}; \\
I_5 &= -I_{K2} = -(-11.236) = 11.236 \text{ (A)}; \\
I_6 &= I_{K1} - I_{K3} = -16.933 - (-22.207) = 5.273 \text{ (A)}.
\end{aligned}$$

Від'ємне значення сили струму I_4 свідчить про протилежний напрямок проходження струму у вітці відносно вибраного, що зображено на рис. 2.1.1.

Перевірку розрахунку виконаємо за допомогою складання балансу потужностей:

$$\begin{aligned}
P_{дж} &= E_1 \cdot I_1 + E_3 \cdot I_3 = 220 \cdot 22.207 + 110 \cdot 16.933 = 6748.133 \text{ (Вт)}; \\
P_{сп} &= I_1^2 \cdot (R_1 + R_{01}) + I_2^2 \cdot R_2 + I_3^2 \cdot (R_3 + R_{03}) + I_4^2 \cdot R_4 + I_5^2 \cdot R_5 + I_6^2 \cdot R_6 = \\
&= 22.207^2 \cdot (5 + 2) + 10.971^2 \cdot 3 + 16.933^2 \cdot (4 + 1) + \dots \\
&\dots + (-5.697)^2 \cdot 10 + 11.236^2 \cdot 8 + 5.273^2 \cdot 6 = 6748.133 \text{ (Вт)}.
\end{aligned} \tag{2.1.3}$$

Задача №2.2

Для електричного кола, схема якого показана на рис. 2.2.1, визначити значення сил струмів у всіх вітках, якщо $E_1 = 20$ (В), $E_5 = 24$ (В), $R_1 = 2$ (Ом), $R_2 = 4$ (Ом), $R_3 = 8$ (Ом), $R_4 = 10$ (Ом), $R_5 = 5$ (Ом) та $J = 3$ (А).

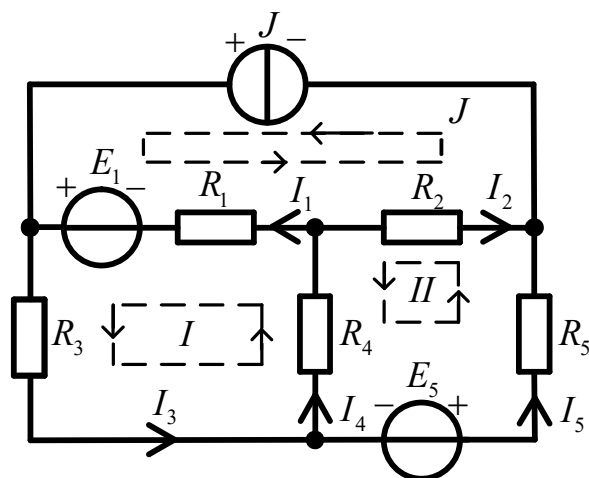


Рисунок 2.2.1 – Схема електричного кола

Скласти баланс потужностей електричного кола.

Розв'язання

Вибираємо умовні напрямки струмів віток кола, як представлено на рис. 2.2.1.

Для вирішення задачі методом контурних струмів необхідно скласти систему рівнянь, яка складається з

$$n_{\text{нез. контурів}} = n_{\text{віток}} - (n_{\text{вузлів}} - 1) - J_{\text{віток}} = 6 - (4 - 1) - 1 = 2 \quad (2.2.1)$$

незалежних рівнянь.

Верхній контур обтікається контурним струмом $J = 3$ (А). Відповідно отримаємо систему рівнянь з двома невідомими за II законом Кірхгофа (знак мінус в системі пов'язаний з протилежними напрямками проходження контурних струмів через взаємний опір):

$$\begin{cases} R_{11} \cdot I_{K1} + R_{12} \cdot I_{K2} - \boxed{R_1 \cdot J} = E_{K1}; \\ R_{21} \cdot I_{K1} + R_{22} \cdot I_{K2} - \boxed{R_2 \cdot J} = E_{K2}. \end{cases} \quad (2.2.2)$$

Знайдемо значення власних опорів незалежних контурів, як арифметичну суму значень опорів контуру, що розглядається:

$$R_{11} = R_1 + R_3 + R_4 = 2 + 8 + 10 = 20(\text{Ом});$$

$$R_{22} = R_2 + R_4 + R_5 = 4 + 10 + 5 = 19(\text{Ом}).$$

Взаємний контурний опір має від'ємне значення (контурні струми проходять через суміжну вітку за різними напрямками)

$$R_{12} = R_{21} = -R_4 = -10(\text{Ом}).$$

Значення контурних ЕРС дорівнює алгебраїчній сумі значень ЕРС окремих віток відповідного контуру:

$$E_{K1} = E_1 = 20(\text{В});$$

$$E_{K2} = E_5 = 24(\text{В}).$$

Підставляємо величини опорів та ЕРС до системи рівнянь (2.2.2):

$$\begin{cases} R_{11} \cdot I_{K1} + R_{12} \cdot I_{K2} - R_1 \cdot J = E_{K1}; \\ R_{21} \cdot I_{K1} + R_{22} \cdot I_{K2} - R_2 \cdot J = E_{K2}; \end{cases}$$

$$\begin{cases} 20 \cdot I_{K1} - 10 \cdot I_{K2} - 2 \cdot 3 = 20; \\ -10 \cdot I_{K1} + 19 \cdot I_{K2} - 4 \cdot 3 = 24; \end{cases} \quad (2.2.3)$$

$$\begin{cases} 20 \cdot I_{K1} - 10 \cdot I_{K2} = 26; \\ -10 \cdot I_{K1} + 19 \cdot I_{K2} = 36. \end{cases}$$

Знайдемо значення контурних струмів електричної схеми за допомогою визначників (метод Крамера):

$$\Delta = \begin{vmatrix} 20 & -10 \\ -10 & 19 \end{vmatrix} = 20 \cdot 19 - (-10) \cdot (-10) = 280;$$

$$\Delta_{I_{K1}} = \begin{vmatrix} 26 & -10 \\ 36 & 19 \end{vmatrix} = 26 \cdot 19 - (36) \cdot (-10) = 854;$$

$$\Delta_{I_{K2}} = \begin{vmatrix} 20 & 26 \\ -10 & 36 \end{vmatrix} = 20 \cdot 36 - (-10) \cdot (26) = 980.$$

Так як визначник $\Delta \neq 0$, то система (2.2.3) має єдине рішення. За формулами Крамера визначаємо контурні струми:

$$I_{K1} = \frac{\Delta_{I_{K1}}}{\Delta} = \frac{854}{280} = 3.05;$$

$$I_{K2} = \frac{\Delta_{I_{K2}}}{\Delta} = \frac{980}{280} = 3.5.$$

Зайдемо значення сил струмів віток та їх напрямки, які дорівнюють алгебраїчній сумі контурних струмів:

$$I_1 = I_{K1} - J = 3.05 - 3 = 0.05(\text{A});$$

$$I_2 = J - I_{K2} = 3 - 3.5 = -0.5(\text{A});$$

$$I_3 = I_{K1} = 3.05(\text{A});$$

$$I_4 = I_{K1} - I_{K2} = 3.05 - 3.5 = -0.45(\text{A});$$

$$I_5 = I_{K2} = 3.5(\text{A}).$$

Від'ємне значення сил струмів I_2 та I_4 свідчить про протилежний напрямок протікання струмів у вітці відносно вибраного, що зображено на рис. 2.2.1.

Перевірку розрахунку виконаємо за допомогою складання балансу потужностей:

$$\begin{aligned} P_{\text{дж}} &= E_1 \cdot I_1 + E_5 \cdot I_5 + J \cdot (E_1 + I_2 \cdot R_2 - I_1 \cdot R_1) = \\ &= 20 \cdot 3.05 + 24 \cdot 3.5 + 3 \cdot (20 + (-0.5) \cdot 4 - 0.05 \cdot 2) = 138.7(\text{Вт}); \end{aligned} \quad (2.2.4)$$

$$\begin{aligned} P_{\text{сп}} &= I_1^2 \cdot R_1 + I_2^2 \cdot R_2 + I_3^2 \cdot R_3 + I_4^2 \cdot R_4 + I_5^2 \cdot R_5 = \\ &= 0.05^2 \cdot 2 + (-0.5)^2 \cdot 4 + 3.05^2 \cdot 8 + (-0.45)^2 \cdot 10 + 3.5^2 \cdot 5 = 138.7(\text{Вт}). \end{aligned}$$

Задача №2.3

Для електричного кола показаного на рис. 2.3.1 визначити сили струмів у всіх вітках, якщо

$$E_1 = 100(\text{В}), \quad E_2 = 150(\text{В}), \quad E_3 = 28(\text{В}), \quad R_2 = 2(\text{кОм}), \quad R_3 = 4(\text{кОм}), \\ R_4 = 6(\text{кОм}), \quad R_5 = 8(\text{кОм}) \text{ та } J = 2(\text{мА}).$$

Напрямки контурних струмів та струмів у вітках електричного представлені на рис. 2.3.1.

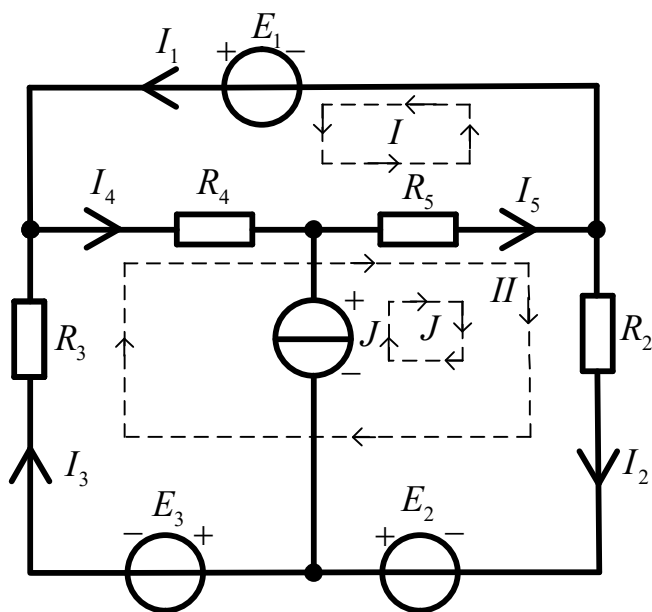


Рисунок 2.3.1 – Електрична схема

Розв’язання

Визначимо кількість незалежних контурів за наведеною формулою

$$n_{\text{нез. контурів}} = n_{\text{віток}} - (n_{\text{вузлів}} - 1) - J_{\text{віток}} = 6 - (4 - 1) - 1 = 2. \quad (2.3.1)$$

Запишемо систему рівнянь з двома невідомими за II законом Кірхгофа:

$$\begin{cases} R_{11} \cdot I_{K1} + R_{12} \cdot I_{K2} + \boxed{R_5 \cdot J} = E_{K1}; \\ R_{21} \cdot I_{K1} + R_{22} \cdot I_{K2} + \boxed{(R_2 + R_5) \cdot J} = E_{K2}. \end{cases} \quad (2.3.2)$$

Знайдемо власні опори незалежних контурів, як арифметичну суму опорів контуру:

$$R_{11} = R_4 + R_5 = 6 + 8 = 14(\text{кОм});$$

$$R_{22} = R_2 + R_3 + R_4 + R_5 = 2 + 4 + 6 + 8 = 20(\text{кОм}).$$

Взаємні контурні опори при однаких напрямках контурних струмів мають додатне значення

$$R_{12} = R_{21} = R_4 + R_5 = 6 + 8 = 14(\text{кОм}).$$

Значення контурних ЕРС дорівнює алгебраїчній сумі значень ЕРС окремих віток відповідного контуру

$$\begin{aligned} E_{K1} &= E_1 = 100(\text{В}); \\ E_{K2} &= E_2 - E_3 = 150 - 28 = 122(\text{В}). \end{aligned}$$

Підставляємо величини опорів та ЕРС до системи рівнянь (2.3.2)

$$\begin{cases} 14 \cdot I_{K1} + 14 \cdot I_{K2} + \boxed{8 \cdot 2} = 100; \\ 14 \cdot I_{K1} + 20 \cdot I_{K2} + \boxed{(2 + 8) \cdot 2} = 122; \end{cases} \quad (2.3.3)$$

$$\begin{cases} 14 \cdot I_{K1} + 14 \cdot I_{K2} = 84; \\ 14 \cdot I_{K1} + 20 \cdot I_{K2} = 102. \end{cases}$$

Знайдемо контурні струми електричної схеми за допомогою визначників (метод Крамера):

$$\begin{aligned} \Delta &= \begin{vmatrix} 14 & 14 \\ 14 & 20 \end{vmatrix} = 14 \cdot 20 - 14 \cdot 14 = 84; \\ \Delta_{I_{K1}} &= \begin{vmatrix} 84 & 14 \\ 102 & 20 \end{vmatrix} = 84 \cdot 20 - (102) \cdot (14) = 252; \\ \Delta_{I_{K2}} &= \begin{vmatrix} 14 & 84 \\ 14 & 102 \end{vmatrix} = 14 \cdot 102 - (14) \cdot (84) = 252. \end{aligned}$$

Так як визначник $\Delta \neq 0$, то система (2.3.3) має єдине рішення. За формулами Крамера визначаємо контурні струми

$$\begin{aligned} I_{K1} &= \frac{\Delta_{I_{K1}}}{\Delta} = \frac{252}{84} = 3; \\ I_{K2} &= \frac{\Delta_{I_{K2}}}{\Delta} = \frac{252}{84} = 3. \end{aligned}$$

Знайдемо сили струмів віток та їх напрямки, які дорівнюють алгебраїчній сумі контурних струмів

$$I_1 = I_{K1} = 3(\text{мА});$$

$$I_2 = J + I_{K2} = 2 + 3 = 5(\text{мА});$$

$$I_3 = I_{K2} = 3(\text{мА});$$

$$I_4 = I_{K1} + I_{K2} = 3 + 3 = 6(\text{мА});$$

$$I_5 = I_{K1} + I_{K2} + J = 3 + 3 + 2 = 8(\text{мА}).$$

Вірність виконаних розрахунків перевіряємо за допомогою складання балансу потужностей:

$$P_{\text{дж}} = E_1 \cdot I_1 + E_2 \cdot I_2 - E_3 \cdot I_3 + J \cdot (-E_2 + I_2 \cdot R_2 + I_5 \cdot R_5) =$$

$$= 100 \cdot 3 \cdot 10^{-3} + 150 \cdot 5 \cdot 10^{-3} - 28 \cdot 3 \cdot 10^{-3} + \dots$$

$$\dots + 2 \cdot 10^{-3} \cdot (-150 + 5 \cdot 10^{-3} \cdot 2 \cdot 10^3 + 8 \cdot 10^{-3} \cdot 8 \cdot 10^3) = 0.814(\text{Вт});$$

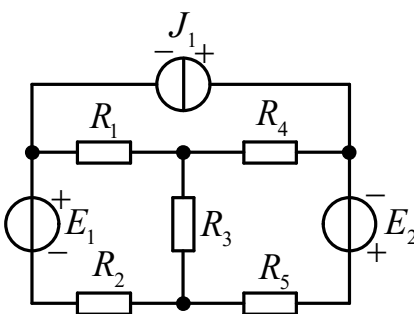
$$P_{\text{сп}} = I_2^2 \cdot R_2 + I_3^2 \cdot R_3 + I_4^2 \cdot R_4 + I_5^2 \cdot R_5 =$$

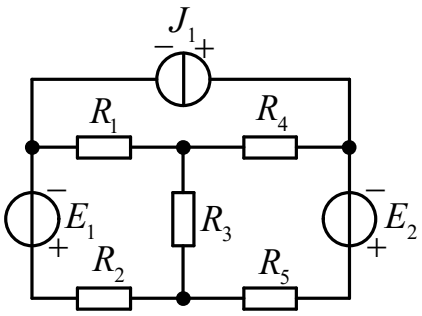
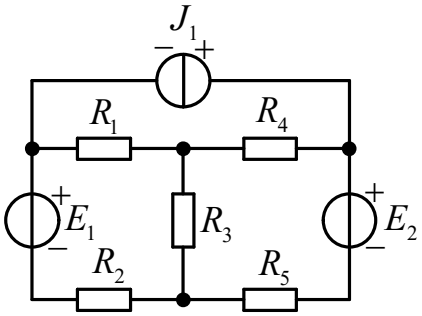
$$= (5 \cdot 10^{-3})^2 \cdot 2 \cdot 10^3 + (3 \cdot 10^{-3})^2 \cdot 4 \cdot 10^3 + (6 \cdot 10^{-3})^2 \cdot 6 \cdot 10^3 + \dots$$

$$\dots + (8 \cdot 10^{-3})^2 \cdot 8 \cdot 10^3 = 0.814(\text{Вт}).$$

САМОСТІЙНА РОБОТА

Застосування методу контурних струмів для розрахунку лінійного електричного кола постійного струму

Варіант №1	
Завдання: 1. Розрахувати сили струмів віток складного кола методами контурних струмів. 2. Скласти баланс потужностей.	$E_1, \text{В}$ 100
	$E_2, \text{В}$ 50
 <p>Рисунок 1</p>	$J_1, \text{А}$ 20
	$R_1, \text{Ом}$ 15
	$R_2, \text{Ом}$ 25
	$R_3, \text{Ом}$ 40
	$R_4, \text{Ом}$ 35
	$R_5, \text{Ом}$ 20
Варіант №2	
Завдання: 1. Розрахувати сили струмів віток складного кола методами контурних струмів.	$E_1, \text{В}$ 200
	$E_2, \text{В}$ 300

<p>2. Скласти баланс потужностей.</p>	<p>J_1, A 10 R_1, Ω 15</p>
<div style="text-align: center;">  <p>Рисунок 2</p> </div>	<p>R_2, Ω 30 R_3, Ω 80 R_4, Ω 100 R_5, Ω 10</p>
<p style="text-align: center;">Варіант №3</p> <p>Завдання:</p> <p>1. Розрахувати сили струмів віток складного кола методами контурних струмів.</p> <p>2. Скласти баланс потужностей.</p>	<p>E_1, B 100 E_2, B 150 J_1, A 30 R_1, Ω 50 R_2, Ω 25</p>
<div style="text-align: center;">  <p>Рисунок 3</p> </div>	<p>R_3, Ω 20 R_4, Ω 65 R_5, Ω 200</p>
<p style="text-align: center;">Варіант №4</p> <p>Завдання:</p> <p>1. Розрахувати сили струмів віток складного кола методами контурних струмів.</p> <p>2. Скласти баланс потужностей.</p>	<p>E_1, B 20 E_2, B 50 J_1, A 20 R_1, Ω 5</p>
	<p>R_2, Ω 25 R_3, Ω 10 R_4, Ω 35 R_5, Ω 20</p>

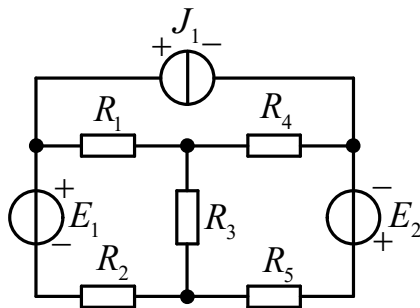


Рисунок 4

Варіант №5

Завдання:

1. Розрахувати сили струмів віток складного кола методами контурних струмів.
2. Скласти баланс потужностей.

E_1 , В	50
E_2 , В	100
J_1 , А	10
R_1 , Ом	30
R_2 , Ом	20
R_3 , Ом	10
R_4 , Ом	35
R_5 , Ом	40

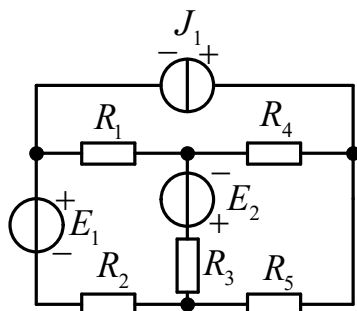


Рисунок 5

Варіант №6

Завдання:

1. Розрахувати сили струмів віток складного кола методами контурних струмів.
2. Скласти баланс потужностей.

E_1 , В	200
E_2 , В	250
J_1 , А	30
R_1 , Ом	10
R_2 , Ом	25
R_3 , Ом	50
R_4 , Ом	30
R_5 , Ом	20

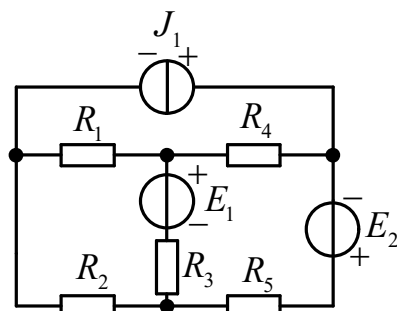
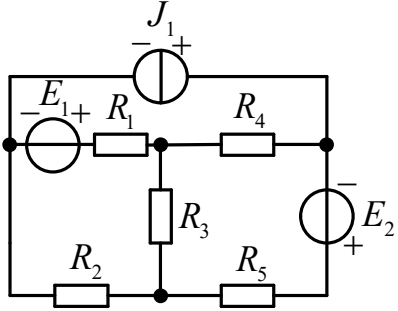
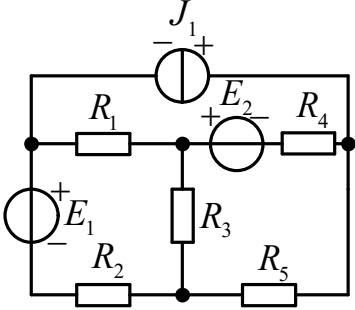
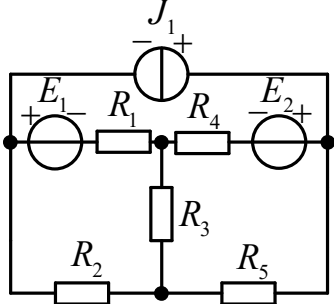
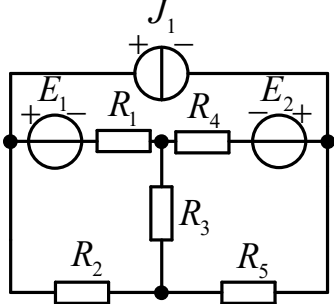
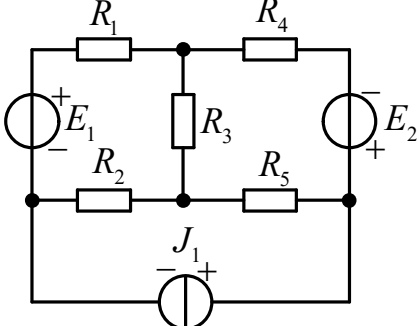
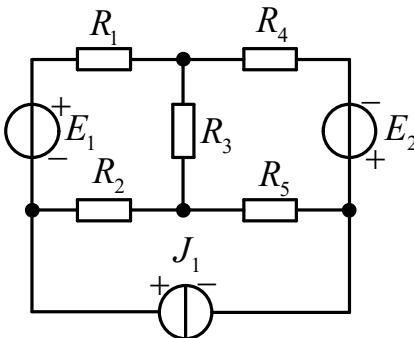
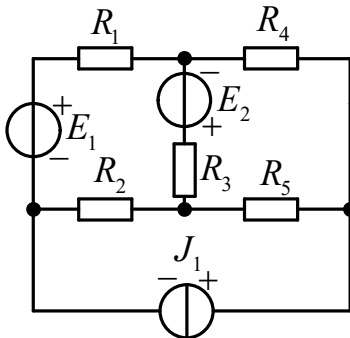
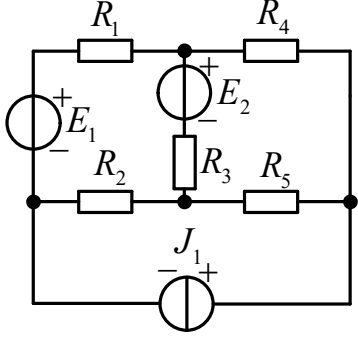
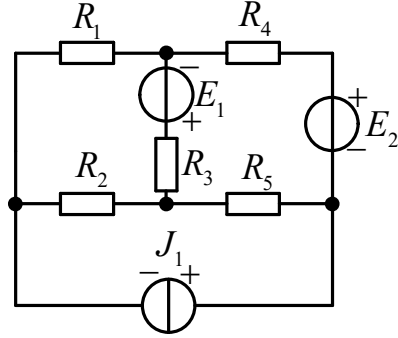
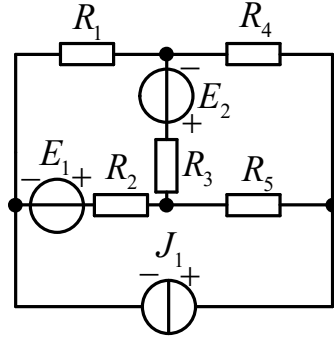


Рисунок 6

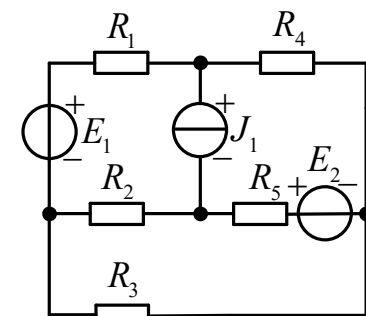
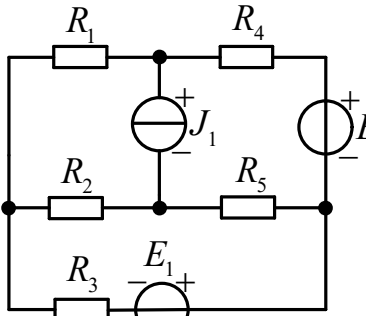
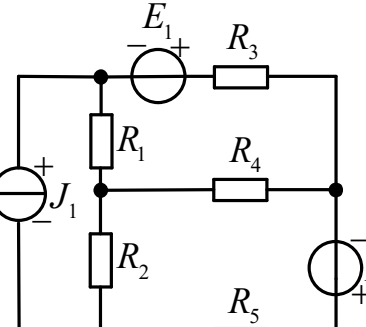
<p style="text-align: center;">Варіант №7</p> <p>Завдання:</p> <ol style="list-style-type: none"> Розрахувати сили струмів віток складного кола методами контурних струмів. Скласти баланс потужностей. 	<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="padding: 2px;">$E_1, \text{В}$</td> <td style="text-align: right; padding: 2px;">100</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">$E_2, \text{В}$</td> <td style="text-align: right; padding: 2px;">60</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">$J_1, \text{А}$</td> <td style="text-align: right; padding: 2px;">20</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">$R_1, \text{Ом}$</td> <td style="text-align: right; padding: 2px;">45</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">$R_2, \text{Ом}$</td> <td style="text-align: right; padding: 2px;">25</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">$R_3, \text{Ом}$</td> <td style="text-align: right; padding: 2px;">60</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">$R_4, \text{Ом}$</td> <td style="text-align: right; padding: 2px;">35</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">$R_5, \text{Ом}$</td> <td style="text-align: right; padding: 2px;">20</td> </tr> </table>	$E_1, \text{В}$	100	$E_2, \text{В}$	60	$J_1, \text{А}$	20	$R_1, \text{Ом}$	45	$R_2, \text{Ом}$	25	$R_3, \text{Ом}$	60	$R_4, \text{Ом}$	35	$R_5, \text{Ом}$	20
$E_1, \text{В}$	100																
$E_2, \text{В}$	60																
$J_1, \text{А}$	20																
$R_1, \text{Ом}$	45																
$R_2, \text{Ом}$	25																
$R_3, \text{Ом}$	60																
$R_4, \text{Ом}$	35																
$R_5, \text{Ом}$	20																
 <p style="text-align: center;">Рисунок 7</p>																	
<p style="text-align: center;">Варіант №8</p> <p>Завдання:</p> <ol style="list-style-type: none"> Розрахувати сили струмів віток складного кола методами контурних струмів. Скласти баланс потужностей. 	<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="padding: 2px;">$E_1, \text{В}$</td> <td style="text-align: right; padding: 2px;">80</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">$E_2, \text{В}$</td> <td style="text-align: right; padding: 2px;">100</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">$J_1, \text{А}$</td> <td style="text-align: right; padding: 2px;">5</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">$R_1, \text{Ом}$</td> <td style="text-align: right; padding: 2px;">65</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">$R_2, \text{Ом}$</td> <td style="text-align: right; padding: 2px;">75</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">$R_3, \text{Ом}$</td> <td style="text-align: right; padding: 2px;">90</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">$R_4, \text{Ом}$</td> <td style="text-align: right; padding: 2px;">45</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">$R_5, \text{Ом}$</td> <td style="text-align: right; padding: 2px;">10</td> </tr> </table>	$E_1, \text{В}$	80	$E_2, \text{В}$	100	$J_1, \text{А}$	5	$R_1, \text{Ом}$	65	$R_2, \text{Ом}$	75	$R_3, \text{Ом}$	90	$R_4, \text{Ом}$	45	$R_5, \text{Ом}$	10
$E_1, \text{В}$	80																
$E_2, \text{В}$	100																
$J_1, \text{А}$	5																
$R_1, \text{Ом}$	65																
$R_2, \text{Ом}$	75																
$R_3, \text{Ом}$	90																
$R_4, \text{Ом}$	45																
$R_5, \text{Ом}$	10																
 <p style="text-align: center;">Рисунок 8</p>																	
<p style="text-align: center;">Варіант №9</p> <p>Завдання:</p> <ol style="list-style-type: none"> Розрахувати сили струмів віток складного кола методами контурних струмів. Скласти баланс потужностей. 	<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="padding: 2px;">$E_1, \text{В}$</td> <td style="text-align: right; padding: 2px;">100</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">$E_2, \text{В}$</td> <td style="text-align: right; padding: 2px;">75</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">$J_1, \text{А}$</td> <td style="text-align: right; padding: 2px;">20</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">$R_1, \text{Ом}$</td> <td style="text-align: right; padding: 2px;">50</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">$R_2, \text{Ом}$</td> <td style="text-align: right; padding: 2px;">25</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">$R_3, \text{Ом}$</td> <td style="text-align: right; padding: 2px;">40</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">$R_4, \text{Ом}$</td> <td style="text-align: right; padding: 2px;">35</td> </tr> </table>	$E_1, \text{В}$	100	$E_2, \text{В}$	75	$J_1, \text{А}$	20	$R_1, \text{Ом}$	50	$R_2, \text{Ом}$	25	$R_3, \text{Ом}$	40	$R_4, \text{Ом}$	35		
$E_1, \text{В}$	100																
$E_2, \text{В}$	75																
$J_1, \text{А}$	20																
$R_1, \text{Ом}$	50																
$R_2, \text{Ом}$	25																
$R_3, \text{Ом}$	40																
$R_4, \text{Ом}$	35																

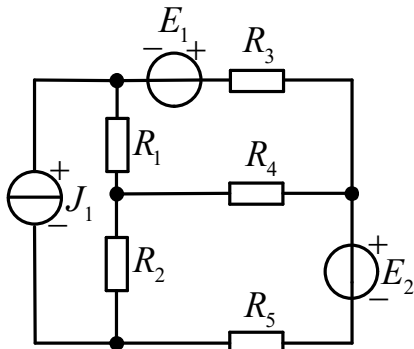
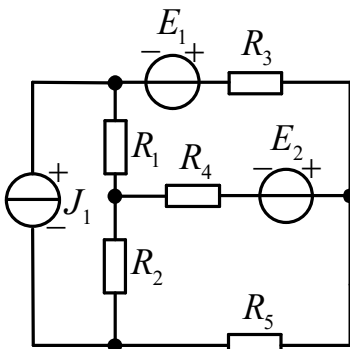
 <p>Рисунок 9</p>	$R_5, \text{ Ом}$ 20
<p align="center">Варіант №10</p> <p>Завдання:</p> <ol style="list-style-type: none"> Розрахувати сили струмів віток складного кола методами контурних струмів. Скласти баланс потужностей. 	$E_1, \text{ В}$ 200 $E_2, \text{ В}$ 300 $J_1, \text{ А}$ 30 $R_1, \text{ Ом}$ 80 $R_2, \text{ Ом}$ 100
 <p>Рисунок 10</p>	$R_3, \text{ Ом}$ 40 $R_4, \text{ Ом}$ 25 $R_5, \text{ Ом}$ 20
<p align="center">Варіант №11</p> <p>Завдання:</p> <ol style="list-style-type: none"> Розрахувати сили струмів віток складного кола методами контурних струмів. Скласти баланс потужностей. 	$E_1, \text{ В}$ 100 $E_2, \text{ В}$ 50 $J_1, \text{ А}$ 20 $R_1, \text{ Ом}$ 15 $R_2, \text{ Ом}$ 25
 <p>Рисунок 11</p>	$R_3, \text{ Ом}$ 40 $R_4, \text{ Ом}$ 35 $R_5, \text{ Ом}$ 20

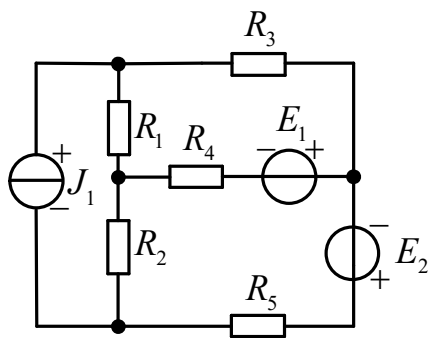
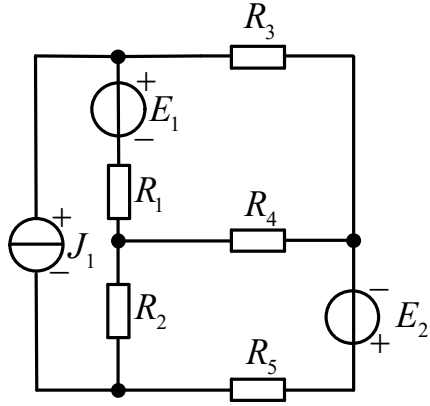
<p style="text-align: center;">Варіант №12</p> <p>Завдання:</p> <ol style="list-style-type: none"> Розрахувати сили струмів віток складного кола методами контурних струмів. Скласти баланс потужностей. 	<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td style="width: 60%;">$E_1, \text{В}$</td><td style="text-align: right;">40</td></tr> <tr><td>$E_2, \text{В}$</td><td style="text-align: right;">50</td></tr> <tr><td>$J_1, \text{А}$</td><td style="text-align: right;">10</td></tr> <tr><td>$R_1, \text{Ом}$</td><td style="text-align: right;">30</td></tr> <tr><td>$R_2, \text{Ом}$</td><td style="text-align: right;">40</td></tr> <tr><td>$R_3, \text{Ом}$</td><td style="text-align: right;">50</td></tr> <tr><td>$R_4, \text{Ом}$</td><td style="text-align: right;">35</td></tr> <tr><td>$R_5, \text{Ом}$</td><td style="text-align: right;">20</td></tr> </table>	$E_1, \text{В}$	40	$E_2, \text{В}$	50	$J_1, \text{А}$	10	$R_1, \text{Ом}$	30	$R_2, \text{Ом}$	40	$R_3, \text{Ом}$	50	$R_4, \text{Ом}$	35	$R_5, \text{Ом}$	20
$E_1, \text{В}$	40																
$E_2, \text{В}$	50																
$J_1, \text{А}$	10																
$R_1, \text{Ом}$	30																
$R_2, \text{Ом}$	40																
$R_3, \text{Ом}$	50																
$R_4, \text{Ом}$	35																
$R_5, \text{Ом}$	20																
<div style="text-align: center;">  <p>Рисунок 12</p> </div>																	
<p style="text-align: center;">Варіант №13</p> <p>Завдання:</p> <ol style="list-style-type: none"> Розрахувати сили струмів віток складного кола методами контурних струмів. Скласти баланс потужностей. 	<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td style="width: 60%;">$E_1, \text{В}$</td><td style="text-align: right;">150</td></tr> <tr><td>$E_2, \text{В}$</td><td style="text-align: right;">90</td></tr> <tr><td>$J_1, \text{А}$</td><td style="text-align: right;">10</td></tr> <tr><td>$R_1, \text{Ом}$</td><td style="text-align: right;">100</td></tr> <tr><td>$R_2, \text{Ом}$</td><td style="text-align: right;">25</td></tr> <tr><td>$R_3, \text{Ом}$</td><td style="text-align: right;">40</td></tr> <tr><td>$R_4, \text{Ом}$</td><td style="text-align: right;">35</td></tr> <tr><td>$R_5, \text{Ом}$</td><td style="text-align: right;">20</td></tr> </table>	$E_1, \text{В}$	150	$E_2, \text{В}$	90	$J_1, \text{А}$	10	$R_1, \text{Ом}$	100	$R_2, \text{Ом}$	25	$R_3, \text{Ом}$	40	$R_4, \text{Ом}$	35	$R_5, \text{Ом}$	20
$E_1, \text{В}$	150																
$E_2, \text{В}$	90																
$J_1, \text{А}$	10																
$R_1, \text{Ом}$	100																
$R_2, \text{Ом}$	25																
$R_3, \text{Ом}$	40																
$R_4, \text{Ом}$	35																
$R_5, \text{Ом}$	20																
<div style="text-align: center;">  <p>Рисунок 13</p> </div>																	
<p style="text-align: center;">Варіант №14</p> <p>Завдання:</p> <ol style="list-style-type: none"> Розрахувати сили струмів віток складного кола методами контурних струмів. Скласти баланс потужностей. 	<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td style="width: 60%;">$E_1, \text{В}$</td><td style="text-align: right;">150</td></tr> <tr><td>$E_2, \text{В}$</td><td style="text-align: right;">200</td></tr> <tr><td>$J_1, \text{А}$</td><td style="text-align: right;">5</td></tr> <tr><td>$R_1, \text{Ом}$</td><td style="text-align: right;">100</td></tr> <tr><td>$R_2, \text{Ом}$</td><td style="text-align: right;">25</td></tr> <tr><td>$R_3, \text{Ом}$</td><td style="text-align: right;">40</td></tr> </table>	$E_1, \text{В}$	150	$E_2, \text{В}$	200	$J_1, \text{А}$	5	$R_1, \text{Ом}$	100	$R_2, \text{Ом}$	25	$R_3, \text{Ом}$	40				
$E_1, \text{В}$	150																
$E_2, \text{В}$	200																
$J_1, \text{А}$	5																
$R_1, \text{Ом}$	100																
$R_2, \text{Ом}$	25																
$R_3, \text{Ом}$	40																

 <p style="text-align: center;">Рисунок 14</p>	<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="padding: 5px;">$R_4, \text{ Ом}$</td> <td style="padding: 5px; text-align: right;">35</td> </tr> <tr> <td style="padding: 5px;">$R_5, \text{ Ом}$</td> <td style="padding: 5px; text-align: right;">20</td> </tr> </table>	$R_4, \text{ Ом}$	35	$R_5, \text{ Ом}$	20				
$R_4, \text{ Ом}$	35								
$R_5, \text{ Ом}$	20								
<p>Варіант №15</p> <p>Завдання:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Розрахувати сили струмів віток складного кола методами контурних струмів. 2. Скласти баланс потужностей. 	<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="padding: 5px;">$E_1, \text{ В}$</td> <td style="padding: 5px; text-align: right;">150</td> </tr> <tr> <td style="padding: 5px;">$E_2, \text{ В}$</td> <td style="padding: 5px; text-align: right;">10</td> </tr> <tr> <td style="padding: 5px;">$J_1, \text{ А}$</td> <td style="padding: 5px; text-align: right;">10</td> </tr> <tr> <td style="padding: 5px;">$R_1, \text{ Ом}$</td> <td style="padding: 5px; text-align: right;">100</td> </tr> </table>	$E_1, \text{ В}$	150	$E_2, \text{ В}$	10	$J_1, \text{ А}$	10	$R_1, \text{ Ом}$	100
$E_1, \text{ В}$	150								
$E_2, \text{ В}$	10								
$J_1, \text{ А}$	10								
$R_1, \text{ Ом}$	100								
 <p style="text-align: center;">Рисунок 15</p>	<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="padding: 5px;">$R_2, \text{ Ом}$</td> <td style="padding: 5px; text-align: right;">25</td> </tr> <tr> <td style="padding: 5px;">$R_3, \text{ Ом}$</td> <td style="padding: 5px; text-align: right;">40</td> </tr> <tr> <td style="padding: 5px;">$R_4, \text{ Ом}$</td> <td style="padding: 5px; text-align: right;">50</td> </tr> <tr> <td style="padding: 5px;">$R_5, \text{ Ом}$</td> <td style="padding: 5px; text-align: right;">20</td> </tr> </table>	$R_2, \text{ Ом}$	25	$R_3, \text{ Ом}$	40	$R_4, \text{ Ом}$	50	$R_5, \text{ Ом}$	20
$R_2, \text{ Ом}$	25								
$R_3, \text{ Ом}$	40								
$R_4, \text{ Ом}$	50								
$R_5, \text{ Ом}$	20								
<p>Варіант №16</p> <p>Завдання:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Розрахувати сили струмів віток складного кола методами контурних струмів. 2. Скласти баланс потужностей. 	<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="padding: 5px;">$E_1, \text{ В}$</td> <td style="padding: 5px; text-align: right;">50</td> </tr> <tr> <td style="padding: 5px;">$E_2, \text{ В}$</td> <td style="padding: 5px; text-align: right;">100</td> </tr> <tr> <td style="padding: 5px;">$J_1, \text{ А}$</td> <td style="padding: 5px; text-align: right;">10</td> </tr> <tr> <td style="padding: 5px;">$R_1, \text{ Ом}$</td> <td style="padding: 5px; text-align: right;">10</td> </tr> </table>	$E_1, \text{ В}$	50	$E_2, \text{ В}$	100	$J_1, \text{ А}$	10	$R_1, \text{ Ом}$	10
$E_1, \text{ В}$	50								
$E_2, \text{ В}$	100								
$J_1, \text{ А}$	10								
$R_1, \text{ Ом}$	10								
 <p style="text-align: center;">Рисунок 16</p>	<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="padding: 5px;">$R_2, \text{ Ом}$</td> <td style="padding: 5px; text-align: right;">20</td> </tr> <tr> <td style="padding: 5px;">$R_3, \text{ Ом}$</td> <td style="padding: 5px; text-align: right;">40</td> </tr> <tr> <td style="padding: 5px;">$R_4, \text{ Ом}$</td> <td style="padding: 5px; text-align: right;">35</td> </tr> <tr> <td style="padding: 5px;">$R_5, \text{ Ом}$</td> <td style="padding: 5px; text-align: right;">20</td> </tr> </table>	$R_2, \text{ Ом}$	20	$R_3, \text{ Ом}$	40	$R_4, \text{ Ом}$	35	$R_5, \text{ Ом}$	20
$R_2, \text{ Ом}$	20								
$R_3, \text{ Ом}$	40								
$R_4, \text{ Ом}$	35								
$R_5, \text{ Ом}$	20								

<p style="text-align: center;">Варіант №17</p> <p>Завдання:</p> <ol style="list-style-type: none"> Розрахувати сили струмів віток складного кола методами контурних струмів. Скласти баланс потужностей. 	<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td style="width: 60%;">$E_1, \text{В}$</td><td style="text-align: right;">20</td></tr> <tr><td>$E_2, \text{В}$</td><td style="text-align: right;">50</td></tr> <tr><td>$J_1, \text{А}$</td><td style="text-align: right;">10</td></tr> <tr><td>$R_1, \text{Ом}$</td><td style="text-align: right;">50</td></tr> <tr><td>$R_2, \text{Ом}$</td><td style="text-align: right;">40</td></tr> <tr><td>$R_3, \text{Ом}$</td><td style="text-align: right;">10</td></tr> <tr><td>$R_4, \text{Ом}$</td><td style="text-align: right;">35</td></tr> <tr><td>$R_5, \text{Ом}$</td><td style="text-align: right;">20</td></tr> </table>	$E_1, \text{В}$	20	$E_2, \text{В}$	50	$J_1, \text{А}$	10	$R_1, \text{Ом}$	50	$R_2, \text{Ом}$	40	$R_3, \text{Ом}$	10	$R_4, \text{Ом}$	35	$R_5, \text{Ом}$	20
$E_1, \text{В}$	20																
$E_2, \text{В}$	50																
$J_1, \text{А}$	10																
$R_1, \text{Ом}$	50																
$R_2, \text{Ом}$	40																
$R_3, \text{Ом}$	10																
$R_4, \text{Ом}$	35																
$R_5, \text{Ом}$	20																
<div style="text-align: center;"> <p>Рисунок 17</p> </div>																	
<p style="text-align: center;">Варіант №18</p> <p>Завдання:</p> <ol style="list-style-type: none"> Розрахувати сили струмів віток складного кола методами контурних струмів. Скласти баланс потужностей. 	<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td style="width: 60%;">$E_1, \text{В}$</td><td style="text-align: right;">100</td></tr> <tr><td>$E_2, \text{В}$</td><td style="text-align: right;">60</td></tr> <tr><td>$J_1, \text{А}$</td><td style="text-align: right;">20</td></tr> <tr><td>$R_1, \text{Ом}$</td><td style="text-align: right;">60</td></tr> <tr><td>$R_2, \text{Ом}$</td><td style="text-align: right;">40</td></tr> <tr><td>$R_3, \text{Ом}$</td><td style="text-align: right;">60</td></tr> <tr><td>$R_4, \text{Ом}$</td><td style="text-align: right;">35</td></tr> <tr><td>$R_5, \text{Ом}$</td><td style="text-align: right;">40</td></tr> </table>	$E_1, \text{В}$	100	$E_2, \text{В}$	60	$J_1, \text{А}$	20	$R_1, \text{Ом}$	60	$R_2, \text{Ом}$	40	$R_3, \text{Ом}$	60	$R_4, \text{Ом}$	35	$R_5, \text{Ом}$	40
$E_1, \text{В}$	100																
$E_2, \text{В}$	60																
$J_1, \text{А}$	20																
$R_1, \text{Ом}$	60																
$R_2, \text{Ом}$	40																
$R_3, \text{Ом}$	60																
$R_4, \text{Ом}$	35																
$R_5, \text{Ом}$	40																
<div style="text-align: center;"> <p>Рисунок 18</p> </div>																	
<p style="text-align: center;">Варіант №19</p> <p>Завдання:</p> <ol style="list-style-type: none"> Розрахувати сили струмів віток складного кола методами контурних струмів. Скласти баланс потужностей. 	<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td style="width: 60%;">$E_1, \text{В}$</td><td style="text-align: right;">100</td></tr> <tr><td>$E_2, \text{В}$</td><td style="text-align: right;">40</td></tr> <tr><td>$J_1, \text{А}$</td><td style="text-align: right;">10</td></tr> <tr><td>$R_1, \text{Ом}$</td><td style="text-align: right;">60</td></tr> <tr><td>$R_2, \text{Ом}$</td><td style="text-align: right;">10</td></tr> <tr><td>$R_3, \text{Ом}$</td><td style="text-align: right;">60</td></tr> </table>	$E_1, \text{В}$	100	$E_2, \text{В}$	40	$J_1, \text{А}$	10	$R_1, \text{Ом}$	60	$R_2, \text{Ом}$	10	$R_3, \text{Ом}$	60				
$E_1, \text{В}$	100																
$E_2, \text{В}$	40																
$J_1, \text{А}$	10																
$R_1, \text{Ом}$	60																
$R_2, \text{Ом}$	10																
$R_3, \text{Ом}$	60																

 <p style="text-align: center;">Рисунок 19</p>	<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%;">$R_4, \text{ Ом}$</td> <td style="width: 50%; text-align: right;">35</td> </tr> <tr> <td>$R_5, \text{ Ом}$</td> <td style="text-align: right;">40</td> </tr> </table>	$R_4, \text{ Ом}$	35	$R_5, \text{ Ом}$	40				
$R_4, \text{ Ом}$	35								
$R_5, \text{ Ом}$	40								
<p>Варіант №20</p> <p>Завдання:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Розрахувати сили струмів віток складного кола методами контурних струмів. 2. Скласти баланс потужностей. 	<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%;">$E_1, \text{ В}$</td> <td style="width: 50%; text-align: right;">200</td> </tr> <tr> <td>$E_2, \text{ В}$</td> <td style="text-align: right;">50</td> </tr> <tr> <td>$J_1, \text{ А}$</td> <td style="text-align: right;">20</td> </tr> <tr> <td>$R_1, \text{ Ом}$</td> <td style="text-align: right;">10</td> </tr> </table>	$E_1, \text{ В}$	200	$E_2, \text{ В}$	50	$J_1, \text{ А}$	20	$R_1, \text{ Ом}$	10
$E_1, \text{ В}$	200								
$E_2, \text{ В}$	50								
$J_1, \text{ А}$	20								
$R_1, \text{ Ом}$	10								
 <p style="text-align: center;">Рисунок 20</p>	<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%;">$R_2, \text{ Ом}$</td> <td style="width: 50%; text-align: right;">20</td> </tr> <tr> <td>$R_3, \text{ Ом}$</td> <td style="text-align: right;">30</td> </tr> <tr> <td>$R_4, \text{ Ом}$</td> <td style="text-align: right;">40</td> </tr> <tr> <td>$R_5, \text{ Ом}$</td> <td style="text-align: right;">50</td> </tr> </table>	$R_2, \text{ Ом}$	20	$R_3, \text{ Ом}$	30	$R_4, \text{ Ом}$	40	$R_5, \text{ Ом}$	50
$R_2, \text{ Ом}$	20								
$R_3, \text{ Ом}$	30								
$R_4, \text{ Ом}$	40								
$R_5, \text{ Ом}$	50								
<p>Варіант №21</p> <p>Завдання:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Розрахувати сили струмів віток складного кола методами контурних струмів. 2. Скласти баланс потужностей. 	<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%;">$E_1, \text{ В}$</td> <td style="width: 50%; text-align: right;">100</td> </tr> <tr> <td>$E_2, \text{ В}$</td> <td style="text-align: right;">200</td> </tr> <tr> <td>$J_1, \text{ А}$</td> <td style="text-align: right;">20</td> </tr> <tr> <td>$R_1, \text{ Ом}$</td> <td style="text-align: right;">40</td> </tr> </table>	$E_1, \text{ В}$	100	$E_2, \text{ В}$	200	$J_1, \text{ А}$	20	$R_1, \text{ Ом}$	40
$E_1, \text{ В}$	100								
$E_2, \text{ В}$	200								
$J_1, \text{ А}$	20								
$R_1, \text{ Ом}$	40								
 <p style="text-align: center;">Рисунок 21</p>	<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%;">$R_2, \text{ Ом}$</td> <td style="width: 50%; text-align: right;">50</td> </tr> <tr> <td>$R_3, \text{ Ом}$</td> <td style="text-align: right;">70</td> </tr> <tr> <td>$R_4, \text{ Ом}$</td> <td style="text-align: right;">35</td> </tr> <tr> <td>$R_5, \text{ Ом}$</td> <td style="text-align: right;">20</td> </tr> </table>	$R_2, \text{ Ом}$	50	$R_3, \text{ Ом}$	70	$R_4, \text{ Ом}$	35	$R_5, \text{ Ом}$	20
$R_2, \text{ Ом}$	50								
$R_3, \text{ Ом}$	70								
$R_4, \text{ Ом}$	35								
$R_5, \text{ Ом}$	20								

