

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Запорізький національний технічний університет

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до виконання самостійної роботи з курсу «Моделювання
електромеханічних систем»

для студентів спеціальності 141 – «Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка» усіх форм навчання

2016

Методичні вказівки до виконання самостійної роботи з курсу «Моделювання електромеханічних систем» для студентів спеціальності 141 – «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» усіх форм навчання / Укладачі: Корнус Т.М., Скрупська Л.С. – Запоріжжя: ЗНТУ, 2016. – 35с.

Укладачі:

КОРНУС Т.М.
СКРУПСЬКА Л.С.

Рецензент:

ЖОРНЯК Л. Б.

Відповідальний за випуск:

АНДРІЄНКО П.Д.

Затверджено на засіданні кафедри
"Електричні апарати та
електронні"

Протокол №8 від 28.03.2016 р.

Затверджено на НМК факультету

Протокол №7 від 11.04.2016 р.

ЗМІСТ

Вступ.....	4
Тема 1. Числовий розрахунок сталих процесів в лінійних колах комплексним методом	4
Тема 2. Числовий розрахунок перехідних процесів в лінійних колах методом дискретних струмових моделей.....	14
Тема 3. Числовий розрахунок сталих електричних процесів в нелінійних електричних колах постійного струму методом Ньютона.....	25
Тема 4: Числовий розрахунок сталих процесів в нелінійних електричних колах постійного струму методом Ньютона, при використанні дискретних струмових моделей	28
Тема 5. Числовий розрахунок електромагнітних процесів в нелінійних магнітних колах постійного струму методом Ньютона із застосуванням дискретних моделей магнітних опорів і їх інтерполяції сплайнами.....	32
Перелік посилань.....	35

Вступ

Мета та завдання самостійної роботи

Ціллю самостійної роботи з курсу «Моделювання електромеханічних систем» є формування у студентів знань, навиків та умінь, що дозволять їм здійснювати дослідження, проектування, виробництво і експлуатацію електричних апаратів та використовувати їх для створення більш сучасних та досконалих електромеханічних засобів

Виконання завдань до самостійної роботи полягають у тому, щоб студент засвоїв фундаментальні теоретичні основи і практичні навички моделювання електромеханічних явищ, що відбуваються в електричних апаратах і на яких засновано їх функціонування.

У результаті вивчення навчальної дисципліни студент повинен **знати:**

- теоретичні основи постановки завдання та методи розрахунку комп'ютерного розрахунку електромеханічних систем ;
- принципи дії пакета MATLAB і язык програмування MATLAB.
- принципи верифікації результатів моделювання.

вміти:

- провести комп'ютерний розрахунок електромагнітних процесів у електромеханічному апараті у стаціонарному та динамічному режимі.
- розробляти математичну модель аналізу електромеханічного пристрою ;
- розробляти блок-схему алгоритму комп'ютерного розрахунку відповідно з математичною моделлю;
- розробляти програму комп'ютерного розрахунку відповідно з блок-схемою алгоритму;
- формулювати, оцінювати та використовувати отримані при моделюванні результати при проектуванні електромеханічних систем.

Тема 1. Численний розрахунок сталих процесів в лінійних колах комплексним методом

Математична модель

Для виконання завдання розглянемо приклад складання математичної моделі електричних процесів і їх аналізу в простому електричному колі (рис.1.1) за допомогою системи MATLAB.

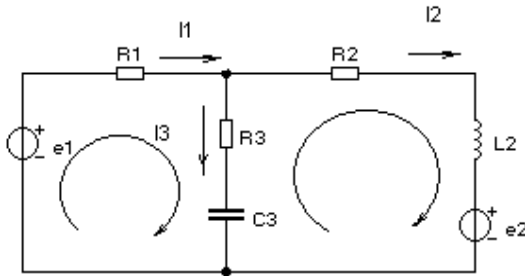


Рисунок 1.1 – Електрична схема, що моделюється.