<p style="text-align: center;">Варіант №22</p> <p>Завдання:</p> <ol style="list-style-type: none"> Розрахувати сили струмів віток складного кола методами контурних струмів. Скласти баланс потужностей. 	<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="padding: 2px;">$E_1, \text{В}$</td> <td style="text-align: right; padding: 2px;">100</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">$E_2, \text{В}$</td> <td style="text-align: right; padding: 2px;">40</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">$J_1, \text{А}$</td> <td style="text-align: right; padding: 2px;">10</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">$R_1, \text{Ом}$</td> <td style="text-align: right; padding: 2px;">40</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">$R_2, \text{Ом}$</td> <td style="text-align: right; padding: 2px;">20</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">$R_3, \text{Ом}$</td> <td style="text-align: right; padding: 2px;">80</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">$R_4, \text{Ом}$</td> <td style="text-align: right; padding: 2px;">35</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">$R_5, \text{Ом}$</td> <td style="text-align: right; padding: 2px;">20</td> </tr> </table>	$E_1, \text{В}$	100	$E_2, \text{В}$	40	$J_1, \text{А}$	10	$R_1, \text{Ом}$	40	$R_2, \text{Ом}$	20	$R_3, \text{Ом}$	80	$R_4, \text{Ом}$	35	$R_5, \text{Ом}$	20
$E_1, \text{В}$	100																
$E_2, \text{В}$	40																
$J_1, \text{А}$	10																
$R_1, \text{Ом}$	40																
$R_2, \text{Ом}$	20																
$R_3, \text{Ом}$	80																
$R_4, \text{Ом}$	35																
$R_5, \text{Ом}$	20																
<div style="text-align: center;">  <p>Рисунок 22</p> </div>																	
<p style="text-align: center;">Варіант №23</p> <p>Завдання:</p> <ol style="list-style-type: none"> Розрахувати сили струмів віток складного кола методами контурних струмів. Скласти баланс потужностей. 	<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="padding: 2px;">$E_1, \text{В}$</td> <td style="text-align: right; padding: 2px;">120</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">$E_2, \text{В}$</td> <td style="text-align: right; padding: 2px;">300</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">$J_1, \text{А}$</td> <td style="text-align: right; padding: 2px;">30</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">$R_1, \text{Ом}$</td> <td style="text-align: right; padding: 2px;">50</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">$R_2, \text{Ом}$</td> <td style="text-align: right; padding: 2px;">50</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">$R_3, \text{Ом}$</td> <td style="text-align: right; padding: 2px;">80</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">$R_4, \text{Ом}$</td> <td style="text-align: right; padding: 2px;">60</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">$R_5, \text{Ом}$</td> <td style="text-align: right; padding: 2px;">10</td> </tr> </table>	$E_1, \text{В}$	120	$E_2, \text{В}$	300	$J_1, \text{А}$	30	$R_1, \text{Ом}$	50	$R_2, \text{Ом}$	50	$R_3, \text{Ом}$	80	$R_4, \text{Ом}$	60	$R_5, \text{Ом}$	10
$E_1, \text{В}$	120																
$E_2, \text{В}$	300																
$J_1, \text{А}$	30																
$R_1, \text{Ом}$	50																
$R_2, \text{Ом}$	50																
$R_3, \text{Ом}$	80																
$R_4, \text{Ом}$	60																
$R_5, \text{Ом}$	10																
<div style="text-align: center;">  <p>Рисунок 23</p> </div>																	
<p style="text-align: center;">Варіант №24</p> <p>Завдання:</p> <ol style="list-style-type: none"> Розрахувати сили струмів віток складного кола методами контурних струмів. Скласти баланс потужностей. 	<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="padding: 2px;">$E_1, \text{В}$</td> <td style="text-align: right; padding: 2px;">50</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">$E_2, \text{В}$</td> <td style="text-align: right; padding: 2px;">200</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">$J_1, \text{А}$</td> <td style="text-align: right; padding: 2px;">5</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">$R_1, \text{Ом}$</td> <td style="text-align: right; padding: 2px;">80</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">$R_2, \text{Ом}$</td> <td style="text-align: right; padding: 2px;">50</td> </tr> </table>	$E_1, \text{В}$	50	$E_2, \text{В}$	200	$J_1, \text{А}$	5	$R_1, \text{Ом}$	80	$R_2, \text{Ом}$	50						
$E_1, \text{В}$	50																
$E_2, \text{В}$	200																
$J_1, \text{А}$	5																
$R_1, \text{Ом}$	80																
$R_2, \text{Ом}$	50																

 <p style="text-align: center;">Рисунок 24</p>	<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td style="width: 50%;">$R_3, \text{ Ом}$</td><td style="width: 50%; text-align: right;">10</td></tr> <tr><td>$R_4, \text{ Ом}$</td><td style="text-align: right;">35</td></tr> <tr><td>$R_5, \text{ Ом}$</td><td style="text-align: right;">20</td></tr> </table>	$R_3, \text{ Ом}$	10	$R_4, \text{ Ом}$	35	$R_5, \text{ Ом}$	20				
$R_3, \text{ Ом}$	10										
$R_4, \text{ Ом}$	35										
$R_5, \text{ Ом}$	20										
<p>Варіант №25</p> <p>Завдання:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Розрахувати сили струмів віток складного кола методами контурних струмів. 2. Скласти баланс потужностей. 	<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td style="width: 50%;">$E_1, \text{ В}$</td><td style="width: 50%; text-align: right;">100</td></tr> <tr><td>$E_2, \text{ В}$</td><td style="text-align: right;">20</td></tr> <tr><td>$J_1, \text{ А}$</td><td style="text-align: right;">10</td></tr> <tr><td>$R_1, \text{ Ом}$</td><td style="text-align: right;">40</td></tr> <tr><td>$R_2, \text{ Ом}$</td><td style="text-align: right;">50</td></tr> </table>	$E_1, \text{ В}$	100	$E_2, \text{ В}$	20	$J_1, \text{ А}$	10	$R_1, \text{ Ом}$	40	$R_2, \text{ Ом}$	50
$E_1, \text{ В}$	100										
$E_2, \text{ В}$	20										
$J_1, \text{ А}$	10										
$R_1, \text{ Ом}$	40										
$R_2, \text{ Ом}$	50										
 <p style="text-align: center;">Рисунок 25</p>	<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td style="width: 50%;">$R_3, \text{ Ом}$</td><td style="width: 50%; text-align: right;">25</td></tr> <tr><td>$R_4, \text{ Ом}$</td><td style="text-align: right;">10</td></tr> <tr><td>$R_5, \text{ Ом}$</td><td style="text-align: right;">20</td></tr> </table>	$R_3, \text{ Ом}$	25	$R_4, \text{ Ом}$	10	$R_5, \text{ Ом}$	20				
$R_3, \text{ Ом}$	25										
$R_4, \text{ Ом}$	10										
$R_5, \text{ Ом}$	20										
<p>Варіант №26</p> <p>Завдання:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Розрахувати сили струмів віток складного кола методами контурних струмів. 2. Скласти баланс потужностей. 	<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td style="width: 50%;">$E_1, \text{ В}$</td><td style="width: 50%; text-align: right;">50</td></tr> <tr><td>$E_2, \text{ В}$</td><td style="text-align: right;">200</td></tr> <tr><td>$J_1, \text{ А}$</td><td style="text-align: right;">8</td></tr> <tr><td>$R_1, \text{ Ом}$</td><td style="text-align: right;">100</td></tr> <tr><td>$R_2, \text{ Ом}$</td><td style="text-align: right;">20</td></tr> </table>	$E_1, \text{ В}$	50	$E_2, \text{ В}$	200	$J_1, \text{ А}$	8	$R_1, \text{ Ом}$	100	$R_2, \text{ Ом}$	20
$E_1, \text{ В}$	50										
$E_2, \text{ В}$	200										
$J_1, \text{ А}$	8										
$R_1, \text{ Ом}$	100										
$R_2, \text{ Ом}$	20										
	<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td style="width: 50%;">$R_3, \text{ Ом}$</td><td style="width: 50%; text-align: right;">25</td></tr> <tr><td>$R_4, \text{ Ом}$</td><td style="text-align: right;">10</td></tr> <tr><td>$R_5, \text{ Ом}$</td><td style="text-align: right;">20</td></tr> </table>	$R_3, \text{ Ом}$	25	$R_4, \text{ Ом}$	10	$R_5, \text{ Ом}$	20				
$R_3, \text{ Ом}$	25										
$R_4, \text{ Ом}$	10										
$R_5, \text{ Ом}$	20										

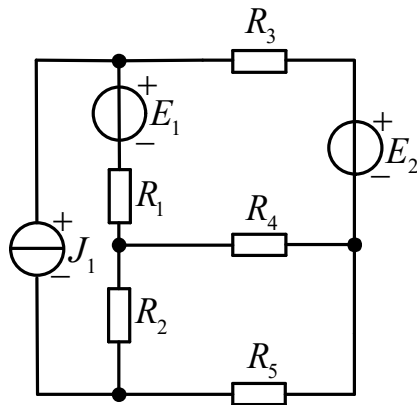


Рисунок 26

Варіант №27

Завдання:

1. Розрахувати сили струмів віток складного кола методами контурних струмів.
2. Скласти баланс потужностей.

$E_1, \text{В}$	100
$E_2, \text{В}$	80
$J_1, \text{А}$	10
$R_1, \text{Ом}$	30
$R_2, \text{Ом}$	50
$R_3, \text{Ом}$	55
$R_4, \text{Ом}$	100
$R_5, \text{Ом}$	40

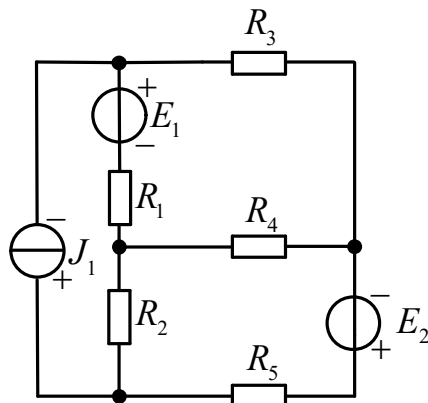


Рисунок 27

Варіант №28

Завдання:

1. Розрахувати сили струмів віток складного кола методами контурних струмів.
2. Скласти баланс потужностей.

$E_1, \text{В}$	100
$E_2, \text{В}$	125
$J_1, \text{А}$	12
$R_1, \text{Ом}$	45
$R_2, \text{Ом}$	55
$R_3, \text{Ом}$	25
$R_4, \text{Ом}$	10
$R_5, \text{Ом}$	20

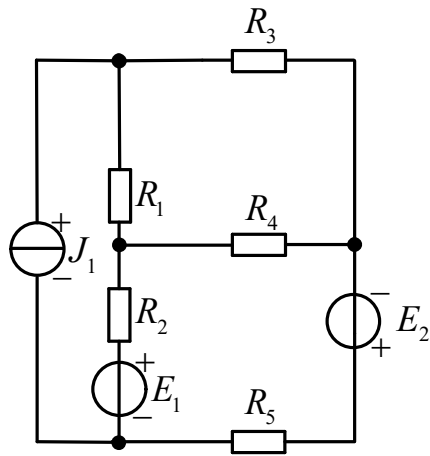


Рисунок 28

Варіант №29

Завдання:

1. Розрахувати сили струмів віток складного кола методами контурних струмів.
2. Скласти баланс потужностей.

$E_1, \text{В}$	100
$E_2, \text{В}$	100
$J_1, \text{А}$	10
$R_1, \text{Ом}$	40
$R_2, \text{Ом}$	50
$R_3, \text{Ом}$	60
$R_4, \text{Ом}$	10
$R_5, \text{Ом}$	200

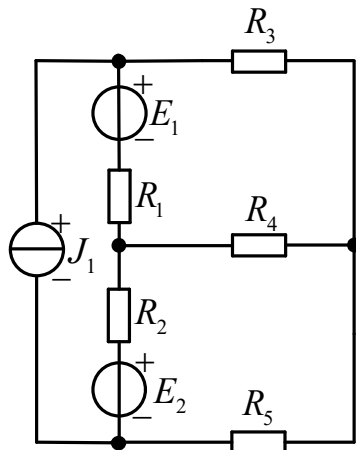


Рисунок 29

Варіант №30

Завдання:

1. Розрахувати сили струмів віток складного кола методами контурних струмів.
2. Скласти баланс потужностей.

$E_1, \text{В}$	100
$E_2, \text{В}$	140
$J_1, \text{А}$	30
$R_1, \text{Ом}$	10
$R_2, \text{Ом}$	50
$R_3, \text{Ом}$	20
$R_4, \text{Ом}$	80
$R_5, \text{Ом}$	50

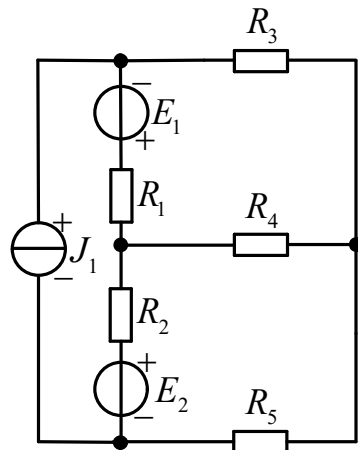


Рисунок 30

Бібліографічний список використаної літератури

2.1 Курило І.А. Розрахунок електричних кіл постійного струму: для студентів електротехнічних напрямів підготовки 0906 «Електротехніка», 0914 «Електроніка», 0914 «Комп'ютеризовані системи, автоматика і управління», 0915 «Комп'ютерна інженерія» / І. А. Курило, І. Н. Намацалюк, А. А. Щерба. - К.: НТУУ «КПІ», 2006.- 51 с.

Практичне заняття №3 Метод вузлових потенціалів

Послідовність розрахунку електричного кола методом вузлових потенціалів. Вибір опорного (базового вузла). Визначення вузлових провідностей і вузлових струмів. Визначення сил струмів віток. Складання балансу потужностей електричного кола

Метод базується на першому законі Кірхгофа та законі Ома.

Послідовність розрахунку електричного кола методом вузлових потенціалів та методом двох вузлів:

1. Приймаємо за нуль потенціал одного із вузлів (опорний).
2. Складаємо рівняння за методом вузлових потенціалів. Кількість рівнянь дорівнює кількості незалежних вузлів з невідомими потенціалами.
3. Будь-яким способом розв'язуємо систему рівнянь і визначаємо потенціали вузлів.
4. За законом Ома визначаємо значення сил струми у вітках схеми [3.1].

Задача №3.1

Визначити значення всіх сил струмів в електричному колі (рис. 3.1.1), якщо $J=1.6$ (А), $E_1=6$ (В), $E_4=18$ (В), $E_7=15$ (В), $R_1=2$ (Ом), $R_2=2.5$ (Ом), $R_3=10$ (Ом), $R_4=4$ (Ом), $R_5=1.25$ (Ом), $R_6=5$ (Ом).

Розв'язання

Приймемо потенціал вузла з номером 0 за опорний $\varphi_0 = 0$. Потенціал вузла номером 3 дорівнює E_7 $\varphi_3 = 15$ (В). Складемо систему за методом вузлових потенціалів відносно вузлів номерами 1 та 2

$$\begin{cases} \varphi_1 \cdot G_{11} - \varphi_2 \cdot G_{12} - \varphi_3 \cdot G_{13} = J + E_1 \cdot G_1 = J + E_1 \cdot \frac{1}{R_1}; \\ -\varphi_1 \cdot G_{21} + \varphi_2 \cdot G_{22} - \varphi_3 \cdot G_{23} = E_4 \cdot G_4 = E_4 \cdot \frac{1}{R_4}. \end{cases} \quad (3.1.1)$$

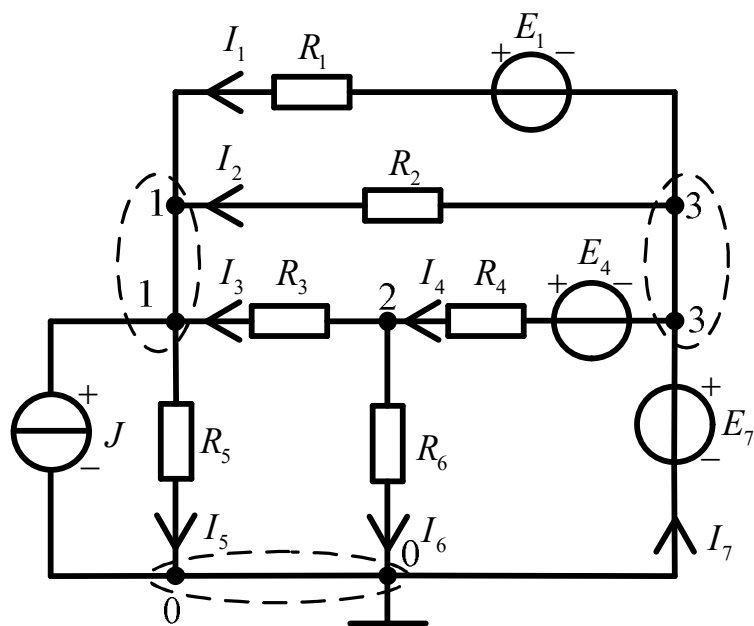


Рисунок 3.1.1 – Електричне коло

Визначимо сумарну провідність віток, що підключені до вузла 1

$$G_{11} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_5} = \frac{1}{2} + \frac{1}{2.5} + \frac{1}{10} + \frac{1}{1.25} = 1.8(\text{См}). \quad (3.1.2)$$

Знайдемо сумарну провідність віток, що підключені до вузла 2

$$G_{22} = \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_6} + \frac{1}{R_4} = \frac{1}{10} + \frac{1}{5} + \frac{1}{4} = 0.55(\text{См}). \quad (3.1.3)$$

Обрахуємо провідність вітки, що підключена між вузлами 1 та 2

$$G_{12} = G_{21} = \frac{1}{R_3} = \frac{1}{10} = 0.1(\text{См}). \quad (3.1.4)$$

Підрахуємо значення сумарної провідності віток, що підключені між вузлами 1 та 3

$$G_{13} = G_{31} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} = \frac{1}{2} + \frac{1}{2.5} = 0.9(\text{См}). \quad (3.1.5)$$

Визначимо провідність вітки, що підключені між вузлами 2 та 3

$$G_{23} = \frac{1}{R_4} = \frac{1}{4} = 0.25(\text{См}). \quad (3.1.6)$$

Розрахуємо вузлові струми системи (3.1.1). Підставимо знайдені провідності з виразів (3.1.2)-(3.1.6) до системи (3.1.1) та розв'яжемо її методом Крамера

$$\varphi_3 = E_7 = 15(\text{В});$$

$$\begin{cases} \boxed{\varphi_1 \cdot 1.8} - \varphi_2 \cdot 0.1 - 15 \cdot 0.9 = 1.6 + 6 \cdot G_1 = 1.6 + 6 \cdot \frac{1}{2}; \\ -\varphi_1 \cdot 0.1 + \boxed{\varphi_2 \cdot 0.55} - 15 \cdot 0.25 = 18 \cdot G_4 = 18 \cdot \frac{1}{4}; \end{cases}$$

$$\begin{cases} \varphi_1 \cdot 1.8 - \varphi_2 \cdot 0.1 = 18.1; \\ -\varphi_1 \cdot 0.1 + \varphi_2 \cdot 0.55 = 8.25; \end{cases}$$

$$\Delta = \begin{vmatrix} 1.8 & -0.1 \\ -0.1 & 0.55 \end{vmatrix} = 1.8 \cdot 0.55 - (-0.1) \cdot (-0.1) = 0.98;$$

$$\Delta_{\varphi_1} = \begin{vmatrix} 18.1 & -0.1 \\ 8.25 & 0.55 \end{vmatrix} = 18.1 \cdot 0.55 - (8.25) \cdot (-0.1) = 10.78;$$

$$\Delta_{\varphi_2} = \begin{vmatrix} 1.8 & 18.1 \\ -0.1 & 8.25 \end{vmatrix} = 1.8 \cdot 8.25 - (-0.1) \cdot (18.1) = 16.66;$$

(3.1.7)

$$\varphi_1 = \frac{\Delta_{\varphi_1}}{\Delta} = \frac{10.78}{0.98} = 11(\text{В});$$

$$\varphi_2 = \frac{\Delta_{\varphi_2}}{\Delta} = \frac{16.66}{0.98} = 17(\text{В}).$$

Використовуючи закон Ома, розраховуємо значення сил струмів у вітках

$$I_1 = \frac{\varphi_3 - \varphi_1 + E_1}{R_1} = \frac{15 - 11 + 6}{2} = 5(\text{А}); \quad (3.1.8)$$

$$I_2 = \frac{\varphi_3 - \varphi_1}{R_2} = \frac{15 - 11}{2.5} = 1.6(\text{A});$$

$$I_3 = \frac{\varphi_2 - \varphi_1}{R_3} = \frac{17 - 11}{10} = 0.6(\text{A});$$

$$I_4 = \frac{\varphi_3 - \varphi_2 + E_4}{R_4} = \frac{15 - 17 + 18}{4} = 4(\text{A});$$

$$I_5 = \frac{\varphi_1 - \varphi_0}{R_5} = \frac{11 - 0}{1.25} = 8.8(\text{A});$$

$$I_6 = \frac{\varphi_2 - \varphi_0}{R_6} = \frac{17 - 0}{5} = 3.4(\text{A});$$

$$I_7 = I_5 + I_6 - J = 8.8 + 3.4 - 1.6 = 10.6(\text{A}).$$

Розрахуємо потужність джерел енергії

$$\begin{aligned} \Sigma P_{\text{дж}} &= E_1 \cdot I_1 + E_4 \cdot I_4 + E_7 \cdot I_7 + (\varphi_1 - \varphi_0) \cdot J = \\ &= 6 \cdot 5 + 18 \cdot 4 + 15 \cdot 10.6 + (11 - 0) \cdot 1.6 = 278.6(\text{Вт}). \end{aligned} \quad (3.1.9)$$

Знайдемо потужність, яка споживається навантаженням (характер активний)

$$\begin{aligned} \Sigma P_{\text{спож}} &= I_1^2 \cdot R_1 + I_2^2 \cdot R_2 + I_3^2 \cdot R_3 + I_4^2 \cdot R_4 + I_5^2 \cdot R_5 + I_6^2 \cdot R_6 = \\ &= 5^2 \cdot 2 + 1.6^2 \cdot 2.5 + 0.6^2 \cdot 10 + 4^2 \cdot 4 + 8.8^2 \cdot 1.25 + 3.4^2 \cdot 5 = 278.6(\text{Вт}). \end{aligned} \quad (3.1.10)$$

Задача №3.2

Розрахувати сили струмів в електричному колі (рис. 3.2.1) методом двох вузлів, якщо $J_1=8$ (А), $E_1=120$ (В), $E_2=80$ (В), $R_1=20$ (Ом), $R_2=40$ (Ом), $R_3=40$ (Ом) та $R_4=80$ (Ом).

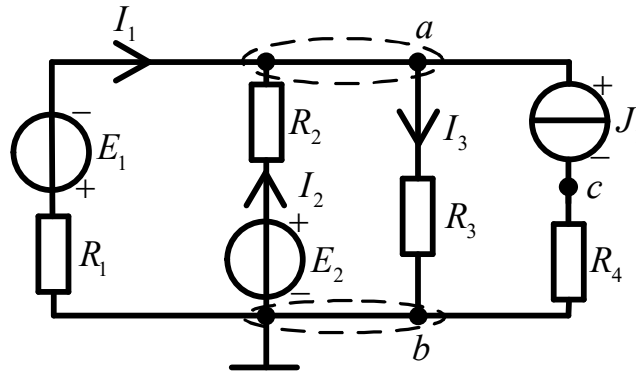


Рисунок 3.2.1 – Схема електричного кола

Розв'язання

Направляємо довільно струми у вітках схеми I_1 , I_2 та I_3 .

Прийmemo за опорний вузол b з потенціалом $\varphi_b = 0$, тоді напруга $U_{ab} = \varphi_a - \varphi_b = \varphi_a - 0 = \varphi_a$ буде дорівнювати

$$\varphi_a = \frac{\sum E \cdot G + \sum J}{\sum G} = \frac{-E_1 \frac{1}{R_1} + E_2 \frac{1}{R_2} + J_1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}} = \frac{-\frac{120}{20} + \frac{80}{40} + 8}{\frac{1}{20} + \frac{1}{40} + \frac{1}{40}} = 40(\text{В}). \quad (3.2.1)$$

Використовуючи закон Ома, розраховуємо сили струми у вітках:

$$\begin{aligned} I_1 &= \frac{\varphi_b - \varphi_a - E_1}{R_1} = \frac{0 - 40 - 120}{20} = -8(\text{А}); \\ I_2 &= \frac{\varphi_b - \varphi_a + E_2}{R_2} = \frac{0 - 40 + 80}{40} = 1(\text{А}); \\ I_3 &= \frac{\varphi_a - \varphi_b}{R_3} = \frac{40 - 0}{40} = 1(\text{А}); \\ I_4 &= J_1 = 8(\text{А}). \end{aligned} \quad (3.2.2)$$

Проведемо перевірку правильності вирішення задачі за рахунок використання I закону Кірхгофа

$$I_1 + I_2 + J_1 - I_3 = 0 = -8 + 1 + 8 - 1 = 0. \quad (3.2.3)$$

Визначимо активну потужність споживача

$$\begin{aligned} \Sigma P_{\text{спож}} &= I_1^2 \cdot R_1 + I_2^2 \cdot R_2 + I_3^2 \cdot R_3 + I_4^2 \cdot R_4 = \\ &= 8^2 \cdot 20 + 1^2 \cdot 40 + 1^2 \cdot 40 + 8^2 \cdot 80 = 6480(\text{Вт}). \end{aligned} \quad (3.2.4)$$

Розрахуємо активну потужність джерел

$$\begin{aligned} \Sigma P_{\text{дж}} &= E_1 \cdot (-I_1) + E_2 \cdot I_2 + (J_1 \cdot R_4 + U_{ab}) \cdot J_1 = \\ &= 120 \cdot 8 + 80 \cdot 1 + (8 \cdot 80 + 40) \cdot 8 = 6480(\text{Вт}). \end{aligned} \quad (3.2.5)$$

Задача №3.3

Для електричного кола показаного на рис. 3.3.1 визначити сили струмів у всіх вітках, якщо:

$$E_1=220 \text{ (В)}, E_3=110 \text{ (В)}, R_{01}=2 \text{ (Ом)}, R_{03}=1 \text{ (Ом)},$$

$$R_1=5 \text{ (Ом)},$$

$$R_2=3 \text{ (Ом)},$$

$$R_3=4 \text{ (Ом)},$$

$$R_4=10 \text{ (Ом)},$$

$R_5=8 \text{ (Ом)}$ та $R_6=6 \text{ (Ом)}$. Скласти баланс потужностей електричного кола.

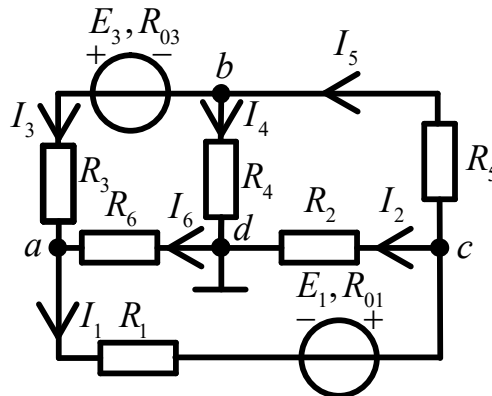


Рисунок 3.3.1 – Електрична схема

Розв'язання

Прийемо потенціал вузла d за опорний $\varphi_d = 0$, а для вузлів що залишилися складемо систему рівнянь:

$$\begin{cases} G_{aa} \cdot \varphi_a - G_{ab} \cdot \varphi_b - G_{ac} \cdot \varphi_c = J_a; \\ -G_{ba} \cdot \varphi_a + G_{bb} \cdot \varphi_b - G_{bc} \cdot \varphi_c = J_b; \\ -G_{ca} \cdot \varphi_a - G_{cb} \cdot \varphi_b + G_{cc} \cdot \varphi_c = J_c. \end{cases} \quad (3.3.1)$$

Знайдемо власні вузлові провідності:

$$G_{aa} = \frac{1}{R_{01} + R_1} + \frac{1}{R_{03} + R_3} + \frac{1}{R_6} = \frac{1}{2+5} + \frac{1}{4+1} + \frac{1}{6} = 0.509(\text{СМ});$$

$$G_{bb} = \frac{1}{R_{03} + R_3} + \frac{1}{R_4} + \frac{1}{R_5} = \frac{1}{4+1} + \frac{1}{10} + \frac{1}{8} = 0.425(\text{СМ});$$

$$G_{cc} = \frac{1}{R_{01} + R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_5} = \frac{1}{2+5} + \frac{1}{3} + \frac{1}{8} = 0.601(\text{СМ}).$$

Розраховуємо значення взаємних вузлових провідностей:

$$G_{ab} = G_{ba} = \frac{1}{R_{03} + R_3} = \frac{1}{4+1} = 0.2(\text{СМ});$$

$$G_{bc} = G_{cb} = \frac{1}{R_5} = \frac{1}{8} = 0.125(\text{СМ});$$

$$G_{ac} = G_{ca} = \frac{1}{R_{01} + R_1} = \frac{1}{2+5} = 0.143(\text{СМ}).$$

Вузлові струми визначаються, як *алгебраїчна* сума струмів джерел, що сходяться у вибраному вузлі:

$$J_a = \frac{-E_1}{R_{01} + R_1} + \frac{E_3}{R_{03} + R_3} = \frac{-220}{2+5} + \frac{110}{1+4} = -9.429(\text{А});$$

$$J_b = \frac{-E_3}{R_{03} + R_3} = \frac{-110}{1+4} = -22(\text{А});$$

$$J_c = \frac{E_1}{R_{01} + R_1} = \frac{220}{2+5} = 31.429(\text{А}).$$

Підставляємо значення провідностей та вузлових струмів до системи рівнянь (3.3.1):

$$\begin{cases} 0.509 \cdot \varphi_a - 0.2 \cdot \varphi_b - 0.143 \cdot \varphi_c = -9.429; \\ -0.2 \cdot \varphi_a + 0.425 \cdot \varphi_b - 0.125 \cdot \varphi_c = -22; \\ -0.143 \cdot \varphi_a - 0.125 \cdot \varphi_b + 0.601 \cdot \varphi_c = 31.429. \end{cases} \quad (3.3.2)$$

Знайдемо потенціали вузлів електричної схеми за допомогою визначників (метод Крамера):

$$\Delta = \begin{vmatrix} \boxed{0.506} & -0.2 & -0.143 \\ -0.2 & 0.425 & -0.125 \\ -0.143 & -0.125 & 0.601 \end{vmatrix} = \boxed{0.506} \cdot (0.425 \cdot 0.601 - (-0.125) \cdot (-0.125)) - \dots$$

$$\dots - \boxed{-0.2} \cdot ((-0.2) \cdot 0.601 - (-0.143) \cdot (-0.125)) + \dots$$

$$+ \boxed{-0.143} \cdot ((-0.2) \cdot (-0.125) - (-0.143) \cdot 0.425) = 0.082;$$

$$\Delta_{\varphi a} = \begin{vmatrix} \boxed{-9.429} & -0.2 & -0.143 \\ -22 & 0.425 & -0.125 \\ 31.429 & -0.125 & 0.601 \end{vmatrix} = \boxed{-9.429} \cdot (0.425 \cdot 0.601 - (-0.125) \cdot (-0.125)) - \dots$$

$$\dots - \boxed{-0.2} \cdot ((-22) \cdot 0.601 - (31.429) \cdot (-0.125)) + \dots$$

$$+ \boxed{-0.143} \cdot ((-22) \cdot (-0.125) - (31.429) \cdot 0.425) = -2.606;$$

$$\Delta_{\varphi b} = \begin{vmatrix} \boxed{0.506} & -9.429 & -0.143 \\ -0.2 & -22 & -0.125 \\ -0.143 & 31.429 & 0.601 \end{vmatrix} = \boxed{0.506} \cdot (-22 \cdot 0.601 - 31.429 \cdot (-0.125)) - \dots$$

$$\dots - \boxed{-9.429} \cdot ((-0.2) \cdot 0.601 - (-0.143) \cdot (-0.125)) + \dots$$

$$\dots \boxed{-0.143} \cdot ((-0.2) \cdot (31.429) - (-0.143) \cdot (-22)) = -4.692;$$

$$\Delta_{\varphi c} = \begin{vmatrix} \boxed{0.506} & -0.2 & -9.429 \\ -0.2 & 0.425 & -22 \\ -0.143 & -0.125 & 31.429 \end{vmatrix} = \boxed{0.506} \cdot (0.425 \cdot 31.429 - (-0.125) \cdot 31.429) - \dots$$

$$\dots - \boxed{-0.2} \cdot ((-0.2) \cdot 31.429 - (-0.143) \cdot (-22)) + \dots$$

$$\dots + \boxed{-9.429} \cdot ((-0.2) \cdot (-0.125) - (-0.143) \cdot 0.425) = 2.711.$$

Так як визначник $\Delta \neq 0$, то система (3.3.2) має єдине рішення. За формулами Крамера визначаємо потенціали вузлів електричного кола:

$$\varphi_a = \frac{\Delta_{\varphi a}}{\Delta} = \frac{-2.606}{0.082} = -31.641(\text{В});$$

$$\varphi_b = \frac{\Delta_{\varphi b}}{\Delta} = \frac{-4.692}{0.082} = -56.974(\text{В});$$

$$\varphi_c = \frac{\Delta_{\varphi c}}{\Delta} = \frac{2.711}{0.082} = 32.913(\text{В}).$$

Зайдемо значення сил струмів використовуючи закон Ома для вітки

$$I_1 = \frac{\varphi_a - \varphi_c + E_1}{R_1 + R_{01}} = \frac{-31.641 - 32.913 + 220}{5 + 2} = 22.207(\text{А});$$

$$I_2 = \frac{\varphi_c - \varphi_d}{R_2} = \frac{32.913 - 0}{3} = 10.971(\text{А});$$

$$I_3 = \frac{\varphi_b - \varphi_a + E_3}{R_3 + R_{03}} = \frac{-56.974 - (-31.641) + 110}{4 + 1} = 16.933(\text{А});$$

$$I_4 = \frac{\varphi_b - \varphi_d}{R_4} = \frac{-56.974 - 0}{10} = -5.697(\text{А});$$

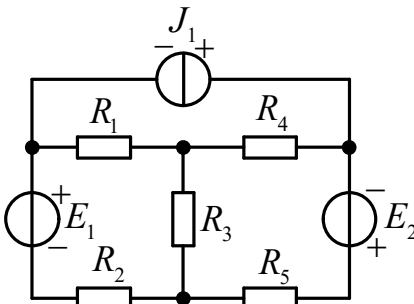
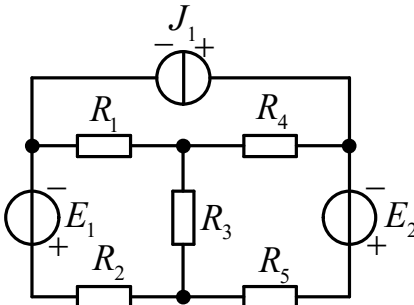
$$I_5 = \frac{\varphi_c - \varphi_b}{R_5} = \frac{32.913 - (-56.974)}{8} = 11.236(\text{А});$$

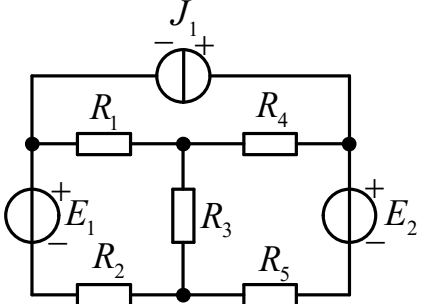
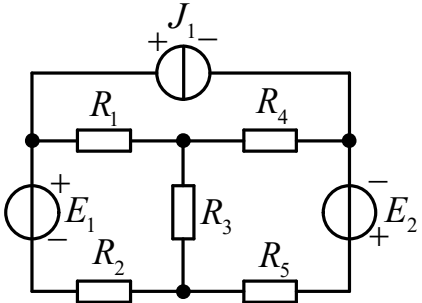
$$I_6 = \frac{\varphi_d - \varphi_a}{R_6} = \frac{0 - (-31.641)}{6} = 5.273(\text{А}).$$
(3.2.3)

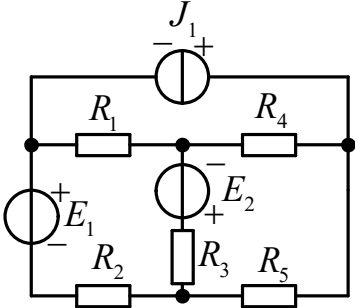
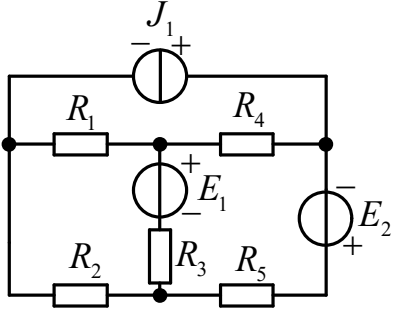
Перевірка за балансом потужностей знайдених сил струмів представлена в прикладі задачі 2.1 в другому практичному занятті. Струм I_4 має від'ємний знак, тому напрямок в електричному колі (рис. 3.3.1) треба вибрати на протилежний.

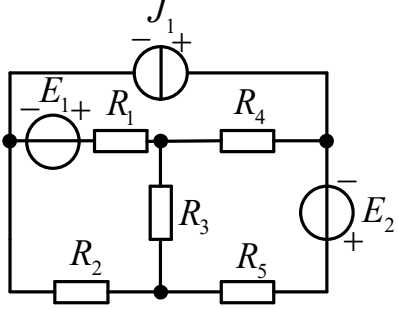
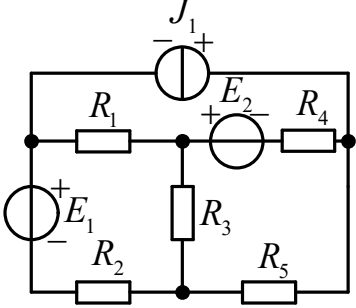
САМОСТІЙНА РОБОТА

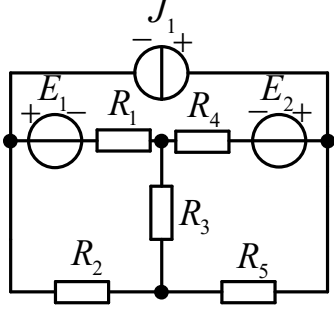
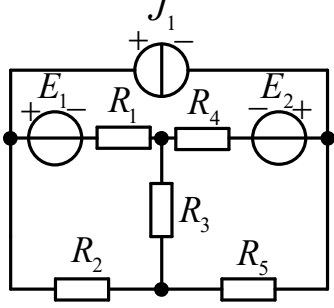
Застосування методу вузлових потенціалів для розрахунку лінійного електричного кола постійного струму

Варіант №1																	
<p>Завдання:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Розрахувати сили струмів віток складного кола методом вузлових потенціалів. 2. Результати розрахунку кола порівняти складанням балансу потужностей. 3. Представити потенціальну діаграму для контуру, що проходять через обидві ЕРС. 	<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="padding: 2px;">$E_1, \text{В}$</td> <td style="text-align: right; padding: 2px;">100</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">$E_2, \text{В}$</td> <td style="text-align: right; padding: 2px;">50</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">$J_1, \text{А}$</td> <td style="text-align: right; padding: 2px;">20</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">$R_1, \text{Ом}$</td> <td style="text-align: right; padding: 2px;">15</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">$R_2, \text{Ом}$</td> <td style="text-align: right; padding: 2px;">25</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">$R_3, \text{Ом}$</td> <td style="text-align: right; padding: 2px;">40</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">$R_4, \text{Ом}$</td> <td style="text-align: right; padding: 2px;">35</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">$R_5, \text{Ом}$</td> <td style="text-align: right; padding: 2px;">20</td> </tr> </table>	$E_1, \text{В}$	100	$E_2, \text{В}$	50	$J_1, \text{А}$	20	$R_1, \text{Ом}$	15	$R_2, \text{Ом}$	25	$R_3, \text{Ом}$	40	$R_4, \text{Ом}$	35	$R_5, \text{Ом}$	20
$E_1, \text{В}$	100																
$E_2, \text{В}$	50																
$J_1, \text{А}$	20																
$R_1, \text{Ом}$	15																
$R_2, \text{Ом}$	25																
$R_3, \text{Ом}$	40																
$R_4, \text{Ом}$	35																
$R_5, \text{Ом}$	20																
 <p style="text-align: center;">Рисунок 1</p>																	
Варіант №2																	
<p>Завдання:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Розрахувати сили струмів віток складного кола методом вузлових потенціалів. 2. Результати розрахунку кола порівняти складанням балансу потужностей. 3. Представити потенціальну діаграму для контуру, що проходять через обидві ЕРС. 	<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="padding: 2px;">$E_1, \text{В}$</td> <td style="text-align: right; padding: 2px;">200</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">$E_2, \text{В}$</td> <td style="text-align: right; padding: 2px;">300</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">$J_1, \text{А}$</td> <td style="text-align: right; padding: 2px;">10</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">$R_1, \text{Ом}$</td> <td style="text-align: right; padding: 2px;">15</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">$R_2, \text{Ом}$</td> <td style="text-align: right; padding: 2px;">30</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">$R_3, \text{Ом}$</td> <td style="text-align: right; padding: 2px;">80</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">$R_4, \text{Ом}$</td> <td style="text-align: right; padding: 2px;">100</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">$R_5, \text{Ом}$</td> <td style="text-align: right; padding: 2px;">10</td> </tr> </table>	$E_1, \text{В}$	200	$E_2, \text{В}$	300	$J_1, \text{А}$	10	$R_1, \text{Ом}$	15	$R_2, \text{Ом}$	30	$R_3, \text{Ом}$	80	$R_4, \text{Ом}$	100	$R_5, \text{Ом}$	10
$E_1, \text{В}$	200																
$E_2, \text{В}$	300																
$J_1, \text{А}$	10																
$R_1, \text{Ом}$	15																
$R_2, \text{Ом}$	30																
$R_3, \text{Ом}$	80																
$R_4, \text{Ом}$	100																
$R_5, \text{Ом}$	10																
 <p style="text-align: center;">Рисунок 2</p>																	

<p style="text-align: center;">Варіант №3</p> <p>Завдання:</p> <ol style="list-style-type: none"> Розрахувати сили струмів віток складного кола методом вузлових потенціалів. Результати розрахунку кола порівняти складанням балансу потужностей. Представити потенціальну діаграму для контуру, що проходять через обидві ЕРС. 	<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="padding: 2px;">$E_1, \text{В}$</td> <td style="padding: 2px; text-align: right;">100</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">$E_2, \text{В}$</td> <td style="padding: 2px; text-align: right;">150</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">$J_1, \text{А}$</td> <td style="padding: 2px; text-align: right;">30</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">$R_1, \text{Ом}$</td> <td style="padding: 2px; text-align: right;">50</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">$R_2, \text{Ом}$</td> <td style="padding: 2px; text-align: right;">25</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">$R_3, \text{Ом}$</td> <td style="padding: 2px; text-align: right;">20</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">$R_4, \text{Ом}$</td> <td style="padding: 2px; text-align: right;">65</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">$R_5, \text{Ом}$</td> <td style="padding: 2px; text-align: right;">200</td> </tr> </table>	$E_1, \text{В}$	100	$E_2, \text{В}$	150	$J_1, \text{А}$	30	$R_1, \text{Ом}$	50	$R_2, \text{Ом}$	25	$R_3, \text{Ом}$	20	$R_4, \text{Ом}$	65	$R_5, \text{Ом}$	200
$E_1, \text{В}$	100																
$E_2, \text{В}$	150																
$J_1, \text{А}$	30																
$R_1, \text{Ом}$	50																
$R_2, \text{Ом}$	25																
$R_3, \text{Ом}$	20																
$R_4, \text{Ом}$	65																
$R_5, \text{Ом}$	200																
 <p style="text-align: center;">Рисунок 3</p>																	
<p style="text-align: center;">Варіант №4</p> <p>Завдання:</p> <ol style="list-style-type: none"> Розрахувати сили струмів віток складного кола методом вузлових потенціалів. Результати розрахунку кола порівняти складанням балансу потужностей. Представити потенціальну діаграму для контуру, що проходять через обидві ЕРС. 	<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="padding: 2px;">$E_1, \text{В}$</td> <td style="padding: 2px; text-align: right;">20</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">$E_2, \text{В}$</td> <td style="padding: 2px; text-align: right;">50</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">$J_1, \text{А}$</td> <td style="padding: 2px; text-align: right;">20</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">$R_1, \text{Ом}$</td> <td style="padding: 2px; text-align: right;">5</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">$R_2, \text{Ом}$</td> <td style="padding: 2px; text-align: right;">25</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">$R_3, \text{Ом}$</td> <td style="padding: 2px; text-align: right;">10</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">$R_4, \text{Ом}$</td> <td style="padding: 2px; text-align: right;">35</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">$R_5, \text{Ом}$</td> <td style="padding: 2px; text-align: right;">20</td> </tr> </table>	$E_1, \text{В}$	20	$E_2, \text{В}$	50	$J_1, \text{А}$	20	$R_1, \text{Ом}$	5	$R_2, \text{Ом}$	25	$R_3, \text{Ом}$	10	$R_4, \text{Ом}$	35	$R_5, \text{Ом}$	20
$E_1, \text{В}$	20																
$E_2, \text{В}$	50																
$J_1, \text{А}$	20																
$R_1, \text{Ом}$	5																
$R_2, \text{Ом}$	25																
$R_3, \text{Ом}$	10																
$R_4, \text{Ом}$	35																
$R_5, \text{Ом}$	20																
 <p style="text-align: center;">Рисунок 4</p>																	

<p style="text-align: center;">Варіант №5</p> <p>Завдання:</p> <ol style="list-style-type: none"> Розрахувати сили струмів віток складного кола методом вузлових потенціалів. Результати розрахунку кола порівняти складанням балансу потужностей. Представити потенціальну діаграму для контуру, що проходять через обидві ЕРС. 	<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="padding: 2px;">$E_1, \text{В}$</td> <td style="text-align: right; padding: 2px;">50</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">$E_2, \text{В}$</td> <td style="text-align: right; padding: 2px;">100</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">$J_1, \text{А}$</td> <td style="text-align: right; padding: 2px;">10</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">$R_1, \text{Ом}$</td> <td style="text-align: right; padding: 2px;">30</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">$R_2, \text{Ом}$</td> <td style="text-align: right; padding: 2px;">20</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">$R_3, \text{Ом}$</td> <td style="text-align: right; padding: 2px;">10</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">$R_4, \text{Ом}$</td> <td style="text-align: right; padding: 2px;">35</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">$R_5, \text{Ом}$</td> <td style="text-align: right; padding: 2px;">40</td> </tr> </table>	$E_1, \text{В}$	50	$E_2, \text{В}$	100	$J_1, \text{А}$	10	$R_1, \text{Ом}$	30	$R_2, \text{Ом}$	20	$R_3, \text{Ом}$	10	$R_4, \text{Ом}$	35	$R_5, \text{Ом}$	40
$E_1, \text{В}$	50																
$E_2, \text{В}$	100																
$J_1, \text{А}$	10																
$R_1, \text{Ом}$	30																
$R_2, \text{Ом}$	20																
$R_3, \text{Ом}$	10																
$R_4, \text{Ом}$	35																
$R_5, \text{Ом}$	40																
 <p style="text-align: center;">Рисунок 5</p>																	
<p style="text-align: center;">Варіант №6</p> <p>Завдання:</p> <ol style="list-style-type: none"> Розрахувати сили струмів віток складного кола методом вузлових потенціалів. Результати розрахунку кола порівняти складанням балансу потужностей. Представити потенціальну діаграму для контуру, що проходять через обидві ЕРС. 	<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="padding: 2px;">$E_1, \text{В}$</td> <td style="text-align: right; padding: 2px;">200</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">$E_2, \text{В}$</td> <td style="text-align: right; padding: 2px;">250</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">$J_1, \text{А}$</td> <td style="text-align: right; padding: 2px;">30</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">$R_1, \text{Ом}$</td> <td style="text-align: right; padding: 2px;">10</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">$R_2, \text{Ом}$</td> <td style="text-align: right; padding: 2px;">25</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">$R_3, \text{Ом}$</td> <td style="text-align: right; padding: 2px;">50</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">$R_4, \text{Ом}$</td> <td style="text-align: right; padding: 2px;">30</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">$R_5, \text{Ом}$</td> <td style="text-align: right; padding: 2px;">20</td> </tr> </table>	$E_1, \text{В}$	200	$E_2, \text{В}$	250	$J_1, \text{А}$	30	$R_1, \text{Ом}$	10	$R_2, \text{Ом}$	25	$R_3, \text{Ом}$	50	$R_4, \text{Ом}$	30	$R_5, \text{Ом}$	20
$E_1, \text{В}$	200																
$E_2, \text{В}$	250																
$J_1, \text{А}$	30																
$R_1, \text{Ом}$	10																
$R_2, \text{Ом}$	25																
$R_3, \text{Ом}$	50																
$R_4, \text{Ом}$	30																
$R_5, \text{Ом}$	20																
 <p style="text-align: center;">Рисунок 6</p>																	

<p style="text-align: center;">Варіант №7</p> <p>Завдання:</p> <ol style="list-style-type: none"> Розрахувати сили струмів віток складного кола методом вузлових потенціалів. Результати розрахунку кола порівняти складанням балансу потужностей. Представити потенціальну діаграму для контуру, що проходять через обидві ЕРС. 	<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="padding: 2px;">$E_1, \text{В}$</td> <td style="text-align: right; padding: 2px;">100</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">$E_2, \text{В}$</td> <td style="text-align: right; padding: 2px;">60</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">$J_1, \text{А}$</td> <td style="text-align: right; padding: 2px;">20</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">$R_1, \text{Ом}$</td> <td style="text-align: right; padding: 2px;">45</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">$R_2, \text{Ом}$</td> <td style="text-align: right; padding: 2px;">25</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">$R_3, \text{Ом}$</td> <td style="text-align: right; padding: 2px;">60</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">$R_4, \text{Ом}$</td> <td style="text-align: right; padding: 2px;">35</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">$R_5, \text{Ом}$</td> <td style="text-align: right; padding: 2px;">20</td> </tr> </table>	$E_1, \text{В}$	100	$E_2, \text{В}$	60	$J_1, \text{А}$	20	$R_1, \text{Ом}$	45	$R_2, \text{Ом}$	25	$R_3, \text{Ом}$	60	$R_4, \text{Ом}$	35	$R_5, \text{Ом}$	20
$E_1, \text{В}$	100																
$E_2, \text{В}$	60																
$J_1, \text{А}$	20																
$R_1, \text{Ом}$	45																
$R_2, \text{Ом}$	25																
$R_3, \text{Ом}$	60																
$R_4, \text{Ом}$	35																
$R_5, \text{Ом}$	20																
 <p style="text-align: center;">Рисунок 7</p>																	
<p style="text-align: center;">Варіант №8</p> <p>Завдання:</p> <ol style="list-style-type: none"> Розрахувати сили струмів віток складного кола методом вузлових потенціалів. Результати розрахунку кола порівняти складанням балансу потужностей. Представити потенціальну діаграму для контуру, що проходять через обидві ЕРС. 	<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="padding: 2px;">$E_1, \text{В}$</td> <td style="text-align: right; padding: 2px;">80</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">$E_2, \text{В}$</td> <td style="text-align: right; padding: 2px;">100</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">$J_1, \text{А}$</td> <td style="text-align: right; padding: 2px;">5</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">$R_1, \text{Ом}$</td> <td style="text-align: right; padding: 2px;">65</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">$R_2, \text{Ом}$</td> <td style="text-align: right; padding: 2px;">75</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">$R_3, \text{Ом}$</td> <td style="text-align: right; padding: 2px;">90</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">$R_4, \text{Ом}$</td> <td style="text-align: right; padding: 2px;">45</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">$R_5, \text{Ом}$</td> <td style="text-align: right; padding: 2px;">10</td> </tr> </table>	$E_1, \text{В}$	80	$E_2, \text{В}$	100	$J_1, \text{А}$	5	$R_1, \text{Ом}$	65	$R_2, \text{Ом}$	75	$R_3, \text{Ом}$	90	$R_4, \text{Ом}$	45	$R_5, \text{Ом}$	10
$E_1, \text{В}$	80																
$E_2, \text{В}$	100																
$J_1, \text{А}$	5																
$R_1, \text{Ом}$	65																
$R_2, \text{Ом}$	75																
$R_3, \text{Ом}$	90																
$R_4, \text{Ом}$	45																
$R_5, \text{Ом}$	10																
 <p style="text-align: center;">Рисунок 8</p>																	

<p style="text-align: center;">Варіант №9</p> <p>Завдання:</p> <ol style="list-style-type: none"> Розрахувати сили струмів віток складного кола методом вузлових потенціалів. Результати розрахунку кола порівняти складанням балансу потужностей. Представити потенціальну діаграму для контуру, що проходять через обидві ЕРС. 	<table> <tbody> <tr> <td>$E_1, \text{В}$</td> <td>100</td> </tr> <tr> <td>$E_2, \text{В}$</td> <td>75</td> </tr> <tr> <td>$J_1, \text{А}$</td> <td>20</td> </tr> <tr> <td>$R_1, \text{Ом}$</td> <td>50</td> </tr> <tr> <td>$R_2, \text{Ом}$</td> <td>25</td> </tr> <tr> <td>$R_3, \text{Ом}$</td> <td>40</td> </tr> <tr> <td>$R_4, \text{Ом}$</td> <td>35</td> </tr> <tr> <td>$R_5, \text{Ом}$</td> <td>20</td> </tr> </tbody> </table>	$E_1, \text{В}$	100	$E_2, \text{В}$	75	$J_1, \text{А}$	20	$R_1, \text{Ом}$	50	$R_2, \text{Ом}$	25	$R_3, \text{Ом}$	40	$R_4, \text{Ом}$	35	$R_5, \text{Ом}$	20
$E_1, \text{В}$	100																
$E_2, \text{В}$	75																
$J_1, \text{А}$	20																
$R_1, \text{Ом}$	50																
$R_2, \text{Ом}$	25																
$R_3, \text{Ом}$	40																
$R_4, \text{Ом}$	35																
$R_5, \text{Ом}$	20																
<div style="text-align: center;">  <p>Рисунок 9</p> </div>																	
<p style="text-align: center;">Варіант №10</p> <p>Завдання:</p> <ol style="list-style-type: none"> Розрахувати сили струмів віток складного кола методом вузлових потенціалів. Результати розрахунку кола порівняти складанням балансу потужностей. Представити потенціальну діаграму для контуру, що проходять через обидві ЕРС. 	<table> <tbody> <tr> <td>$E_1, \text{В}$</td> <td>200</td> </tr> <tr> <td>$E_2, \text{В}$</td> <td>300</td> </tr> <tr> <td>$J_1, \text{А}$</td> <td>30</td> </tr> <tr> <td>$R_1, \text{Ом}$</td> <td>80</td> </tr> <tr> <td>$R_2, \text{Ом}$</td> <td>100</td> </tr> <tr> <td>$R_3, \text{Ом}$</td> <td>40</td> </tr> <tr> <td>$R_4, \text{Ом}$</td> <td>25</td> </tr> <tr> <td>$R_5, \text{Ом}$</td> <td>20</td> </tr> </tbody> </table>	$E_1, \text{В}$	200	$E_2, \text{В}$	300	$J_1, \text{А}$	30	$R_1, \text{Ом}$	80	$R_2, \text{Ом}$	100	$R_3, \text{Ом}$	40	$R_4, \text{Ом}$	25	$R_5, \text{Ом}$	20
$E_1, \text{В}$	200																
$E_2, \text{В}$	300																
$J_1, \text{А}$	30																
$R_1, \text{Ом}$	80																
$R_2, \text{Ом}$	100																
$R_3, \text{Ом}$	40																
$R_4, \text{Ом}$	25																
$R_5, \text{Ом}$	20																
<div style="text-align: center;">  <p>Рисунок 10</p> </div>																	

Варіант №11

Завдання:

1. Розрахувати сили струмів віток складного кола методом вузлових потенціалів.
2. Результати розрахунку кола порівняти складанням балансу потужностей.
3. Представити потенціальну діаграму для контуру, що проходять через обидві ЕРС.

$E_1, \text{В}$	100
$E_2, \text{В}$	50
$J_1, \text{А}$	20
$R_1, \text{Ом}$	15
$R_2, \text{Ом}$	25
$R_3, \text{Ом}$	40
$R_4, \text{Ом}$	35
$R_5, \text{Ом}$	20

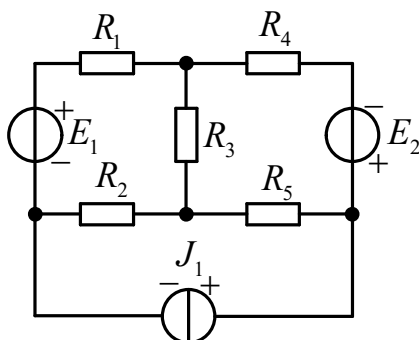


Рисунок 11

Варіант №12

Завдання:

1. Розрахувати сили струмів віток складного кола методом вузлових потенціалів.
2. Результати розрахунку кола порівняти складанням балансу потужностей.
3. Представити потенціальну діаграму для контуру, що проходять через обидві ЕРС.

$E_1, \text{В}$	40
$E_2, \text{В}$	50
$J_1, \text{А}$	10
$R_1, \text{Ом}$	30
$R_2, \text{Ом}$	40
$R_3, \text{Ом}$	50
$R_4, \text{Ом}$	35
$R_5, \text{Ом}$	20

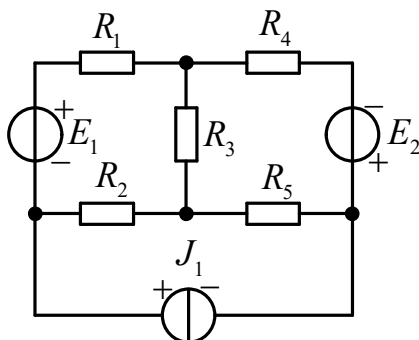


Рисунок 12

Варіант №13

Завдання:

1. Розрахувати сили струмів віток складного кола методом вузлових потенціалів.
2. Результати розрахунку кола порівняти складанням балансу потужностей.
3. Представити потенціальну діаграму для контуру, що проходять через обидві ЕРС.

$E_1, \text{В}$	150
$E_2, \text{В}$	90
$J_1, \text{А}$	10
$R_1, \text{Ом}$	100
$R_2, \text{Ом}$	25
$R_3, \text{Ом}$	40
$R_4, \text{Ом}$	35
$R_5, \text{Ом}$	20

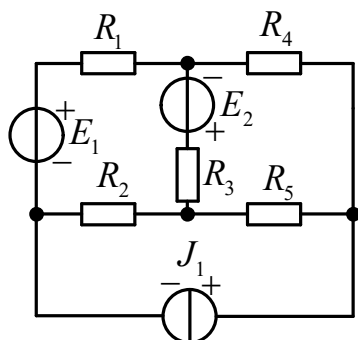


Рисунок 13

Варіант №14

Завдання:

1. Розрахувати сили струмів віток складного кола методом вузлових потенціалів.
2. Результати розрахунку кола порівняти складанням балансу потужностей.
3. Представити потенціальну діаграму для контуру, що проходять через обидві ЕРС.

$E_1, \text{В}$	150
$E_2, \text{В}$	200
$J_1, \text{А}$	5
$R_1, \text{Ом}$	100
$R_2, \text{Ом}$	25
$R_3, \text{Ом}$	40
$R_4, \text{Ом}$	35
$R_5, \text{Ом}$	20

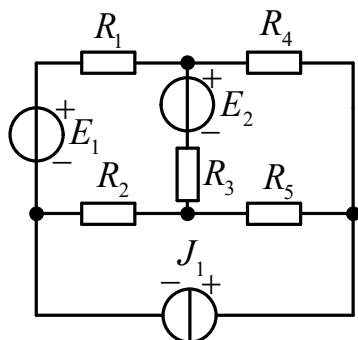


Рисунок 14

Варіант №15

Завдання:

1. Розрахувати сили струмів віток складного кола методом вузлових потенціалів.
2. Результати розрахунку кола порівняти складанням балансу потужностей.
3. Представити потенціальну діаграму для контуру, що проходять через обидві ЕРС.

$E_1, \text{В}$	150
$E_2, \text{В}$	10
$J_1, \text{А}$	10
$R_1, \text{Ом}$	100
$R_2, \text{Ом}$	25
$R_3, \text{Ом}$	40
$R_4, \text{Ом}$	50
$R_5, \text{Ом}$	20

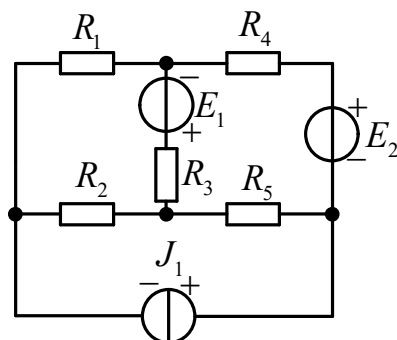


Рисунок 15

Варіант №16

Завдання:

1. Розрахувати сили струмів віток складного кола методом вузлових потенціалів.
2. Результати розрахунку кола порівняти складанням балансу потужностей.
3. Представити потенціальну діаграму для контуру, що проходять через обидві ЕРС.

$E_1, \text{В}$	50
$E_2, \text{В}$	100
$J_1, \text{А}$	10
$R_1, \text{Ом}$	10
$R_2, \text{Ом}$	20
$R_3, \text{Ом}$	40
$R_4, \text{Ом}$	35
$R_5, \text{Ом}$	20

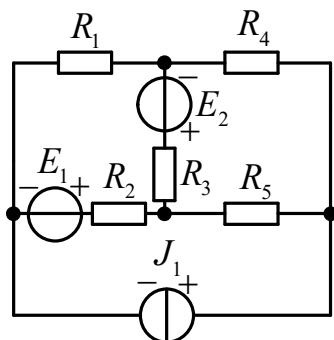
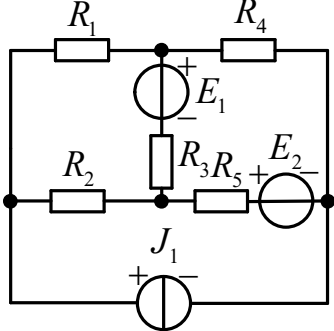
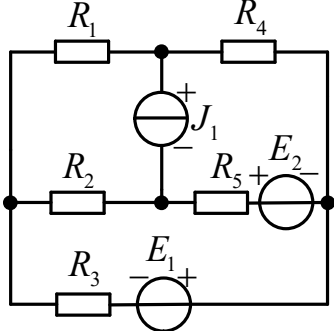
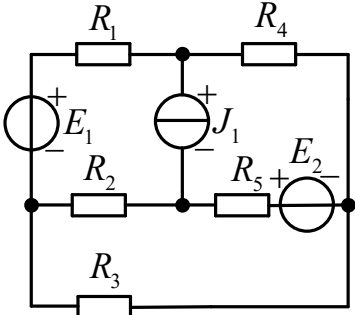
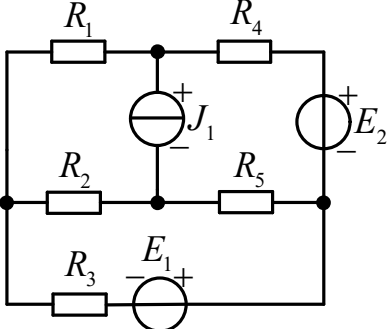


Рисунок 16

<p style="text-align: center;">Варіант №17</p> <p>Завдання:</p> <ol style="list-style-type: none"> Розрахувати сили струмів віток складного кола методом вузлових потенціалів. Результати розрахунку кола порівняти складанням балансу потужностей. Представити потенціальну діаграму для контуру, що проходять через обидві ЕРС. 	<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="padding: 2px;">$E_1, \text{В}$</td> <td style="text-align: right; padding: 2px;">20</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">$E_2, \text{В}$</td> <td style="text-align: right; padding: 2px;">50</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">$J_1, \text{А}$</td> <td style="text-align: right; padding: 2px;">10</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">$R_1, \text{Ом}$</td> <td style="text-align: right; padding: 2px;">50</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">$R_2, \text{Ом}$</td> <td style="text-align: right; padding: 2px;">40</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">$R_3, \text{Ом}$</td> <td style="text-align: right; padding: 2px;">10</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">$R_4, \text{Ом}$</td> <td style="text-align: right; padding: 2px;">35</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">$R_5, \text{Ом}$</td> <td style="text-align: right; padding: 2px;">20</td> </tr> </table>	$E_1, \text{В}$	20	$E_2, \text{В}$	50	$J_1, \text{А}$	10	$R_1, \text{Ом}$	50	$R_2, \text{Ом}$	40	$R_3, \text{Ом}$	10	$R_4, \text{Ом}$	35	$R_5, \text{Ом}$	20
$E_1, \text{В}$	20																
$E_2, \text{В}$	50																
$J_1, \text{А}$	10																
$R_1, \text{Ом}$	50																
$R_2, \text{Ом}$	40																
$R_3, \text{Ом}$	10																
$R_4, \text{Ом}$	35																
$R_5, \text{Ом}$	20																
 <p style="text-align: center;">Рисунок 17</p>																	
<p style="text-align: center;">Варіант №18</p> <p>Завдання:</p> <ol style="list-style-type: none"> Розрахувати сили струмів віток складного кола методом вузлових потенціалів. Результати розрахунку кола порівняти складанням балансу потужностей. Представити потенціальну діаграму для контуру, що проходять через обидві ЕРС. 	<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="padding: 2px;">$E_1, \text{В}$</td> <td style="text-align: right; padding: 2px;">100</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">$E_2, \text{В}$</td> <td style="text-align: right; padding: 2px;">60</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">$J_1, \text{А}$</td> <td style="text-align: right; padding: 2px;">20</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">$R_1, \text{Ом}$</td> <td style="text-align: right; padding: 2px;">60</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">$R_2, \text{Ом}$</td> <td style="text-align: right; padding: 2px;">40</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">$R_3, \text{Ом}$</td> <td style="text-align: right; padding: 2px;">60</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">$R_4, \text{Ом}$</td> <td style="text-align: right; padding: 2px;">35</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">$R_5, \text{Ом}$</td> <td style="text-align: right; padding: 2px;">40</td> </tr> </table>	$E_1, \text{В}$	100	$E_2, \text{В}$	60	$J_1, \text{А}$	20	$R_1, \text{Ом}$	60	$R_2, \text{Ом}$	40	$R_3, \text{Ом}$	60	$R_4, \text{Ом}$	35	$R_5, \text{Ом}$	40
$E_1, \text{В}$	100																
$E_2, \text{В}$	60																
$J_1, \text{А}$	20																
$R_1, \text{Ом}$	60																
$R_2, \text{Ом}$	40																
$R_3, \text{Ом}$	60																
$R_4, \text{Ом}$	35																
$R_5, \text{Ом}$	40																
 <p style="text-align: center;">Рисунок 18</p>																	

<p style="text-align: center;">Варіант №19</p> <p>Завдання:</p> <ol style="list-style-type: none"> Розрахувати сили струмів віток складного кола методом вузлових потенціалів. Результати розрахунку кола порівняти складанням балансу потужностей. Представити потенціальну діаграму для контуру, що проходять через обидві ЕРС. 	<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="padding: 2px;">$E_1, \text{В}$</td> <td style="padding: 2px; text-align: right;">100</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">$E_2, \text{В}$</td> <td style="padding: 2px; text-align: right;">40</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">$J_1, \text{А}$</td> <td style="padding: 2px; text-align: right;">10</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">$R_1, \text{Ом}$</td> <td style="padding: 2px; text-align: right;">60</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">$R_2, \text{Ом}$</td> <td style="padding: 2px; text-align: right;">10</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">$R_3, \text{Ом}$</td> <td style="padding: 2px; text-align: right;">60</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">$R_4, \text{Ом}$</td> <td style="padding: 2px; text-align: right;">35</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">$R_5, \text{Ом}$</td> <td style="padding: 2px; text-align: right;">40</td> </tr> </table>	$E_1, \text{В}$	100	$E_2, \text{В}$	40	$J_1, \text{А}$	10	$R_1, \text{Ом}$	60	$R_2, \text{Ом}$	10	$R_3, \text{Ом}$	60	$R_4, \text{Ом}$	35	$R_5, \text{Ом}$	40
$E_1, \text{В}$	100																
$E_2, \text{В}$	40																
$J_1, \text{А}$	10																
$R_1, \text{Ом}$	60																
$R_2, \text{Ом}$	10																
$R_3, \text{Ом}$	60																
$R_4, \text{Ом}$	35																
$R_5, \text{Ом}$	40																
 <p style="text-align: center;">Рисунок 19</p>																	
<p style="text-align: center;">Варіант №20</p> <p>Завдання:</p> <ol style="list-style-type: none"> Розрахувати сили струмів віток складного кола методом вузлових потенціалів. Результати розрахунку кола порівняти складанням балансу потужностей. Представити потенціальну діаграму для контуру, що проходять через обидві ЕРС. 	<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="padding: 2px;">$E_1, \text{В}$</td> <td style="padding: 2px; text-align: right;">200</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">$E_2, \text{В}$</td> <td style="padding: 2px; text-align: right;">50</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">$J_1, \text{А}$</td> <td style="padding: 2px; text-align: right;">20</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">$R_1, \text{Ом}$</td> <td style="padding: 2px; text-align: right;">10</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">$R_2, \text{Ом}$</td> <td style="padding: 2px; text-align: right;">20</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">$R_3, \text{Ом}$</td> <td style="padding: 2px; text-align: right;">30</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">$R_4, \text{Ом}$</td> <td style="padding: 2px; text-align: right;">40</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">$R_5, \text{Ом}$</td> <td style="padding: 2px; text-align: right;">50</td> </tr> </table>	$E_1, \text{В}$	200	$E_2, \text{В}$	50	$J_1, \text{А}$	20	$R_1, \text{Ом}$	10	$R_2, \text{Ом}$	20	$R_3, \text{Ом}$	30	$R_4, \text{Ом}$	40	$R_5, \text{Ом}$	50
$E_1, \text{В}$	200																
$E_2, \text{В}$	50																
$J_1, \text{А}$	20																
$R_1, \text{Ом}$	10																
$R_2, \text{Ом}$	20																
$R_3, \text{Ом}$	30																
$R_4, \text{Ом}$	40																
$R_5, \text{Ом}$	50																
 <p style="text-align: center;">Рисунок 20</p>																	

Варіант №21

Завдання:

1. Розрахувати сили струмів віток складного кола методом вузлових потенціалів.
2. Результати розрахунку кола порівняти складанням балансу потужностей.
3. Представити потенціальну діаграму для контуру, що проходять через обидві ЕРС.

$E_1, \text{В}$	100
$E_2, \text{В}$	200
$J_1, \text{А}$	20
$R_1, \text{Ом}$	40
$R_2, \text{Ом}$	50
$R_3, \text{Ом}$	70
$R_4, \text{Ом}$	35
$R_5, \text{Ом}$	20

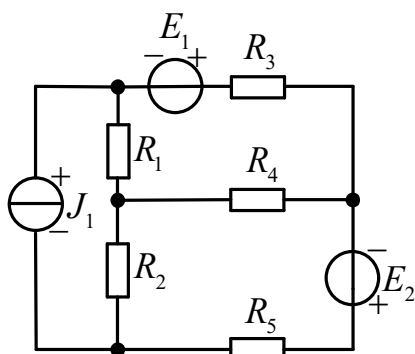


Рисунок 21

Варіант №22

Завдання:

1. Розрахувати сили струмів віток складного кола методом вузлових потенціалів.
2. Результати розрахунку кола порівняти складанням балансу потужностей.
3. Представити потенціальну діаграму для контуру, що проходять через обидві ЕРС.

$E_1, \text{В}$	100
$E_2, \text{В}$	40
$J_1, \text{А}$	10
$R_1, \text{Ом}$	40
$R_2, \text{Ом}$	20
$R_3, \text{Ом}$	80
$R_4, \text{Ом}$	35
$R_5, \text{Ом}$	20

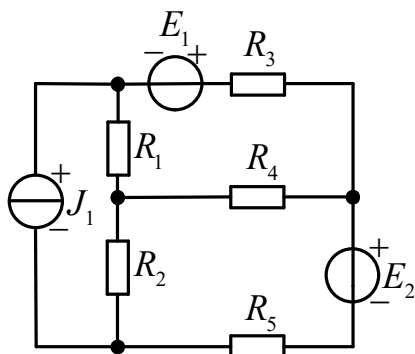


Рисунок 22

Варіант №23

Завдання:

1. Розрахувати сили струмів віток складного кола методом вузлових потенціалів.
2. Результати розрахунку кола порівняти складанням балансу потужностей.
3. Представити потенціальну діаграму для контуру, що проходять через обидві ЕРС.

$E_1, \text{В}$	120
$E_2, \text{В}$	300
$J_1, \text{А}$	30
$R_1, \text{Ом}$	50
$R_2, \text{Ом}$	50
$R_3, \text{Ом}$	80
$R_4, \text{Ом}$	60
$R_5, \text{Ом}$	10

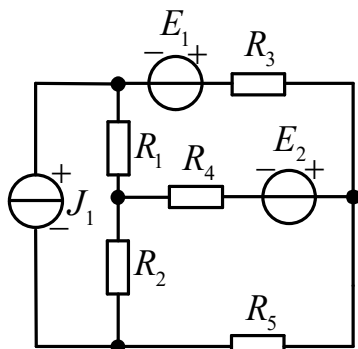


Рисунок 23

Варіант №24

Завдання:

1. Розрахувати сили струмів віток складного кола методом вузлових потенціалів.
2. Результати розрахунку кола порівняти складанням балансу потужностей.
3. Представити потенціальну діаграму для контуру, що проходять через обидві ЕРС.

$E_1, \text{В}$	50
$E_2, \text{В}$	200
$J_1, \text{А}$	5
$R_1, \text{Ом}$	80
$R_2, \text{Ом}$	50
$R_3, \text{Ом}$	10
$R_4, \text{Ом}$	35
$R_5, \text{Ом}$	20

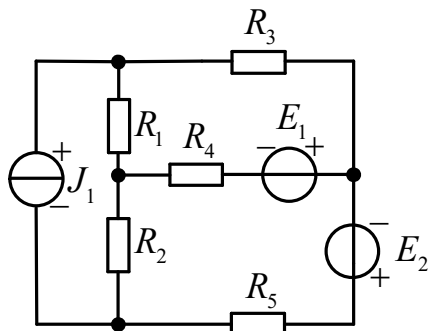
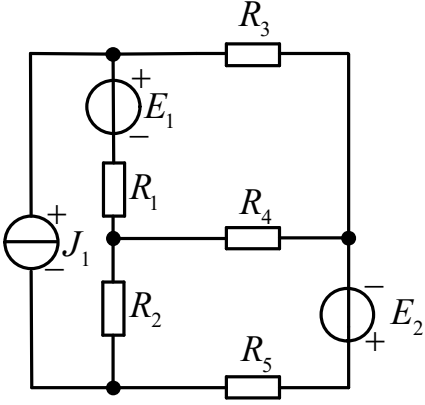
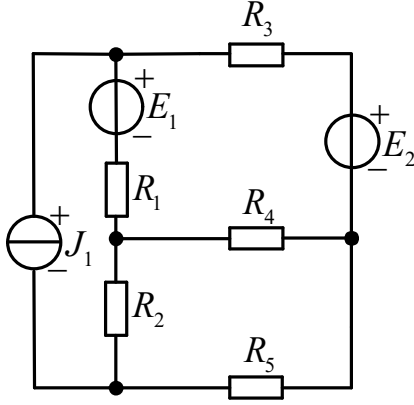
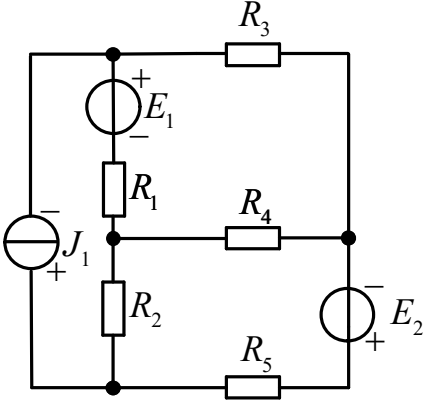
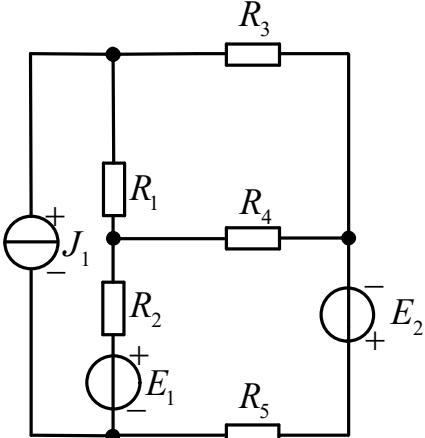
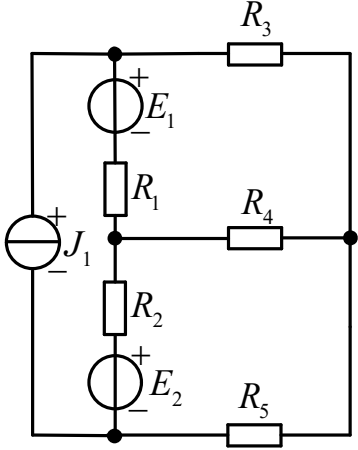
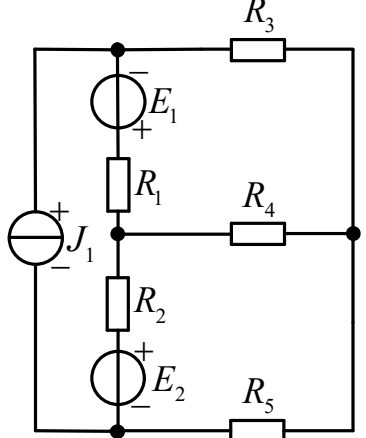


Рисунок 24

<p style="text-align: center;">Варіант №25</p> <p>Завдання:</p> <ol style="list-style-type: none"> Розрахувати сили струмів віток складного кола методом вузлових потенціалів. Результати розрахунку кола порівняти складанням балансу потужностей. Представити потенціальну діаграму для контуру, що проходять через обидві ЕРС. 	<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="padding: 2px;">$E_1, \text{В}$</td> <td style="text-align: right; padding: 2px;">100</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">$E_2, \text{В}$</td> <td style="text-align: right; padding: 2px;">20</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">$J_1, \text{А}$</td> <td style="text-align: right; padding: 2px;">10</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">$R_1, \text{Ом}$</td> <td style="text-align: right; padding: 2px;">40</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">$R_2, \text{Ом}$</td> <td style="text-align: right; padding: 2px;">50</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">$R_3, \text{Ом}$</td> <td style="text-align: right; padding: 2px;">25</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">$R_4, \text{Ом}$</td> <td style="text-align: right; padding: 2px;">10</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">$R_5, \text{Ом}$</td> <td style="text-align: right; padding: 2px;">20</td> </tr> </table>	$E_1, \text{В}$	100	$E_2, \text{В}$	20	$J_1, \text{А}$	10	$R_1, \text{Ом}$	40	$R_2, \text{Ом}$	50	$R_3, \text{Ом}$	25	$R_4, \text{Ом}$	10	$R_5, \text{Ом}$	20
$E_1, \text{В}$	100																
$E_2, \text{В}$	20																
$J_1, \text{А}$	10																
$R_1, \text{Ом}$	40																
$R_2, \text{Ом}$	50																
$R_3, \text{Ом}$	25																
$R_4, \text{Ом}$	10																
$R_5, \text{Ом}$	20																
<div style="text-align: center;">  <p>Рисунок 25</p> </div>																	
<p style="text-align: center;">Варіант №26</p> <p>Завдання:</p> <ol style="list-style-type: none"> Розрахувати сили струмів віток складного кола методом вузлових потенціалів. Результати розрахунку кола порівняти складанням балансу потужностей. Представити потенціальну діаграму для контуру, що проходять через обидві ЕРС. 	<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="padding: 2px;">$E_1, \text{В}$</td> <td style="text-align: right; padding: 2px;">50</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">$E_2, \text{В}$</td> <td style="text-align: right; padding: 2px;">200</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">$J_1, \text{А}$</td> <td style="text-align: right; padding: 2px;">8</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">$R_1, \text{Ом}$</td> <td style="text-align: right; padding: 2px;">100</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">$R_2, \text{Ом}$</td> <td style="text-align: right; padding: 2px;">20</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">$R_3, \text{Ом}$</td> <td style="text-align: right; padding: 2px;">25</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">$R_4, \text{Ом}$</td> <td style="text-align: right; padding: 2px;">10</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">$R_5, \text{Ом}$</td> <td style="text-align: right; padding: 2px;">20</td> </tr> </table>	$E_1, \text{В}$	50	$E_2, \text{В}$	200	$J_1, \text{А}$	8	$R_1, \text{Ом}$	100	$R_2, \text{Ом}$	20	$R_3, \text{Ом}$	25	$R_4, \text{Ом}$	10	$R_5, \text{Ом}$	20
$E_1, \text{В}$	50																
$E_2, \text{В}$	200																
$J_1, \text{А}$	8																
$R_1, \text{Ом}$	100																
$R_2, \text{Ом}$	20																
$R_3, \text{Ом}$	25																
$R_4, \text{Ом}$	10																
$R_5, \text{Ом}$	20																
<div style="text-align: center;">  <p>Рисунок 26</p> </div>																	

<p style="text-align: center;">Варіант №27</p> <p>Завдання:</p> <ol style="list-style-type: none"> Розрахувати сили струмів віток складного кола методом вузлових потенціалів. Результати розрахунку кола порівняти складанням балансу потужностей. Представити потенціальну діаграму для контуру, що проходять через обидві ЕРС. 	<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="padding: 2px;">$E_1, \text{В}$</td> <td style="padding: 2px; text-align: right;">100</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">$E_2, \text{В}$</td> <td style="padding: 2px; text-align: right;">80</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">$J_1, \text{А}$</td> <td style="padding: 2px; text-align: right;">10</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">$R_1, \text{Ом}$</td> <td style="padding: 2px; text-align: right;">30</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">$R_2, \text{Ом}$</td> <td style="padding: 2px; text-align: right;">50</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">$R_3, \text{Ом}$</td> <td style="padding: 2px; text-align: right;">55</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">$R_4, \text{Ом}$</td> <td style="padding: 2px; text-align: right;">100</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">$R_5, \text{Ом}$</td> <td style="padding: 2px; text-align: right;">40</td> </tr> </table>	$E_1, \text{В}$	100	$E_2, \text{В}$	80	$J_1, \text{А}$	10	$R_1, \text{Ом}$	30	$R_2, \text{Ом}$	50	$R_3, \text{Ом}$	55	$R_4, \text{Ом}$	100	$R_5, \text{Ом}$	40
$E_1, \text{В}$	100																
$E_2, \text{В}$	80																
$J_1, \text{А}$	10																
$R_1, \text{Ом}$	30																
$R_2, \text{Ом}$	50																
$R_3, \text{Ом}$	55																
$R_4, \text{Ом}$	100																
$R_5, \text{Ом}$	40																
<div style="text-align: center;">  <p>Рисунок 27</p> </div>																	
<p style="text-align: center;">Варіант №28</p> <p>Завдання:</p> <ol style="list-style-type: none"> Розрахувати сили струмів віток складного кола методом вузлових потенціалів. Результати розрахунку кола порівняти складанням балансу потужностей. Представити потенціальну діаграму для контуру, що проходять через обидві ЕРС. 	<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="padding: 2px;">$E_1, \text{В}$</td> <td style="padding: 2px; text-align: right;">100</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">$E_2, \text{В}$</td> <td style="padding: 2px; text-align: right;">125</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">$J_1, \text{А}$</td> <td style="padding: 2px; text-align: right;">12</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">$R_1, \text{Ом}$</td> <td style="padding: 2px; text-align: right;">45</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">$R_2, \text{Ом}$</td> <td style="padding: 2px; text-align: right;">55</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">$R_3, \text{Ом}$</td> <td style="padding: 2px; text-align: right;">25</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">$R_4, \text{Ом}$</td> <td style="padding: 2px; text-align: right;">10</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">$R_5, \text{Ом}$</td> <td style="padding: 2px; text-align: right;">20</td> </tr> </table>	$E_1, \text{В}$	100	$E_2, \text{В}$	125	$J_1, \text{А}$	12	$R_1, \text{Ом}$	45	$R_2, \text{Ом}$	55	$R_3, \text{Ом}$	25	$R_4, \text{Ом}$	10	$R_5, \text{Ом}$	20
$E_1, \text{В}$	100																
$E_2, \text{В}$	125																
$J_1, \text{А}$	12																
$R_1, \text{Ом}$	45																
$R_2, \text{Ом}$	55																
$R_3, \text{Ом}$	25																
$R_4, \text{Ом}$	10																
$R_5, \text{Ом}$	20																
<div style="text-align: center;">  <p>Рисунок 28</p> </div>																	

<p style="text-align: center;">Варіант №29</p> <p>Завдання:</p> <ol style="list-style-type: none"> Розрахувати сили струмів віток складного кола методом вузлових потенціалів. Результати розрахунку кола порівняти складанням балансу потужностей. Представити потенціальну діаграму для контуру, що проходять через обидві ЕРС. 	<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="padding: 2px;">$E_1, \text{В}$</td> <td style="text-align: right; padding: 2px;">100</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">$E_2, \text{В}$</td> <td style="text-align: right; padding: 2px;">100</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">$J_1, \text{А}$</td> <td style="text-align: right; padding: 2px;">10</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">$R_1, \text{Ом}$</td> <td style="text-align: right; padding: 2px;">40</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">$R_2, \text{Ом}$</td> <td style="text-align: right; padding: 2px;">50</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">$R_3, \text{Ом}$</td> <td style="text-align: right; padding: 2px;">60</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">$R_4, \text{Ом}$</td> <td style="text-align: right; padding: 2px;">10</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">$R_5, \text{Ом}$</td> <td style="text-align: right; padding: 2px;">200</td> </tr> </table>	$E_1, \text{В}$	100	$E_2, \text{В}$	100	$J_1, \text{А}$	10	$R_1, \text{Ом}$	40	$R_2, \text{Ом}$	50	$R_3, \text{Ом}$	60	$R_4, \text{Ом}$	10	$R_5, \text{Ом}$	200
$E_1, \text{В}$	100																
$E_2, \text{В}$	100																
$J_1, \text{А}$	10																
$R_1, \text{Ом}$	40																
$R_2, \text{Ом}$	50																
$R_3, \text{Ом}$	60																
$R_4, \text{Ом}$	10																
$R_5, \text{Ом}$	200																
<div style="text-align: center;">  <p>Рисунок 29</p> </div>																	
<p style="text-align: center;">Варіант №30</p> <p>Завдання:</p> <ol style="list-style-type: none"> Розрахувати сили струмів віток складного кола методом вузлових потенціалів. Результати розрахунку кола порівняти складанням балансу потужностей. Представити потенціальну діаграму для контуру, що проходять через обидві ЕРС. 	<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="padding: 2px;">$E_1, \text{В}$</td> <td style="text-align: right; padding: 2px;">100</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">$E_2, \text{В}$</td> <td style="text-align: right; padding: 2px;">140</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">$J_1, \text{А}$</td> <td style="text-align: right; padding: 2px;">30</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">$R_1, \text{Ом}$</td> <td style="text-align: right; padding: 2px;">10</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">$R_2, \text{Ом}$</td> <td style="text-align: right; padding: 2px;">50</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">$R_3, \text{Ом}$</td> <td style="text-align: right; padding: 2px;">20</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">$R_4, \text{Ом}$</td> <td style="text-align: right; padding: 2px;">80</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">$R_5, \text{Ом}$</td> <td style="text-align: right; padding: 2px;">50</td> </tr> </table>	$E_1, \text{В}$	100	$E_2, \text{В}$	140	$J_1, \text{А}$	30	$R_1, \text{Ом}$	10	$R_2, \text{Ом}$	50	$R_3, \text{Ом}$	20	$R_4, \text{Ом}$	80	$R_5, \text{Ом}$	50
$E_1, \text{В}$	100																
$E_2, \text{В}$	140																
$J_1, \text{А}$	30																
$R_1, \text{Ом}$	10																
$R_2, \text{Ом}$	50																
$R_3, \text{Ом}$	20																
$R_4, \text{Ом}$	80																
$R_5, \text{Ом}$	50																
<div style="text-align: center;">  <p>Рисунок 30</p> </div>																	

Бібліографічний список використаної літератури

3.1 Курило І.А. Розрахунок електричних кіл постійного струму: для студентів електротехнічних напрямів підготовки 0906 «Електротехніка», 0914 «Електроніка», 0914 «Комп'ютеризовані системи, автоматика і управління», 0915 «Комп'ютерна інженерія» / І. А. Курило, І. Н. Намацалюк, А. А. Щерба. - К.: НТУУ «КПІ», 2006.- 51 с.

Практичне заняття №4 Метод накладання дії джерел енергії

*Послідовність розрахунку електричного кола методом накладання.
Видалення джерел енергії (джерела ЕРС, джерела струму) зі схеми.
Розрахункові схеми часткових режимів кола. Визначення результируючих сил струмів віток кола*

Послідовність розрахунку електричного кола накладання дії джерел енергії [4.1 - 4.2]:

1. Складне коло розкладаємо за кількістю джерел на n простих кіл, в яких діє тільки одне джерело.
2. У кожному з простих кіл розраховуємо часткові струми, викликані дією єдиного джерела, в усіх вітках.
3. Результируюча сила струму у кожній вітці дорівнює алгебраїчній сумі часткових струмів, створених у цій вітці кожним джерелом окремо.

Задача №4.1

Розрахувати сили струмів віток складного електричного кола (рис. 4.1.1) методом накладання. Результати розрахунку кола перевірити за балансом потужностей, якщо $E_1=80$ (В), $E_2=100$ (В), $J_1=5$ (А), $R_1=65$ (Ом), $R_2=75$ (Ом), $R_3=90$ (Ом), $R_4=45$ (Ом) та $R_5=10$ (Ом).
Джерела енергії є ідеальними.

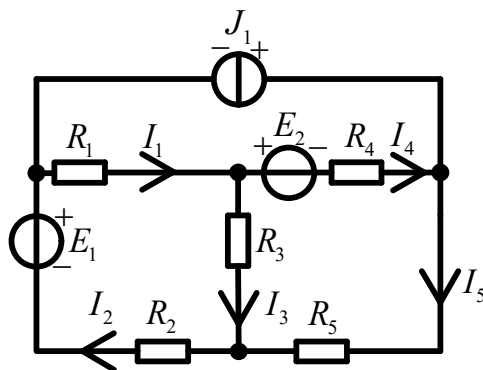


Рисунок 4.1.1 – Електрична схема

Розв'язання

1. Розглянемо *просте електричне коло*, в якому діє тільки *одне джерело* напруги E_1 та визначимо часткові струми. Схема з умови задачі перетвориться на схему, що представлена на рис. 4.4.2.

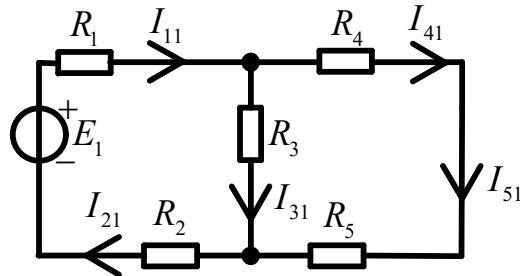


Рисунок 4.1.2 - Електрична схема

Струми колі (рис. 4.1.2.) позначаються двома індексами: перший індекс вказує на номер вітки з відповідним опором, другий індекс – на номер джерела.

Розрахуємо еквівалентний опір R_{e1} електричного кола (рис. 4.1.2)

$$R_{e1} = R_1 + R_2 + \frac{R_3 \cdot (R_4 + R_5)}{R_3 + (R_4 + R_5)} = 65 + 75 + \frac{90 \cdot (45 + 10)}{90 + (45 + 10)} = 174.138(\text{Ом}). \quad (4.1.1)$$

Часткові струми визначаємо за наступними формулами:

$$\begin{aligned} I_{11} &= \frac{E_1}{R_{e1}} = \frac{80}{174.138} = 0.459(\text{А}); \\ I_{21} &= I_{11} = 0.459(\text{А}); \\ I_{31} &= I_{11} \cdot \frac{(R_4 + R_5)}{R_3 + R_4 + R_5} = 0.459 \cdot \frac{(45 + 10)}{90 + 45 + 10} = 0.174(\text{А}); \\ I_{41} &= I_{51} = I_{11} - I_{31} = 0.459 - 0.174 = 0.285(\text{А}). \end{aligned} \quad (4.1.2)$$

2. Розглянемо *просте електричне коло*, якому діє тільки *одне джерело* напруги E_2 та визначимо часткові струми. Коло на рис. 4.1.1 перетвориться на схему, яка наведена на рис. 4.1.3.

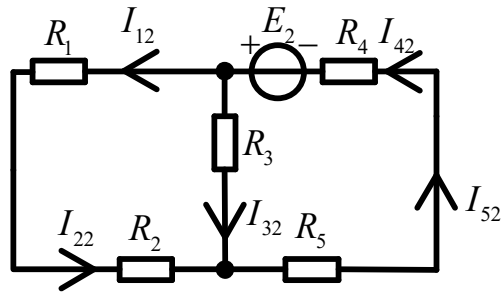


Рисунок 4.1.3 – Електрична схема

Розрахуємо еквівалентний опір R_{e2} схеми, що зображена на рис. 4.1.3

$$R_{e2} = R_4 + R_5 + \frac{R_3 \cdot (R_1 + R_2)}{R_3 + (R_1 + R_2)} = 45 + 10 + \frac{90 \cdot (65 + 75)}{90 + (65 + 75)} = 109.783(\text{Ом}). \quad (4.1.3)$$

Часткові струми визначають за виразами:

$$I_{42} = I_{52} = \frac{E_2}{R_{e2}} = \frac{100}{109.783} = 0.911(\text{А});$$

$$I_{32} = I_{42} \cdot \frac{(R_1 + R_2)}{R_1 + R_2 + R_3} = 0.911 \cdot \frac{(65 + 75)}{65 + 75 + 90} = 0.554(\text{А}); \quad (4.1.4)$$

$$I_{12} = I_{22} = I_{42} - I_{32} = 0.911 - 0.554 = 0.356(\text{А}).$$

3. Розглянемо просте електричне коло, якому діє тільки *одне джерело* струму J та визначимо часткові струми. Початкова схема з рис. 4.1.1 перетвориться на електричну схему, що представлена на рис. 4.1.4.

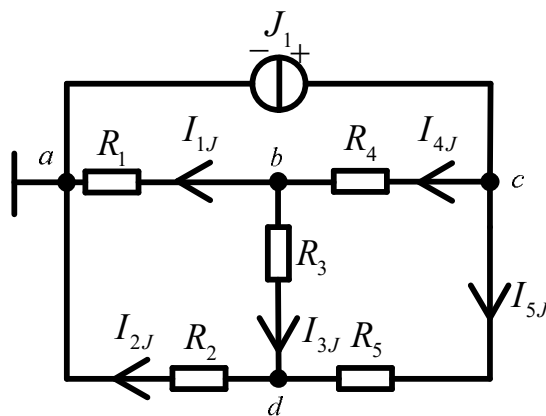


Рисунок 4.1.4 – Електрична схема з J_1

Прийmemo потенціал вузла a за опорний $\varphi_a = 0$. Для вузлів що залишилися складемо систему рівнянь

$$\begin{cases} G_{bb} \cdot \varphi_b - G_{bc} \cdot \varphi_c - G_{bd} \cdot \varphi_d = J_b; \\ -G_{cb} \cdot \varphi_b + G_{cc} \cdot \varphi_c - G_{cd} \cdot \varphi_d = J_c; \\ -G_{db} \cdot \varphi_b - G_{dc} \cdot \varphi_c + G_{dd} \cdot \varphi_d = J_d. \end{cases} \quad (4.1.5)$$

Знайдемо власні вузлові провідності:

$$\begin{aligned} G_{bb} &= \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4} = \frac{1}{65} + \frac{1}{90} + \frac{1}{45} = 0.049(\text{См}); \\ G_{cc} &= \frac{1}{R_4} + \frac{1}{R_5} = \frac{1}{45} + \frac{1}{10} = 0.122(\text{См}); \\ G_{dd} &= \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_5} = \frac{1}{75} + \frac{1}{90} + \frac{1}{10} = 0.124(\text{См}). \end{aligned} \quad (4.1.6)$$

Розраховуємо взаємні вузлові провідності:

$$\begin{aligned} G_{bc} &= G_{cb} = \frac{1}{R_4} = \frac{1}{45} = 0.022(\text{См}); \\ G_{bd} &= G_{db} = \frac{1}{R_3} = \frac{1}{90} = 0.011(\text{См}); \\ G_{cd} &= G_{dc} = \frac{1}{R_5} = \frac{1}{10} = 0.1(\text{См}). \end{aligned} \quad (4.1.7)$$

Вузлові струми дорівнюють алгебраїчній сумі струмів джерел, що сходяться у вибраному вузлі

$$\begin{aligned} J_b &= 0; \\ J_c &= J_1 = 5(\text{А}); \\ J_d &= 0. \end{aligned} \quad (4.1.8)$$

Підставляємо значення провідностей та вузлових струмів до системи рівнянь (4.1.5)

$$\begin{cases} 0.049 \cdot \varphi_b - 0.022 \cdot \varphi_c - 0.011 \cdot \varphi_d = 0; \\ -0.022 \cdot \varphi_b + 0.122 \cdot \varphi_c - 0.1 \cdot \varphi_d = 5; \\ -0.011 \cdot \varphi_b - 0.1 \cdot \varphi_c + 0.124 \cdot \varphi_d = 0. \end{cases} \quad (4.1.9)$$

Знайдемо значення потенціалів електричної схеми за допомогою визначників (метод Крамера):

$$\begin{aligned} \Delta &= \begin{vmatrix} \boxed{0.049} & -0.022 & -0.011 \\ -0.022 & 0.122 & -0.1 \\ -0.011 & -0.1 & 0.124 \end{vmatrix} = \boxed{0.049} \cdot (0.122 \cdot 0.124 - (-0.1) \cdot (-0.1)) - \dots \\ &\dots - \boxed{-0.022} \cdot ((-0.022) \cdot 0.124 - (-0.011) \cdot (-0.1)) + \dots \\ &+ \boxed{-0.011} \cdot ((-0.022) \cdot (-0.1) - (-0.011) \cdot 0.122) = 1.279 \cdot 10^{-4}; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta_{\varphi_b} &= \begin{vmatrix} \boxed{0} & -0.022 & -0.011 \\ 5 & 0.122 & -0.1 \\ 0 & -0.1 & 0.124 \end{vmatrix} = \boxed{0} \cdot (0.122 \cdot 0.124 - (-0.1) \cdot (-0.1)) - \dots \\ &\dots - \boxed{-0.022} \cdot (5 \cdot 0.124 - 0 \cdot (-0.1)) + \dots \\ &+ \boxed{-0.011} \cdot (5 \cdot (-0.1) - 0 \cdot 0.122) = 0.019; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta_{\varphi_c} &= \begin{vmatrix} \boxed{0.049} & 0 & -0.011 \\ -0.022 & 5 & -0.1 \\ -0.011 & 0 & 0.124 \end{vmatrix} = \boxed{0.049} \cdot (5 \cdot 0.124 - 0 \cdot (-0.1)) - \dots \\ &\dots - \boxed{0} \cdot ((-0.022) \cdot 0.124 - (-0.011) \cdot (-0.1)) + \dots \\ &\dots \boxed{-0.011} \cdot ((-0.022) \cdot 0 - (-0.011) \cdot 5) = 0.03; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta_{\varphi_d} &= \begin{vmatrix} \boxed{0.049} & -0.022 & 0 \\ -0.022 & 0.122 & 5 \\ -0.011 & -0.1 & 0 \end{vmatrix} = \boxed{0.049} \cdot (0.122 \cdot 0 - (-0.1) \cdot 5) - \dots \\ &\dots - \boxed{-0.022} \cdot ((-0.022) \cdot 0 - (-0.011) \cdot 5) + \dots \\ &\dots + \boxed{0} \cdot ((-0.022) \cdot (-0.1) - (-0.011) \cdot 0.122) = 0.026. \end{aligned}$$

Так як визначник $\Delta \neq 0$, то система (4.1.9) має єдине рішення. За формулами Крамера визначаємо потенціали вузлів електричного кола:

$$\varphi_b = \frac{\Delta_{\varphi b}}{\Delta} = \frac{0.019}{1.279 \cdot 10^{-4}} = 151.559(\text{В});$$

$$\varphi_c = \frac{\Delta_{\varphi c}}{\Delta} = \frac{0.03}{1.279 \cdot 10^{-4}} = 232.203(\text{В});$$

$$\varphi_d = \frac{\Delta_{\varphi d}}{\Delta} = \frac{0.026}{1.279 \cdot 10^{-4}} = 200.124(\text{В}).$$

Зайдемо часткові струми використовуючи закон Ома для вітки:

$$\begin{aligned} I_{1J} &= \frac{\varphi_b - \varphi_a}{R_1} = \frac{151.559 - 0}{65} = 2.332(\text{А}); \\ I_{2J} &= \frac{\varphi_d - \varphi_a}{R_2} = \frac{200.124 - 0}{75} = 2.668(\text{А}); \\ I_{3J} &= \frac{\varphi_b - \varphi_d}{R_3} = \frac{151.559 - 200.124}{90} = -0.54(\text{А}); \\ I_{4J} &= \frac{\varphi_c - \varphi_b}{R_4} = \frac{232.203 - 151.559}{45} = 1.792(\text{А}); \\ I_{5J} &= \frac{\varphi_c - \varphi_d}{R_5} = \frac{232.203 - 200.124}{10} = 3.208(\text{А}). \end{aligned} \quad (4.1.10)$$

Відповідно до напрямків часткових струмів (рис. 4.1.5) розраховуємо результуючі сили струмів віток:

$$\begin{aligned} I_1 &= I_{11} - I_{12} - I_{1J} = 0.459 - 0.356 - 2.332 = -2.229(\text{А}); \\ I_2 &= I_{21} - I_{22} + I_{2J} = 0.459 - 0.356 + 2.668 = 2.771(\text{А}); \\ I_3 &= I_{31} + I_{32} + I_{3J} = 0.174 + 0.554 + (-0.54) = 0.189(\text{А}); \\ I_4 &= I_{41} - I_{42} - I_{4J} = 0.285 - 0.911 - 1.792 = -2.418(\text{А}); \\ I_5 &= I_{51} - I_{52} + I_{5J} = 0.285 - 0.911 + 3.208 = 2.582(\text{А}). \end{aligned} \quad (4.1.11)$$

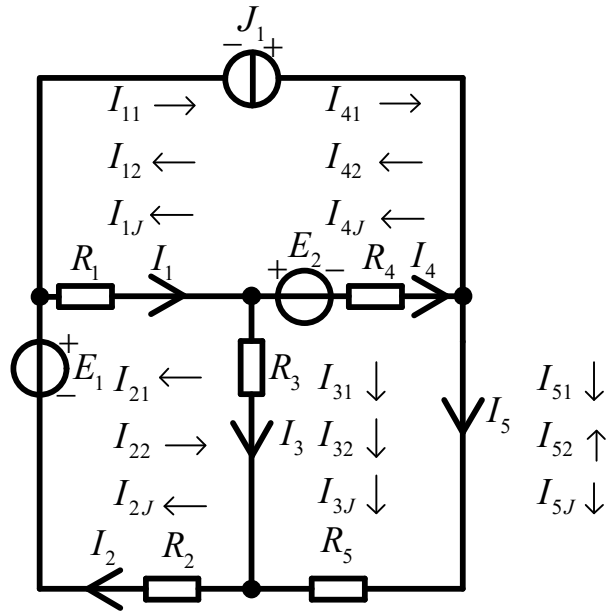


Рисунок 4.1.5 - Електрична схема

Перевіряємо знайдені струми за балансом потужності:

$$\begin{aligned}
 \Sigma P_{\text{Дж}} &= E_1 \cdot I_2 - E_2 \cdot I_4 + (-R_1 \cdot I_1 - E_2 - R_4 \cdot I_4) \cdot J_1 = \\
 &= 80 \cdot 2.771 - 100 \cdot (-2.418) + (-2.229 \cdot 65 - 100 - 2.418 \cdot 45) \cdot 5 = \\
 &= 1232 \text{ (Вт)}; \\
 \Sigma P_{\text{сш}} &= I_1^2 \cdot R_1 + I_2^2 \cdot R_2 + I_3^2 \cdot R_3 + I_4^2 \cdot R_4 + I_5^2 \cdot R_5 = \\
 &= 2.229^2 \cdot 65 + 2.771^2 \cdot 75 + 0.189^2 \cdot 90 + 2.418^2 \cdot 45 + \dots \\
 &\dots + 2.582^2 \cdot 10 = 1232 \text{ (Вт)}.
 \end{aligned}
 \tag{4.1.12}$$

Як зміниться сила струму I_1 при зміні значення ЕРС E_1 у два рази

$$I_1 = E_1 \cdot G_{11} + (-E_2 \cdot G_{12}) + (-K \cdot J).
 \tag{4.1.13}$$

Визначимо вхідну та взаємні провідності провідність віток електричного кола:

$$\begin{aligned}
 G_{11} &= \frac{I_{11}}{E_1} = \frac{0.459}{80} = 5.743 \cdot 10^{-3} \text{ (См)}; \\
 G_{12} &= \frac{I_{12}}{E_2} = \frac{0.356}{100} = 3.564 \cdot 10^{-3} \text{ (См)}.
 \end{aligned}
 \tag{4.1.14}$$

Розрахуємо взаємний коефіцієнт передачі струму між вітками електричного кола

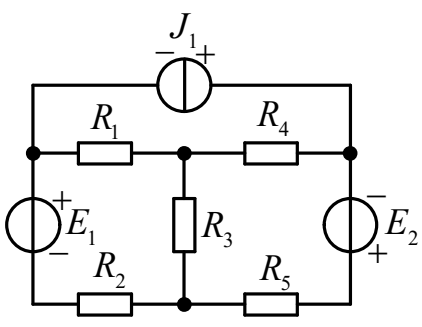
$$K = \frac{I_{1J}}{J_1} = \frac{2.332}{5} = 0.466. \quad (4.1.15)$$

Підставимо знайдені коефіцієнти до рівняння (4.1.13)

$$\begin{aligned} I_1 &= \boxed{2 \cdot E_1} \cdot G_{11} - E_2 \cdot G_{12} - K \cdot J = \\ &= 2 \cdot 80 \cdot 5.743 \cdot 10^{-3} - 100 \cdot 3.564 \cdot 10^{-3} - 0.466 \cdot 5 = -1.769(\text{A}). \end{aligned}$$

САМОСТІЙНА РОБОТА

Застосування методу накладання дії джерел енергії для розрахунку лінійного електричного кола постійного струму

Варіант №1	
Завдання:	$E_1, \text{В}$ 100 $E_2, \text{В}$ 50 $J_1, \text{А}$ 20 $R_1, \text{Ом}$ 15 $R_2, \text{Ом}$ 25 $R_3, \text{Ом}$ 40 $R_4, \text{Ом}$ 35 $R_5, \text{Ом}$ 20
1. Розрахувати сили струмів віток електричного кола методом накладання дії джерел енергії. 2. Результати розрахунку кола порівняти складанням балансу потужностей.	 <p style="text-align: center;">Рисунок 1</p>

Варіант №2

Завдання:

1. Розрахувати сили струмів віток електричного кола методом накладання дії джерел енергії.
2. Результати розрахунку кола порівняти складанням балансу потужностей.

$E_1, \text{В}$	200
$E_2, \text{В}$	300
$J_1, \text{А}$	10
$R_1, \text{Ом}$	15
$R_2, \text{Ом}$	30
$R_3, \text{Ом}$	80
$R_4, \text{Ом}$	100
$R_5, \text{Ом}$	10

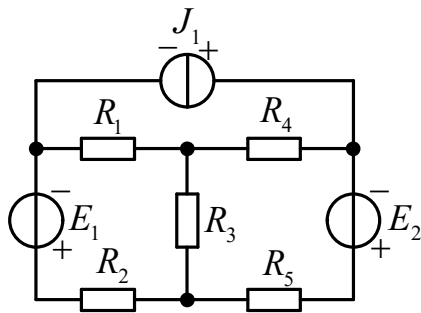


Рисунок 2

Варіант №3

Завдання:

1. Розрахувати сили струмів віток електричного кола методом накладання дії джерел енергії.
2. Результати розрахунку кола порівняти складанням балансу потужностей.

$E_1, \text{В}$	100
$E_2, \text{В}$	150
$J_1, \text{А}$	30
$R_1, \text{Ом}$	50
$R_2, \text{Ом}$	25
$R_3, \text{Ом}$	20
$R_4, \text{Ом}$	65
$R_5, \text{Ом}$	200

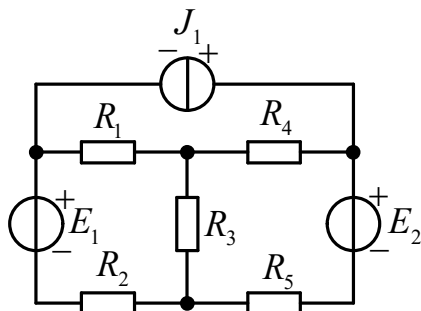


Рисунок 3

Варіант №4

Завдання:

1. Розрахувати сили струмів віток електричного кола методом накладання дії джерел енергії.
2. Результати розрахунку кола порівняти складанням балансу потужностей.

$E_1, \text{В}$	20
$E_2, \text{В}$	50
$J_1, \text{А}$	20
$R_1, \text{Ом}$	5
$R_2, \text{Ом}$	25
$R_3, \text{Ом}$	10
$R_4, \text{Ом}$	35
$R_5, \text{Ом}$	20

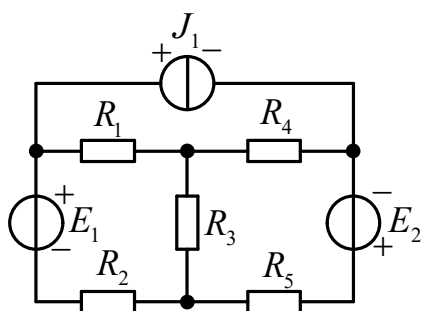


Рисунок Д.1.4

Варіант №5

Завдання:

1. Розрахувати сили струмів віток електричного кола методом накладання дії джерел енергії.
2. Результати розрахунку кола порівняти складанням балансу потужностей.

$E_1, \text{В}$	50
$E_2, \text{В}$	100
$J_1, \text{А}$	10
$R_1, \text{Ом}$	30
$R_2, \text{Ом}$	20
$R_3, \text{Ом}$	10
$R_4, \text{Ом}$	35
$R_5, \text{Ом}$	40

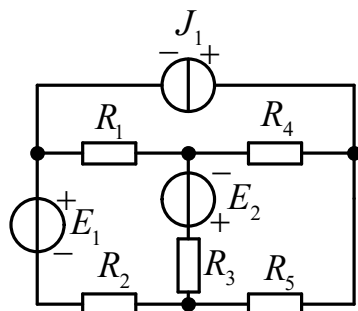
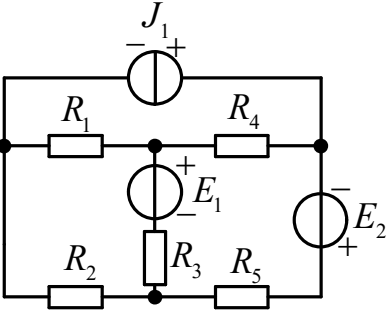
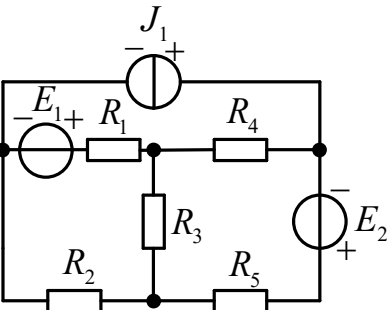


Рисунок Д.1.5

<p style="text-align: center;">Варіант №6</p> <p>Завдання: 1. Розрахувати сили струмів віток електричного кола методом накладання дії джерел енергії. 2. Результати розрахунку кола порівняти складанням балансу потужностей.</p>	<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td style="width: 60%;">$E_1, \text{В}$</td><td style="text-align: right;">200</td></tr> <tr><td>$E_2, \text{В}$</td><td style="text-align: right;">250</td></tr> <tr><td>$J_1, \text{А}$</td><td style="text-align: right;">30</td></tr> <tr><td>$R_1, \text{Ом}$</td><td style="text-align: right;">10</td></tr> <tr><td>$R_2, \text{Ом}$</td><td style="text-align: right;">25</td></tr> <tr><td>$R_3, \text{Ом}$</td><td style="text-align: right;">50</td></tr> <tr><td>$R_4, \text{Ом}$</td><td style="text-align: right;">30</td></tr> <tr><td>$R_5, \text{Ом}$</td><td style="text-align: right;">20</td></tr> </table>	$E_1, \text{В}$	200	$E_2, \text{В}$	250	$J_1, \text{А}$	30	$R_1, \text{Ом}$	10	$R_2, \text{Ом}$	25	$R_3, \text{Ом}$	50	$R_4, \text{Ом}$	30	$R_5, \text{Ом}$	20
$E_1, \text{В}$	200																
$E_2, \text{В}$	250																
$J_1, \text{А}$	30																
$R_1, \text{Ом}$	10																
$R_2, \text{Ом}$	25																
$R_3, \text{Ом}$	50																
$R_4, \text{Ом}$	30																
$R_5, \text{Ом}$	20																
 <p>Рисунок 6</p>																	
<p style="text-align: center;">Варіант №7</p> <p>Завдання: 1. Розрахувати сили струмів віток електричного кола методом накладання дії джерел енергії. 2. Результати розрахунку кола порівняти складанням балансу потужностей.</p>	<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td style="width: 60%;">$E_1, \text{В}$</td><td style="text-align: right;">100</td></tr> <tr><td>$E_2, \text{В}$</td><td style="text-align: right;">60</td></tr> <tr><td>$J_1, \text{А}$</td><td style="text-align: right;">20</td></tr> <tr><td>$R_1, \text{Ом}$</td><td style="text-align: right;">45</td></tr> <tr><td>$R_2, \text{Ом}$</td><td style="text-align: right;">25</td></tr> <tr><td>$R_3, \text{Ом}$</td><td style="text-align: right;">60</td></tr> <tr><td>$R_4, \text{Ом}$</td><td style="text-align: right;">35</td></tr> <tr><td>$R_5, \text{Ом}$</td><td style="text-align: right;">20</td></tr> </table>	$E_1, \text{В}$	100	$E_2, \text{В}$	60	$J_1, \text{А}$	20	$R_1, \text{Ом}$	45	$R_2, \text{Ом}$	25	$R_3, \text{Ом}$	60	$R_4, \text{Ом}$	35	$R_5, \text{Ом}$	20
$E_1, \text{В}$	100																
$E_2, \text{В}$	60																
$J_1, \text{А}$	20																
$R_1, \text{Ом}$	45																
$R_2, \text{Ом}$	25																
$R_3, \text{Ом}$	60																
$R_4, \text{Ом}$	35																
$R_5, \text{Ом}$	20																
 <p>Рисунок 7</p>																	

Варіант №8

Завдання:

1. Розрахувати сили струмів віток електричного кола методом накладання дії джерел енергії.
2. Результати розрахунку кола порівняти складанням балансу потужностей.

E_1 , В	80
E_2 , В	100
J_1 , А	5
R_1 , Ом	65
R_2 , Ом	75
R_3 , Ом	90
R_4 , Ом	45
R_5 , Ом	10

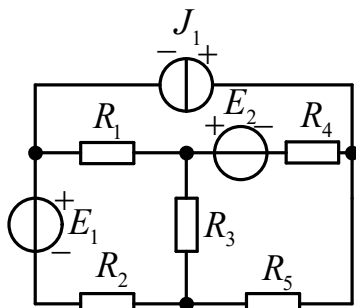


Рисунок 8

Варіант №9

Завдання:

1. Розрахувати сили струмів віток електричного кола методом накладання дії джерел енергії.
2. Результати розрахунку кола порівняти складанням балансу потужностей.

E_1 , В	100
E_2 , В	75
J_1 , А	20
R_1 , Ом	50
R_2 , Ом	25
R_3 , Ом	40
R_4 , Ом	35
R_5 , Ом	20

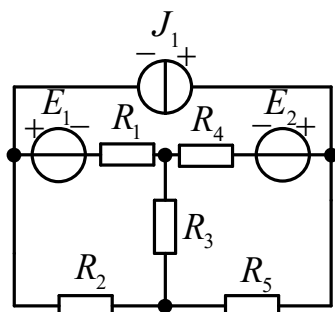


Рисунок 9

Варіант №10

Завдання:

1. Розрахувати сили струмів віток електричного кола методом накладання дії джерел енергії.
2. Результати розрахунку кола порівняти складанням балансу потужностей.

E_1 , В	200
E_2 , В	300
J_1 , А	30
R_1 , Ом	80
R_2 , Ом	100
R_3 , Ом	40
R_4 , Ом	25
R_5 , Ом	20

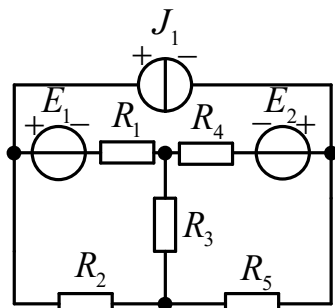


Рисунок 10

Варіант №11

Завдання:

1. Розрахувати сили струмів віток електричного кола методом накладання дії джерел енергії.
2. Результати розрахунку кола порівняти складанням балансу потужностей.

E_1 , В	100
E_2 , В	50
J_1 , А	20
R_1 , Ом	15
R_2 , Ом	25
R_3 , Ом	40
R_4 , Ом	35
R_5 , Ом	20

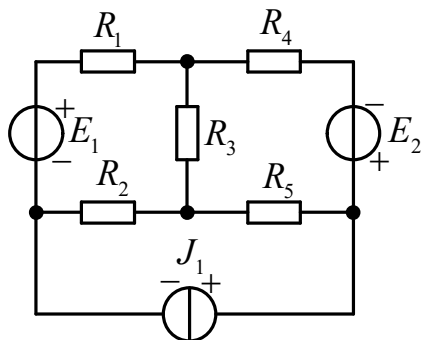


Рисунок 11

Варіант №12

Завдання:

1. Розрахувати сили струмів віток електричного кола методом накладання дії джерел енергії.
2. Результати розрахунку кола порівняти складанням балансу потужностей.

E_1 , В	40
E_2 , В	50
J_1 , А	10
R_1 , Ом	30
R_2 , Ом	40
R_3 , Ом	50
R_4 , Ом	35
R_5 , Ом	20

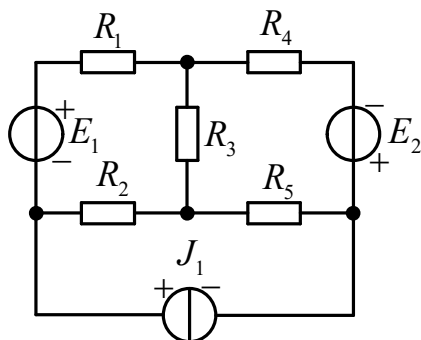


Рисунок 12

Варіант №13

Завдання:

1. Розрахувати сили струмів віток електричного кола методом накладання дії джерел енергії.
2. Результати розрахунку кола порівняти складанням балансу потужностей.

E_1 , В	150
E_2 , В	90
J_1 , А	10
R_1 , Ом	100
R_2 , Ом	25
R_3 , Ом	40
R_4 , Ом	35
R_5 , Ом	20

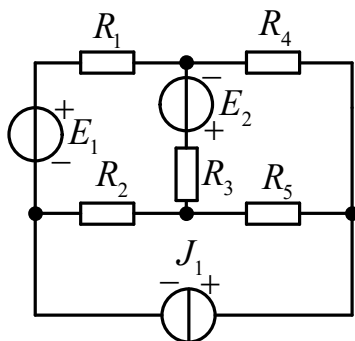


Рисунок 13

Варіант №14

Завдання:

1. Розрахувати сили струмів віток електричного кола методом накладання дії джерел енергії.
2. Результати розрахунку кола порівняти складанням балансу потужностей.

E_1 , В	150
E_2 , В	200
J_1 , А	5
R_1 , Ом	100
R_2 , Ом	25
R_3 , Ом	40
R_4 , Ом	35
R_5 , Ом	20

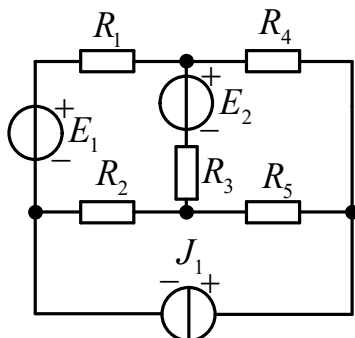


Рисунок 14

Варіант №15

Завдання:

1. Розрахувати сили струмів віток електричного кола методом накладання дії джерел енергії.
2. Результати розрахунку кола порівняти складанням балансу потужностей.

E_1 , В	150
E_2 , В	10
J_1 , А	10
R_1 , Ом	100
R_2 , Ом	25
R_3 , Ом	40
R_4 , Ом	50
R_5 , Ом	20

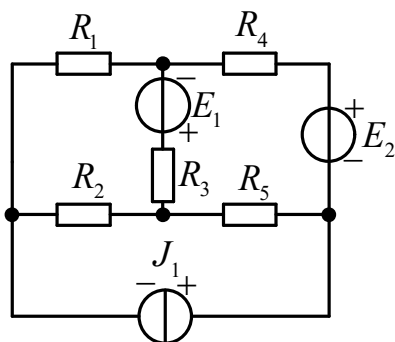
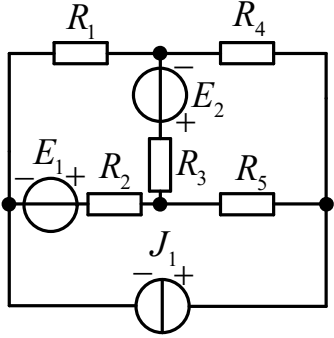
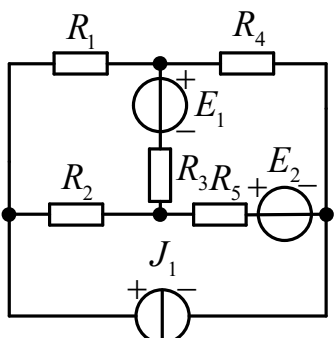
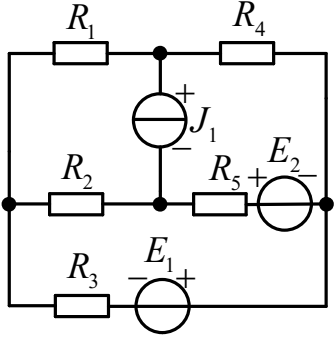
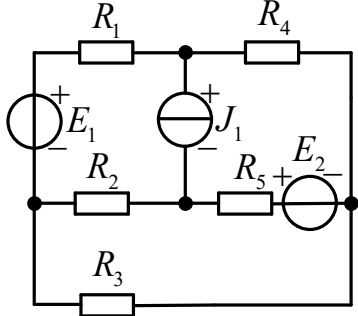


Рисунок 15

<p style="text-align: center;">Варіант №16</p> <p>Завдання:</p> <p>1. Розрахувати сили струмів віток електричного кола методом накладання дії джерел енергії.</p> <p>2. Результати розрахунку кола порівняти складанням балансу потужностей.</p>	<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="padding: 2px;">E_1, В</td> <td style="text-align: right; padding: 2px;">50</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">E_2, В</td> <td style="text-align: right; padding: 2px;">100</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">J_1, А</td> <td style="text-align: right; padding: 2px;">10</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">R_1, Ом</td> <td style="text-align: right; padding: 2px;">10</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">R_2, Ом</td> <td style="text-align: right; padding: 2px;">20</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">R_3, Ом</td> <td style="text-align: right; padding: 2px;">40</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">R_4, Ом</td> <td style="text-align: right; padding: 2px;">35</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">R_5, Ом</td> <td style="text-align: right; padding: 2px;">20</td> </tr> </table>	E_1 , В	50	E_2 , В	100	J_1 , А	10	R_1 , Ом	10	R_2 , Ом	20	R_3 , Ом	40	R_4 , Ом	35	R_5 , Ом	20
E_1 , В	50																
E_2 , В	100																
J_1 , А	10																
R_1 , Ом	10																
R_2 , Ом	20																
R_3 , Ом	40																
R_4 , Ом	35																
R_5 , Ом	20																
 <p style="text-align: center;">Рисунок 16</p>																	
<p style="text-align: center;">Варіант №17</p> <p>Завдання:</p> <p>1. Розрахувати сили струмів віток електричного кола методом накладання дії джерел енергії.</p> <p>2. Результати розрахунку кола порівняти складанням балансу потужностей.</p>	<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="padding: 2px;">E_1, В</td> <td style="text-align: right; padding: 2px;">20</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">E_2, В</td> <td style="text-align: right; padding: 2px;">50</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">J_1, А</td> <td style="text-align: right; padding: 2px;">10</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">R_1, Ом</td> <td style="text-align: right; padding: 2px;">50</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">R_2, Ом</td> <td style="text-align: right; padding: 2px;">40</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">R_3, Ом</td> <td style="text-align: right; padding: 2px;">10</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">R_4, Ом</td> <td style="text-align: right; padding: 2px;">35</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">R_5, Ом</td> <td style="text-align: right; padding: 2px;">20</td> </tr> </table>	E_1 , В	20	E_2 , В	50	J_1 , А	10	R_1 , Ом	50	R_2 , Ом	40	R_3 , Ом	10	R_4 , Ом	35	R_5 , Ом	20
E_1 , В	20																
E_2 , В	50																
J_1 , А	10																
R_1 , Ом	50																
R_2 , Ом	40																
R_3 , Ом	10																
R_4 , Ом	35																
R_5 , Ом	20																
 <p style="text-align: center;">Рисунок 17</p>																	

<p style="text-align: center;">Варіант №18</p> <p>Завдання:</p> <p>1. Розрахувати сили струмів віток електричного кола методом накладання дії джерел енергії.</p> <p>2. Результати розрахунку кола порівняти складанням балансу потужностей.</p>	<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td style="width: 60%;">$E_1, \text{В}$</td><td style="text-align: right;">100</td></tr> <tr><td>$E_2, \text{В}$</td><td style="text-align: right;">60</td></tr> <tr><td>$J_1, \text{А}$</td><td style="text-align: right;">20</td></tr> <tr><td>$R_1, \text{Ом}$</td><td style="text-align: right;">60</td></tr> <tr><td>$R_2, \text{Ом}$</td><td style="text-align: right;">40</td></tr> <tr><td>$R_3, \text{Ом}$</td><td style="text-align: right;">60</td></tr> <tr><td>$R_4, \text{Ом}$</td><td style="text-align: right;">35</td></tr> <tr><td>$R_5, \text{Ом}$</td><td style="text-align: right;">40</td></tr> </table>	$E_1, \text{В}$	100	$E_2, \text{В}$	60	$J_1, \text{А}$	20	$R_1, \text{Ом}$	60	$R_2, \text{Ом}$	40	$R_3, \text{Ом}$	60	$R_4, \text{Ом}$	35	$R_5, \text{Ом}$	40
$E_1, \text{В}$	100																
$E_2, \text{В}$	60																
$J_1, \text{А}$	20																
$R_1, \text{Ом}$	60																
$R_2, \text{Ом}$	40																
$R_3, \text{Ом}$	60																
$R_4, \text{Ом}$	35																
$R_5, \text{Ом}$	40																
 <p style="text-align: center;">Рисунок 18</p>																	
<p style="text-align: center;">Варіант №19</p> <p>Завдання:</p> <p>1. Розрахувати сили струмів віток електричного кола методом накладання дії джерел енергії.</p> <p>2. Результати розрахунку кола порівняти складанням балансу потужностей.</p>	<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td style="width: 60%;">$E_1, \text{В}$</td><td style="text-align: right;">100</td></tr> <tr><td>$E_2, \text{В}$</td><td style="text-align: right;">40</td></tr> <tr><td>$J_1, \text{А}$</td><td style="text-align: right;">10</td></tr> <tr><td>$R_1, \text{Ом}$</td><td style="text-align: right;">60</td></tr> <tr><td>$R_2, \text{Ом}$</td><td style="text-align: right;">10</td></tr> <tr><td>$R_3, \text{Ом}$</td><td style="text-align: right;">60</td></tr> <tr><td>$R_4, \text{Ом}$</td><td style="text-align: right;">35</td></tr> <tr><td>$R_5, \text{Ом}$</td><td style="text-align: right;">40</td></tr> </table>	$E_1, \text{В}$	100	$E_2, \text{В}$	40	$J_1, \text{А}$	10	$R_1, \text{Ом}$	60	$R_2, \text{Ом}$	10	$R_3, \text{Ом}$	60	$R_4, \text{Ом}$	35	$R_5, \text{Ом}$	40
$E_1, \text{В}$	100																
$E_2, \text{В}$	40																
$J_1, \text{А}$	10																
$R_1, \text{Ом}$	60																
$R_2, \text{Ом}$	10																
$R_3, \text{Ом}$	60																
$R_4, \text{Ом}$	35																
$R_5, \text{Ом}$	40																
 <p style="text-align: center;">Рисунок 19</p>																	

Варіант №20

Завдання:

1. Розрахувати сили струмів віток електричного кола методом накладання дії джерел енергії.
2. Результати розрахунку кола порівняти складанням балансу потужностей.

E_1 , В	200
E_2 , В	50
J_1 , А	20
R_1 , Ом	10
R_2 , Ом	20
R_3 , Ом	30
R_4 , Ом	40
R_5 , Ом	50

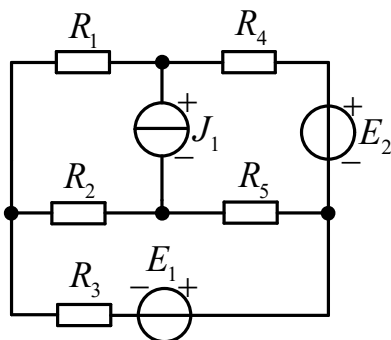


Рисунок 20

Варіант №21

Завдання:

1. Розрахувати сили струмів віток електричного кола методом накладання дії джерел енергії.
2. Результати розрахунку кола порівняти складанням балансу потужностей.

E_1 , В	100
E_2 , В	200
J_1 , А	20
R_1 , Ом	40
R_2 , Ом	50
R_3 , Ом	70
R_4 , Ом	35
R_5 , Ом	20

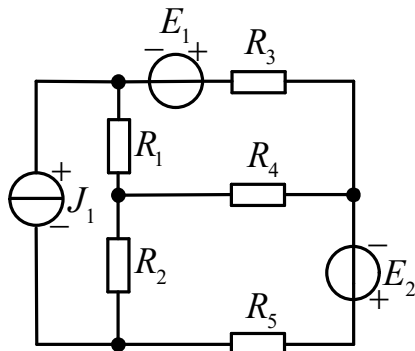


Рисунок 21

Варіант №22

Завдання:

1. Розрахувати сили струмів віток електричного кола методом накладання дії джерел енергії.
2. Результати розрахунку кола порівняти складанням балансу потужностей.

E_1 , В	100
E_2 , В	40
J_1 , А	10
R_1 , Ом	40
R_2 , Ом	20
R_3 , Ом	80
R_4 , Ом	35
R_5 , Ом	20

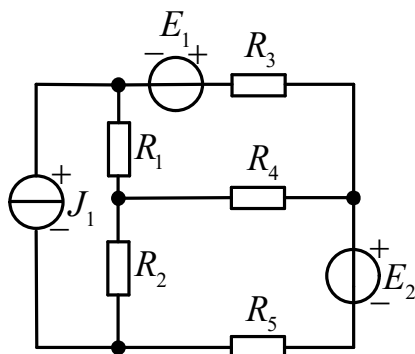


Рисунок 22

Варіант №23

Завдання:

1. Розрахувати сили струмів віток електричного кола методом накладання дії джерел енергії.
2. Результати розрахунку кола порівняти складанням балансу потужностей.

E_1 , В	120
E_2 , В	300
J_1 , А	30
R_1 , Ом	50
R_2 , Ом	50
R_3 , Ом	80
R_4 , Ом	60
R_5 , Ом	10

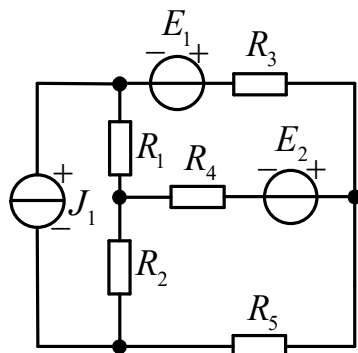


Рисунок 23

Варіант №24

Завдання:

1. Розрахувати сили струмів віток електричного кола методом накладання дії джерел енергії.
2. Результати розрахунку кола порівняти складанням балансу потужностей.

E_1 , В	50
E_2 , В	200
J_1 , А	5
R_1 , Ом	80
R_2 , Ом	50
R_3 , Ом	10
R_4 , Ом	35
R_5 , Ом	20

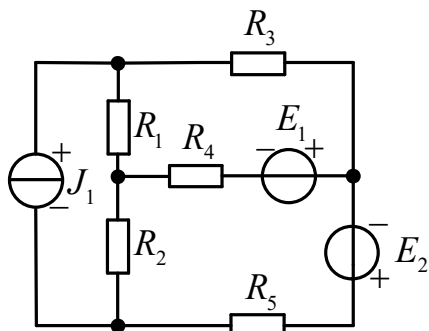


Рисунок 24

Варіант №25

Завдання:

1. Розрахувати сили струмів віток електричного кола методом накладання дії джерел енергії.
2. Результати розрахунку кола порівняти складанням балансу потужностей.

E_1 , В	100
E_2 , В	20
J_1 , А	10
R_1 , Ом	40
R_2 , Ом	50
R_3 , Ом	25
R_4 , Ом	10
R_5 , Ом	20

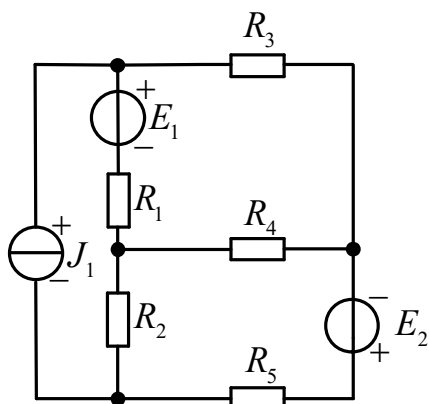


Рисунок 25

Варіант №26

Завдання:

1. Розрахувати сили струмів віток електричного кола методом накладання дії джерел енергії.
2. Результати розрахунку кола порівняти складанням балансу потужностей.

E_1 , В	50
E_2 , В	200
J_1 , А	8
R_1 , Ом	100
R_2 , Ом	20
R_3 , Ом	25
R_4 , Ом	10
R_5 , Ом	20

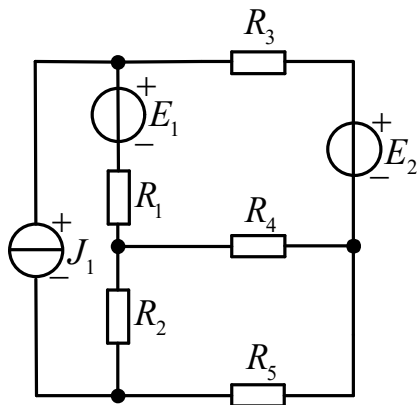


Рисунок 26

Варіант №27

Завдання:

1. Розрахувати сили струмів віток електричного кола методом накладання дії джерел енергії.
2. Результати розрахунку кола порівняти складанням балансу потужностей.

E_1 , В	100
E_2 , В	80
J_1 , А	10
R_1 , Ом	30
R_2 , Ом	50
R_3 , Ом	55
R_4 , Ом	100
R_5 , Ом	40

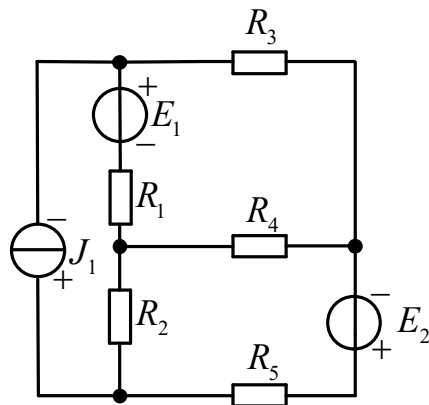
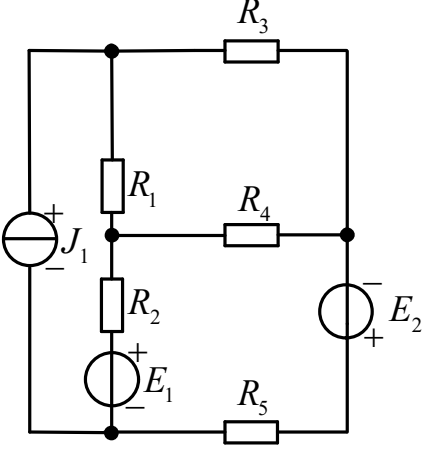
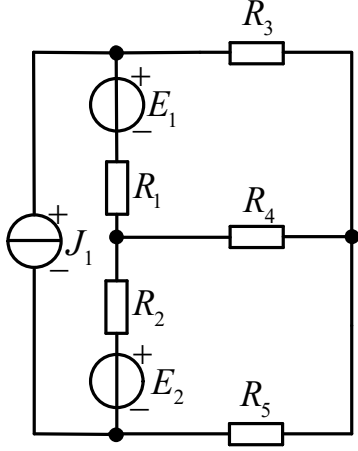


Рисунок 27

<p style="text-align: center;">Варіант №28</p> <p>Завдання:</p> <p>1. Розрахувати сили струмів віток електричного кола методом накладання дії джерел енергії.</p> <p>2. Результати розрахунку кола порівняти складанням балансу потужностей.</p>	<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td style="width: 60%;">$E_1, \text{В}$</td><td>100</td></tr> <tr><td>$E_2, \text{В}$</td><td>125</td></tr> <tr><td>$J_1, \text{А}$</td><td>12</td></tr> <tr><td>$R_1, \text{Ом}$</td><td>45</td></tr> <tr><td>$R_2, \text{Ом}$</td><td>55</td></tr> <tr><td>$R_3, \text{Ом}$</td><td>25</td></tr> <tr><td>$R_4, \text{Ом}$</td><td>10</td></tr> <tr><td>$R_5, \text{Ом}$</td><td>20</td></tr> </table>	$E_1, \text{В}$	100	$E_2, \text{В}$	125	$J_1, \text{А}$	12	$R_1, \text{Ом}$	45	$R_2, \text{Ом}$	55	$R_3, \text{Ом}$	25	$R_4, \text{Ом}$	10	$R_5, \text{Ом}$	20
$E_1, \text{В}$	100																
$E_2, \text{В}$	125																
$J_1, \text{А}$	12																
$R_1, \text{Ом}$	45																
$R_2, \text{Ом}$	55																
$R_3, \text{Ом}$	25																
$R_4, \text{Ом}$	10																
$R_5, \text{Ом}$	20																
 <p style="text-align: center;">Рисунок 28</p>																	
<p style="text-align: center;">Варіант №29</p> <p>Завдання:</p> <p>1. Розрахувати сили струмів віток електричного кола методом накладання дії джерел енергії.</p> <p>2. Результати розрахунку кола порівняти складанням балансу потужностей.</p>	<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td style="width: 60%;">$E_1, \text{В}$</td><td>100</td></tr> <tr><td>$E_2, \text{В}$</td><td>100</td></tr> <tr><td>$J_1, \text{А}$</td><td>10</td></tr> <tr><td>$R_1, \text{Ом}$</td><td>40</td></tr> <tr><td>$R_2, \text{Ом}$</td><td>50</td></tr> <tr><td>$R_3, \text{Ом}$</td><td>60</td></tr> <tr><td>$R_4, \text{Ом}$</td><td>10</td></tr> <tr><td>$R_5, \text{Ом}$</td><td>200</td></tr> </table>	$E_1, \text{В}$	100	$E_2, \text{В}$	100	$J_1, \text{А}$	10	$R_1, \text{Ом}$	40	$R_2, \text{Ом}$	50	$R_3, \text{Ом}$	60	$R_4, \text{Ом}$	10	$R_5, \text{Ом}$	200
$E_1, \text{В}$	100																
$E_2, \text{В}$	100																
$J_1, \text{А}$	10																
$R_1, \text{Ом}$	40																
$R_2, \text{Ом}$	50																
$R_3, \text{Ом}$	60																
$R_4, \text{Ом}$	10																
$R_5, \text{Ом}$	200																
 <p style="text-align: center;">Рисунок 29</p>																	

Варіант №30																	
<p>Завдання:</p> <p>1. Розрахувати сили струмів віток електричного кола методом накладання дії джерел енергії.</p> <p>2. Результати розрахунку кола порівняти складанням балансу потужностей.</p>	<table> <tr><td>E_1, В</td><td>100</td></tr> <tr><td>E_2, В</td><td>140</td></tr> <tr><td>J_1, А</td><td>30</td></tr> <tr><td>R_1, Ом</td><td>10</td></tr> <tr><td>R_2, Ом</td><td>50</td></tr> <tr><td>R_3, Ом</td><td>20</td></tr> <tr><td>R_4, Ом</td><td>80</td></tr> <tr><td>R_5, Ом</td><td>50</td></tr> </table>	E_1 , В	100	E_2 , В	140	J_1 , А	30	R_1 , Ом	10	R_2 , Ом	50	R_3 , Ом	20	R_4 , Ом	80	R_5 , Ом	50
E_1 , В	100																
E_2 , В	140																
J_1 , А	30																
R_1 , Ом	10																
R_2 , Ом	50																
R_3 , Ом	20																
R_4 , Ом	80																
R_5 , Ом	50																
<p style="text-align: center;">Рисунок 30</p>																	

Бібліографічний список використаної літератури

4.1 Курило І.А. Розрахунок електричних кіл постійного струму: для студентів електротехнічних напрямів підготовки 0906 «Електротехніка», 0914 «Електроніка», 0914 «Комп'ютеризовані системи, автоматика і управління», 0915 «Комп'ютерна інженерія» / І. А. Курило, І. Н. Намацалюк, А. А. Щерба. - К.: НТУУ «КПІ», 2006.- 51 с.

4.2 Корощенко В.Ф. Теоретичні основи електротехніки. Збірник задач: Навчальний посібник / Т 33 О.В. Корощенко, В.Ф. Денник, О.А. Журавель та ін.; За заг. ред. О.В. Корощенко. – Донецьк: ДВНЗ «ДонНТУ», 2012. – 673 с.

Практичне заняття №5 Еквівалентні перетворення у лінійних електричних колах

Перетворення пасивних ділянок електричного кола: послідовне та паралельне з'єднання, перетворення зірки і трикутника опорів.
Перетворення частин схеми з джерелами енергії

Задача 5.1

Визначити напругу на полюсах джерела струму рис. 5.1.1.

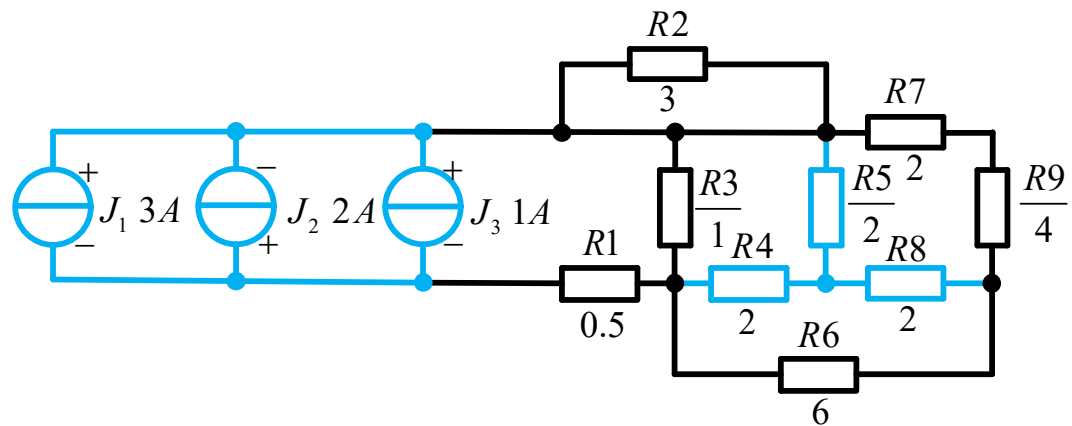


Рисунок 5.1.1 – Схема електричного кола

Розв'язання

Розрахуємо еквівалентний опір R_{79} , опори еквівалентного трикутника та значення еквівалентного джерела струму [5.1]:

$$\begin{aligned}
 J &= J_e = J_1 - J_2 + J_3 = 3 - 2 + 1 = 2(\text{A}); \\
 R_{79} &= R_7 + R_9 = 2 + 4 = 6(\text{Ом}); \\
 R_{45} &= R_4 + R_5 + \frac{R_4 \cdot R_5}{R_8} = 2 + 2 + \frac{2 \cdot 2}{2} = 6(\text{Ом}); \\
 R_{58} &= R_5 + R_8 + \frac{R_5 \cdot R_8}{R_4} = 2 + 2 + \frac{2 \cdot 2}{2} = 6(\text{Ом}); \\
 R_{48} &= R_4 + R_8 + \frac{R_4 \cdot R_8}{R_5} = 2 + 2 + \frac{2 \cdot 2}{2} = 6(\text{Ом}).
 \end{aligned}
 \tag{5.1.1}$$

Перетворимо зірку з опорів R_4 , R_5 та R_8 на еквівалентний трикутник (рис. 5.1.2).

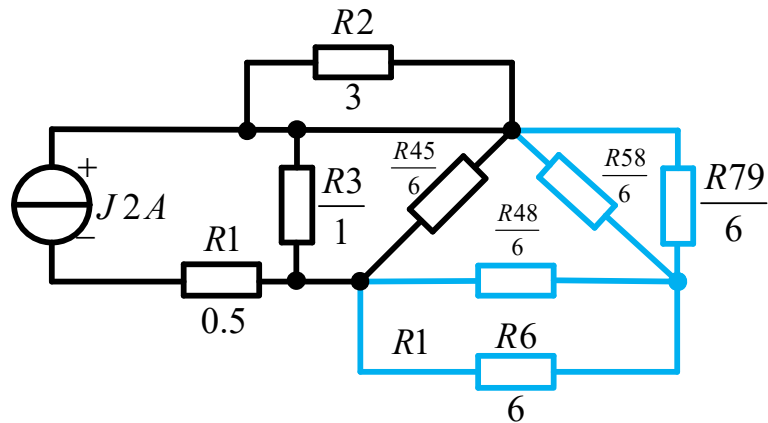


Рисунок 5.1.2 – Схема електричного кола

Визначимо еквівалентні опори паралельно підключених опорів R_{48} , R_6 та R_{58} , R_{79} :

$$R_A = \frac{R_{58} \cdot R_{79}}{R_{58} + R_{79}} = \frac{6 \cdot 6}{6 + 6} = 3(\text{Ом});$$

$$R_B = \frac{R_{48} \cdot R_6}{R_{48} + R_6} = \frac{6 \cdot 6}{6 + 6} = 3(\text{Ом}).$$

(5.1.2)

Перетворимо електричну схему (рис. 5.1.2) на схему (рис. 5.1.3).

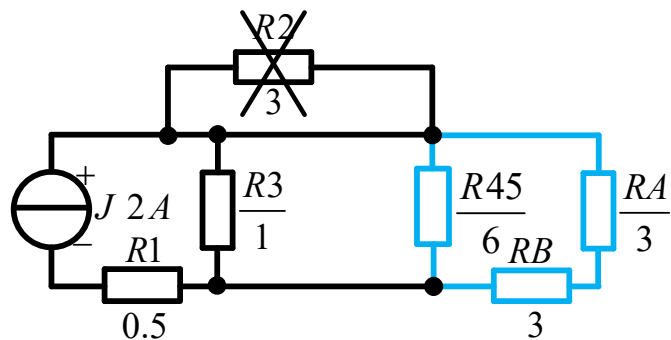


Рисунок 5.1.3 – Схема електричного кола

Знайдемо значення опору R_C

$$R_C = \frac{R_{45} \cdot (R_A + R_B)}{R_{45} + (R_A + R_B)} = \frac{6 \cdot (3 + 3)}{6 + (3 + 3)} = 3(\text{Ом}). \quad (5.1.3)$$

Визначаємо значення еквівалентного опору електричного кола

$$R_e = R_1 + \frac{R_3 \cdot R_C}{R_3 + R_C} = 0.5 + \frac{1 \cdot 3}{1 + 3} = 1.25(\text{Ом}). \quad (5.1.4)$$

Відповідно значення напруги на полюсах джерела струму буде дорівнювати

$$U_J = J \cdot R_e = 2 \cdot 1.25 = 2.5(\text{В}). \quad (5.1.5)$$

Задача 5.2

Визначити загальну силу струму, використовуючи еквівалентні перетворення у лінійних електричних колах. Параметри елементів кола зображені на рис. 5.2.1.

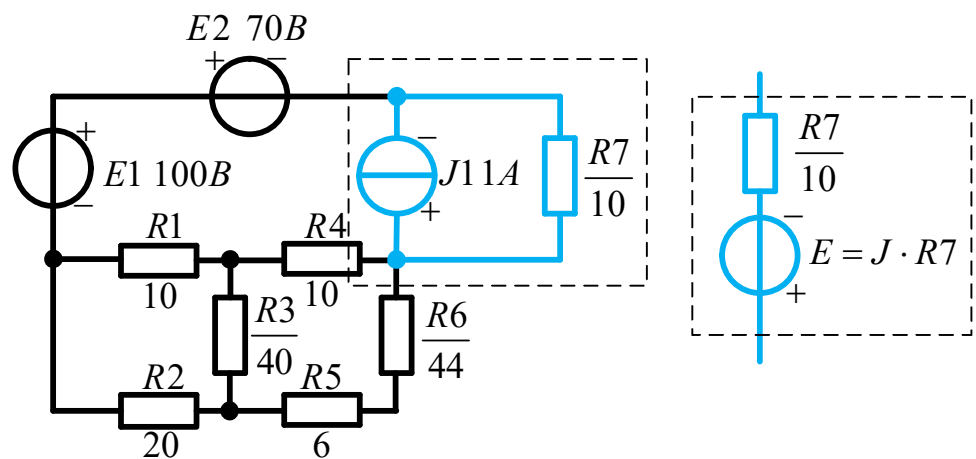


Рисунок 5.2.1 – Схема електричного кола

Розв'язання

Замінемо джерело струму джерелом напруги. Приведемо до одного еквівалентного джерела напруги зі значенням ЕРС

$$E = E_1 - E_2 + J_1 \cdot R_7 = 100 - 70 + 1 \cdot 10 = 40(\text{В}). \quad (5.2.1)$$

Представимо перетворену схему на рис. 5.2.2.

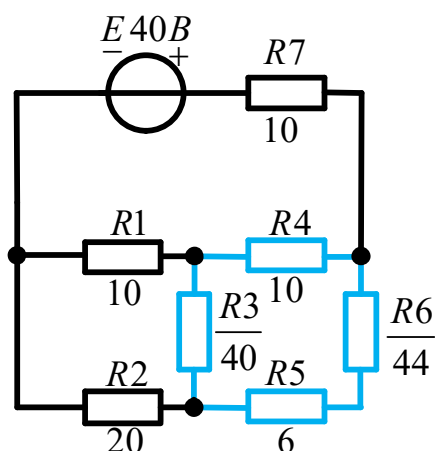


Рисунок 5.2.2 – Схема електричного кола

Перетворимо трикутник з опорами R_3 , R_4 , R_5 та R_6 на еквівалентну зірку (рис. 5.2.3). Розрахуємо значення опорів променів зірки:

$$\begin{aligned} R_A &= R_5 + R_6 = 6 + 44 = 50(\text{Ом}); \\ R_{34} &= \frac{R_3 \cdot R_4}{R_3 + R_4 + R_A} = \frac{40 \cdot 10}{40 + 10 + 50} = 4(\text{Ом}); \\ R_{4A} &= \frac{R_4 \cdot R_A}{R_3 + R_4 + R_A} = \frac{10 \cdot 50}{40 + 10 + 50} = 5(\text{Ом}); \\ R_{3A} &= \frac{R_3 \cdot R_A}{R_3 + R_4 + R_A} = \frac{40 \cdot 50}{40 + 10 + 50} = 20(\text{Ом}). \end{aligned} \quad (5.2.2)$$

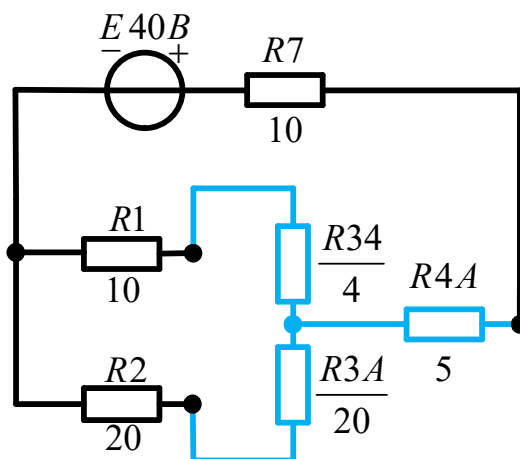


Рисунок 5.2.3 – Схема електричного кола

Визначимо значення еквівалентного опору електричного кола

$$R_e = R_7 + R_{4A} + \frac{(R_1 + R_{34}) \cdot (R_2 + R_{3A})}{(R_1 + R_{34}) + (R_2 + R_{3A})} =$$

$$= 10 + 5 + \frac{(10 + 4) \cdot (20 + 20)}{(10 + 4) + (20 + 20)} = 25.37 \text{ (Ом)}. \quad (5.2.3)$$

Розрахуємо загальну силу струму електричного кола

$$I = \frac{E}{R_e} = \frac{40}{25.37} = 1.577 \text{ (А)}. \quad (5.2.4)$$

Задача №5.3

Використовуючи метод заміни декількох паралельних генераторів напруги одним еквівалентним, розрахувати сили струмів в електричному колі (рис. 5.3.1), якщо $E_1=120$ (В), $E_2=80$ (В), $E_3=10$ (В), $R_1=10$ (Ом), $R_2=20$ (Ом), $R_3=40$ (Ом), $R_4=80$ (Ом).

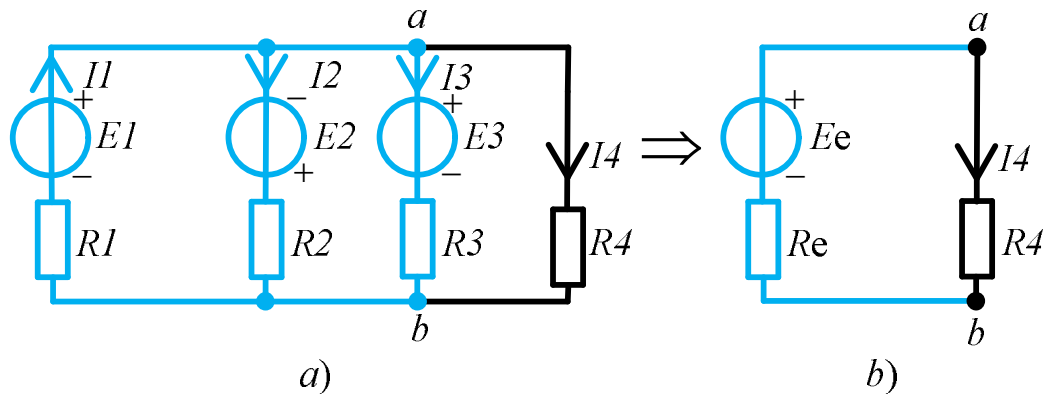


Рисунок 5.3.1 – Схема електричного кола

Розв'язання

Визначимо значення ЕРС еквівалентного джерела напруги

$$E_e = \frac{\sum E \cdot G}{\sum G} = \frac{E_1 \frac{1}{R_1} - E_2 \frac{1}{R_2} + E_3 \frac{1}{R_3}}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}} = \frac{120 - \frac{80}{20} + \frac{10}{40}}{\frac{1}{10} + \frac{1}{20} + \frac{1}{40}} = 47.143(\text{В}). \quad (5.3.1)$$

Розрахуємо значення сили струму I_4

$$I_4 = \frac{E_e}{R_4 + R_e} = \frac{47.143}{80 + \frac{1}{\frac{1}{10} + \frac{1}{20} + \frac{1}{40}}} = 0.55(\text{А}). \quad (5.3.2)$$

Використовуючи закон Ома, розрахуємо сили струмів у вітках:

$$\begin{aligned} \varphi_b &= 0; \\ \varphi_a &= I_4 \cdot R_4 = 0.55 \cdot 80 = 44(\text{В}); \\ I_1 &= \frac{\varphi_b - \varphi_a + E_1}{R_1} = \frac{0 - 44 + 120}{10} = 7.6(\text{А}); \\ I_2 &= \frac{\varphi_a - \varphi_b + E_2}{R_2} = \frac{44 - 0 + 80}{20} = 6.2(\text{А}); \\ I_3 &= \frac{\varphi_a - \varphi_b - E_3}{R_3} = \frac{44 - 0 - 10}{40} = 0.85(\text{А}). \end{aligned} \quad (5.3.3)$$

Перевірка правильності вирішення задачі за I законом Кірхгофа

$$I_1 - I_2 - I_3 - I_4 = 7.6 - 6.2 - 0.85 - 0.55 = 0. \quad (5.3.4)$$

Визначимо активну потужність споживача

$$\begin{aligned} \sum P_{\text{спож}} &= I_1^2 \cdot R_1 + I_2^2 \cdot R_2 + I_3^2 \cdot R_3 + I_4^2 \cdot R_4 = \\ &= 7.6^2 \cdot 10 + 6.2^2 \cdot 20 + 0.85^2 \cdot 40 + 0.55^2 \cdot 80 = 1400(\text{Вт}). \end{aligned} \quad (5.3.5)$$

Знаходимо активну потужність джерел

$$\begin{aligned} \sum P_{\text{дж}} &= E_1 \cdot I_1 + E_2 \cdot I_2 - E_3 \cdot I_3 = \\ &= 120 \cdot 7.6 + 80 \cdot 6.2 - 10 \cdot 0.85 = 1399(\text{Вт}). \end{aligned} \quad (5.3.6)$$

Доказати самостійно винесення джерела напруги за вузол, використовуючи рис. 5.4.1.

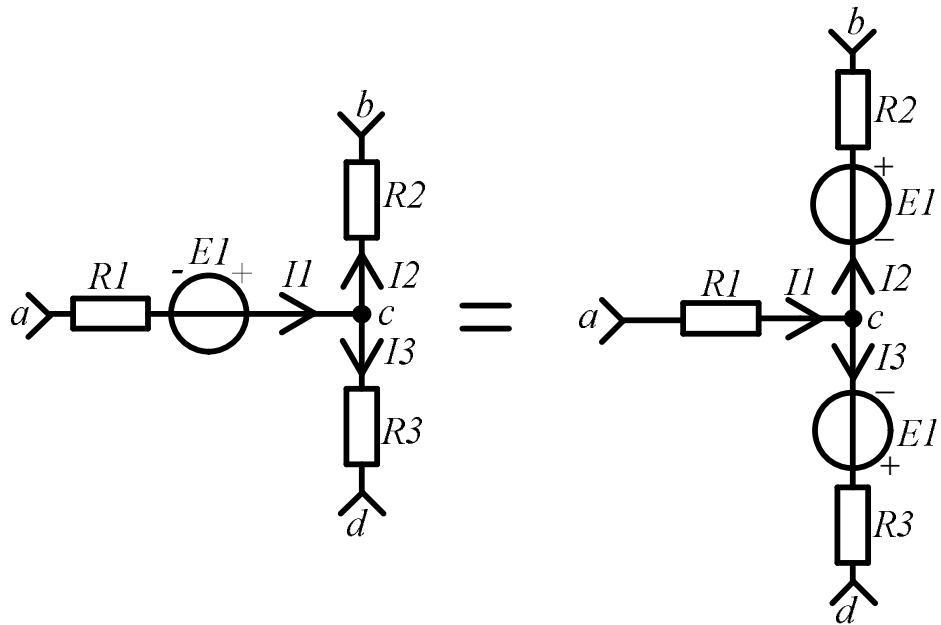
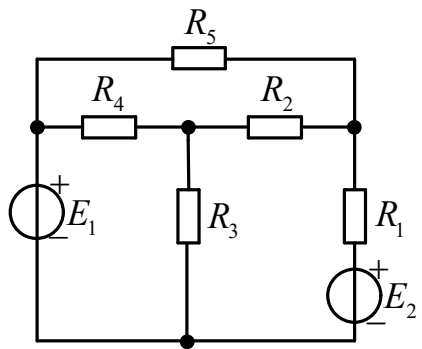
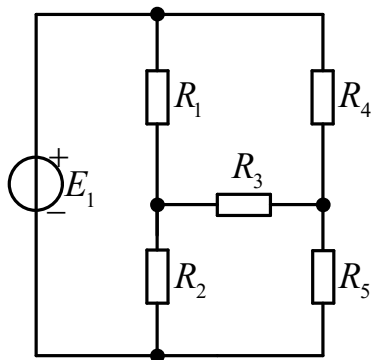


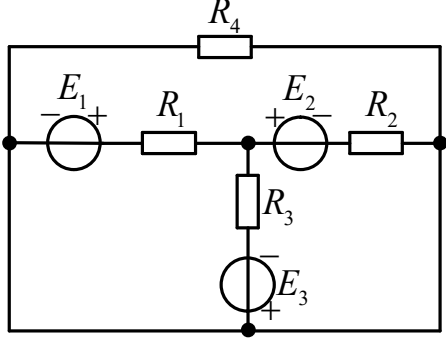
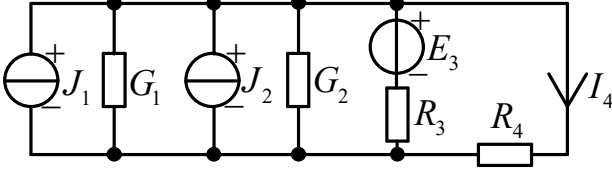
Рисунок 5.4.1 – Частина електричного кола

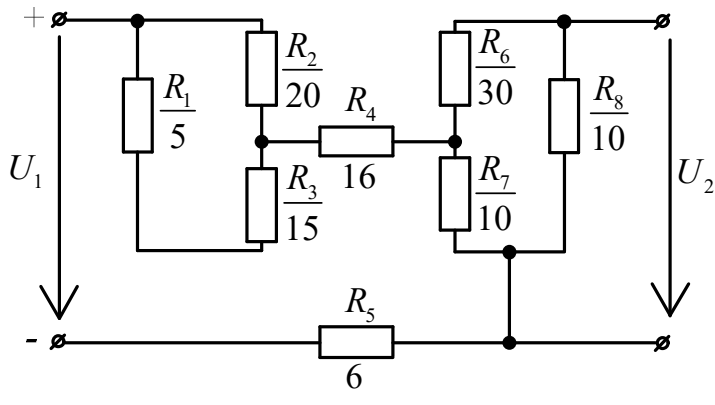
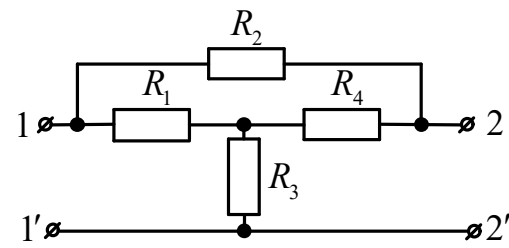
САМОСТІЙНА РОБОТА

Застосування еквівалентного перетворення для розрахунку лінійного електричного кола постійного струму

Варіант №1	
Завдання: 1. Розрахувати сили струмів віток електричного кола. 2. Результати розрахунку порівняти складанням балансу потужностей.	$J_1, \text{ A}$ 0.1
	$J_2, \text{ A}$ 0.05
	$R_1, \text{ Ом}$ 20
	$R_2, \text{ Ом}$ 30
	$R_3, \text{ Ом}$ 50
Рисунок 1	

Варіант №2		
Завдання: 1. Розрахувати сили струмів віток електричного кола. 2. Результати розрахунку порівняти складанням балансу потужностей.		$E_1, \text{В}$ 213
		$E_2, \text{В}$ 90
		$R_1, \text{Ом}$ 6
		$R_2, \text{Ом}$ 40
		$R_3, \text{Ом}$ 10
		$R_4, \text{Ом}$ 100
		$R_5, \text{Ом}$ 60
		
Рисунок 2		
Варіант №3		
Завдання: 1. Розрахувати сили струмів віток електричного кола. 2. Результати розрахунку порівняти складанням балансу потужностей.		$E_1, \text{В}$ 30
		$R_1, \text{Ом}$ 180
		$R_2, \text{Ом}$ 80
		$R_3, \text{Ом}$ 120
		$R_4, \text{Ом}$ 60
		$R_5, \text{Ом}$ 120
		
Рисунок 3		
Варіант №4		
Завдання: 1. Розрахувати сили струмів віток електричного кола. 2. Результати розрахунку порівняти складанням балансу потужностей.		$E_1, \text{В}$ 100
		$E_2, \text{В}$ 80
		$E_3, \text{В}$ 40
		$R_1, \text{Ом}$ 10

 <p style="text-align: center;">Рисунок 4</p>	<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 60%;">$R_2, \text{ Ом}$</td> <td style="text-align: right;">10</td> </tr> <tr> <td>$R_3, \text{ Ом}$</td> <td style="text-align: right;">20</td> </tr> <tr> <td>$R_4, \text{ Ом}$</td> <td style="text-align: right;">15</td> </tr> </table>	$R_2, \text{ Ом}$	10	$R_3, \text{ Ом}$	20	$R_4, \text{ Ом}$	15										
$R_2, \text{ Ом}$	10																
$R_3, \text{ Ом}$	20																
$R_4, \text{ Ом}$	15																
<p style="text-align: center;">Варіант №5</p> <p>Завдання:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Розрахувати сили струмів віток електричного кола. 2. Результати розрахунку порівняти складанням балансу потужностей. 	<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 60%;">$J_1, \text{ А}$</td> <td style="text-align: right;">0.03</td> </tr> <tr> <td>$J_2, \text{ А}$</td> <td style="text-align: right;">0.02</td> </tr> <tr> <td>$E_3, \text{ В}$</td> <td style="text-align: right;">45</td> </tr> <tr> <td>$G_1, \text{ См}$</td> <td style="text-align: right;">0.001</td> </tr> <tr> <td>$G_2, \text{ См}$</td> <td style="text-align: right;">0.0015</td> </tr> </table>	$J_1, \text{ А}$	0.03	$J_2, \text{ А}$	0.02	$E_3, \text{ В}$	45	$G_1, \text{ См}$	0.001	$G_2, \text{ См}$	0.0015						
$J_1, \text{ А}$	0.03																
$J_2, \text{ А}$	0.02																
$E_3, \text{ В}$	45																
$G_1, \text{ См}$	0.001																
$G_2, \text{ См}$	0.0015																
 <p style="text-align: center;">Рисунок 5</p>	<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 60%;">$R_3, \text{ Ом}$</td> <td style="text-align: right;">100</td> </tr> <tr> <td>$R_4, \text{ Ом}$</td> <td style="text-align: right;">20</td> </tr> </table>	$R_3, \text{ Ом}$	100	$R_4, \text{ Ом}$	20												
$R_3, \text{ Ом}$	100																
$R_4, \text{ Ом}$	20																
<p style="text-align: center;">Варіант №6</p> <p>Завдання:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Для електричного кола визначити відношення напруги на виході U_2 до напруги на вході U_1. Опори окремих віток кола в омах представлено на схемі. 	<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 60%;">$R_1, \text{ Ом}$</td> <td style="text-align: right;">5</td> </tr> <tr> <td>$R_2, \text{ Ом}$</td> <td style="text-align: right;">20</td> </tr> <tr> <td>$R_3, \text{ Ом}$</td> <td style="text-align: right;">15</td> </tr> <tr> <td>$R_4, \text{ Ом}$</td> <td style="text-align: right;">16</td> </tr> <tr> <td>$R_5, \text{ Ом}$</td> <td style="text-align: right;">6</td> </tr> <tr> <td>$R_6, \text{ Ом}$</td> <td style="text-align: right;">30</td> </tr> <tr> <td>$R_7, \text{ Ом}$</td> <td style="text-align: right;">10</td> </tr> <tr> <td>$R_8, \text{ Ом}$</td> <td style="text-align: right;">10</td> </tr> </table>	$R_1, \text{ Ом}$	5	$R_2, \text{ Ом}$	20	$R_3, \text{ Ом}$	15	$R_4, \text{ Ом}$	16	$R_5, \text{ Ом}$	6	$R_6, \text{ Ом}$	30	$R_7, \text{ Ом}$	10	$R_8, \text{ Ом}$	10
$R_1, \text{ Ом}$	5																
$R_2, \text{ Ом}$	20																
$R_3, \text{ Ом}$	15																
$R_4, \text{ Ом}$	16																
$R_5, \text{ Ом}$	6																
$R_6, \text{ Ом}$	30																
$R_7, \text{ Ом}$	10																
$R_8, \text{ Ом}$	10																

 <p style="text-align: center;">Рисунок 6</p>									
<p style="text-align: center;">Варіант №7</p> <p>Завдання:</p> <p>1. Визначити значення опору електричного кола між затискачами 1-1' при неробочому ході (затискачі 2-2' розімкнуті).</p>	<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="text-align: right;">R_1, Ом</td> <td style="text-align: right;">160</td> </tr> <tr> <td style="text-align: right;">R_2, Ом</td> <td style="text-align: right;">120</td> </tr> <tr> <td style="text-align: right;">R_3, Ом</td> <td style="text-align: right;">40</td> </tr> <tr> <td style="text-align: right;">R_4, Ом</td> <td style="text-align: right;">40</td> </tr> </table>	R_1 , Ом	160	R_2 , Ом	120	R_3 , Ом	40	R_4 , Ом	40
R_1 , Ом	160								
R_2 , Ом	120								
R_3 , Ом	40								
R_4 , Ом	40								
 <p style="text-align: center;">Рисунок 7</p>									
<p style="text-align: center;">Варіант №8</p> <p>Завдання:</p> <p>1. Визначити значення опору електричного кола між затискачами 1-1' при короткому замиканні (затискачі 2-2' замкнуті).</p>	<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="text-align: right;">R_1, Ом</td> <td style="text-align: right;">160</td> </tr> <tr> <td style="text-align: right;">R_2, Ом</td> <td style="text-align: right;">120</td> </tr> <tr> <td style="text-align: right;">R_3, Ом</td> <td style="text-align: right;">40</td> </tr> <tr> <td style="text-align: right;">R_4, Ом</td> <td style="text-align: right;">40</td> </tr> </table>	R_1 , Ом	160	R_2 , Ом	120	R_3 , Ом	40	R_4 , Ом	40
R_1 , Ом	160								
R_2 , Ом	120								
R_3 , Ом	40								
R_4 , Ом	40								

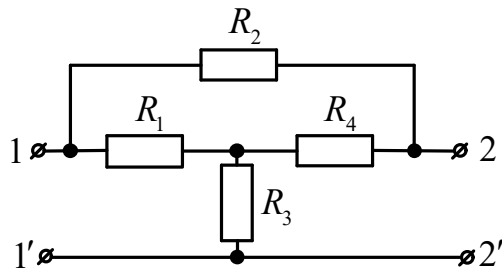


Рисунок 8

Варіант №9

Завдання:

1. Визначити значення опору електричного кола між затискачами 1-1' при неробочому ході (затискачі 2-2' розімкнуті).

R_1 , Ом	40
R_2 , Ом	20
R_3 , Ом	10
R_4 , Ом	20

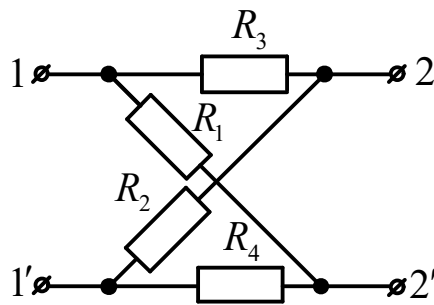


Рисунок 9

Варіант №10

Завдання:

1. Визначити значення опору електричного кола між затискачами 1-1' при короткому замиканні (затискачі 2-2' замкнуті).

R_1 , Ом	40
R_2 , Ом	20
R_3 , Ом	10
R_4 , Ом	20

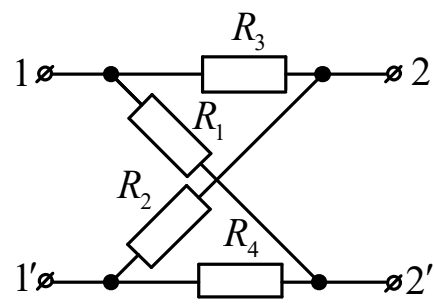
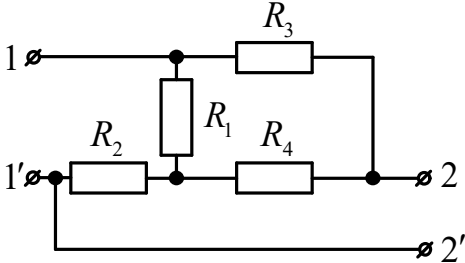
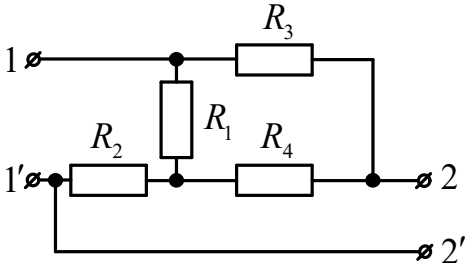


Рисунок 10

Варіант №11		
<p>Завдання:</p> <p>1. Визначити значення опору електричного кола між затискачами 1-1' при неробочому ході (затискачі 2-2' розімкнуті).</p>		$R_1, \text{ Ом} \quad 360$ $R_2, \text{ Ом} \quad 600$ $R_3, \text{ Ом} \quad 300$ $R_4, \text{ Ом} \quad 400$
 <p>Рисунок 11</p>		
Варіант №12		
<p>Завдання:</p> <p>1. Визначити значення опору електричного кола між затискачами 1-1' при короткому замиканні (затискачі 2-2' замкнуті).</p>		$R_1, \text{ Ом} \quad 360$ $R_2, \text{ Ом} \quad 600$ $R_3, \text{ Ом} \quad 300$ $R_4, \text{ Ом} \quad 400$
 <p>Рисунок 12</p>		
Варіант №13		
<p>Завдання:</p> <p>1. Визначити значення еквівалентного опору кола між точками «а» та «е».</p>		$R_1, \text{ Ом} \quad 30$ $R_2, \text{ Ом} \quad 30$ $R_3, \text{ Ом} \quad 30$ $R_4, \text{ Ом} \quad 30$ $R_5, \text{ Ом} \quad 30$ $R_6, \text{ Ом} \quad 30$ $R_7, \text{ Ом} \quad 30$

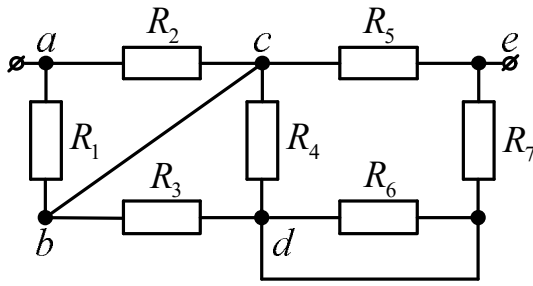


Рисунок 13

Варіант №14

Завдання:

1. Визначити значення еквівалентного опору кола між точками «a» та «e».

R_1 , Ом	20
R_2 , Ом	20
R_3 , Ом	40
R_4 , Ом	40
R_5 , Ом	60
R_6 , Ом	80
R_7 , Ом	80

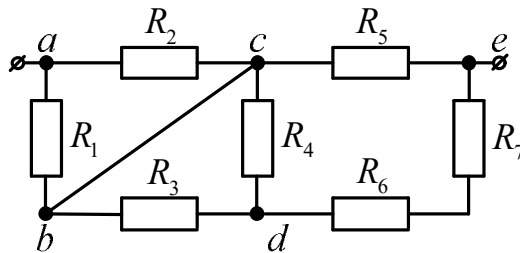


Рисунок 14

Варіант №15

Завдання:

1. Визначити значення еквівалентного опору кола між точками «a» та «e».

R_1 , Ом	40
R_2 , Ом	40
R_3 , Ом	80
R_4 , Ом	80
R_5 , Ом	80
R_6 , Ом	100
R_7 , Ом	100

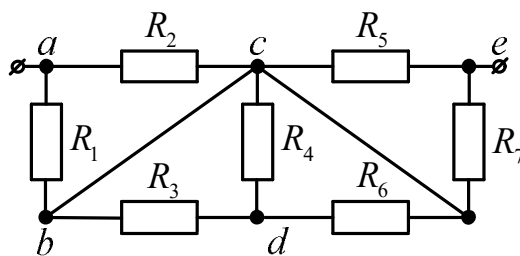
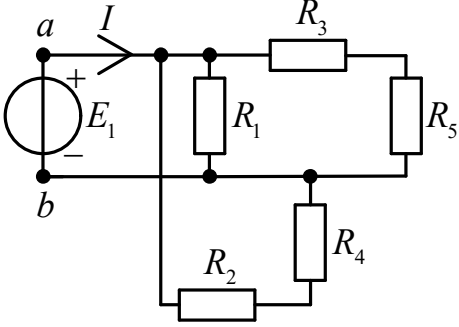
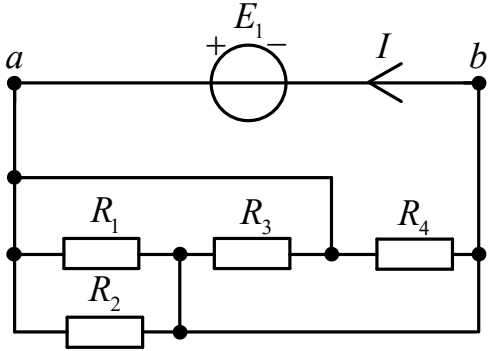


Рисунок 15

<p style="text-align: center;">Варіант №16</p> <p>Завдання: 1. Визначити значення еквівалентного опору електричного кола R_{ab} та значення сили струму I.</p>	<p>$E_1 = 10, \text{В}$</p> <p>$R_1 = 40, \text{Ом}$</p> <p>$R_2 = 10, \text{Ом}$</p> <p>$R_3 = 25, \text{Ом}$</p> <p>$R_4 = 10, \text{Ом}$</p> <p>$R_5 = 15, \text{Ом}$</p>
<div style="text-align: center;">  <p>Рисунок 16</p> </div>	
<p style="text-align: center;">Варіант №17</p> <p>Завдання: 1. Визначити значення еквівалентного опору електричного кола R_{ab} та значення сили струму I.</p>	<p>$E_1 = 100, \text{В}$</p> <p>$R_1 = 40, \text{Ом}$</p> <p>$R_2 = 40, \text{Ом}$</p> <p>$R_3 = 40, \text{Ом}$</p> <p>$R_4 = 40, \text{Ом}$</p>
<div style="text-align: center;">  <p>Рисунок 17</p> </div>	
<p style="text-align: center;">Варіант №18</p> <p>Завдання: 1. Визначити значення еквівалентного опору електричного кола R_{ab} та значення сили струму I.</p>	<p>$E_1 = 100, \text{В}$</p> <p>$R_1 = 20, \text{Ом}$</p> <p>$R_2 = 20, \text{Ом}$</p> <p>$R_3 = 50, \text{Ом}$</p> <p>$R_4 = 20, \text{Ом}$</p> <p>$R_5 = 20, \text{Ом}$</p>

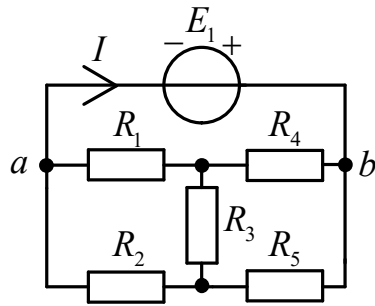


Рисунок 18

Варіант №19

Завдання:

1. Визначити значення еквівалентного опору електричного кола R_{ab} та значення сили струму I .

$$E_1 = 45, \text{В}$$

$$R_1 = 30, \text{Ом}$$

$$R_2 = 20, \text{Ом}$$

$$R_3 = 20, \text{Ом}$$

$$R_4 = 40, \text{Ом}$$

$$R_5 = 40, \text{Ом}$$

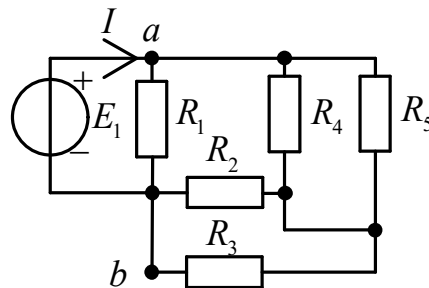


Рисунок 19

Варіант №20

Завдання:

1. Визначити значення еквівалентного опору електричного кола R_{ab} та значення сили струму I .

$$E_1 = 18, \text{В}$$

$$R_1 = 2, \text{Ом}$$

$$R_2 = 5, \text{Ом}$$

$$R_3 = 3, \text{Ом}$$

$$R_4 = 12, \text{Ом}$$

$$R_5 = 7, \text{Ом}$$

$$R_6 = 6, \text{Ом}$$

$$R_7 = 1, \text{Ом}$$

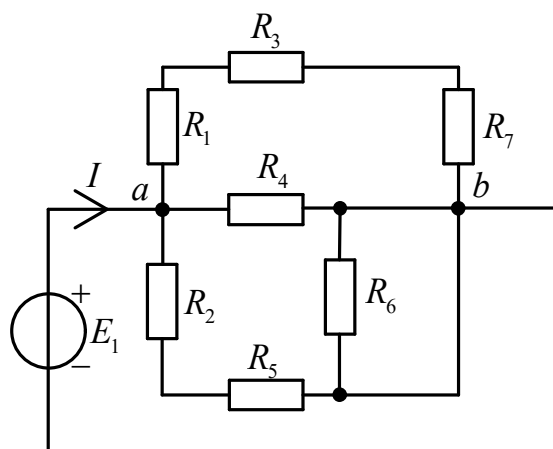


Рисунок 20

<p style="text-align: center;">Варіант №21</p> <p>Завдання: 1. Визначити значення еквівалентного опору електричного кола R_{ab} та значення сили струму I.</p> <div style="text-align: center;"> </div> <p style="text-align: center;">Рисунок 21</p>	<p>$E_1 = 20, \text{В}$</p> <p>$R_1 = 15, \text{Ом}$</p> <p>$R_2 = 10, \text{Ом}$</p> <p>$R_3 = 10, \text{Ом}$</p> <p>$R_4 = 10, \text{Ом}$</p> <p>$R_5 = 15, \text{Ом}$</p>
<p style="text-align: center;">Варіант №22</p> <p>Завдання: 1. Визначити значення еквівалентного опору електричного кола відносно полюсів d та b та напруги U_{db}.</p> <div style="text-align: center;"> </div> <p style="text-align: center;">Рисунок 22</p>	<p>$J = 2, \text{А}$</p> <p>$R_1 = 30, \text{Ом}$</p> <p>$R_2 = 30, \text{Ом}$</p> <p>$R_3 = 30, \text{Ом}$</p> <p>$R_4 = 30, \text{Ом}$</p> <p>$R_5 = 30, \text{Ом}$</p> <p>$R_6 = 30, \text{Ом}$</p> <p>$R_7 = 30, \text{Ом}$</p> <p>$R_8 = 30, \text{Ом}$</p>
<p style="text-align: center;">Варіант №23</p> <p>Завдання: 1. Визначити значення еквівалентного опору електричного кола відносно полюсів b та c та значення напруги U_{bc}.</p>	<p>$J_1 = 1, \text{А}$</p> <p>$R_1 = 40, \text{Ом}$</p>

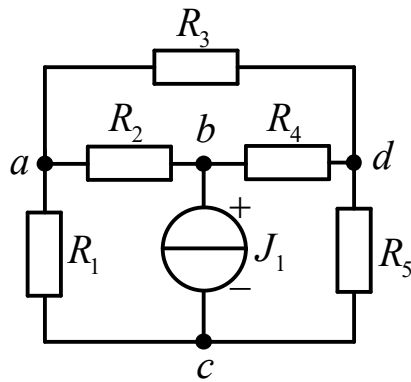


Рисунок 23

- $R_2 = 20, \text{ Ом}$
- $R_3 = 100, \text{ Ом}$
- $R_4 = 20, \text{ Ом}$
- $R_5 = 40, \text{ Ом}$

Варіант №24

Завдання:

1. Визначити значення еквівалентного опору електричного кола R_{ab} .

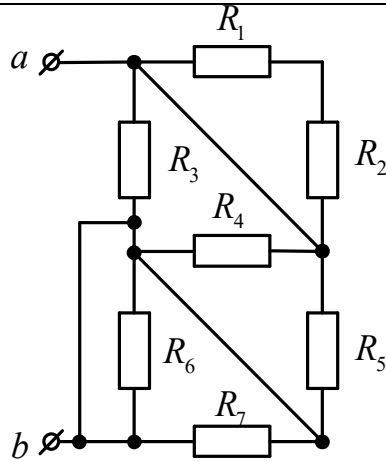


Рисунок 24

- $R_1 = 12, \text{ Ом}$
- $R_2 = 12, \text{ Ом}$
- $R_3 = 15, \text{ Ом}$
- $R_4 = 15, \text{ Ом}$
- $R_5 = 15, \text{ Ом}$
- $R_6 = 12, \text{ Ом}$
- $R_7 = 12, \text{ Ом}$

Варіант №25

Завдання:

1. Визначити значення еквівалентного опору електричного кола R_{ab} .

- $R_1 = 4, \text{ Ом}$
- $R_2 = 4, \text{ Ом}$
- $R_3 = 8, \text{ Ом}$
- $R_4 = 8, \text{ Ом}$
- $R_5 = 8, \text{ Ом}$
- $R_6 = 16, \text{ Ом}$

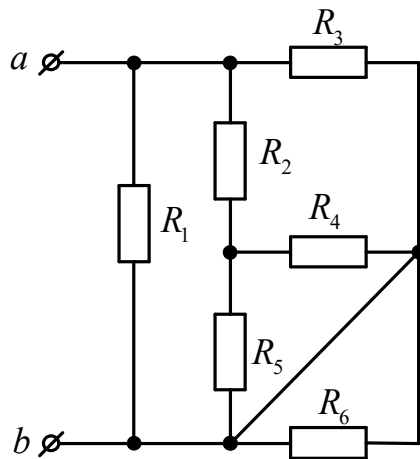


Рисунок 25

Варіант №26

Завдання:

1. Визначити значення еквівалентного опору електричного кола R_{ab} .

$$R_1 = 14, \text{ Ом}$$

$$R_2 = 8, \text{ Ом}$$

$$R_3 = 6, \text{ Ом}$$

$$R_4 = 4, \text{ Ом}$$

$$R_5 = 8, \text{ Ом}$$

$$R_6 = 5, \text{ Ом}$$

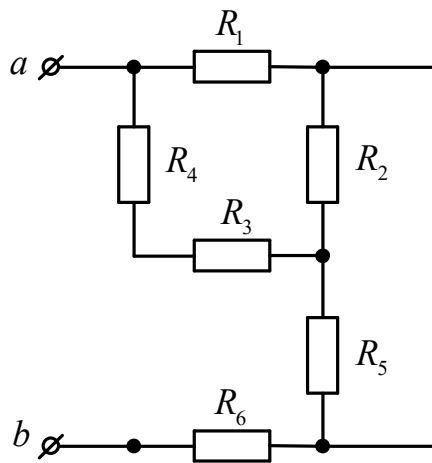


Рисунок 26

Варіант №27

Завдання:

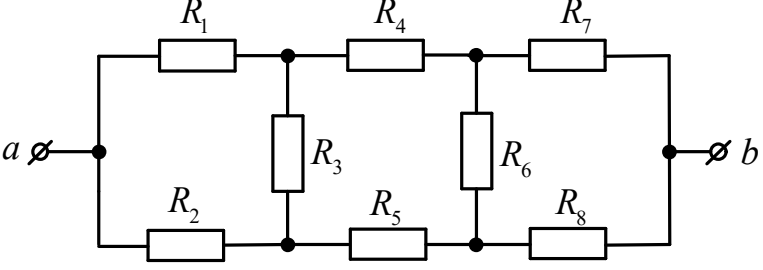
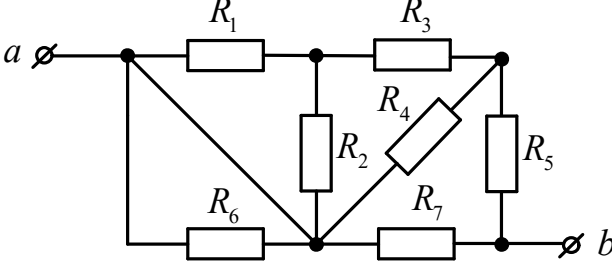
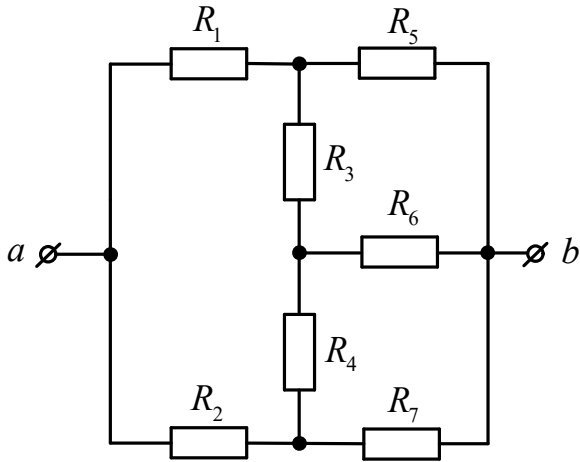
1. Визначити значення еквівалентного опору електричного кола R_{ab} .

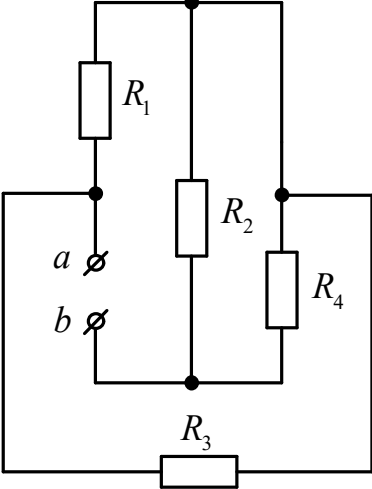
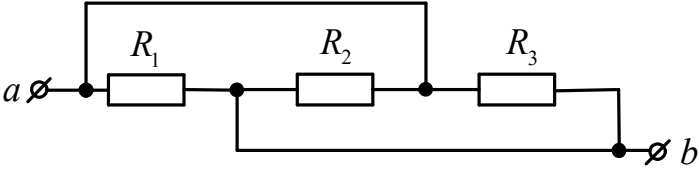
$$R_1 = 30, \text{ Ом}$$

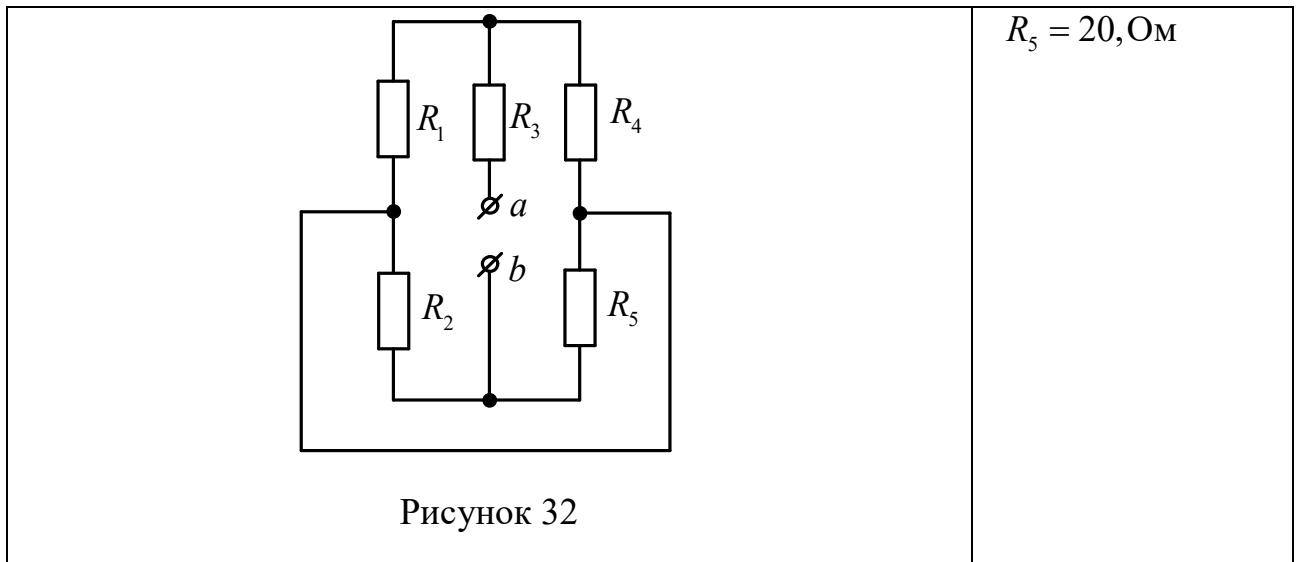
$$R_2 = 10, \text{ Ом}$$

$$R_3 = 10, \text{ Ом}$$

$$R_4 = 26, \text{ Ом}$$

 <p style="text-align: center;">Рисунок 27</p>	$R_5 = 11, \text{ Ом}$ $R_6 = 10, \text{ Ом}$ $R_7 = 40, \text{ Ом}$ $R_8 = 50, \text{ Ом}$
Варіант №28	
<p>Завдання: 1. Визначити значення еквівалентного опору електричного кола R_{ab}.</p>  <p style="text-align: center;">Рисунок 28</p>	$R_1 = 20, \text{ Ом}$ $R_2 = 20, \text{ Ом}$ $R_3 = 10, \text{ Ом}$ $R_4 = 30, \text{ Ом}$ $R_5 = 8, \text{ Ом}$ $R_6 = 40, \text{ Ом}$ $R_7 = 20, \text{ Ом}$
Варіант №29	
<p>Завдання: 1. Визначити значення еквівалентного опору електричного кола R_{ab}.</p>  <p style="text-align: center;">Рисунок 29</p>	$R_1 = 2, \text{ Ом}$ $R_2 = 6, \text{ Ом}$ $R_3 = 2, \text{ Ом}$ $R_4 = 6, \text{ Ом}$ $R_5 = 3, \text{ Ом}$ $R_6 = 6, \text{ Ом}$ $R_7 = 4, \text{ Ом}$

<p style="text-align: center;">Варіант №30</p> <p>Завдання: 1. Визначити значення еквівалентного опору електричного кола R_{ab}.</p>	<p>$R_1 = 20, \text{ Ом}$</p> <p>$R_2 = 20, \text{ Ом}$</p> <p>$R_3 = 20, \text{ Ом}$</p> <p>$R_4 = 20, \text{ Ом}$</p>
<div style="text-align: center;">  <p>Рисунок 30</p> </div>	
<p style="text-align: center;">Варіант №31</p> <p>Завдання: 1. Визначити значення еквівалентного опору електричного кола R_{ab}.</p>	<p>$R_1 = 30, \text{ Ом}$</p> <p>$R_2 = 30, \text{ Ом}$</p> <p>$R_3 = 30, \text{ Ом}$</p>
<div style="text-align: center;">  <p>Рисунок 31</p> </div>	
<p style="text-align: center;">Варіант №32</p> <p>Завдання: 1. Визначити значення еквівалентного опору електричного кола R_{ab}.</p>	<p>$R_1 = 30, \text{ Ом}$</p> <p>$R_2 = 20, \text{ Ом}$</p> <p>$R_3 = 5, \text{ Ом}$</p> <p>$R_4 = 30, \text{ Ом}$</p>



Бібліографічний список використаної літератури

5.1 Курило І.А. Розрахунок електричних кіл постійного струму: для студентів електротехнічних напрямів підготовки 0906 «Електротехніка», 0914 «Електроніка», 0914 «Комп'ютеризовані системи, автоматика і управління», 0915 «Комп'ютерна інженерія» / І. А. Курило, І. Н. Намацалюк, А. А. Щерба. - К.: НТУУ «КПІ», 2006.- 51 с.

Практичне заняття №6 Метод активного двополюсника

Послідовність розрахунку електричного кола методом активного двополюсника. Визначення еквівалентних параметрів

Двополюсник – частина кола, що має два полюси. Активний двополюсник можна замінити еквівалентним генератором, а пасивний двополюсник - одним еквівалентним опором.

Метод еквівалентного генератора базується на теоремі **про активний двополюсник**, зокрема: *лінійне електричне коло, що розглядається відносно двох полюсів, можна замінити еквівалентним генератором, який складається з послідовно включеного джерела ЕРС та опору. Значення еквівалентної ЕРС дорівнює напрузі неробочого ходу на розімкнутих полюсах двополюсника, а її напрямок відповідає полярності цієї напруги. Величина еквівалентного опору дорівнює вхідному опору пасивного двополюсника, отриманого з активного шляхом виключення джерел електричної енергії та заміної їх на внутрішній опір.*

Послідовність розрахунку електричного кола методом активного двополюсника [6.1]:

1. Від'єднуємо вітку, в якій визначаємо значення сили струму.
2. Визначаємо напругу на полюсах двополюсника, що знаходиться у режимі неробочого ходу.
3. Видаляємо із кола джерела енергії, замінивши їх внутрішніми опорами, та розраховуємо вхідний опір $R_{\text{вх}}=R_{\text{ег}}$.
4. Визначаємо значення сили струму у вітці

$$I = \frac{U_{\text{HX}} \pm E_{\text{H}}}{R_{\text{ВХ}} + R_{\text{H}}} = \frac{E_{\text{ег}} \pm E_{\text{H}}}{R_{\text{ег}} + R_{\text{H}}}.$$

Задача №6.1

В електричному колі (рис. 6.1.1) визначити силу струму I_1 методом еквівалентного генератора, якщо:

$$E_1=220 \text{ (В)}, E_2=110 \text{ (В)}, R_{01}=2 \text{ (Ом)}, R_{03}=1 \text{ (Ом)},$$

$$R_1=5 \text{ (Ом)},$$

$$R_2=3 \text{ (Ом)},$$

$$R_3=4 \text{ (Ом)}, R_4=10 \text{ (Ом)}, R_5=8 \text{ (Ом)} \text{ та } R_6=6 \text{ (Ом)}.$$

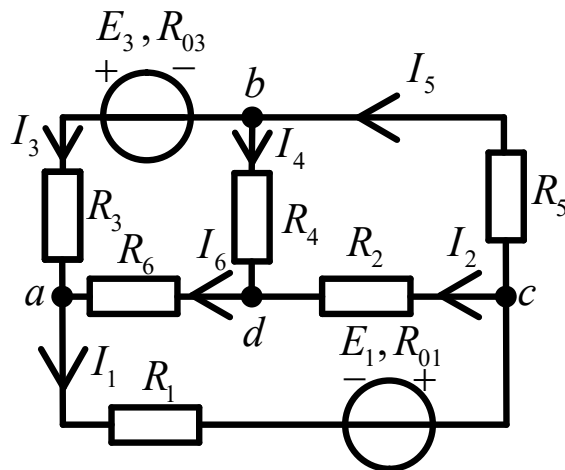


Рисунок 6.1.1 – Схема електричного кола

Розв'язання

Від'єднуємо вітку, в якій проходить струм I_1 , та визначаємо напругу між вузлами a та c

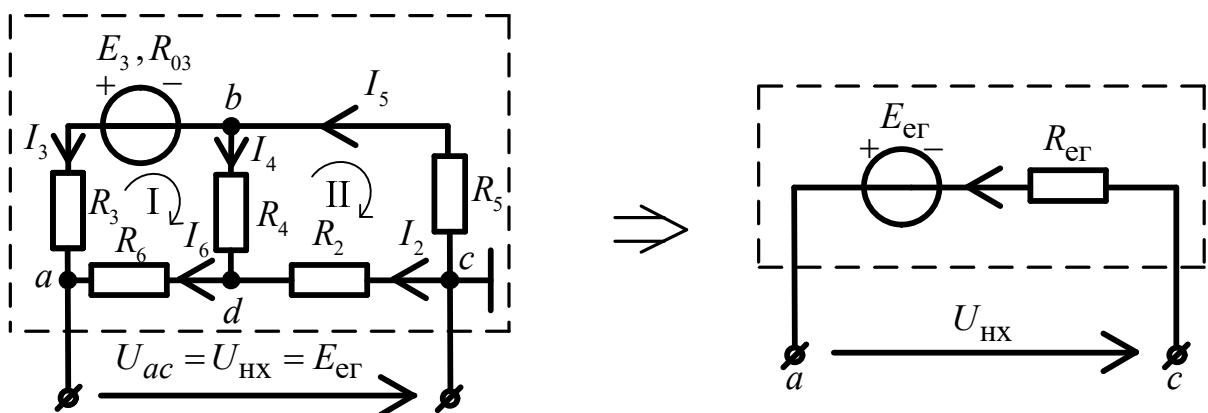


Рисунок 6.1.2 – Електрична схема активного двополюсника

Розрахуємо сили струмів електричного кола (рис. 6.1.2) з двома незалежними контурами методом контурних струмів. Напрямок струмів I_2 , I_3 , I_4 , I_5 та I_6 та контурних струмів вибираємо довільно.

Систему рівнянь з двома невідомими за II законом Кірхгофа запишемо наступним чином:

$$\begin{cases} R_{11} \cdot I_{K1} + R_{12} \cdot I_{K2} = E_{K1}; \\ R_{21} \cdot I_{K1} + R_{22} \cdot I_{K2} = E_{K2}; \end{cases}$$

$$\begin{cases} (R_3 + R_{03} + R_4 + R_6) \cdot I_{K1} - R_4 \cdot I_{K2} = E_3; \\ -R_4 \cdot I_{K1} + (R_2 + R_4 + R_5) \cdot I_{K2} = 0; \end{cases} \quad (6.1.1)$$

$$\begin{cases} (4 + 1 + 10 + 6) \cdot I_{K1} - 10 \cdot I_{K2} = -110; \\ -10 \cdot I_{K1} + (3 + 10 + 8) \cdot I_{K2} = 0; \end{cases}$$

$$\begin{cases} 21 \cdot I_{K1} - 10 \cdot I_{K2} = -110; \\ -10 \cdot I_{K1} + 21 \cdot I_{K2} = 0. \end{cases}$$

Розрахуємо значення контурних струмів електричної схеми (рис. 6.1.2) за допомогою визначників:

$$\Delta = \begin{vmatrix} 21 & -10 \\ -10 & 21 \end{vmatrix} = 21 \cdot 21 - (-10) \cdot (-10) = 341;$$

$$\Delta_{I_{K1}} = \begin{vmatrix} -110 & -10 \\ 0 & 21 \end{vmatrix} = -110 \cdot 21 - 0 \cdot (-10) = -2310;$$

$$\Delta_{I_{K2}} = \begin{vmatrix} 21 & -110 \\ -10 & 0 \end{vmatrix} = 20 \cdot 0 - (-10) \cdot (-110) = -1100.$$

$$I_{K1} = \frac{\Delta_{I_{K1}}}{\Delta} = \frac{-2310}{341} = -6.774; \quad (6.1.2)$$

$$I_{K2} = \frac{\Delta_{I_{K2}}}{\Delta} = \frac{-1100}{341} = -3.226;$$

$$I_6 = I_{K1} = -6.774(\text{A});$$

$$I_2 = I_{K2} = -3.226(\text{A}).$$

Визначимо напругу між вузлами a та c

$$U_{ac} = -R_2 \cdot I_2 - R_6 \cdot I_6 = -3 \cdot (-3.226) - 6 \cdot (-6.774) = 50.323(\text{В}). \quad (6.1.3)$$

Для визначення еквівалентного опору з схеми активного двополюсника (рис. 6.1.2) необхідно виключити джерело напруги E_3 , замінивши його внутрішнім опором R_{03} .

Електрична схема такого пасивного двополюсника представлена на рис. 6.1.3.

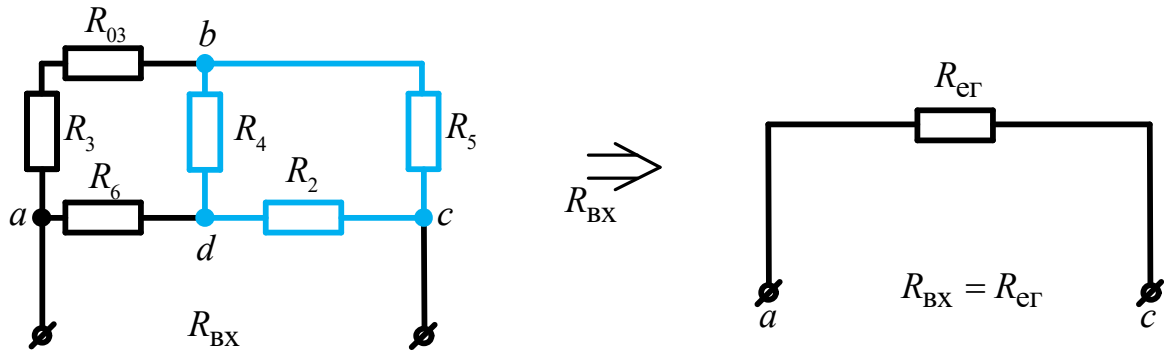


Рисунок 6.1.3 – Електрична схема пасивного двополюсника

Перетворимо трикутник Δbcd з опорами його сторін R_2 , R_4 та R_5 на еквівалентну зірку (рис. 6.1.4):

$$\begin{aligned}
 R_{24} &= \frac{R_2 \cdot R_4}{R_2 + R_4 + R_5} = \frac{3 \cdot 10}{3 + 10 + 8} = 1.42857(\text{Ом}); \\
 R_{25} &= \frac{R_2 \cdot R_5}{R_2 + R_4 + R_5} = \frac{3 \cdot 8}{3 + 10 + 8} = 1.14286(\text{Ом}); \\
 R_{45} &= \frac{R_4 \cdot R_5}{R_2 + R_4 + R_5} = \frac{10 \cdot 8}{3 + 10 + 8} = 3.80952(\text{Ом}).
 \end{aligned}
 \tag{6.1.4}$$

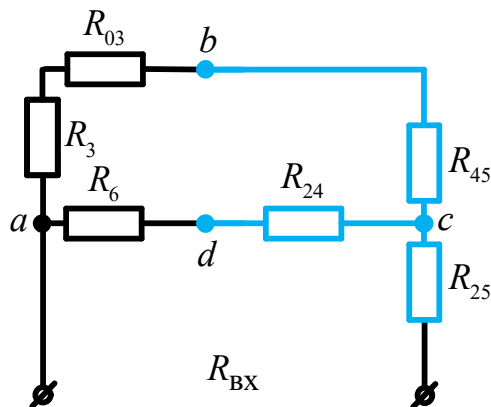


Рисунок 6.1.4 – Електрична схема пасивного двополюсника

Знайдемо еквівалентний опір пасивного двополюсника

$$R_{\text{ег}} = R_{25} + \frac{(R_3 + R_{03} + R_{45}) \cdot (R_6 + R_{24})}{(R_3 + R_{03} + R_{45}) + (R_6 + R_{24})} = 1.14286 + \dots$$

$$\dots + \frac{(4 + 1 + 3.80952) \cdot (6 + 1.42857)}{(4 + 1 + 3.80952) + (6 + 1.42857)} = 5.173 (\text{Ом}). \quad (6.1.5)$$

Силу струму I_1 визначаємо за II законом Кірхгофа після підключення цієї вітки до еквівалентного генератора рис. 6.1.5.

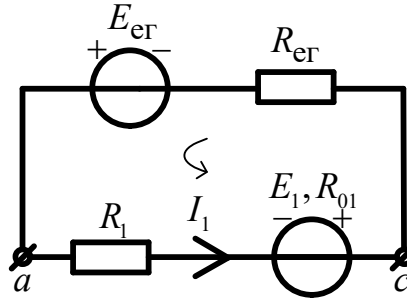


Рисунок 6.1.5 – Електрична схема

$$I_1 = \frac{U_{ac} + E_1}{R_{\text{вх}} + R_1 + R_{01}} = \frac{E_{\text{ег}} + E_1}{R_{\text{вх}} + R_1 + R_{01}} = \frac{50.323 + 220}{5.173 + 5 + 2} = 22.2067 (\text{А}). \quad (6.1.6)$$

Задача №6.2

Методами еквівалентного генератора напруги та генератора струму визначити силу струму у вітці R_5 (рис. 6.2.1), якщо $E_1=E_2=20$ (В), $R_1=R_2=40$ (Ом), $R_3=10$ (Ом), $R_4=160$ (Ом) та $R_5=20$ (Ом).

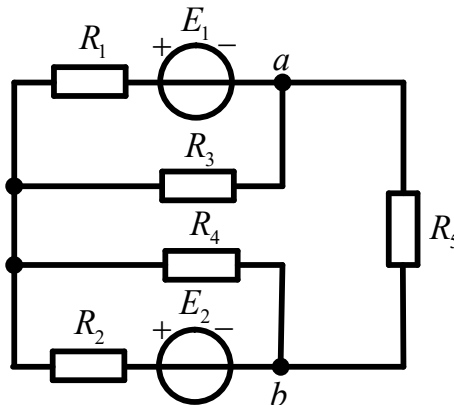


Рисунок 6.2.1 – Схема електрична

Розв'язання

Розрахуємо I_5 методом еквівалентного генератора напруги.

Виключимо вітку з опором R_5 та знайдемо параметри еквівалентного генератора напруги (рис. 6.2.2)

$$U_{ab} = I_4 \cdot R_4 - I_3 \cdot R_3 = \frac{E_2}{R_2 + R_4} \cdot R_4 - \frac{E_1}{R_1 + R_3} \cdot R_3 = \quad (6.2.1)$$

$$= \frac{20}{40 + 160} \cdot 160 - \frac{20}{40 + 10} \cdot 10 = 16 - 4 = 12 \text{ (В)}.$$

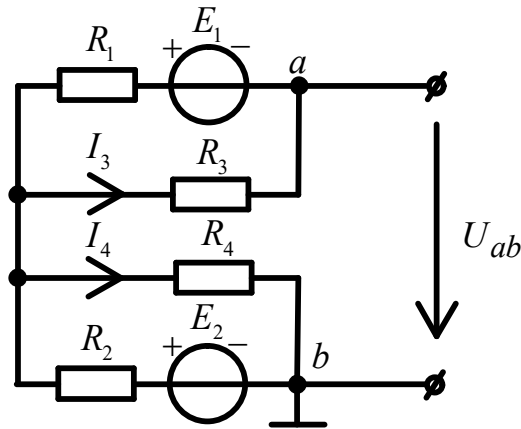


Рисунок 6.2.2 – Електрична схема

Розраховуємо еквівалентний опір генератора (рис. 6.2.3)

$$R_{\text{ер}} = \frac{R_1 \cdot R_3}{R_1 + R_3} + \frac{R_2 \cdot R_4}{R_2 + R_4} = \frac{40 \cdot 10}{40 + 10} + \frac{40 \cdot 160}{40 + 160} = 8 + 32 = 40 \text{ (Ом)}. \quad (6.2.2)$$

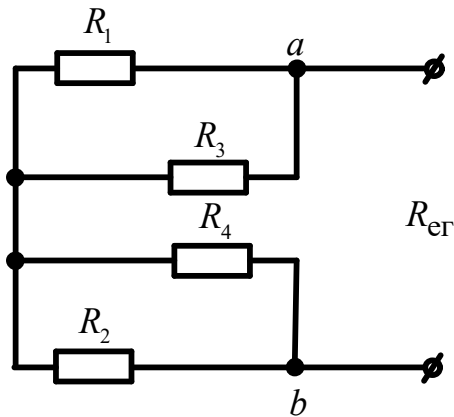


Рисунок 6.2.3 – Електрична схема

Знайдемо за законом Ома I_5 (рис. 6.2.4)

$$I_5 = \frac{U_{ab}}{R_{ер} + R_5} = \frac{12}{40 + 20} = 0.2(\text{A}). \quad (6.2.3)$$

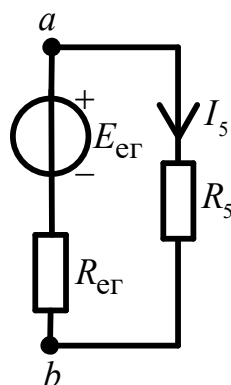


Рисунок 6.2.4 – Електрична схема

Розрахуємо I_5 методом еквівалентного генератора струму.

З'єднаємо вузли a та b перемичкою й знайдемо параметри еквівалентного генератора струму рис. (6.2.5)

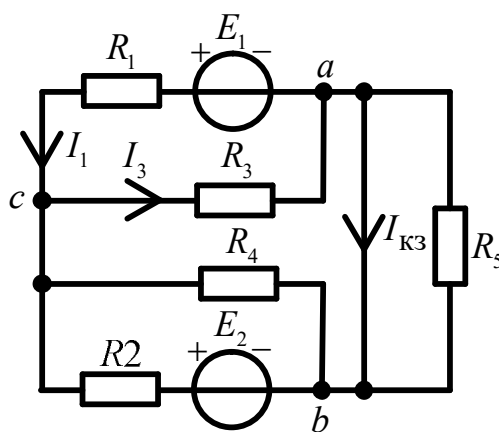


Рисунок 6.2.5 – Електрична схема

$$U_{ca} = \frac{\frac{E_1}{R_1} + \frac{E_2}{R_2}}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4}} = \frac{\frac{20}{40} + \frac{20}{40}}{\frac{1}{40} + \frac{1}{40} + \frac{1}{10} + \frac{1}{160}} = 6.4(\text{В}); \quad (6.2.4)$$

$$U_{ac} = -U_{ca} = -6.4(\text{В});$$

$$I_1 = \frac{\varphi_a - \varphi_c + E_1}{R_1} = \frac{U_{ac} + E_1}{R_1} = \frac{-U_{ca} + E_1}{R_1};$$

$$I_{\text{кз}} = I_3 - I_1 = \frac{U_{ca}}{R_3} - \left(\frac{-U_{ca} + E_1}{R_1} \right) = \frac{6.4}{10} - \left(\frac{-6.4 + 20}{40} \right) = 0.3(\text{А}).$$

Опір еквівалентного генератора напруги дорівнює опору еквівалентного генератора струму

$$R_{\text{ер}} = \frac{E_{\text{ер}}}{I_{\text{кз}}} = \frac{12}{0.3} = 40(\text{Ом}). \quad (6.2.5)$$

Сила струму короткого замикання $I_{\text{кз}}$ (рис. 6.2.5) дорівнює силі струму еквівалентного джерела струму $J_{\text{ер}}$ (рис. 6.2.6).

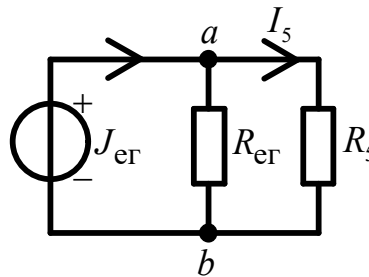


Рисунок 6.2.6 – Електрична схема еквівалентного джерела струму з навантаженням

Сила струму I_5 визначаємо за правилом «чужого плеча»

$$I_5 = J_{\text{ер}} \cdot \frac{R_{\text{ер}}}{R_{\text{ер}} + R_5} = 0.3 \cdot \frac{40}{40 + 20} = 0.2(\text{А}). \quad (6.2.6)$$

Задача 6.3

Методом еквівалентного генератора напруги визначити сили струмів I_4 та I_5 (рис. 6.3.1), якщо $E_1=120$ (В), $R_1=60$ (Ом), $R_2=15$ (Ом), $R_3=90$ (Ом), $R_4=60$ (Ом) та $R_5=12$ (Ом) [6.2].

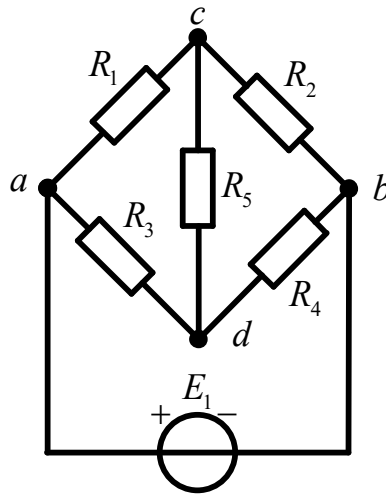


Рисунок 6.3.1 – Схема електричного кола

Розв'язання

Знайдемо значення сили струму I_4 . Спочатку вилучимо вітку з опором R_4 (рис. 6.3.2).

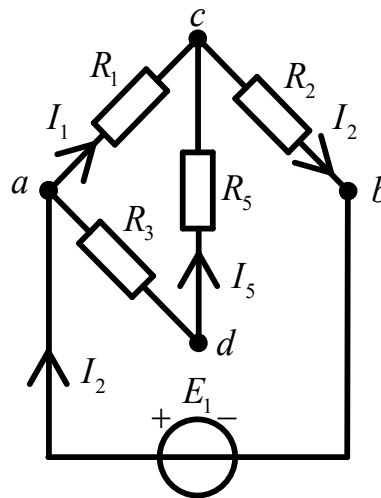


Рисунок 6.3.2 – Схема електрична

Розрахуємо значення ЕРС еквівалентного генератора напруги

$$E_{\text{ер}} = \frac{E_1}{R_2 + \frac{R_1 \cdot (R_3 + R_5)}{R_1 + (R_3 + R_5)}} \cdot \left(R_2 + \frac{R_5}{R_1 + (R_3 + R_5)} \cdot R_1 \right) =$$

$$= \frac{120}{15 + \frac{60 \cdot (90 + 12)}{60 + 90 + 12}} \cdot \left(15 + \frac{60 \cdot 12}{60 + 90 + 12}\right) = \frac{840}{19} = 44.211(\text{В}). \quad (6.3.1)$$

Визначимо еквівалентний опір $R_{\text{ер}}$ (рис. 6.3.3)

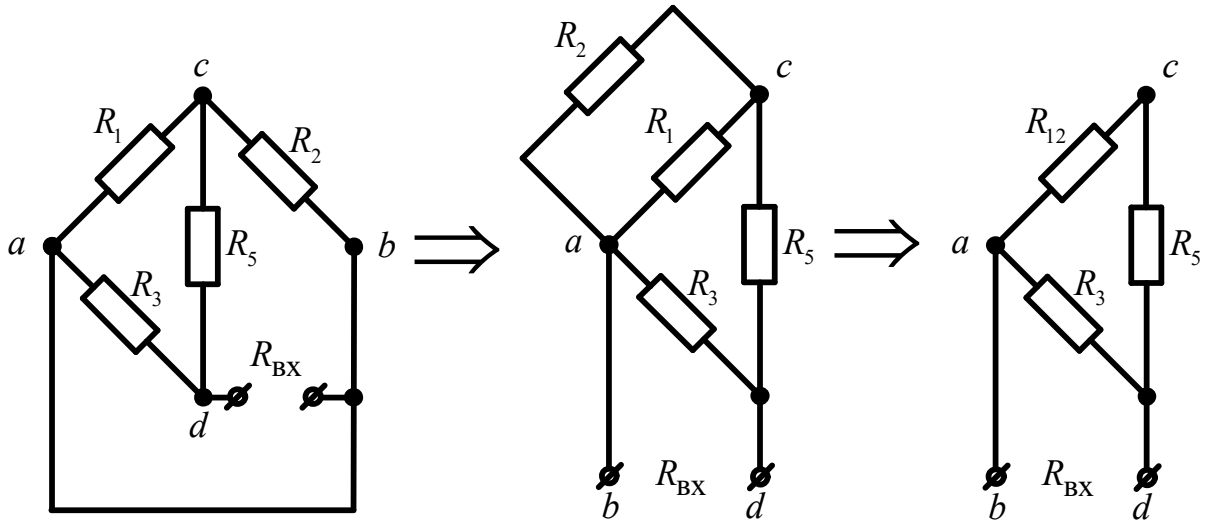


Рисунок 6.3.3 – Схема електричного кола

$$R_{\text{ер}} = \frac{\left(\frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} + R_5\right) \cdot R_3}{\left(\frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} + R_5\right) + R_3} = \frac{\left(\frac{60 \cdot 15}{60 + 15} + 12\right) \cdot 90}{\left(\frac{60 \cdot 15}{60 + 15} + 12\right) + 90} = \frac{360}{19} = 18.947(\text{Ом}). \quad (6.3.2)$$

Розрахуємо силу струму I_4 за законом Ома для електричного кола, яке наведене на рис. 6.3.4.

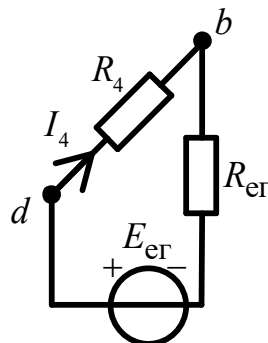


Рисунок 6.3.4 – Електричне коло

$$I_4 = \frac{E_{\text{ер}}}{R_{\text{ер}} + R_4} = \frac{\frac{840}{19}}{\frac{360}{19} + 60} = 0.56(\text{A}). \quad (6.3.3)$$

Знайдемо значення сили струму I_5 . Для цього вилучимо вітку з опором R_5 (рис. 6.3.5).

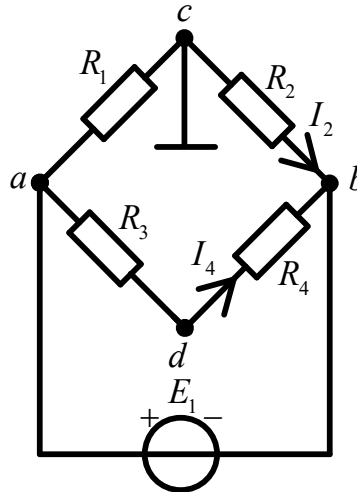


Рисунок 6.3.5 – Схема електричного кола

Розрахуємо значення ЕРС еквівалентного генератора напруги

$$\begin{aligned} E_{\text{ер}} &= -\frac{E_1}{R_3 + R_4} \cdot R_3 + \frac{E_1}{R_1 + R_2} \cdot R_1 = \\ &= -\frac{120}{90 + 60} \cdot 90 + \frac{120}{60 + 15} \cdot 60 = -72 + 96 = 24(\text{В}). \end{aligned} \quad (6.3.4)$$

Визначимо еквівалентний опір $R_{\text{ер}}$ (рис. 6.3.6).

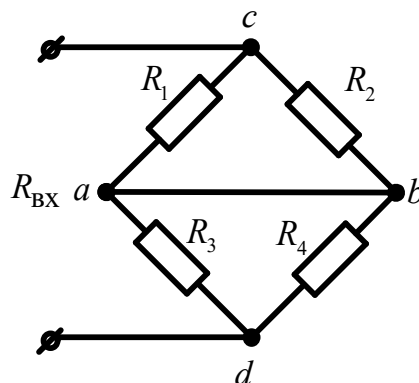


Рисунок 6.3.6 – Схема електричного кола

$$R_{\text{ер}} = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} + \frac{R_3 \cdot R_4}{R_3 + R_4} = \frac{60 \cdot 15}{60 + 15} + \frac{90 \cdot 60}{90 + 60} = 48(\text{Ом}). \quad (6.3.5)$$

Розрахуємо силу струму I_5 за законом Ома для електричного кола, що наведено на рис. 6.3.7.

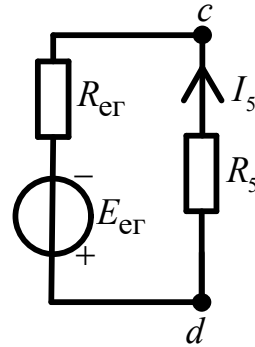


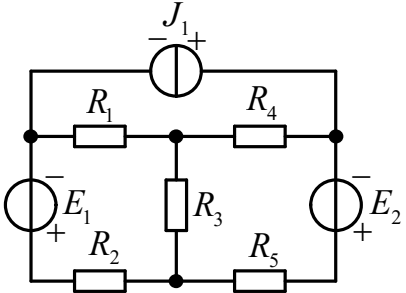
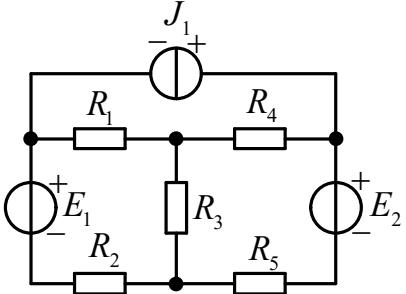
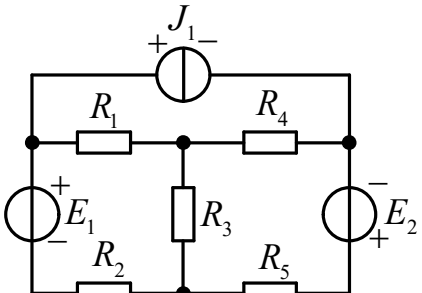
Рисунок 6.3.7 – Схема електричного кола

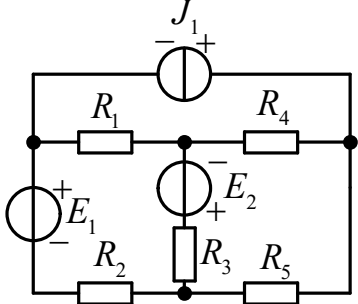
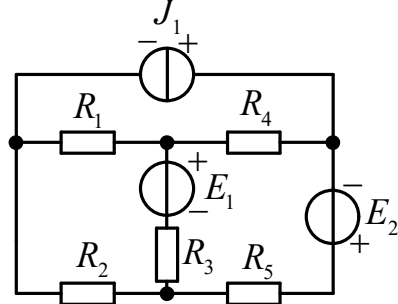
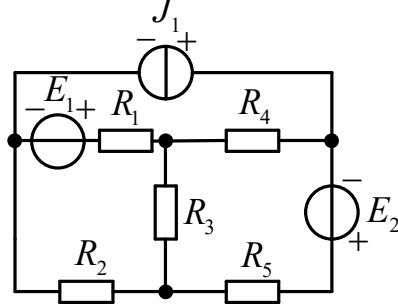
$$I_5 = \frac{E_{\text{ер}}}{R_{\text{ер}} + R_5} = \frac{24}{48 + 12} = 0.4(\text{А}). \quad (6.3.6)$$

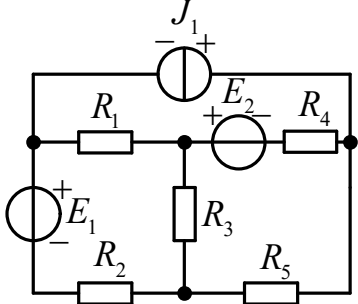
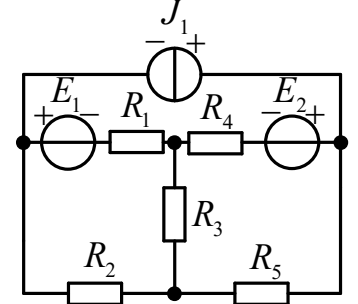
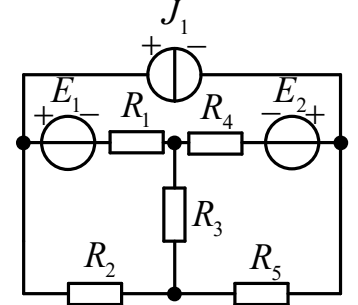
САМОСТІЙНА РОБОТА

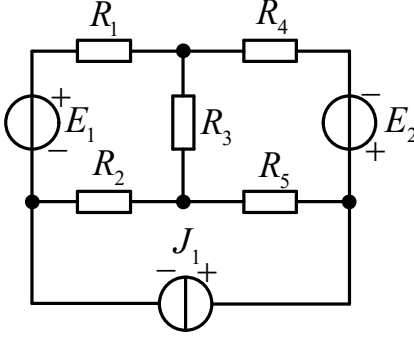
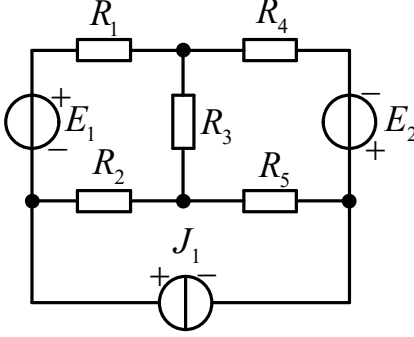
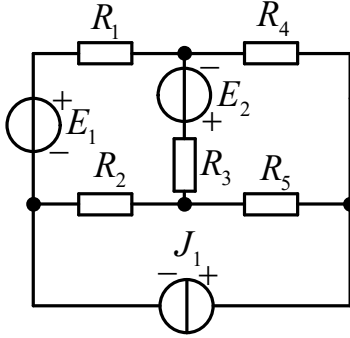
Застосування методу активного двополюсника для розрахунку лінійного електричного кола постійного струму

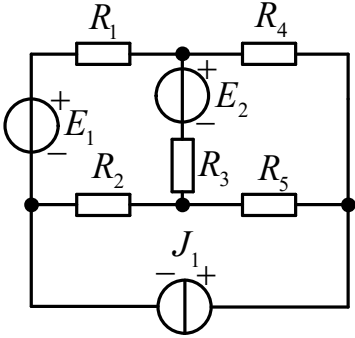
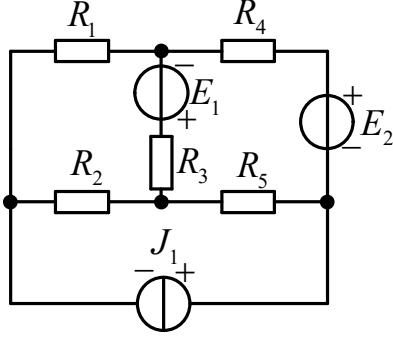
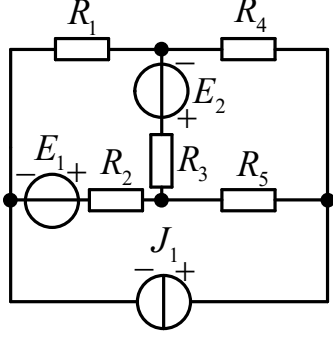
Варіант №1	
Завдання:	$E_1, \text{В}$ 100
	$E_2, \text{В}$ 50
1. Розрахувати силу струму у вітці з опором R_2 методом еквівалентного генератора.	$J_1, \text{А}$ 20
	$R_1, \text{Ом}$ 15
	$R_2, \text{Ом}$ 25
	$R_3, \text{Ом}$ 40
	$R_4, \text{Ом}$ 35
$R_5, \text{Ом}$ 20	
<p style="text-align: center;">Рисунок 1</p>	

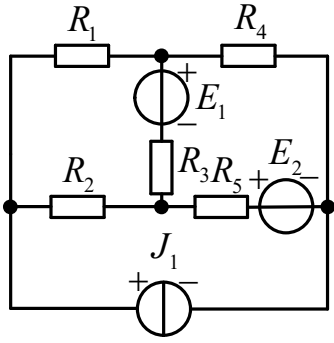
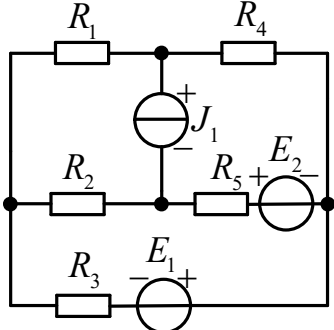
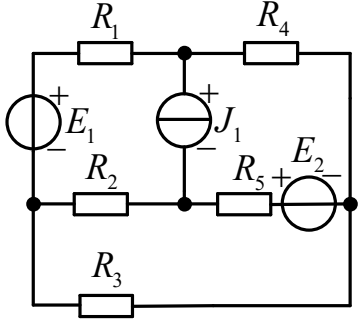
<p align="center">Варіант №2</p> <p>Завдання: 1. Розрахувати силу струму у вітці з опором R_2 методом еквівалентного генератора.</p>	<table border="0"> <tr><td>E_1, В</td><td>200</td></tr> <tr><td>E_2, В</td><td>300</td></tr> <tr><td>J_1, А</td><td>10</td></tr> <tr><td>R_1, Ом</td><td>15</td></tr> <tr><td>R_2, Ом</td><td>30</td></tr> <tr><td>R_3, Ом</td><td>80</td></tr> <tr><td>R_4, Ом</td><td>100</td></tr> <tr><td>R_5, Ом</td><td>10</td></tr> </table>	E_1 , В	200	E_2 , В	300	J_1 , А	10	R_1 , Ом	15	R_2 , Ом	30	R_3 , Ом	80	R_4 , Ом	100	R_5 , Ом	10
E_1 , В	200																
E_2 , В	300																
J_1 , А	10																
R_1 , Ом	15																
R_2 , Ом	30																
R_3 , Ом	80																
R_4 , Ом	100																
R_5 , Ом	10																
<p align="center">  </p> <p align="center">Рисунок 2</p>																	
<p align="center">Варіант №3</p> <p>Завдання: 1. Розрахувати силу струму у вітці з опором R_2 методом еквівалентного генератора.</p>	<table border="0"> <tr><td>E_1, В</td><td>100</td></tr> <tr><td>E_2, В</td><td>150</td></tr> <tr><td>J_1, А</td><td>30</td></tr> <tr><td>R_1, Ом</td><td>50</td></tr> <tr><td>R_2, Ом</td><td>25</td></tr> <tr><td>R_3, Ом</td><td>20</td></tr> <tr><td>R_4, Ом</td><td>65</td></tr> <tr><td>R_5, Ом</td><td>200</td></tr> </table>	E_1 , В	100	E_2 , В	150	J_1 , А	30	R_1 , Ом	50	R_2 , Ом	25	R_3 , Ом	20	R_4 , Ом	65	R_5 , Ом	200
E_1 , В	100																
E_2 , В	150																
J_1 , А	30																
R_1 , Ом	50																
R_2 , Ом	25																
R_3 , Ом	20																
R_4 , Ом	65																
R_5 , Ом	200																
<p align="center">  </p> <p align="center">Рисунок 3</p>																	
<p align="center">Варіант №4</p> <p>Завдання: 1. Розрахувати силу струму у вітці з опором R_2 методом еквівалентного генератора.</p>	<table border="0"> <tr><td>E_1, В</td><td>20</td></tr> <tr><td>E_2, В</td><td>50</td></tr> <tr><td>J_1, А</td><td>20</td></tr> <tr><td>R_1, Ом</td><td>5</td></tr> <tr><td>R_2, Ом</td><td>25</td></tr> <tr><td>R_3, Ом</td><td>10</td></tr> <tr><td>R_4, Ом</td><td>35</td></tr> <tr><td>R_5, Ом</td><td>20</td></tr> </table>	E_1 , В	20	E_2 , В	50	J_1 , А	20	R_1 , Ом	5	R_2 , Ом	25	R_3 , Ом	10	R_4 , Ом	35	R_5 , Ом	20
E_1 , В	20																
E_2 , В	50																
J_1 , А	20																
R_1 , Ом	5																
R_2 , Ом	25																
R_3 , Ом	10																
R_4 , Ом	35																
R_5 , Ом	20																
<p align="center">  </p> <p align="center">Рисунок 4</p>																	
<p align="center">Варіант №5</p> <p>Завдання: 1. Розрахувати силу струму у вітці з опором R_2 методом еквівалентного генератора.</p>	<table border="0"> <tr><td>E_1, В</td><td>50</td></tr> <tr><td>E_2, В</td><td>100</td></tr> </table>	E_1 , В	50	E_2 , В	100												
E_1 , В	50																
E_2 , В	100																

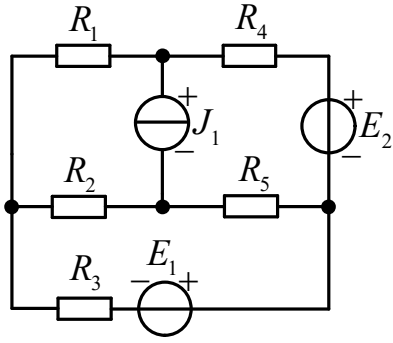
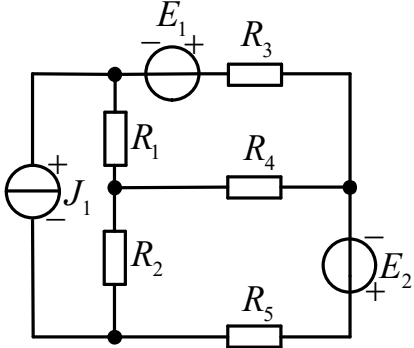
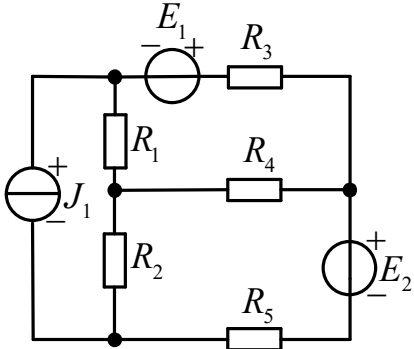
 <p style="text-align: center;">Рисунок 5</p>	<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td style="width: 60%;">$J_1, \text{ A}$</td><td style="text-align: right;">10</td></tr> <tr><td>$R_1, \text{ Ом}$</td><td style="text-align: right;">30</td></tr> <tr><td>$R_2, \text{ Ом}$</td><td style="text-align: right;">20</td></tr> <tr><td>$R_3, \text{ Ом}$</td><td style="text-align: right;">10</td></tr> <tr><td>$R_4, \text{ Ом}$</td><td style="text-align: right;">35</td></tr> <tr><td>$R_5, \text{ Ом}$</td><td style="text-align: right;">40</td></tr> </table>	$J_1, \text{ A}$	10	$R_1, \text{ Ом}$	30	$R_2, \text{ Ом}$	20	$R_3, \text{ Ом}$	10	$R_4, \text{ Ом}$	35	$R_5, \text{ Ом}$	40
$J_1, \text{ A}$	10												
$R_1, \text{ Ом}$	30												
$R_2, \text{ Ом}$	20												
$R_3, \text{ Ом}$	10												
$R_4, \text{ Ом}$	35												
$R_5, \text{ Ом}$	40												
<p style="text-align: center;">Варіант №6</p> <p>Завдання: 1. Розрахувати силу струму у вітці з опором R_2 методом еквівалентного генератора.</p>	<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td style="width: 60%;">$E_1, \text{ В}$</td><td style="text-align: right;">200</td></tr> <tr><td>$E_2, \text{ В}$</td><td style="text-align: right;">250</td></tr> <tr><td>$J_1, \text{ A}$</td><td style="text-align: right;">30</td></tr> </table>	$E_1, \text{ В}$	200	$E_2, \text{ В}$	250	$J_1, \text{ A}$	30						
$E_1, \text{ В}$	200												
$E_2, \text{ В}$	250												
$J_1, \text{ A}$	30												
 <p style="text-align: center;">Рисунок 6</p>	<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td style="width: 60%;">$R_1, \text{ Ом}$</td><td style="text-align: right;">10</td></tr> <tr><td>$R_2, \text{ Ом}$</td><td style="text-align: right;">25</td></tr> <tr><td>$R_3, \text{ Ом}$</td><td style="text-align: right;">50</td></tr> <tr><td>$R_4, \text{ Ом}$</td><td style="text-align: right;">30</td></tr> <tr><td>$R_5, \text{ Ом}$</td><td style="text-align: right;">20</td></tr> </table>	$R_1, \text{ Ом}$	10	$R_2, \text{ Ом}$	25	$R_3, \text{ Ом}$	50	$R_4, \text{ Ом}$	30	$R_5, \text{ Ом}$	20		
$R_1, \text{ Ом}$	10												
$R_2, \text{ Ом}$	25												
$R_3, \text{ Ом}$	50												
$R_4, \text{ Ом}$	30												
$R_5, \text{ Ом}$	20												
<p style="text-align: center;">Варіант №7</p> <p>Завдання: 1. Розрахувати силу струму у вітці з опором R_2 методом еквівалентного генератора.</p>	<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td style="width: 60%;">$E_1, \text{ В}$</td><td style="text-align: right;">100</td></tr> <tr><td>$E_2, \text{ В}$</td><td style="text-align: right;">60</td></tr> <tr><td>$J_1, \text{ A}$</td><td style="text-align: right;">20</td></tr> </table>	$E_1, \text{ В}$	100	$E_2, \text{ В}$	60	$J_1, \text{ A}$	20						
$E_1, \text{ В}$	100												
$E_2, \text{ В}$	60												
$J_1, \text{ A}$	20												
 <p style="text-align: center;">Рисунок 7</p>	<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td style="width: 60%;">$R_1, \text{ Ом}$</td><td style="text-align: right;">45</td></tr> <tr><td>$R_2, \text{ Ом}$</td><td style="text-align: right;">25</td></tr> <tr><td>$R_3, \text{ Ом}$</td><td style="text-align: right;">60</td></tr> <tr><td>$R_4, \text{ Ом}$</td><td style="text-align: right;">35</td></tr> <tr><td>$R_5, \text{ Ом}$</td><td style="text-align: right;">20</td></tr> </table>	$R_1, \text{ Ом}$	45	$R_2, \text{ Ом}$	25	$R_3, \text{ Ом}$	60	$R_4, \text{ Ом}$	35	$R_5, \text{ Ом}$	20		
$R_1, \text{ Ом}$	45												
$R_2, \text{ Ом}$	25												
$R_3, \text{ Ом}$	60												
$R_4, \text{ Ом}$	35												
$R_5, \text{ Ом}$	20												
<p style="text-align: center;">Варіант №8</p> <p>Завдання: 1. Розрахувати силу струму у вітці з опором R_2 методом еквівалентного генератора.</p>	<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td style="width: 60%;">$E_1, \text{ В}$</td><td style="text-align: right;">80</td></tr> <tr><td>$E_2, \text{ В}$</td><td style="text-align: right;">100</td></tr> <tr><td>$J_1, \text{ A}$</td><td style="text-align: right;">5</td></tr> </table>	$E_1, \text{ В}$	80	$E_2, \text{ В}$	100	$J_1, \text{ A}$	5						
$E_1, \text{ В}$	80												
$E_2, \text{ В}$	100												
$J_1, \text{ A}$	5												

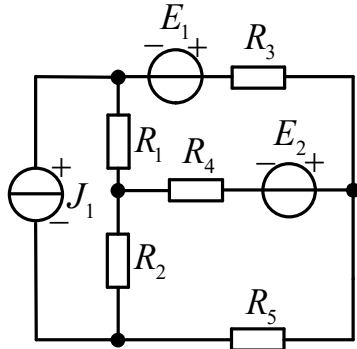
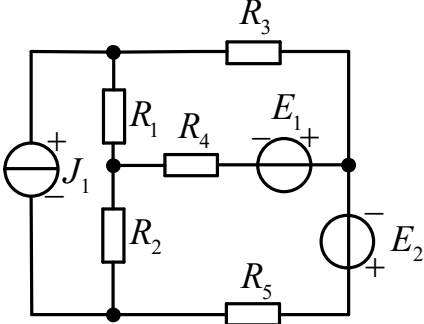
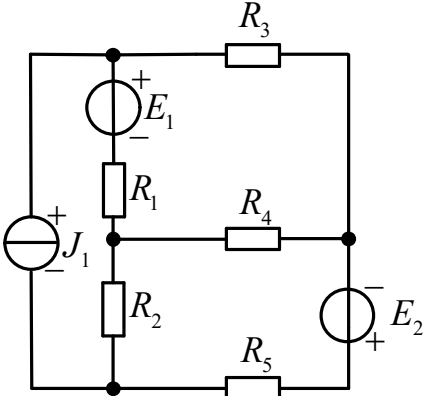
 <p style="text-align: center;">Рисунок 8</p>	<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td style="width: 60%;">$R_1, \text{ Ом}$</td><td style="text-align: right;">65</td></tr> <tr><td>$R_2, \text{ Ом}$</td><td style="text-align: right;">75</td></tr> <tr><td>$R_3, \text{ Ом}$</td><td style="text-align: right;">90</td></tr> <tr><td>$R_4, \text{ Ом}$</td><td style="text-align: right;">45</td></tr> <tr><td>$R_5, \text{ Ом}$</td><td style="text-align: right;">10</td></tr> </table>	$R_1, \text{ Ом}$	65	$R_2, \text{ Ом}$	75	$R_3, \text{ Ом}$	90	$R_4, \text{ Ом}$	45	$R_5, \text{ Ом}$	10
$R_1, \text{ Ом}$	65										
$R_2, \text{ Ом}$	75										
$R_3, \text{ Ом}$	90										
$R_4, \text{ Ом}$	45										
$R_5, \text{ Ом}$	10										
<p style="text-align: center;">Варіант №9</p> <p>Завдання: 1. Розрахувати силу струму у вітці з опором R_2 методом еквівалентного генератора.</p>	<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td style="width: 60%;">$E_1, \text{ В}$</td><td style="text-align: right;">100</td></tr> <tr><td>$E_2, \text{ В}$</td><td style="text-align: right;">75</td></tr> <tr><td>$J_1, \text{ А}$</td><td style="text-align: right;">20</td></tr> </table>	$E_1, \text{ В}$	100	$E_2, \text{ В}$	75	$J_1, \text{ А}$	20				
$E_1, \text{ В}$	100										
$E_2, \text{ В}$	75										
$J_1, \text{ А}$	20										
 <p style="text-align: center;">Рисунок 9</p>	<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td style="width: 60%;">$R_1, \text{ Ом}$</td><td style="text-align: right;">50</td></tr> <tr><td>$R_2, \text{ Ом}$</td><td style="text-align: right;">25</td></tr> <tr><td>$R_3, \text{ Ом}$</td><td style="text-align: right;">40</td></tr> <tr><td>$R_4, \text{ Ом}$</td><td style="text-align: right;">35</td></tr> <tr><td>$R_5, \text{ Ом}$</td><td style="text-align: right;">20</td></tr> </table>	$R_1, \text{ Ом}$	50	$R_2, \text{ Ом}$	25	$R_3, \text{ Ом}$	40	$R_4, \text{ Ом}$	35	$R_5, \text{ Ом}$	20
$R_1, \text{ Ом}$	50										
$R_2, \text{ Ом}$	25										
$R_3, \text{ Ом}$	40										
$R_4, \text{ Ом}$	35										
$R_5, \text{ Ом}$	20										
<p style="text-align: center;">Варіант №10</p> <p>Завдання: 1. Розрахувати силу струму у вітці з опором R_2 методом еквівалентного генератора.</p>	<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td style="width: 60%;">$E_1, \text{ В}$</td><td style="text-align: right;">200</td></tr> <tr><td>$E_2, \text{ В}$</td><td style="text-align: right;">300</td></tr> <tr><td>$J_1, \text{ А}$</td><td style="text-align: right;">30</td></tr> </table>	$E_1, \text{ В}$	200	$E_2, \text{ В}$	300	$J_1, \text{ А}$	30				
$E_1, \text{ В}$	200										
$E_2, \text{ В}$	300										
$J_1, \text{ А}$	30										
 <p style="text-align: center;">Рисунок 10</p>	<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td style="width: 60%;">$R_1, \text{ Ом}$</td><td style="text-align: right;">80</td></tr> <tr><td>$R_2, \text{ Ом}$</td><td style="text-align: right;">100</td></tr> <tr><td>$R_3, \text{ Ом}$</td><td style="text-align: right;">40</td></tr> <tr><td>$R_4, \text{ Ом}$</td><td style="text-align: right;">25</td></tr> <tr><td>$R_5, \text{ Ом}$</td><td style="text-align: right;">20</td></tr> </table>	$R_1, \text{ Ом}$	80	$R_2, \text{ Ом}$	100	$R_3, \text{ Ом}$	40	$R_4, \text{ Ом}$	25	$R_5, \text{ Ом}$	20
$R_1, \text{ Ом}$	80										
$R_2, \text{ Ом}$	100										
$R_3, \text{ Ом}$	40										
$R_4, \text{ Ом}$	25										
$R_5, \text{ Ом}$	20										
<p style="text-align: center;">Варіант №11</p> <p>Завдання: 1. Розрахувати силу струму у вітці з опором R_2 методом еквівалентного генератора.</p>	<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td style="width: 60%;">$E_1, \text{ В}$</td><td style="text-align: right;">100</td></tr> <tr><td>$E_2, \text{ В}$</td><td style="text-align: right;">50</td></tr> </table>	$E_1, \text{ В}$	100	$E_2, \text{ В}$	50						
$E_1, \text{ В}$	100										
$E_2, \text{ В}$	50										

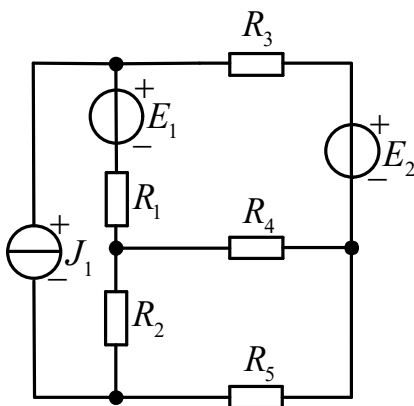
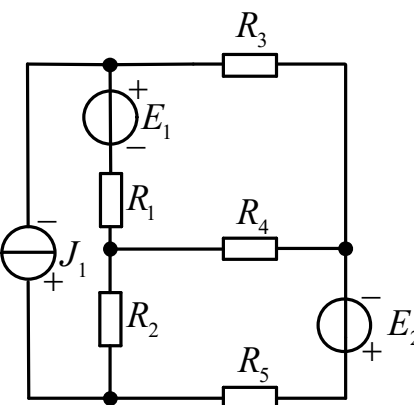
 <p style="text-align: center;">Рисунок 11</p>	<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td style="width: 50%;">$J_1, \text{ A}$</td><td style="width: 50%; text-align: right;">20</td></tr> <tr><td>$R_1, \text{ Ом}$</td><td style="text-align: right;">15</td></tr> <tr><td>$R_2, \text{ Ом}$</td><td style="text-align: right;">25</td></tr> <tr><td>$R_3, \text{ Ом}$</td><td style="text-align: right;">40</td></tr> <tr><td>$R_4, \text{ Ом}$</td><td style="text-align: right;">35</td></tr> <tr><td>$R_5, \text{ Ом}$</td><td style="text-align: right;">20</td></tr> </table>	$J_1, \text{ A}$	20	$R_1, \text{ Ом}$	15	$R_2, \text{ Ом}$	25	$R_3, \text{ Ом}$	40	$R_4, \text{ Ом}$	35	$R_5, \text{ Ом}$	20
$J_1, \text{ A}$	20												
$R_1, \text{ Ом}$	15												
$R_2, \text{ Ом}$	25												
$R_3, \text{ Ом}$	40												
$R_4, \text{ Ом}$	35												
$R_5, \text{ Ом}$	20												
<p style="text-align: center;">Варіант №12</p> <p>Завдання: 1. Розрахувати силу струму у вітці з опором R_2 методом еквівалентного генератора.</p>	<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td style="width: 50%;">$E_1, \text{ В}$</td><td style="width: 50%; text-align: right;">40</td></tr> <tr><td>$E_2, \text{ В}$</td><td style="text-align: right;">50</td></tr> <tr><td>$J_1, \text{ A}$</td><td style="text-align: right;">10</td></tr> </table>	$E_1, \text{ В}$	40	$E_2, \text{ В}$	50	$J_1, \text{ A}$	10						
$E_1, \text{ В}$	40												
$E_2, \text{ В}$	50												
$J_1, \text{ A}$	10												
 <p style="text-align: center;">Рисунок 12</p>	<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td style="width: 50%;">$R_1, \text{ Ом}$</td><td style="width: 50%; text-align: right;">30</td></tr> <tr><td>$R_2, \text{ Ом}$</td><td style="text-align: right;">40</td></tr> <tr><td>$R_3, \text{ Ом}$</td><td style="text-align: right;">50</td></tr> <tr><td>$R_4, \text{ Ом}$</td><td style="text-align: right;">35</td></tr> <tr><td>$R_5, \text{ Ом}$</td><td style="text-align: right;">20</td></tr> </table>	$R_1, \text{ Ом}$	30	$R_2, \text{ Ом}$	40	$R_3, \text{ Ом}$	50	$R_4, \text{ Ом}$	35	$R_5, \text{ Ом}$	20		
$R_1, \text{ Ом}$	30												
$R_2, \text{ Ом}$	40												
$R_3, \text{ Ом}$	50												
$R_4, \text{ Ом}$	35												
$R_5, \text{ Ом}$	20												
<p style="text-align: center;">Варіант №13</p> <p>Завдання: 1. Розрахувати силу струму у вітці з опором R_2 методом еквівалентного генератора.</p>	<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td style="width: 50%;">$E_1, \text{ В}$</td><td style="width: 50%; text-align: right;">150</td></tr> <tr><td>$E_2, \text{ В}$</td><td style="text-align: right;">90</td></tr> <tr><td>$J_1, \text{ A}$</td><td style="text-align: right;">10</td></tr> </table>	$E_1, \text{ В}$	150	$E_2, \text{ В}$	90	$J_1, \text{ A}$	10						
$E_1, \text{ В}$	150												
$E_2, \text{ В}$	90												
$J_1, \text{ A}$	10												
 <p style="text-align: center;">Рисунок 13</p>	<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td style="width: 50%;">$R_1, \text{ Ом}$</td><td style="width: 50%; text-align: right;">100</td></tr> <tr><td>$R_2, \text{ Ом}$</td><td style="text-align: right;">25</td></tr> <tr><td>$R_3, \text{ Ом}$</td><td style="text-align: right;">40</td></tr> <tr><td>$R_4, \text{ Ом}$</td><td style="text-align: right;">35</td></tr> <tr><td>$R_5, \text{ Ом}$</td><td style="text-align: right;">20</td></tr> </table>	$R_1, \text{ Ом}$	100	$R_2, \text{ Ом}$	25	$R_3, \text{ Ом}$	40	$R_4, \text{ Ом}$	35	$R_5, \text{ Ом}$	20		
$R_1, \text{ Ом}$	100												
$R_2, \text{ Ом}$	25												
$R_3, \text{ Ом}$	40												
$R_4, \text{ Ом}$	35												
$R_5, \text{ Ом}$	20												
<p style="text-align: center;">Варіант №14</p> <p>Завдання: 1. Розрахувати силу струму у вітці з опором R_2 методом еквівалентного генератора.</p>	<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td style="width: 50%;">$E_1, \text{ В}$</td><td style="width: 50%; text-align: right;">150</td></tr> <tr><td>$E_2, \text{ В}$</td><td style="text-align: right;">200</td></tr> </table>	$E_1, \text{ В}$	150	$E_2, \text{ В}$	200								
$E_1, \text{ В}$	150												
$E_2, \text{ В}$	200												

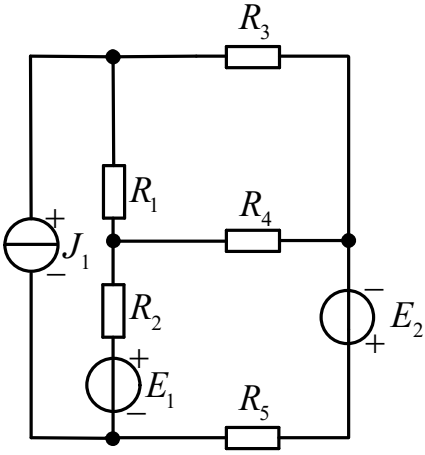
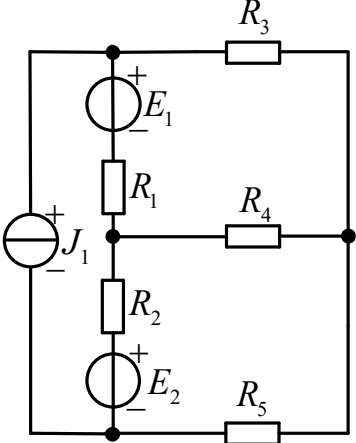
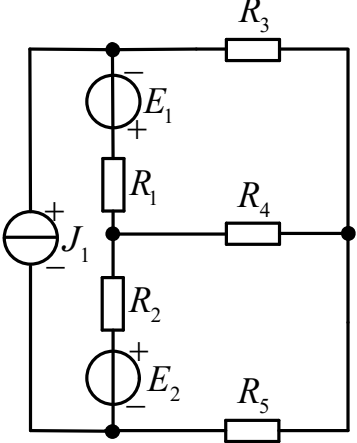
 <p style="text-align: center;">Рисунок 14</p>	<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td style="width: 50%;">$J_1, \text{ A}$</td><td style="width: 50%; text-align: right;">5</td></tr> <tr><td>$R_1, \text{ Ом}$</td><td style="text-align: right;">100</td></tr> <tr><td>$R_2, \text{ Ом}$</td><td style="text-align: right;">25</td></tr> <tr><td>$R_3, \text{ Ом}$</td><td style="text-align: right;">40</td></tr> <tr><td>$R_4, \text{ Ом}$</td><td style="text-align: right;">35</td></tr> <tr><td>$R_5, \text{ Ом}$</td><td style="text-align: right;">20</td></tr> </table>	$J_1, \text{ A}$	5	$R_1, \text{ Ом}$	100	$R_2, \text{ Ом}$	25	$R_3, \text{ Ом}$	40	$R_4, \text{ Ом}$	35	$R_5, \text{ Ом}$	20
$J_1, \text{ A}$	5												
$R_1, \text{ Ом}$	100												
$R_2, \text{ Ом}$	25												
$R_3, \text{ Ом}$	40												
$R_4, \text{ Ом}$	35												
$R_5, \text{ Ом}$	20												
<p style="text-align: center;">Варіант №15</p> <p>Завдання: 1. Розрахувати силу струму у вітці з опором R_2 методом еквівалентного генератора.</p>	<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td style="width: 50%;">$E_1, \text{ В}$</td><td style="width: 50%; text-align: right;">150</td></tr> <tr><td>$E_2, \text{ В}$</td><td style="text-align: right;">10</td></tr> <tr><td>$J_1, \text{ A}$</td><td style="text-align: right;">10</td></tr> </table>	$E_1, \text{ В}$	150	$E_2, \text{ В}$	10	$J_1, \text{ A}$	10						
$E_1, \text{ В}$	150												
$E_2, \text{ В}$	10												
$J_1, \text{ A}$	10												
 <p style="text-align: center;">Рисунок 15</p>	<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td style="width: 50%;">$R_1, \text{ Ом}$</td><td style="width: 50%; text-align: right;">100</td></tr> <tr><td>$R_2, \text{ Ом}$</td><td style="text-align: right;">25</td></tr> <tr><td>$R_3, \text{ Ом}$</td><td style="text-align: right;">40</td></tr> <tr><td>$R_4, \text{ Ом}$</td><td style="text-align: right;">50</td></tr> <tr><td>$R_5, \text{ Ом}$</td><td style="text-align: right;">20</td></tr> </table>	$R_1, \text{ Ом}$	100	$R_2, \text{ Ом}$	25	$R_3, \text{ Ом}$	40	$R_4, \text{ Ом}$	50	$R_5, \text{ Ом}$	20		
$R_1, \text{ Ом}$	100												
$R_2, \text{ Ом}$	25												
$R_3, \text{ Ом}$	40												
$R_4, \text{ Ом}$	50												
$R_5, \text{ Ом}$	20												
<p style="text-align: center;">Варіант №16</p> <p>Завдання: 1. Розрахувати силу струму у вітці з опором R_2 методом еквівалентного генератора.</p>	<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td style="width: 50%;">$E_1, \text{ В}$</td><td style="width: 50%; text-align: right;">50</td></tr> <tr><td>$E_2, \text{ В}$</td><td style="text-align: right;">100</td></tr> <tr><td>$J_1, \text{ A}$</td><td style="text-align: right;">10</td></tr> </table>	$E_1, \text{ В}$	50	$E_2, \text{ В}$	100	$J_1, \text{ A}$	10						
$E_1, \text{ В}$	50												
$E_2, \text{ В}$	100												
$J_1, \text{ A}$	10												
 <p style="text-align: center;">Рисунок 16</p>	<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td style="width: 50%;">$R_1, \text{ Ом}$</td><td style="width: 50%; text-align: right;">10</td></tr> <tr><td>$R_2, \text{ Ом}$</td><td style="text-align: right;">20</td></tr> <tr><td>$R_3, \text{ Ом}$</td><td style="text-align: right;">40</td></tr> <tr><td>$R_4, \text{ Ом}$</td><td style="text-align: right;">35</td></tr> <tr><td>$R_5, \text{ Ом}$</td><td style="text-align: right;">20</td></tr> </table>	$R_1, \text{ Ом}$	10	$R_2, \text{ Ом}$	20	$R_3, \text{ Ом}$	40	$R_4, \text{ Ом}$	35	$R_5, \text{ Ом}$	20		
$R_1, \text{ Ом}$	10												
$R_2, \text{ Ом}$	20												
$R_3, \text{ Ом}$	40												
$R_4, \text{ Ом}$	35												
$R_5, \text{ Ом}$	20												
<p style="text-align: center;">Варіант №17</p> <p>Завдання: 1. Розрахувати силу струму у вітці з опором R_2 методом еквівалентного генератора.</p>	<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td style="width: 50%;">$E_1, \text{ В}$</td><td style="width: 50%; text-align: right;">20</td></tr> <tr><td>$E_2, \text{ В}$</td><td style="text-align: right;">50</td></tr> </table>	$E_1, \text{ В}$	20	$E_2, \text{ В}$	50								
$E_1, \text{ В}$	20												
$E_2, \text{ В}$	50												

 <p style="text-align: center;">Рисунок 17</p>	<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td style="width: 60%;">$J_1, \text{ A}$</td><td style="text-align: right;">10</td></tr> <tr><td>$R_1, \text{ Ом}$</td><td style="text-align: right;">50</td></tr> <tr><td>$R_2, \text{ Ом}$</td><td style="text-align: right;">40</td></tr> <tr><td>$R_3, \text{ Ом}$</td><td style="text-align: right;">10</td></tr> <tr><td>$R_4, \text{ Ом}$</td><td style="text-align: right;">35</td></tr> <tr><td>$R_5, \text{ Ом}$</td><td style="text-align: right;">20</td></tr> </table>	$J_1, \text{ A}$	10	$R_1, \text{ Ом}$	50	$R_2, \text{ Ом}$	40	$R_3, \text{ Ом}$	10	$R_4, \text{ Ом}$	35	$R_5, \text{ Ом}$	20
$J_1, \text{ A}$	10												
$R_1, \text{ Ом}$	50												
$R_2, \text{ Ом}$	40												
$R_3, \text{ Ом}$	10												
$R_4, \text{ Ом}$	35												
$R_5, \text{ Ом}$	20												
<p>Варіант №18</p> <p>Завдання: 1. Розрахувати силу струму у вітці з опором R_2 методом еквівалентного генератора.</p>	<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td style="width: 60%;">$E_1, \text{ В}$</td><td style="text-align: right;">100</td></tr> <tr><td>$E_2, \text{ В}$</td><td style="text-align: right;">60</td></tr> <tr><td>$J_1, \text{ A}$</td><td style="text-align: right;">20</td></tr> </table>	$E_1, \text{ В}$	100	$E_2, \text{ В}$	60	$J_1, \text{ A}$	20						
$E_1, \text{ В}$	100												
$E_2, \text{ В}$	60												
$J_1, \text{ A}$	20												
 <p style="text-align: center;">Рисунок 18</p>	<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td style="width: 60%;">$R_1, \text{ Ом}$</td><td style="text-align: right;">60</td></tr> <tr><td>$R_2, \text{ Ом}$</td><td style="text-align: right;">40</td></tr> <tr><td>$R_3, \text{ Ом}$</td><td style="text-align: right;">60</td></tr> <tr><td>$R_4, \text{ Ом}$</td><td style="text-align: right;">35</td></tr> <tr><td>$R_5, \text{ Ом}$</td><td style="text-align: right;">40</td></tr> </table>	$R_1, \text{ Ом}$	60	$R_2, \text{ Ом}$	40	$R_3, \text{ Ом}$	60	$R_4, \text{ Ом}$	35	$R_5, \text{ Ом}$	40		
$R_1, \text{ Ом}$	60												
$R_2, \text{ Ом}$	40												
$R_3, \text{ Ом}$	60												
$R_4, \text{ Ом}$	35												
$R_5, \text{ Ом}$	40												
<p>Варіант №19</p> <p>Завдання: 1. Розрахувати силу струму у вітці з опором R_2 методом еквівалентного генератора.</p>	<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td style="width: 60%;">$E_1, \text{ В}$</td><td style="text-align: right;">100</td></tr> <tr><td>$E_2, \text{ В}$</td><td style="text-align: right;">40</td></tr> <tr><td>$J_1, \text{ A}$</td><td style="text-align: right;">10</td></tr> </table>	$E_1, \text{ В}$	100	$E_2, \text{ В}$	40	$J_1, \text{ A}$	10						
$E_1, \text{ В}$	100												
$E_2, \text{ В}$	40												
$J_1, \text{ A}$	10												
 <p style="text-align: center;">Рисунок 19</p>	<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td style="width: 60%;">$R_1, \text{ Ом}$</td><td style="text-align: right;">60</td></tr> <tr><td>$R_2, \text{ Ом}$</td><td style="text-align: right;">10</td></tr> <tr><td>$R_3, \text{ Ом}$</td><td style="text-align: right;">60</td></tr> <tr><td>$R_4, \text{ Ом}$</td><td style="text-align: right;">35</td></tr> <tr><td>$R_5, \text{ Ом}$</td><td style="text-align: right;">40</td></tr> </table>	$R_1, \text{ Ом}$	60	$R_2, \text{ Ом}$	10	$R_3, \text{ Ом}$	60	$R_4, \text{ Ом}$	35	$R_5, \text{ Ом}$	40		
$R_1, \text{ Ом}$	60												
$R_2, \text{ Ом}$	10												
$R_3, \text{ Ом}$	60												
$R_4, \text{ Ом}$	35												
$R_5, \text{ Ом}$	40												
<p>Варіант №20</p> <p>Завдання: 1. Розрахувати силу струму у вітці з опором R_2 методом еквівалентного генератора.</p>	<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td style="width: 60%;">$E_1, \text{ В}$</td><td style="text-align: right;">200</td></tr> <tr><td>$E_2, \text{ В}$</td><td style="text-align: right;">50</td></tr> </table>	$E_1, \text{ В}$	200	$E_2, \text{ В}$	50								
$E_1, \text{ В}$	200												
$E_2, \text{ В}$	50												

 <p style="text-align: center;">Рисунок 20</p>	<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td style="width: 60%;">J_1, A</td><td style="text-align: right;">20</td></tr> <tr><td>R_1, OM</td><td style="text-align: right;">10</td></tr> <tr><td>R_2, OM</td><td style="text-align: right;">20</td></tr> <tr><td>R_3, OM</td><td style="text-align: right;">30</td></tr> <tr><td>R_4, OM</td><td style="text-align: right;">40</td></tr> <tr><td>R_5, OM</td><td style="text-align: right;">50</td></tr> </table>	J_1, A	20	R_1, OM	10	R_2, OM	20	R_3, OM	30	R_4, OM	40	R_5, OM	50
J_1, A	20												
R_1, OM	10												
R_2, OM	20												
R_3, OM	30												
R_4, OM	40												
R_5, OM	50												
<p style="text-align: center;">Варіант №21</p> <p>Завдання: 1. Розрахувати силу струму у вітці з опором R_2 методом еквівалентного генератора.</p>	<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td style="width: 60%;">$E_1, \text{В}$</td><td style="text-align: right;">100</td></tr> <tr><td>$E_2, \text{В}$</td><td style="text-align: right;">200</td></tr> <tr><td>J_1, A</td><td style="text-align: right;">20</td></tr> </table>	$E_1, \text{В}$	100	$E_2, \text{В}$	200	J_1, A	20						
$E_1, \text{В}$	100												
$E_2, \text{В}$	200												
J_1, A	20												
 <p style="text-align: center;">Рисунок 21</p>	<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td style="width: 60%;">R_1, OM</td><td style="text-align: right;">40</td></tr> <tr><td>R_2, OM</td><td style="text-align: right;">50</td></tr> <tr><td>R_3, OM</td><td style="text-align: right;">70</td></tr> <tr><td>R_4, OM</td><td style="text-align: right;">35</td></tr> <tr><td>R_5, OM</td><td style="text-align: right;">20</td></tr> </table>	R_1, OM	40	R_2, OM	50	R_3, OM	70	R_4, OM	35	R_5, OM	20		
R_1, OM	40												
R_2, OM	50												
R_3, OM	70												
R_4, OM	35												
R_5, OM	20												
<p style="text-align: center;">Варіант №22</p> <p>Завдання: 1. Розрахувати силу струму у вітці з опором R_2 методом еквівалентного генератора.</p>	<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td style="width: 60%;">$E_1, \text{В}$</td><td style="text-align: right;">100</td></tr> <tr><td>$E_2, \text{В}$</td><td style="text-align: right;">40</td></tr> <tr><td>J_1, A</td><td style="text-align: right;">10</td></tr> </table>	$E_1, \text{В}$	100	$E_2, \text{В}$	40	J_1, A	10						
$E_1, \text{В}$	100												
$E_2, \text{В}$	40												
J_1, A	10												
 <p style="text-align: center;">Рисунок 22</p>	<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td style="width: 60%;">R_1, OM</td><td style="text-align: right;">40</td></tr> <tr><td>R_2, OM</td><td style="text-align: right;">20</td></tr> <tr><td>R_3, OM</td><td style="text-align: right;">80</td></tr> <tr><td>R_4, OM</td><td style="text-align: right;">35</td></tr> <tr><td>R_5, OM</td><td style="text-align: right;">20</td></tr> </table>	R_1, OM	40	R_2, OM	20	R_3, OM	80	R_4, OM	35	R_5, OM	20		
R_1, OM	40												
R_2, OM	20												
R_3, OM	80												
R_4, OM	35												
R_5, OM	20												
<p style="text-align: center;">Варіант №23</p> <p>Завдання: 1. Розрахувати силу струму у вітці з опором R_2 методом еквівалентного генератора.</p>	<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td style="width: 60%;">$E_1, \text{В}$</td><td style="text-align: right;">120</td></tr> <tr><td>$E_2, \text{В}$</td><td style="text-align: right;">300</td></tr> </table>	$E_1, \text{В}$	120	$E_2, \text{В}$	300								
$E_1, \text{В}$	120												
$E_2, \text{В}$	300												

 <p style="text-align: center;">Рисунок 23</p>	<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td style="width: 60%;">J_1, A</td><td style="text-align: right;">30</td></tr> <tr><td>R_1, OM</td><td style="text-align: right;">50</td></tr> <tr><td>R_2, OM</td><td style="text-align: right;">50</td></tr> <tr><td>R_3, OM</td><td style="text-align: right;">80</td></tr> <tr><td>R_4, OM</td><td style="text-align: right;">60</td></tr> <tr><td>R_5, OM</td><td style="text-align: right;">10</td></tr> </table>	J_1, A	30	R_1, OM	50	R_2, OM	50	R_3, OM	80	R_4, OM	60	R_5, OM	10				
J_1, A	30																
R_1, OM	50																
R_2, OM	50																
R_3, OM	80																
R_4, OM	60																
R_5, OM	10																
<p style="text-align: center;">Варіант №24</p> <p>Завдання: 1. Розрахувати силу струму у вітці з опором R_2 методом еквівалентного генератора.</p>	<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td style="width: 60%;">$E_1, \text{В}$</td><td style="text-align: right;">50</td></tr> <tr><td>$E_2, \text{В}$</td><td style="text-align: right;">200</td></tr> <tr><td>J_1, A</td><td style="text-align: right;">5</td></tr> <tr><td>R_1, OM</td><td style="text-align: right;">80</td></tr> <tr><td>R_2, OM</td><td style="text-align: right;">50</td></tr> <tr><td>R_3, OM</td><td style="text-align: right;">10</td></tr> <tr><td>R_4, OM</td><td style="text-align: right;">35</td></tr> <tr><td>R_5, OM</td><td style="text-align: right;">20</td></tr> </table>	$E_1, \text{В}$	50	$E_2, \text{В}$	200	J_1, A	5	R_1, OM	80	R_2, OM	50	R_3, OM	10	R_4, OM	35	R_5, OM	20
$E_1, \text{В}$	50																
$E_2, \text{В}$	200																
J_1, A	5																
R_1, OM	80																
R_2, OM	50																
R_3, OM	10																
R_4, OM	35																
R_5, OM	20																
 <p style="text-align: center;">Рисунок 24</p>																	
<p style="text-align: center;">Варіант №25</p> <p>Завдання: 1. Розрахувати силу струму у вітці з опором R_2 методом еквівалентного генератора.</p>	<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td style="width: 60%;">$E_1, \text{В}$</td><td style="text-align: right;">100</td></tr> <tr><td>$E_2, \text{В}$</td><td style="text-align: right;">20</td></tr> <tr><td>J_1, A</td><td style="text-align: right;">10</td></tr> <tr><td>R_1, OM</td><td style="text-align: right;">40</td></tr> <tr><td>R_2, OM</td><td style="text-align: right;">50</td></tr> <tr><td>R_3, OM</td><td style="text-align: right;">25</td></tr> <tr><td>R_4, OM</td><td style="text-align: right;">10</td></tr> <tr><td>R_5, OM</td><td style="text-align: right;">20</td></tr> </table>	$E_1, \text{В}$	100	$E_2, \text{В}$	20	J_1, A	10	R_1, OM	40	R_2, OM	50	R_3, OM	25	R_4, OM	10	R_5, OM	20
$E_1, \text{В}$	100																
$E_2, \text{В}$	20																
J_1, A	10																
R_1, OM	40																
R_2, OM	50																
R_3, OM	25																
R_4, OM	10																
R_5, OM	20																
 <p style="text-align: center;">Рисунок 25</p>																	
<p style="text-align: center;">Варіант №26</p> <p>Завдання: 1. Розрахувати силу струму у вітці з опором R_2 методом еквівалентного генератора..</p>	<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td style="width: 60%;">$E_1, \text{В}$</td><td style="text-align: right;">50</td></tr> <tr><td>$E_2, \text{В}$</td><td style="text-align: right;">200</td></tr> </table>	$E_1, \text{В}$	50	$E_2, \text{В}$	200												
$E_1, \text{В}$	50																
$E_2, \text{В}$	200																

 <p style="text-align: center;">Рисунок 26</p>	<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td style="width: 60%;">$J_1, \text{ A}$</td><td style="text-align: right;">8</td></tr> <tr><td>$R_1, \text{ Ом}$</td><td style="text-align: right;">100</td></tr> <tr><td>$R_2, \text{ Ом}$</td><td style="text-align: right;">20</td></tr> <tr><td>$R_3, \text{ Ом}$</td><td style="text-align: right;">25</td></tr> <tr><td>$R_4, \text{ Ом}$</td><td style="text-align: right;">10</td></tr> <tr><td>$R_5, \text{ Ом}$</td><td style="text-align: right;">20</td></tr> </table>	$J_1, \text{ A}$	8	$R_1, \text{ Ом}$	100	$R_2, \text{ Ом}$	20	$R_3, \text{ Ом}$	25	$R_4, \text{ Ом}$	10	$R_5, \text{ Ом}$	20				
$J_1, \text{ A}$	8																
$R_1, \text{ Ом}$	100																
$R_2, \text{ Ом}$	20																
$R_3, \text{ Ом}$	25																
$R_4, \text{ Ом}$	10																
$R_5, \text{ Ом}$	20																
<p style="text-align: center;">Варіант №27</p> <p>Завдання: 1. Розрахувати силу струму у вітці з опором R_2 методом еквівалентного генератора.</p>	<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td style="width: 60%;">$E_1, \text{ В}$</td><td style="text-align: right;">100</td></tr> <tr><td>$E_2, \text{ В}$</td><td style="text-align: right;">80</td></tr> <tr><td>$J_1, \text{ A}$</td><td style="text-align: right;">10</td></tr> <tr><td>$R_1, \text{ Ом}$</td><td style="text-align: right;">30</td></tr> <tr><td>$R_2, \text{ Ом}$</td><td style="text-align: right;">50</td></tr> <tr><td>$R_3, \text{ Ом}$</td><td style="text-align: right;">55</td></tr> <tr><td>$R_4, \text{ Ом}$</td><td style="text-align: right;">100</td></tr> <tr><td>$R_5, \text{ Ом}$</td><td style="text-align: right;">40</td></tr> </table>	$E_1, \text{ В}$	100	$E_2, \text{ В}$	80	$J_1, \text{ A}$	10	$R_1, \text{ Ом}$	30	$R_2, \text{ Ом}$	50	$R_3, \text{ Ом}$	55	$R_4, \text{ Ом}$	100	$R_5, \text{ Ом}$	40
$E_1, \text{ В}$	100																
$E_2, \text{ В}$	80																
$J_1, \text{ A}$	10																
$R_1, \text{ Ом}$	30																
$R_2, \text{ Ом}$	50																
$R_3, \text{ Ом}$	55																
$R_4, \text{ Ом}$	100																
$R_5, \text{ Ом}$	40																
 <p style="text-align: center;">Рисунок 27</p>																	
<p style="text-align: center;">Варіант №28</p> <p>Завдання: 1. Розрахувати силу струму у вітці з опором R_2 методом еквівалентного генератора.</p>	<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td style="width: 60%;">$E_1, \text{ В}$</td><td style="text-align: right;">100</td></tr> <tr><td>$E_2, \text{ В}$</td><td style="text-align: right;">125</td></tr> </table>	$E_1, \text{ В}$	100	$E_2, \text{ В}$	125												
$E_1, \text{ В}$	100																
$E_2, \text{ В}$	125																

 <p style="text-align: center;">Рисунок 28</p>	<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td>$J_1, \text{ A}$</td><td style="text-align: right;">12</td></tr> <tr><td>$R_1, \text{ Ом}$</td><td style="text-align: right;">45</td></tr> <tr><td>$R_2, \text{ Ом}$</td><td style="text-align: right;">55</td></tr> <tr><td>$R_3, \text{ Ом}$</td><td style="text-align: right;">25</td></tr> <tr><td>$R_4, \text{ Ом}$</td><td style="text-align: right;">10</td></tr> <tr><td>$R_5, \text{ Ом}$</td><td style="text-align: right;">20</td></tr> </table>	$J_1, \text{ A}$	12	$R_1, \text{ Ом}$	45	$R_2, \text{ Ом}$	55	$R_3, \text{ Ом}$	25	$R_4, \text{ Ом}$	10	$R_5, \text{ Ом}$	20
$J_1, \text{ A}$	12												
$R_1, \text{ Ом}$	45												
$R_2, \text{ Ом}$	55												
$R_3, \text{ Ом}$	25												
$R_4, \text{ Ом}$	10												
$R_5, \text{ Ом}$	20												
<p style="text-align: center;">Варіант №29</p> <p>Завдання: 1. Розрахувати силу струму у вітці з опором R_2 методом еквівалентного генератора..</p>	<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td>$E_1, \text{ В}$</td><td style="text-align: right;">100</td></tr> <tr><td>$E_2, \text{ В}$</td><td style="text-align: right;">100</td></tr> <tr><td>$J_1, \text{ A}$</td><td style="text-align: right;">10</td></tr> </table>	$E_1, \text{ В}$	100	$E_2, \text{ В}$	100	$J_1, \text{ A}$	10						
$E_1, \text{ В}$	100												
$E_2, \text{ В}$	100												
$J_1, \text{ A}$	10												
 <p style="text-align: center;">Рисунок 29</p>	<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td>$R_1, \text{ Ом}$</td><td style="text-align: right;">40</td></tr> <tr><td>$R_2, \text{ Ом}$</td><td style="text-align: right;">50</td></tr> <tr><td>$R_3, \text{ Ом}$</td><td style="text-align: right;">60</td></tr> <tr><td>$R_4, \text{ Ом}$</td><td style="text-align: right;">10</td></tr> <tr><td>$R_5, \text{ Ом}$</td><td style="text-align: right;">200</td></tr> </table>	$R_1, \text{ Ом}$	40	$R_2, \text{ Ом}$	50	$R_3, \text{ Ом}$	60	$R_4, \text{ Ом}$	10	$R_5, \text{ Ом}$	200		
$R_1, \text{ Ом}$	40												
$R_2, \text{ Ом}$	50												
$R_3, \text{ Ом}$	60												
$R_4, \text{ Ом}$	10												
$R_5, \text{ Ом}$	200												
<p style="text-align: center;">Варіант №30</p> <p>Завдання: 1. Розрахувати силу струму у вітці з опором R_2 методом еквівалентного генератора.</p>	<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td>$E_1, \text{ В}$</td><td style="text-align: right;">100</td></tr> <tr><td>$E_2, \text{ В}$</td><td style="text-align: right;">140</td></tr> <tr><td>$J_1, \text{ A}$</td><td style="text-align: right;">30</td></tr> </table>	$E_1, \text{ В}$	100	$E_2, \text{ В}$	140	$J_1, \text{ A}$	30						
$E_1, \text{ В}$	100												
$E_2, \text{ В}$	140												
$J_1, \text{ A}$	30												
 <p style="text-align: center;">Рисунок 30</p>	<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td>$R_1, \text{ Ом}$</td><td style="text-align: right;">10</td></tr> <tr><td>$R_2, \text{ Ом}$</td><td style="text-align: right;">50</td></tr> <tr><td>$R_3, \text{ Ом}$</td><td style="text-align: right;">20</td></tr> <tr><td>$R_4, \text{ Ом}$</td><td style="text-align: right;">80</td></tr> <tr><td>$R_5, \text{ Ом}$</td><td style="text-align: right;">50</td></tr> </table>	$R_1, \text{ Ом}$	10	$R_2, \text{ Ом}$	50	$R_3, \text{ Ом}$	20	$R_4, \text{ Ом}$	80	$R_5, \text{ Ом}$	50		
$R_1, \text{ Ом}$	10												
$R_2, \text{ Ом}$	50												
$R_3, \text{ Ом}$	20												
$R_4, \text{ Ом}$	80												
$R_5, \text{ Ом}$	50												

Бібліографічний список використаної літератури

6.1 Курило І.А. Розрахунок електричних кіл постійного струму: для студентів електротехнічних напрямів підготовки 0906 «Електротехніка», 0914 «Електроніка», 0914 «Комп'ютеризовані системи, автоматика і управління», 0915 «Комп'ютерна інженерія» / І. А. Курило, І. Н. Намацалюк, А. А. Щерба. - К.: НТУУ «КПІ», 2006.- 51 с.

Практичне заняття №7 Модульна контрольна робота (I частина)

«Лінійні електричні кола постійного струму»

Використання методів контурних струмів, вузлових потенціалів та еквівалентного генератора для розрахунку складного електричного кола

Приклади завдань до модульної контрольної роботи (I частина) наведені у додатку А.

Практичне заняття №8 Передача максимальної потужності від активного двополюсника пасивному

Дослідити умову передавання максимальної потужності від активного двополюсника пасивному, побудувати графіки залежностей потужності споживача та втрат потужності в лінії при зміні опору навантаження

Задача №8.1

При якому значенні опору навантаження в ньому виділиться максимальна потужність (рис. 8.1.1), якщо $E_1=100$ (В), $R_1=10$ (Ом), $R_2=40$ (Ом), $R_3=12$ (Ом).

Визначити відношення потужності, що витрачається в R_H до потужності джерела. Розрахувати коефіцієнт передачі [8.1].

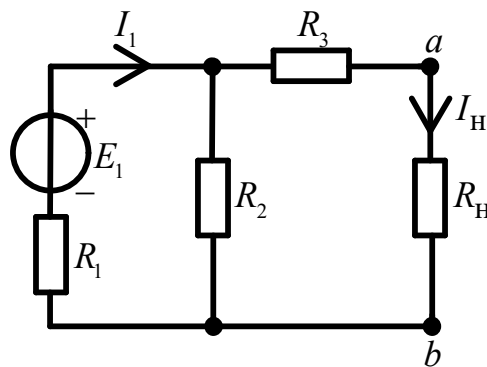


Рисунок 8.1.1 – Електрична схема

Розв'язання

1. Сила струму I_H , яка проходить через резистор R_H витрачає на ньому потужність P_H

$$I_H = I_1 \cdot \frac{R_2}{R_2 + R_3 + R_H} =$$

$$\begin{aligned}
&= \frac{E_1}{R_1 + \frac{R_2 \cdot (R_3 + R_H)}{R_2 + R_3 + R_H}} \cdot \frac{R_2}{R_2 + R_3 + R_H} = \\
&= \frac{E_1 \cdot R_2}{R_1 \cdot (R_2 + R_3 + R_H) + R_2 \cdot (R_3 + R_H)}; \\
P_H = I_H^2 \cdot R_H &= \frac{E_1^2 \cdot R_2^2 \cdot R_H}{(R_1 \cdot (R_2 + R_3 + R_H) + R_2 \cdot (R_3 + R_H))^2}.
\end{aligned} \tag{8.1.1}$$

Для розрахунку максимальної потужності, яка виділяється на навантаженні, треба взяти похідну від P_H за R_H та прирівняти її до нуля

$$\begin{aligned}
\frac{P_H}{dR_H} &= 0; \\
R_H &= \frac{R_1 \cdot R_2 + R_1 \cdot R_3 + R_2 \cdot R_3}{R_1 + R_2} = \frac{10 \cdot 40 + 10 \cdot 12 + 40 \cdot 12}{10 + 40} = 20 \text{ (Ом)}.
\end{aligned} \tag{8.1.2}$$

Підставляємо знайдене значення R_H та розраховуємо величину максимальної потужності

$$P_{H \max} = \frac{100^2 \cdot 40^2 \cdot 20^2}{(10 \cdot (40 + 12 + 20) + 40 \cdot (12 + 20))} = 80 \text{ (Вт)}. \tag{8.1.3}$$

Визначаємо потужність, що виробляється джерелом ЕРС

$$\begin{aligned}
P &= E_1 \cdot I_1 = E_1 \cdot \frac{E_1}{R_1 + \frac{R_2 \cdot (R_3 + R_H)}{R_2 + R_3 + R_H}} = \\
&= 100 \cdot \frac{100}{10 + \frac{40 \cdot (12 + 20)}{40 + 12 + 20}} = 100 \cdot 3.6 = 360 \text{ (Вт)}.
\end{aligned} \tag{8.1.4}$$

Розраховуємо відношення потужностей

$$\eta = \frac{P_{H \max}}{P} = \frac{80}{360} = 0.222. \tag{8.1.5}$$

Коефіцієнт передачі

$$K = \frac{U_H}{E_1} = \frac{I_H \cdot R_H}{E_1} = \frac{2 \cdot 20}{100} = 0.4. \quad (8.1.6)$$

2. Частину електричного кола лівіше полюсів a та b замінимо еквівалентним генератором напруги E_Γ та опором R_Γ (рис. 8.1.2).

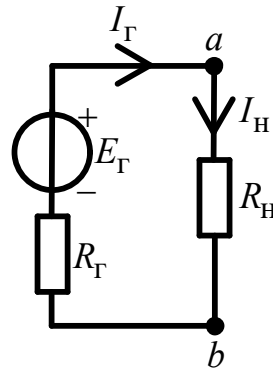


Рисунок 8.1.2 – Електрична схема

Визначимо значення ЕРС E_Γ

$$U_{ab\text{нх}} = E_\Gamma = \frac{E_1}{R_1 + R_2} \cdot R_2 = \frac{100}{10 + 40} \cdot 40 = 80(\text{В}). \quad (8.1.7)$$

Розрахуємо опір еквівалентного генератора R_Γ

$$R_\Gamma = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} + R_3 = \frac{10 \cdot 40}{10 + 40} + 12 = 20(\text{Ом}). \quad (8.1.8)$$

В електричному колі (рис. 8.1.2) максимальна потужність, що виділяється на R_H дорівнює при $R_H = R_\Gamma$

$$\frac{P_{H\text{max}}}{dR_H} = \frac{I_H^2 \cdot R_H}{dR_H} = \frac{\left(\frac{E_\Gamma}{R_\Gamma + R_H}\right)^2 \cdot R_H}{dR_H} = E_\Gamma^2 \cdot \frac{R_H \cdot \frac{1}{(R_\Gamma + R_H)^2}}{dR_H} = 0;$$

$$\begin{aligned}
E_{\Gamma}^2 \cdot \left(\frac{R_{\text{H}}}{dR_{\text{H}}} \cdot \frac{1}{(R_{\Gamma} + R_{\text{H}})^2} + \frac{(R_{\Gamma} + R_{\text{H}})^{-2}}{dR_{\text{H}}} \cdot R_{\text{H}} \right) &= 0; \\
E_{\Gamma}^2 \cdot \left(1 \cdot \frac{1}{(R_{\Gamma} + R_{\text{H}})^2} - 2 \cdot \left(\frac{R_{\text{H}}^2}{dR_{\text{H}}} + \frac{R_{\text{H}}}{dR_{\text{H}}} \right) (R_{\Gamma} + R_{\text{H}})^{-3} \cdot R_{\text{H}} \right) &= 0; \\
\frac{E_{\Gamma}^2 \cdot 1}{(R_{\Gamma} + R_{\text{H}})^2} - \frac{2 \cdot E_{\Gamma}^2 \cdot R_{\text{H}}}{(R_{\Gamma} + R_{\text{H}})^3} &= 0; \\
\frac{E_{\Gamma}^2}{(R_{\Gamma} + R_{\text{H}})^2} &= \frac{2 \cdot E_{\Gamma}^2 \cdot R_{\text{H}}}{(R_{\Gamma} + R_{\text{H}})^3}; \\
1 &= \frac{2 \cdot R_{\text{H}}}{(R_{\Gamma} + R_{\text{H}})}; \\
(R_{\Gamma} + R_{\text{H}}) &= 2 \cdot R_{\text{H}}; \\
R_{\Gamma} &= 2 \cdot R_{\text{H}} - R_{\text{H}} = R_{\text{H}}; \\
\boxed{R_{\text{H}} = R_{\Gamma}} & \\
P_{\text{Hmax}} = I_{\text{H}}^2 \cdot R_{\text{H}} = \left(\frac{E_{\Gamma}}{R_{\Gamma} + R_{\text{H}}} \right)^2 \cdot R_{\text{H}} = \left(\frac{80}{20 + 20} \right)^2 \cdot 20 &= 80 \text{ (Вт)}. \tag{8.1.9}
\end{aligned}$$

Розраховуємо відношення потужностей

$$\eta = \frac{P_{\text{Hmax}}}{P_{\Gamma}} = \frac{I_{\text{H}}^2 \cdot R_{\text{H}}}{E_{\Gamma} \cdot I_{\text{H}}} = \frac{I_{\text{H}} \cdot R_{\text{H}}}{E_{\Gamma}} = \frac{I_{\text{H}} \cdot R_{\text{H}}}{E_{\Gamma}} = \frac{I_{\text{H}} \cdot R_{\text{H}}}{E_{\Gamma}} = \frac{2 \cdot 20}{80} = 0.5. \tag{8.1.10}$$

Наведемо вирази для визначення значень координат електричного кола, яке зображене на рис. 8.1.2

$$\begin{aligned}
I_{\text{H}} &= \frac{E_{\Gamma}}{R_{\Gamma} + R_{\text{H}}} = \frac{80}{20 + 0} = 4 \text{ (А)}; \\
U_{\text{H}} &= I_{\text{H}} \cdot R_{\text{H}} = 4 \cdot 0 = 0; \\
U_{\Gamma} &= I_{\text{H}} \cdot R_{\Gamma} = 4 \cdot 20 = 80 \text{ (В)}; \\
P_{\Gamma} &= E_{\Gamma} \cdot I_{\Gamma} = 80 \cdot 4 = 320 \text{ (Вт)}; \\
P_{\text{H}} &= I_{\text{H}}^2 \cdot R_{\text{H}} = 4^2 \cdot 0 = 0; \\
P_{\text{PГ}} &= I_{\text{H}}^2 \cdot R_{\Gamma} = 4^2 \cdot 20 = 320 \text{ (Вт)}; \\
\eta &= \frac{P_{\text{H}}}{P_{\Gamma}} \cdot 100\% = \frac{0}{320} \cdot 100\% = 0. \tag{8.1.11}
\end{aligned}$$

Результати обрахунків виразів (8.1.11) занесемо до табл. 8.1.1. Активний опір R_H змінюється в діапазоні від 0 до 60 (Ом).

Таблиця 8.1.1 – Значення параметрів та координат електричного кола

$R_H, \text{Ом}$	$I_H, \text{А}$	$U_H, \text{В}$	$U_{RГ}, \text{В}$	$P_{Г}, \text{Вт}$	$P_H, \text{Вт}$	$P_{RГ}, \text{Вт}$	$\eta, \%$
0	4	0	80	320	0	320	0
5	3.2	16	64	256	51.2	204.8	20
10	2.667	26.667	53.333	213.333	71.111	142.222	33.3
15	2.286	34.286	45.714	182.857	78.367	104.49	42.9
<u>20</u>	<u>2</u>	<u>40</u>	<u>40</u>	<u>160</u>	<u>80</u>	<u>80</u>	<u>50</u>
25	1.778	44.444	35.556	142.222	79.012	63.21	55.6
30	1.6	48	32	128	76.8	51.2	60
35	1.455	50.909	29.091	116.364	74.05	42.314	63.6
40	1.333	53.333	26.667	106.667	71.111	35.556	66.7
45	1.231	55.385	24.615	98.462	68.166	30.296	69.2
50	1.143	57.143	22.857	91.429	65.306	26.122	71.4
55	1.067	58.667	21.333	85.333	62.578	22.756	73.3
65	1	60	20	80	60	20	75

Побудуємо графіки залежностей $I_H(R_H)$, $U_H(R_H)$, $U_{RГ}(R_H)$, $P_H(R_H)$, $P_{RГ}(R_H)$, $P_{Г}(R_H)$ та $\eta(R_H)$, які наведені на рис. 8.1.3 та рис. 8.1.4 (провести самостійне дослідження умов передачі максимальної потужності від активного двополюсника пасивному при зміні опору навантаження)

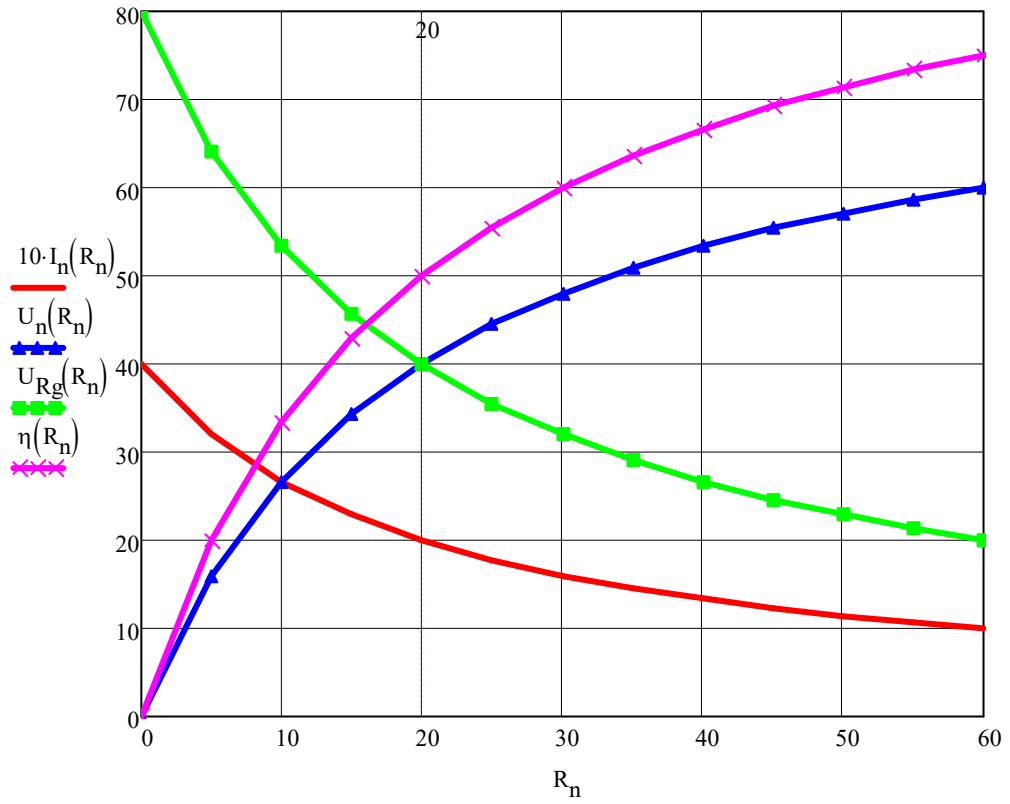


Рисунок 8.1.3 – Графіки функцій $I_n(R_n)$, $U_n(R_n)$, $U_{Rg}(R_n)$ та $\eta(R_n)$

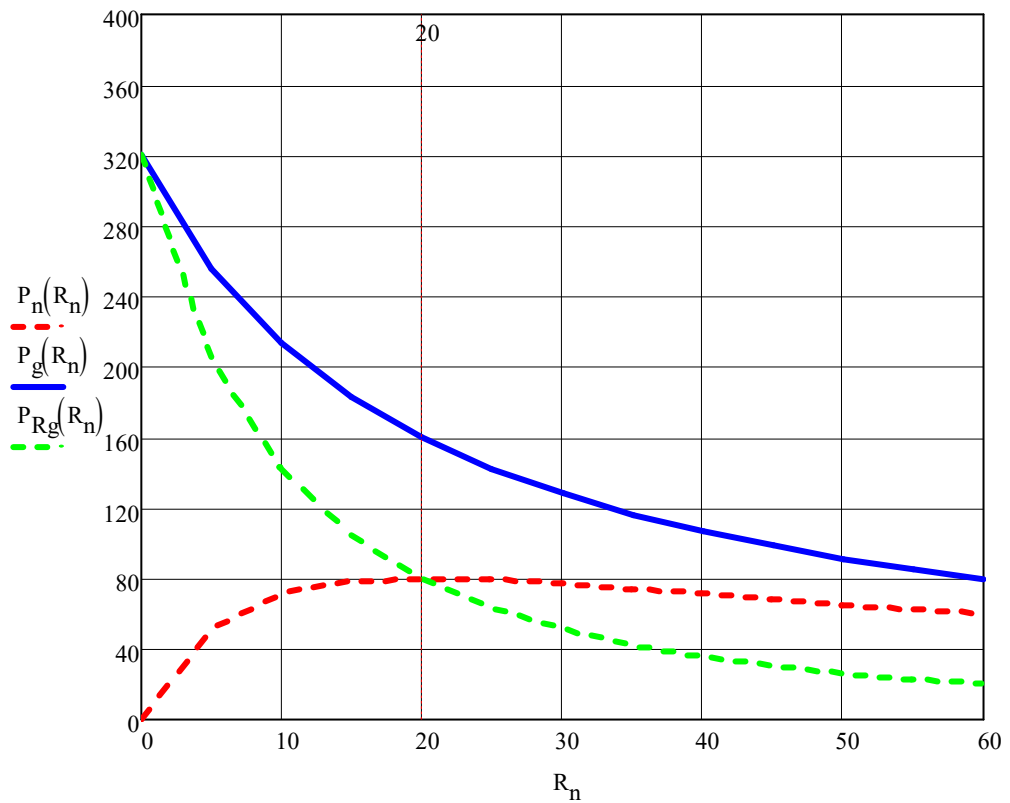


Рисунок 8.1.4 – Графіки функцій $P_n(R_n)$, $P_{Rg}(R_n)$ та $P_g(R_n)$

САМОСТІЙНА РОБОТА

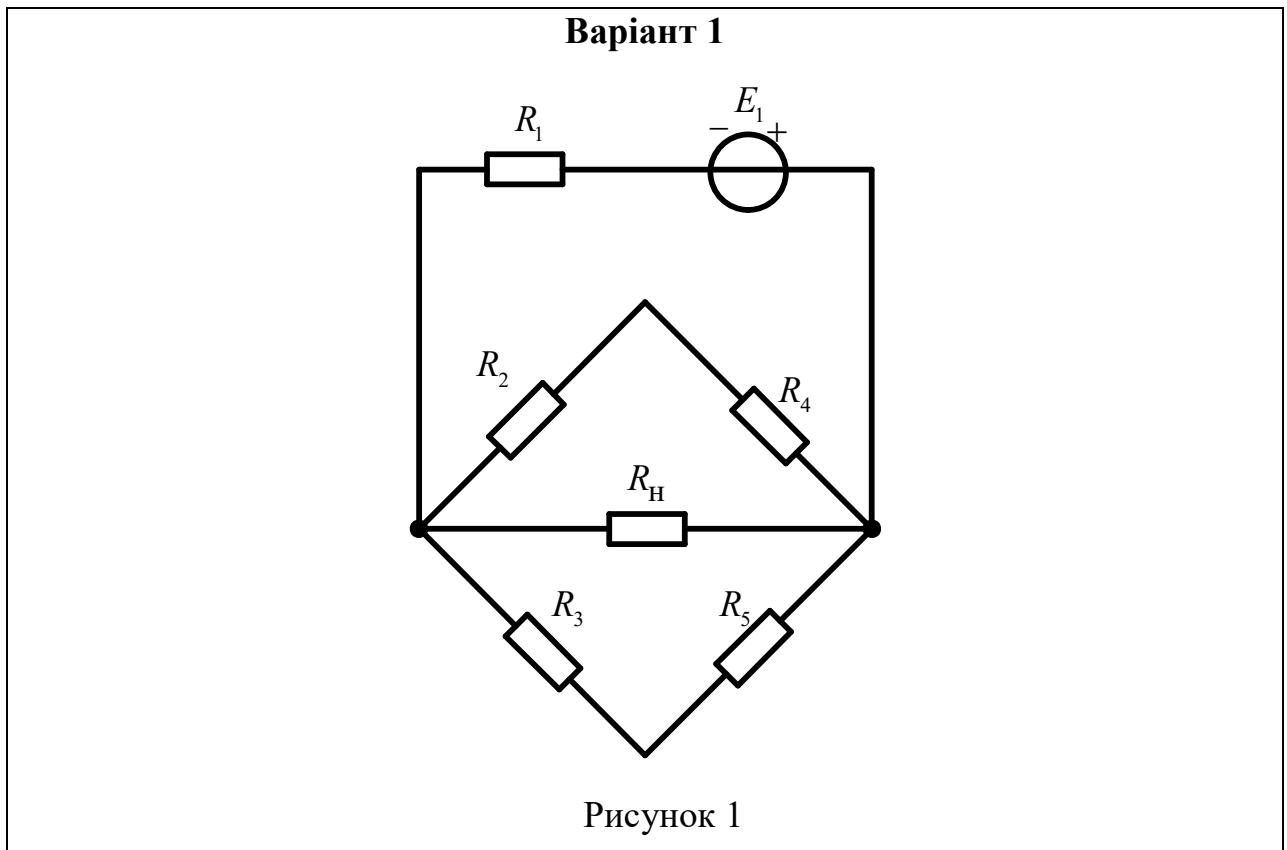
Дослідження умов передачі максимальної потужності від активного двополюсника до пасивного

$$\text{Дані для розрахунку: } A = \begin{cases} 1, & \text{для ЕВ;} \\ 2, & \text{для ЕД;} \\ 3, & \text{для ЕТ.} \end{cases} \quad (N=\text{номер студента за списком}$$

групи)

$$R_1 = A + N + 1 \text{ (Ом)}, \quad R_2 = A + N + 2 \text{ (Ом)}, \quad R_3 = A + N + 3 \text{ (Ом)}, \quad R_4 = A + N + 4 \text{ (Ом)}, \\ R_5 = A + N + 5 \text{ (Ом)}, \quad R_6 = A + N + 6 \text{ (Ом)}, \quad E_1 = A + N + 50 \text{ (В)}.$$

1. Визначити максимальну потужність, що виділиться на опорі R_H .
2. Розрахувати відношення активних потужності на навантаженні до потужності джерела.
3. Знайти коефіцієнт передачі, тобто відношення значення напруги на опорі R_H до значення джерела ЕРС E_1 .



Варіант 2

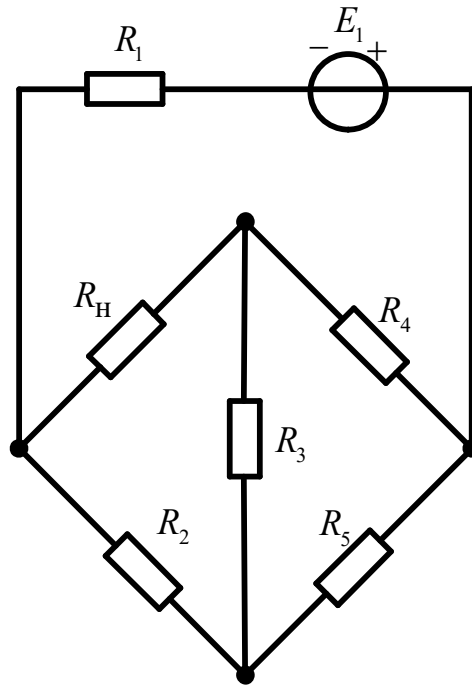


Рисунок 2

Варіант 3

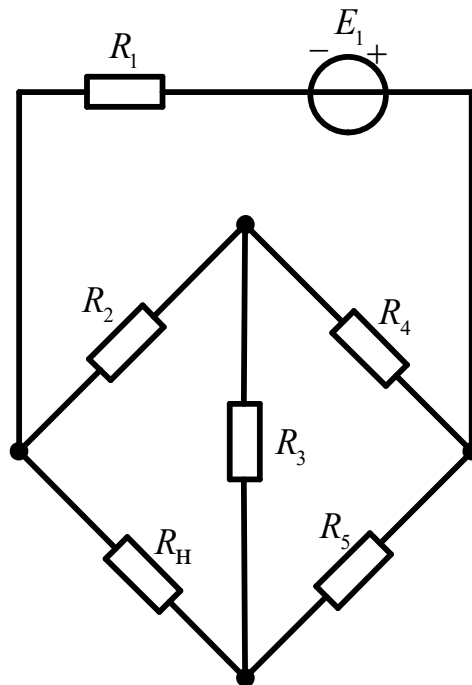


Рисунок 3

Варіант 4

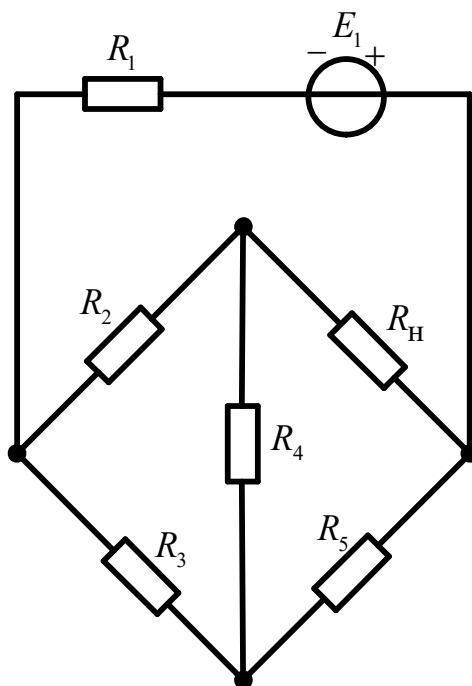


Рисунок 4

Варіант 5

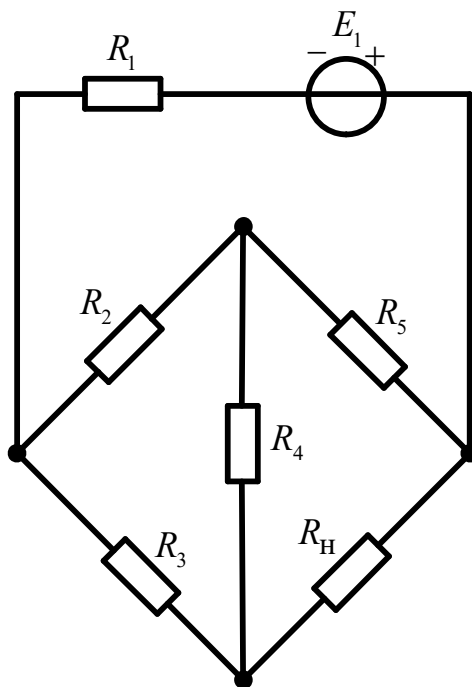


Рисунок 5

Варіант 6

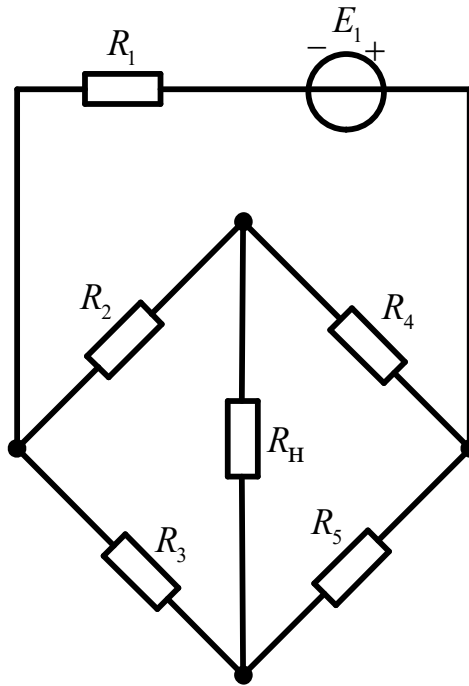


Рисунок 6

Варіант 7

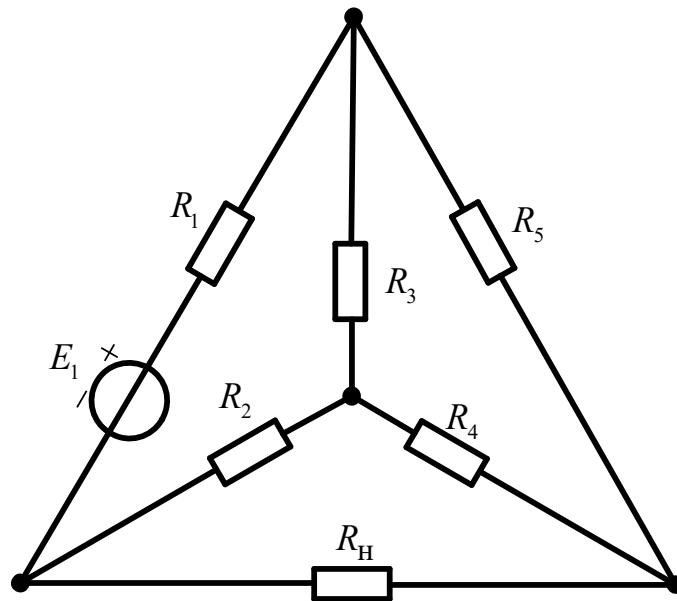


Рисунок 7

Варіант 8

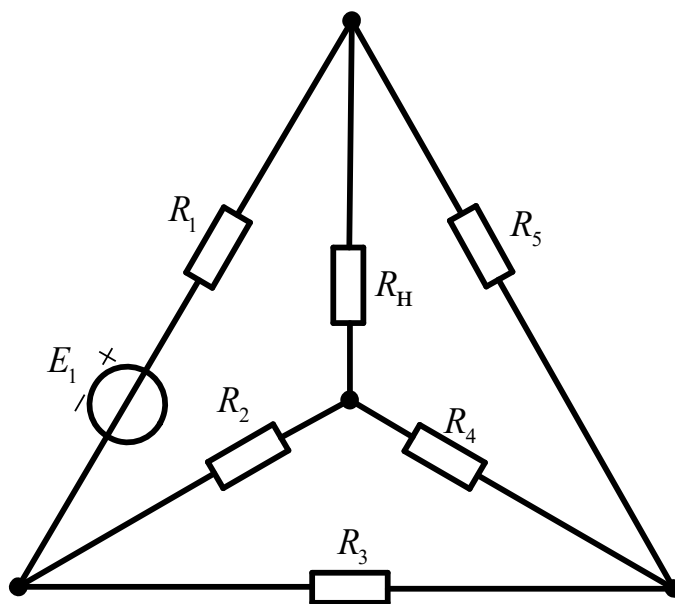


Рисунок 8

Варіант 9

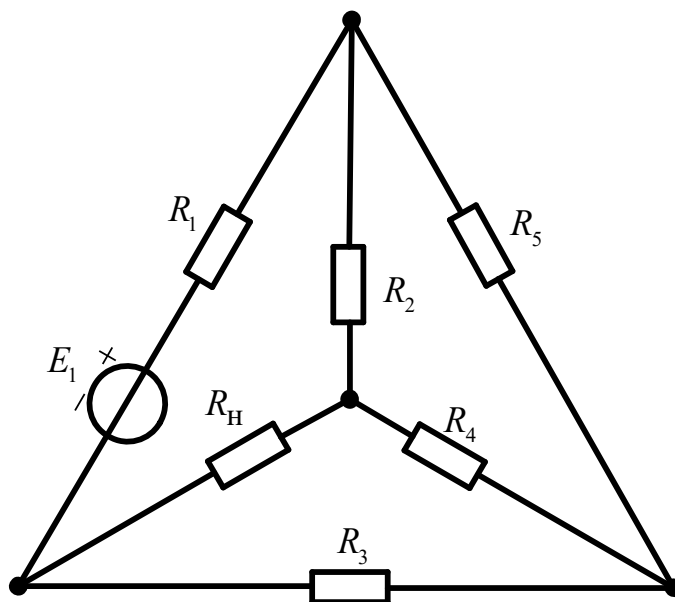


Рисунок 9

Варіант 10

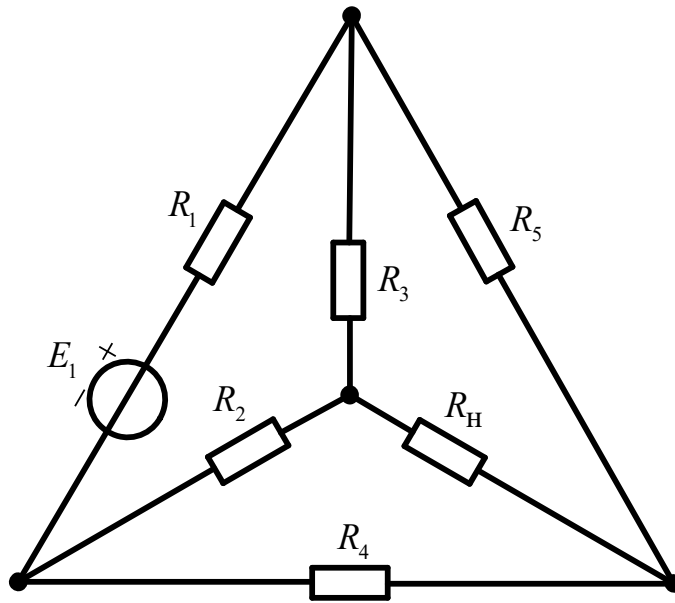


Рисунок 10

Варіант 11

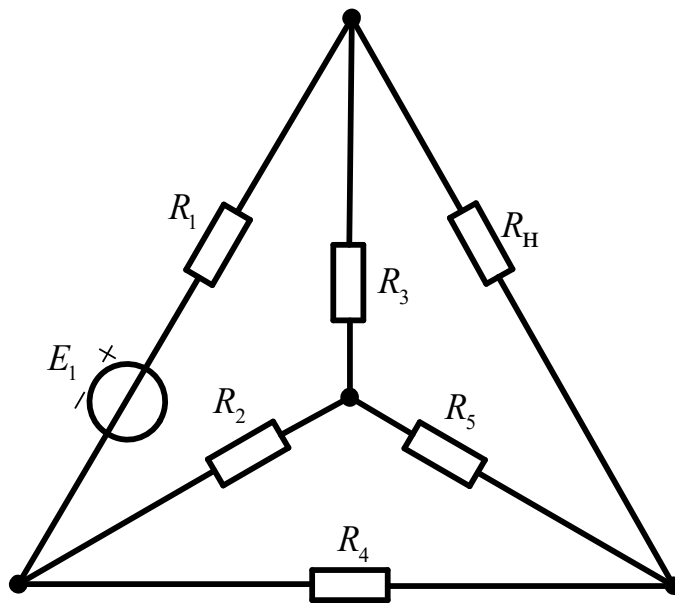


Рисунок 11

Варіант 12

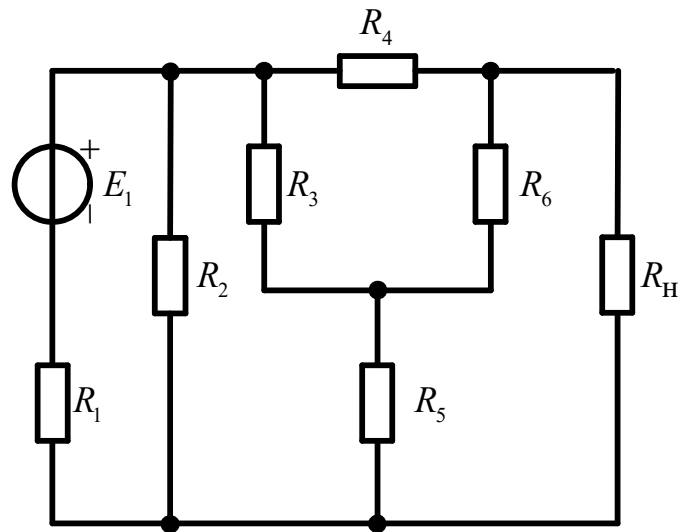


Рисунок 12

Варіант 13

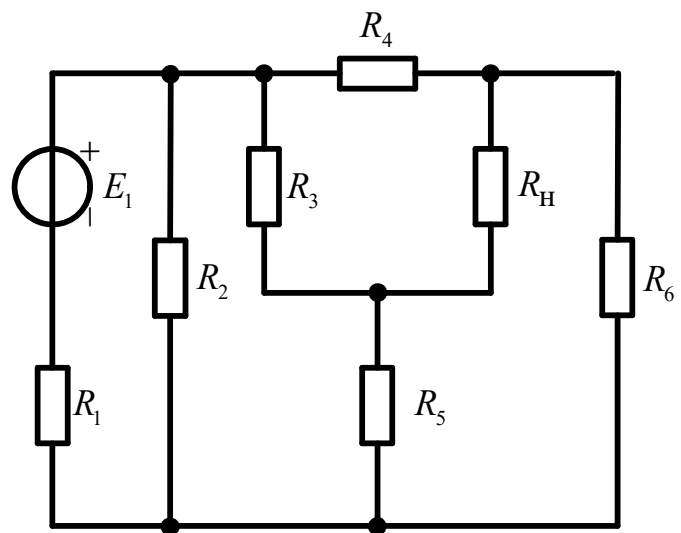


Рисунок 13

Варіант 14

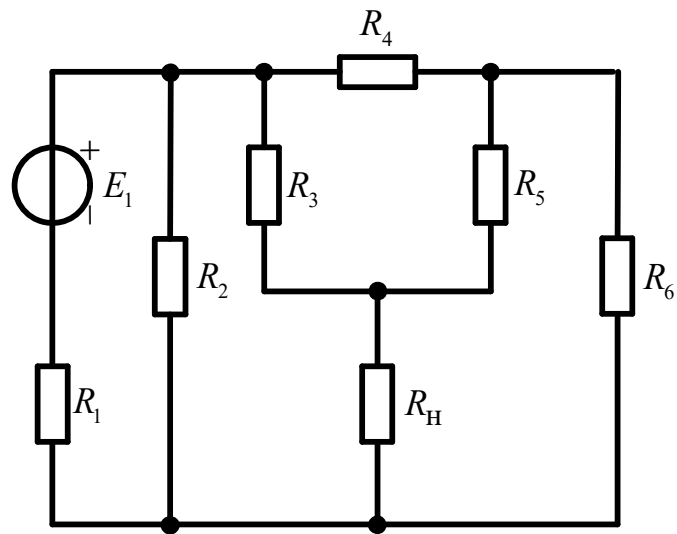


Рисунок 14

Варіант 15

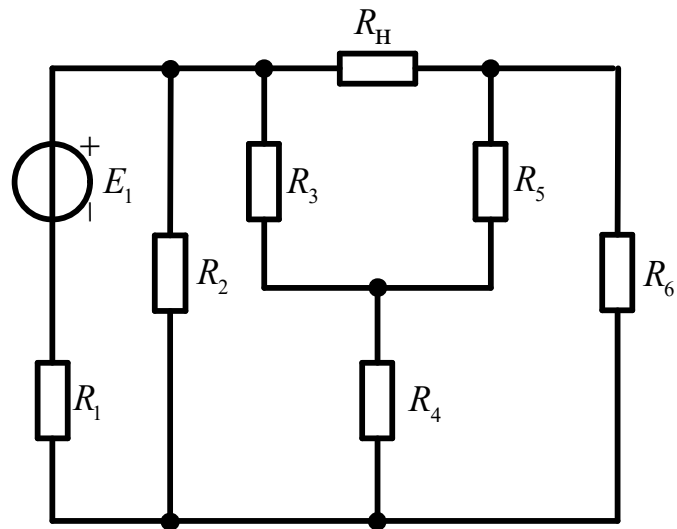


Рисунок 15

Варіант 16

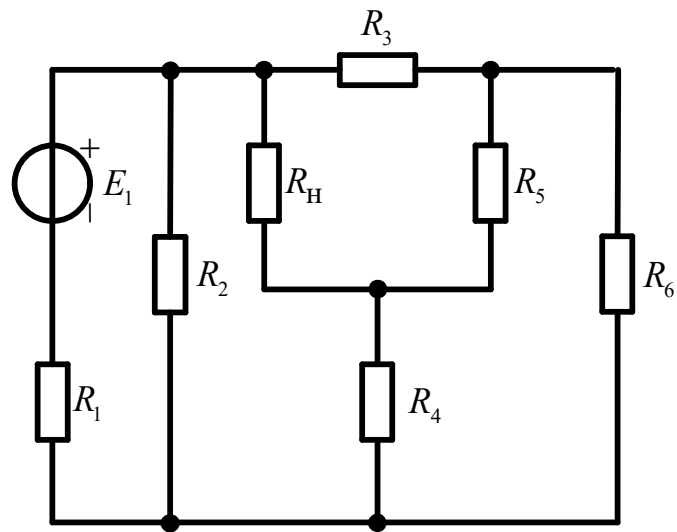


Рисунок 16

Варіант 17

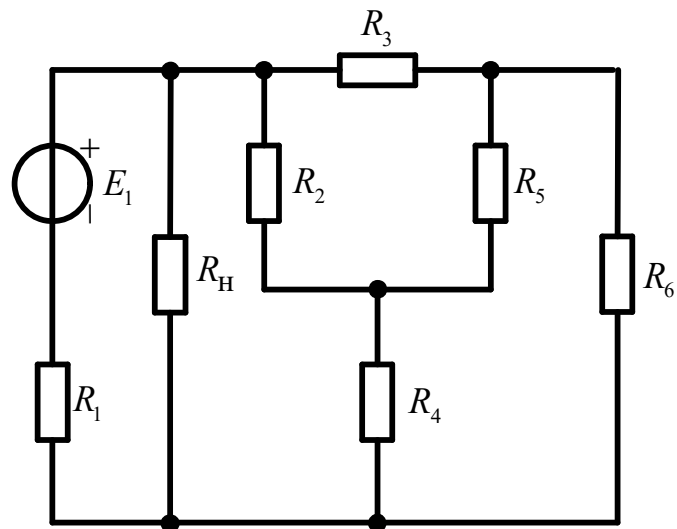


Рисунок 17

Варіант 18

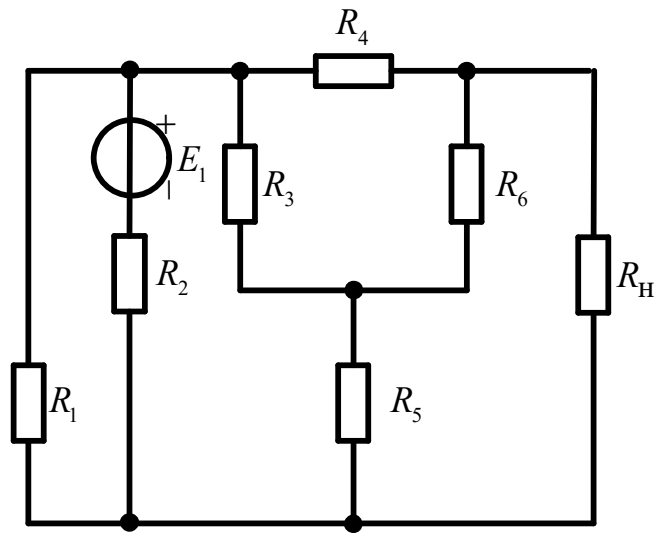


Рисунок 18

Варіант 19

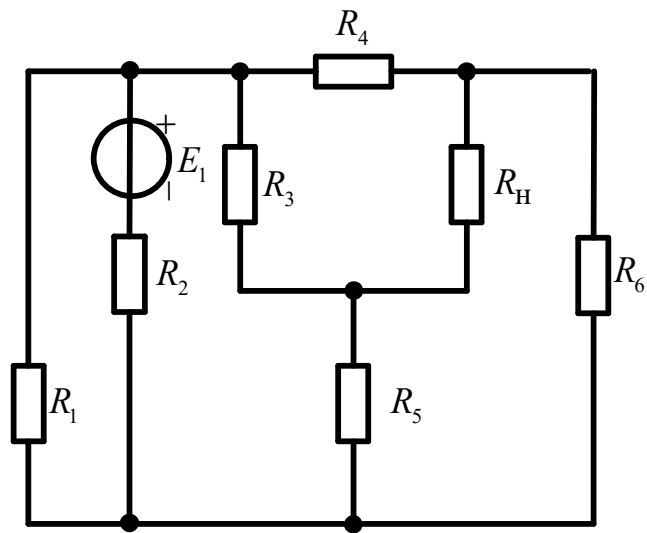


Рисунок 19

Варіант 20

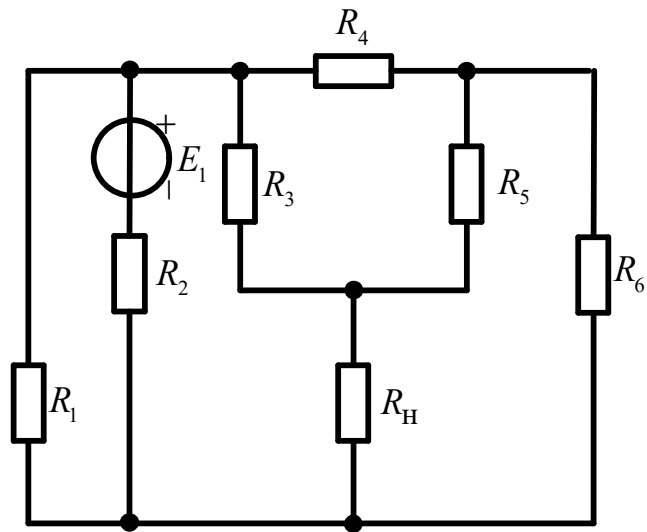


Рисунок 20

Варіант 21

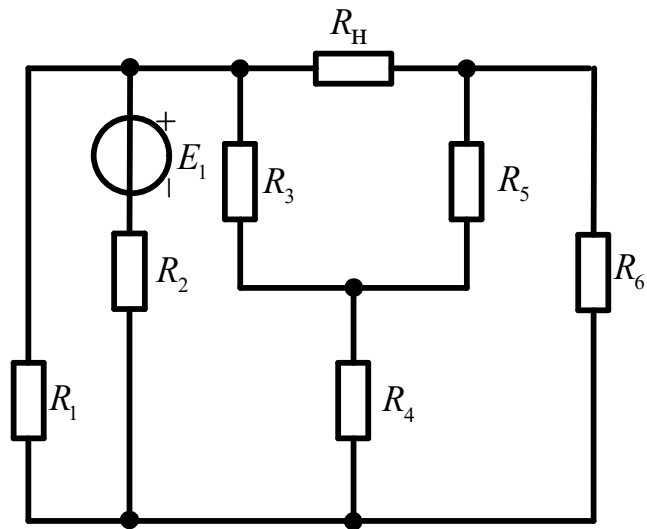


Рисунок 21

Варіант 22

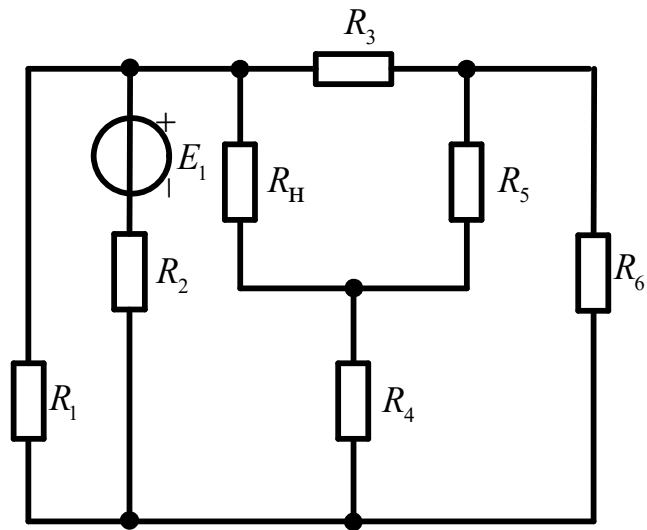


Рисунок 22

Варіант 23

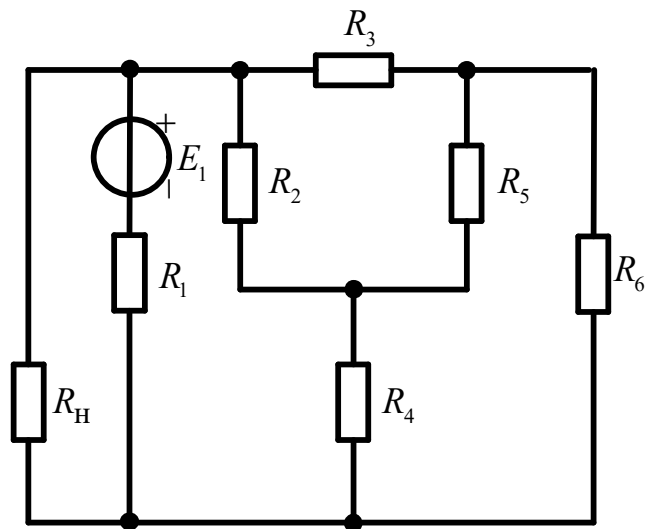


Рисунок 23

Варіант 24

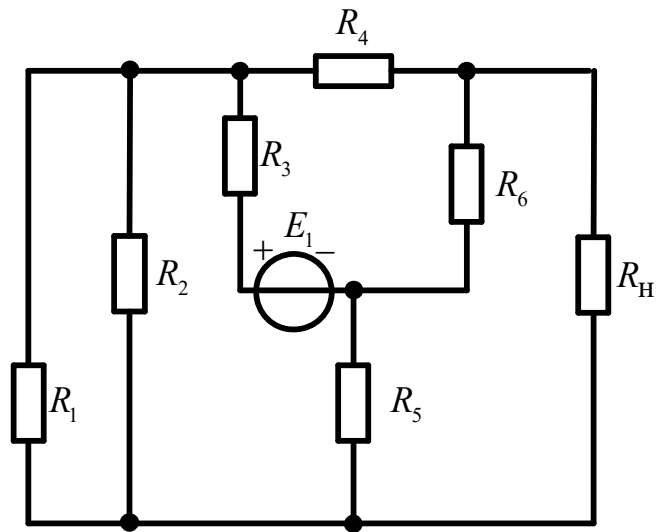


Рисунок 24

Варіант 25

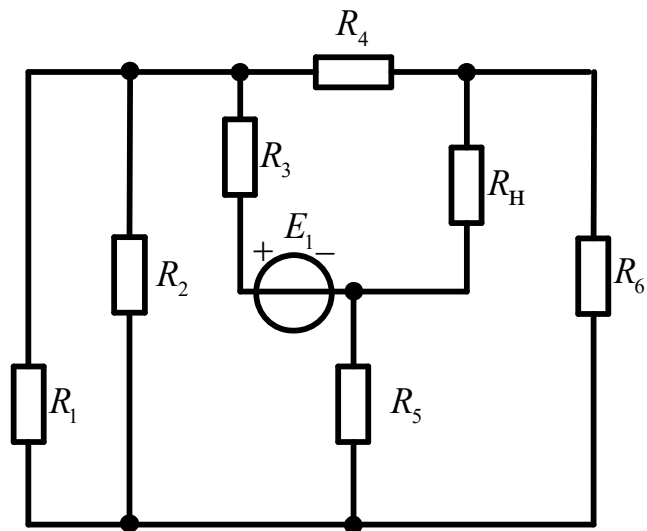


Рисунок 25

Варіант 26

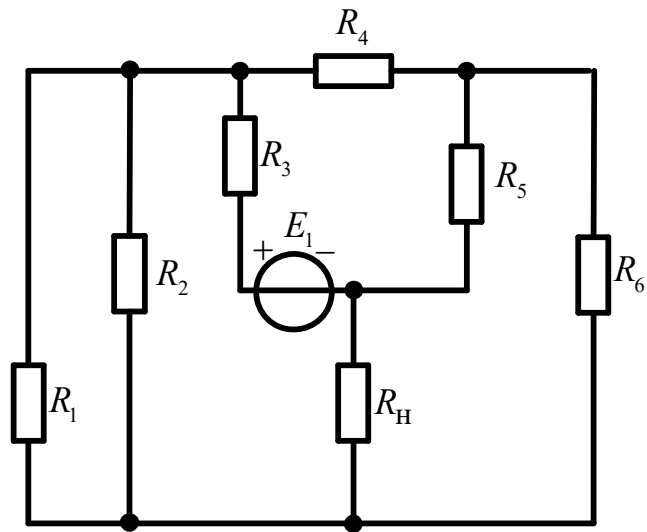


Рисунок 26

Варіант 27

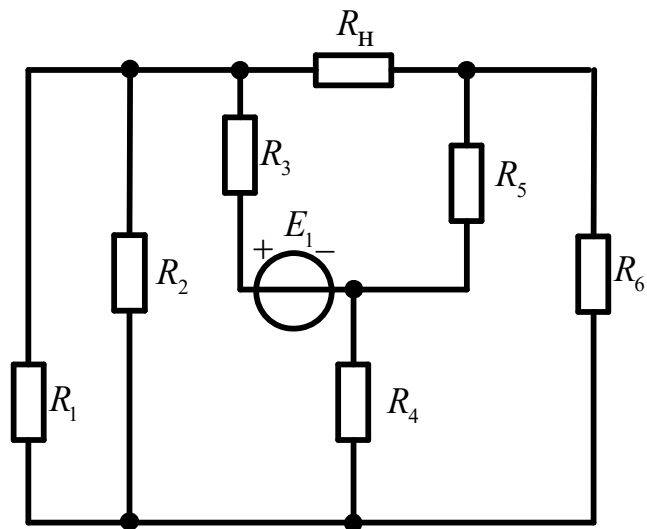


Рисунок 27

Варіант 28

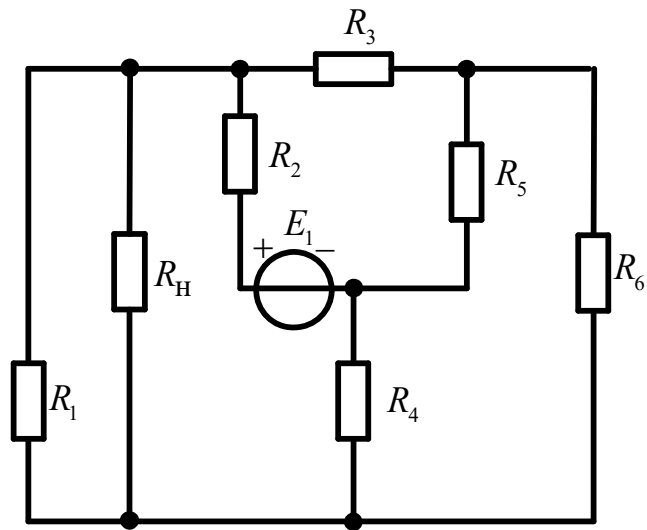


Рисунок 28

Варіант 29

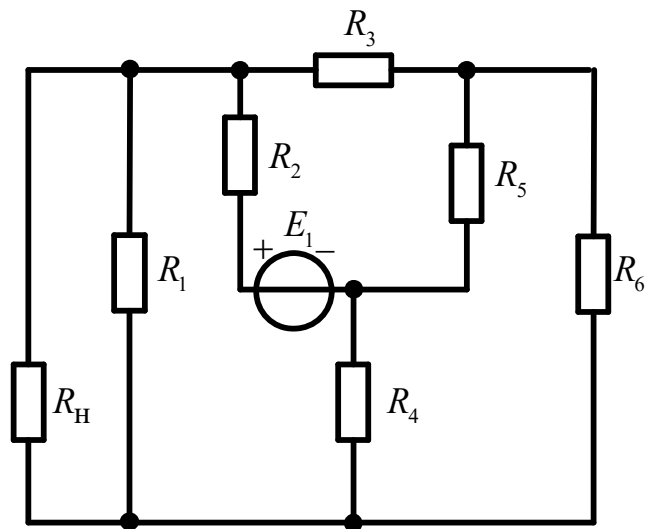


Рисунок 29

Варіант 30

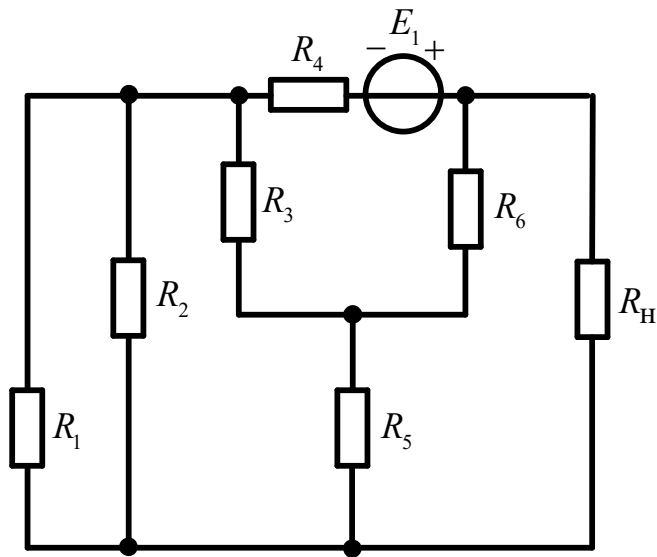


Рисунок 30

Бібліографічний список використаної літератури

8.1 Корощенко О.В. Теоретичні основи електротехніки. Збірник задач: Навчальний посібник / О.В. Корощенко, В.Ф. Денник, О.А. Журавель та ін.; За заг. ред. О.В. Корощенка. – Донецьк: ДВНЗ «ДонНТУ», 2012. – 673 с.

Бібліографічний список використаної літератури

1. Бойко В.С. Теоретичні основи електротехніки: Підручник: У 3 т. / В.С. Бойко, В.В. Бойко, Ю.Ф. Видолоб та ін. // Т.1: Усталені режими лінійних електричних кіл із зосередженими параметрами. – К.: ІВЦ Видавництво «Політехніка», 2004. – 272 с.: іл.

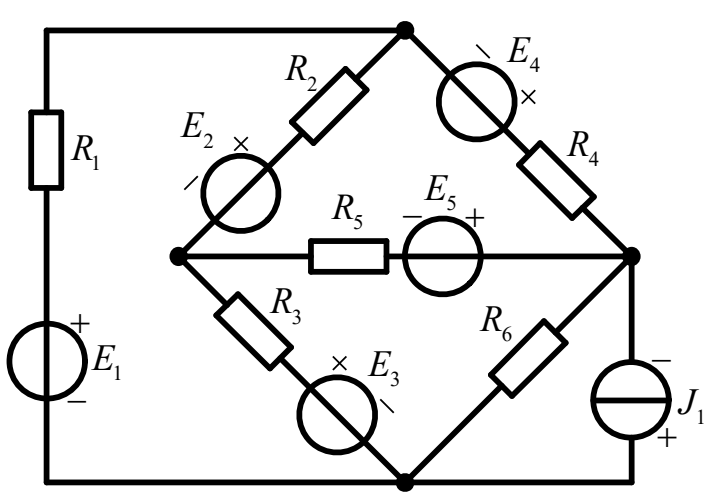
2. Бойко В.С. Теоретичні основи електротехніки. Частина 1. Навчальний посібник [Електронний ресурс]: навчальний посібник для здобувачів ступеня бакалавра за освітніми програмами «Електричні системи і мережі», «Електричні станції» «Електричні машини і апарати», «Управління, захист та автоматизація енергосистем» «Електромеханічні системи автоматизації, електропривод та електромобільність», «Електротехнічні пристрої та електротехнологічні комплекси» «Нетрадиційні та відновлювані джерела енергії» / В. С. Бойко, Л. Ю. Спінул, М. П. Бурик, В. Ю. Лободзінський ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові данні (1 файл: 3,35 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 199 с.

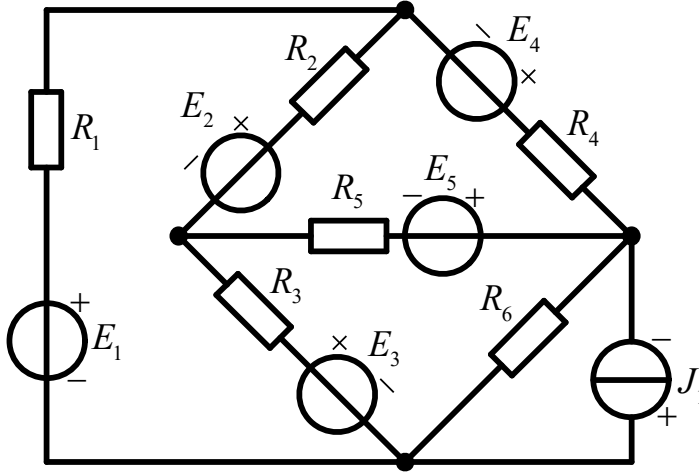
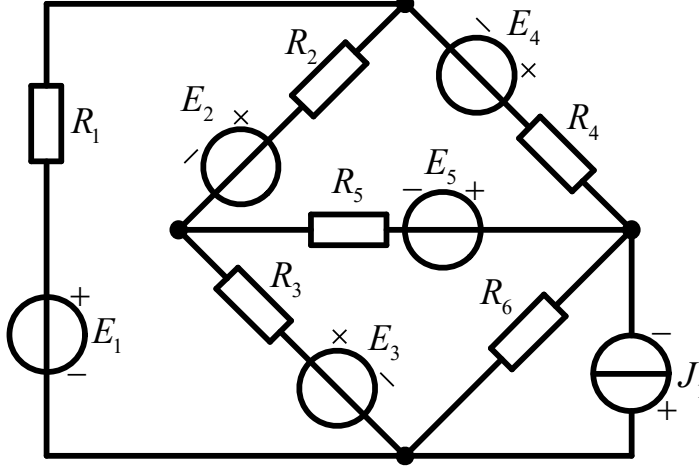
3. Бурик М.П. Лінійні електричні кола постійного струму: Розрахунково-графічна робота [Електронний ресурс]: навч. посіб. для студ. спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка», спеціалізацій «Електромеханічні системи автоматизації та електропривод», «Електричні машини і апарати», «Інжиніринг та автоматизація електротехнічних комплексів» й «Мехатроніка енергоємних виробництв» / М П. Бурик, Л. Ю. Спінул ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові данні (1 файл: 2,51 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. – 46 с.

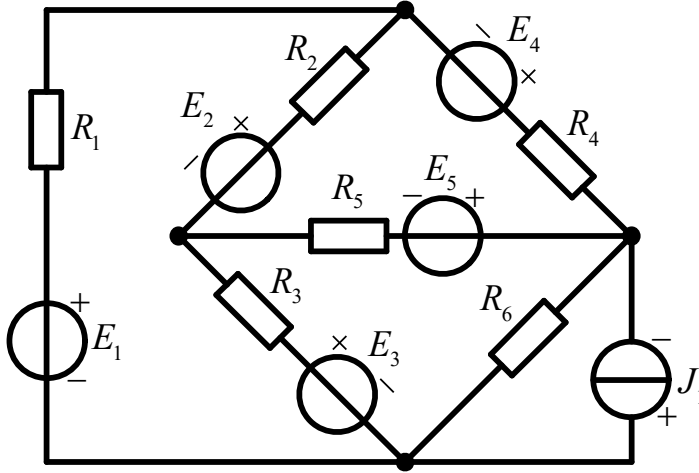
ДОДАТОК А

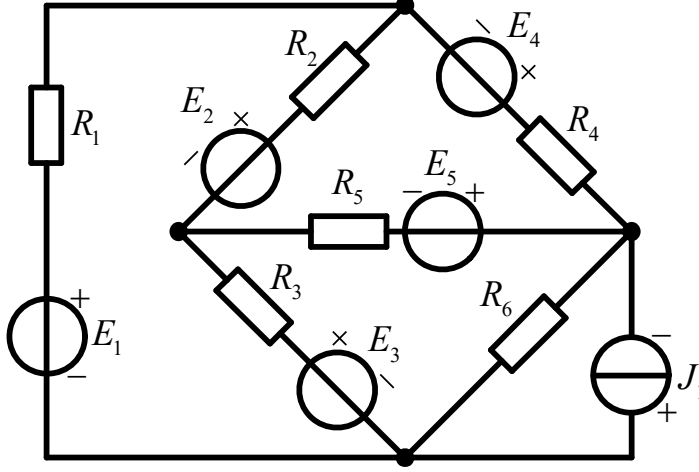
Зразки завдань до модульної контрольної роботи (І частина)

«Лінійні електричні кола постійного струму»

Варіант №1		Дано:	
<p>Завдання:</p> <p>1. Методом еквівалентного генератора визначити силу струму у вітці з активним опором R_1.</p>			
			
Рисунок А.1			
			$E_1, \text{В}$ 100 $E_2, \text{В}$ 20 $E_3, \text{В}$ 30 $E_4, \text{В}$ 40 $E_5, \text{В}$ 50 $J_1, \text{А}$ 1 $R_1, \text{Ом}$ 10 $R_2, \text{Ом}$ 20 $R_3, \text{Ом}$ 30 $R_4, \text{Ом}$ 40 $R_5, \text{Ом}$ 50 $R_6, \text{Ом}$ 60
Варіант №2		Дано:	
<p>Завдання:</p> <p>1. Методом еквівалентного генератора визначити силу струму у вітці з активним опором R_2.</p>			
			$E_1, \text{В}$ 100 $E_2, \text{В}$ 20 $E_3, \text{В}$ 30 $E_4, \text{В}$ 40 $E_5, \text{В}$ 50 $J_1, \text{А}$ 1 $R_1, \text{Ом}$ 10 $R_2, \text{Ом}$ 20

 <p style="text-align: center;">Рисунок А.2</p>	<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 60%;">$R_3, \text{ Ом}$</td> <td style="text-align: right;">30</td> </tr> <tr> <td>$R_4, \text{ Ом}$</td> <td style="text-align: right;">40</td> </tr> <tr> <td>$R_5, \text{ Ом}$</td> <td style="text-align: right;">50</td> </tr> <tr> <td>$R_6, \text{ Ом}$</td> <td style="text-align: right;">60</td> </tr> </table>	$R_3, \text{ Ом}$	30	$R_4, \text{ Ом}$	40	$R_5, \text{ Ом}$	50	$R_6, \text{ Ом}$	60				
$R_3, \text{ Ом}$	30												
$R_4, \text{ Ом}$	40												
$R_5, \text{ Ом}$	50												
$R_6, \text{ Ом}$	60												
<p>Варіант №3</p> <p>Завдання:</p> <p>1. Методом еквівалентного генератора визначити силу струму у вітці з активним опором R_3.</p>	<p>Дано:</p> <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 60%;">$E_1, \text{ В}$</td> <td style="text-align: right;">100</td> </tr> <tr> <td>$E_2, \text{ В}$</td> <td style="text-align: right;">20</td> </tr> <tr> <td>$E_3, \text{ В}$</td> <td style="text-align: right;">30</td> </tr> <tr> <td>$E_4, \text{ В}$</td> <td style="text-align: right;">40</td> </tr> <tr> <td>$E_5, \text{ В}$</td> <td style="text-align: right;">50</td> </tr> <tr> <td>$J_1, \text{ А}$</td> <td style="text-align: right;">1</td> </tr> </table>	$E_1, \text{ В}$	100	$E_2, \text{ В}$	20	$E_3, \text{ В}$	30	$E_4, \text{ В}$	40	$E_5, \text{ В}$	50	$J_1, \text{ А}$	1
$E_1, \text{ В}$	100												
$E_2, \text{ В}$	20												
$E_3, \text{ В}$	30												
$E_4, \text{ В}$	40												
$E_5, \text{ В}$	50												
$J_1, \text{ А}$	1												
 <p style="text-align: center;">Рисунок А.3</p>	<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 60%;">$R_1, \text{ Ом}$</td> <td style="text-align: right;">10</td> </tr> <tr> <td>$R_2, \text{ Ом}$</td> <td style="text-align: right;">20</td> </tr> <tr> <td>$R_3, \text{ Ом}$</td> <td style="text-align: right;">30</td> </tr> <tr> <td>$R_4, \text{ Ом}$</td> <td style="text-align: right;">40</td> </tr> <tr> <td>$R_5, \text{ Ом}$</td> <td style="text-align: right;">50</td> </tr> <tr> <td>$R_6, \text{ Ом}$</td> <td style="text-align: right;">60</td> </tr> </table>	$R_1, \text{ Ом}$	10	$R_2, \text{ Ом}$	20	$R_3, \text{ Ом}$	30	$R_4, \text{ Ом}$	40	$R_5, \text{ Ом}$	50	$R_6, \text{ Ом}$	60
$R_1, \text{ Ом}$	10												
$R_2, \text{ Ом}$	20												
$R_3, \text{ Ом}$	30												
$R_4, \text{ Ом}$	40												
$R_5, \text{ Ом}$	50												
$R_6, \text{ Ом}$	60												
<p>Варіант №4</p> <p>Завдання:</p> <p>1. Методом еквівалентного генератора визначити силу струму у вітці з активним опором R_4.</p>	<p>Дано:</p> <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 60%;">$E_1, \text{ В}$</td> <td style="text-align: right;">100</td> </tr> <tr> <td>$E_2, \text{ В}$</td> <td style="text-align: right;">20</td> </tr> <tr> <td>$E_3, \text{ В}$</td> <td style="text-align: right;">30</td> </tr> </table>	$E_1, \text{ В}$	100	$E_2, \text{ В}$	20	$E_3, \text{ В}$	30						
$E_1, \text{ В}$	100												
$E_2, \text{ В}$	20												
$E_3, \text{ В}$	30												

 <p style="text-align: center;">Рисунок А.4</p>	<table> <tr><td>$E_4, \text{В}$</td><td>40</td></tr> <tr><td>$E_5, \text{В}$</td><td>50</td></tr> <tr><td>$J_1, \text{А}$</td><td>1</td></tr> <tr><td>$R_1, \text{Ом}$</td><td>10</td></tr> <tr><td>$R_2, \text{Ом}$</td><td>20</td></tr> <tr><td>$R_3, \text{Ом}$</td><td>30</td></tr> <tr><td>$R_4, \text{Ом}$</td><td>40</td></tr> <tr><td>$R_5, \text{Ом}$</td><td>50</td></tr> <tr><td>$R_6, \text{Ом}$</td><td>60</td></tr> </table>	$E_4, \text{В}$	40	$E_5, \text{В}$	50	$J_1, \text{А}$	1	$R_1, \text{Ом}$	10	$R_2, \text{Ом}$	20	$R_3, \text{Ом}$	30	$R_4, \text{Ом}$	40	$R_5, \text{Ом}$	50	$R_6, \text{Ом}$	60
$E_4, \text{В}$	40																		
$E_5, \text{В}$	50																		
$J_1, \text{А}$	1																		
$R_1, \text{Ом}$	10																		
$R_2, \text{Ом}$	20																		
$R_3, \text{Ом}$	30																		
$R_4, \text{Ом}$	40																		
$R_5, \text{Ом}$	50																		
$R_6, \text{Ом}$	60																		

Варіант №5		Дано:																							
Завдання:																									
1. Методом еквівалентного генератора визначити																									
силу струму у вітці з активним опором R_5 .																									
 <p style="text-align: center;">Рисунок А.5</p>	<table> <tr><td>$E_1, \text{В}$</td><td>100</td></tr> <tr><td>$E_2, \text{В}$</td><td>20</td></tr> <tr><td>$E_3, \text{В}$</td><td>30</td></tr> <tr><td>$E_4, \text{В}$</td><td>40</td></tr> <tr><td>$E_5, \text{В}$</td><td>50</td></tr> <tr><td>$J_1, \text{А}$</td><td>1</td></tr> <tr><td>$R_1, \text{Ом}$</td><td>10</td></tr> <tr><td>$R_2, \text{Ом}$</td><td>20</td></tr> <tr><td>$R_3, \text{Ом}$</td><td>30</td></tr> <tr><td>$R_4, \text{Ом}$</td><td>40</td></tr> <tr><td>$R_5, \text{Ом}$</td><td>50</td></tr> <tr><td>$R_6, \text{Ом}$</td><td>60</td></tr> </table>	$E_1, \text{В}$	100	$E_2, \text{В}$	20	$E_3, \text{В}$	30	$E_4, \text{В}$	40	$E_5, \text{В}$	50	$J_1, \text{А}$	1	$R_1, \text{Ом}$	10	$R_2, \text{Ом}$	20	$R_3, \text{Ом}$	30	$R_4, \text{Ом}$	40	$R_5, \text{Ом}$	50	$R_6, \text{Ом}$	60
$E_1, \text{В}$	100																								
$E_2, \text{В}$	20																								
$E_3, \text{В}$	30																								
$E_4, \text{В}$	40																								
$E_5, \text{В}$	50																								
$J_1, \text{А}$	1																								
$R_1, \text{Ом}$	10																								
$R_2, \text{Ом}$	20																								
$R_3, \text{Ом}$	30																								
$R_4, \text{Ом}$	40																								
$R_5, \text{Ом}$	50																								
$R_6, \text{Ом}$	60																								