Задані такі параметри елементів схеми:

$$e1(t)=100\sin(\omega t+\pi/6) \text{ В}; \quad e2(t)=200\sin((\omega t+\pi/3) \text{ В};$$

$$\omega=2\pi f; \quad f=50 \text{ Гц};$$

$$R1=1 \text{ Ом}; \quad R2=2 \text{ Ом}; \quad R3=3 \text{ Ом};$$

$$C3=1 \cdot 10^{-4} \text{ Ф}; \quad L2=1 \cdot 10^{-3} \text{ Гн}.$$

Потрібно визначити сталі струми в гілках.

Перш, ніж скласти програму, запишемо систему рівнянь Кірхгофа в комплексній формі.

Тоді комплексне зображення синусоїдальних ЕДС

$$\underline{E1} = \frac{100}{\sqrt{2}} e^{j\frac{\pi}{6}}; \quad \underline{E2} = \frac{200}{\sqrt{2}} e^{j\frac{\pi}{3}}.$$

Реактивні опори

$$X_L = \omega L2; \quad X_C = \frac{1}{\omega C3}.$$

Комплексне зображення опорів гілок

$$\underline{Z1} = R1; \quad \underline{Z2} = R2 + jX_L; \quad \underline{Z3} = R3 - jX_C.$$

Система рівнянь Кірхгофа для визначення струмів в гілках

$$\begin{cases} \underline{I1} - \underline{I2} - \underline{I3} = 0 \\ \underline{Z1} \cdot \underline{I1} + \underline{Z3} \cdot \underline{I3} = \underline{E1} \\ \underline{Z2} \cdot \underline{I2} - \underline{Z3} \cdot \underline{I3} = -\underline{E2} \end{cases}$$

Перепишемо систему рівнянь як

$$\begin{cases} \underline{I1} & -\underline{I2} & -\underline{I3} = 0 \\ \underline{Z1} \cdot \underline{I1} & +0 \cdot \underline{I2} & +\underline{Z3} \cdot \underline{I3} = \underline{E1} \\ 0 \cdot \underline{I1} & +\underline{Z2} \cdot \underline{I2} & -\underline{Z3} \cdot \underline{I3} = -\underline{E2} \end{cases}$$

Представимо коефіцієнти перед невідомими у вигляді матриці

$$M = \begin{bmatrix} 1 & -1 & -1 \\ \underline{Z1} & 0 & \underline{Z3} \\ 0 & \underline{Z2} & -\underline{Z3} \end{bmatrix};$$

Вектор правих частин

$$F = \begin{bmatrix} 0 \\ \underline{E1} \\ -\underline{E2} \end{bmatrix}.$$

Тоді наведена вище система рівнянь, записана в матричному вигляді, виглядатиме як

$$M \cdot I = F,$$

де

$$I = \begin{bmatrix} \underline{I1} \\ \underline{I2} \\ \underline{I3} \end{bmatrix} \text{ – вектор-стовпець шуканих струмів.}$$

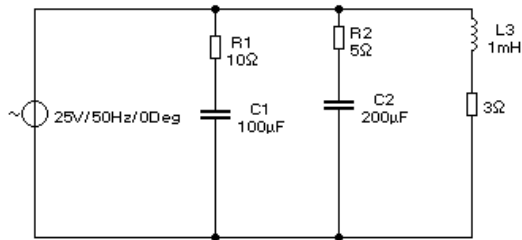
Вирішення цього матричного рівняння дає вектор шуканих струмів в гілках електричного кола.

Для заданого варіанту електричної схеми необхідно:

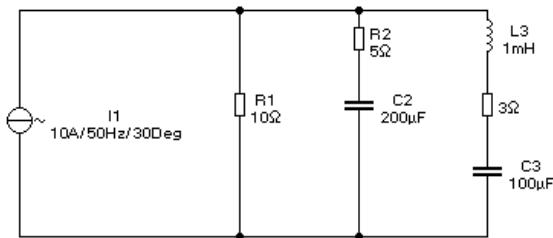
- розробити блок-схему алгоритму;
- розробити математичну модель розрахунку струмів в гілках і напруги на реактивних елементах;
- скласти програму, що реалізує розроблену модель;
- включити в програму оператори, що дозволяють провести верифікацію результатів розрахунку;
- організувати графічне виведення вказаних функцій струмів і напруги;
- відладати програму;
- результати роботи (програму, лістинг розрахунку, графіки) зберегти в особистій директорії на жорсткому диску.

Індивідуальні завдання

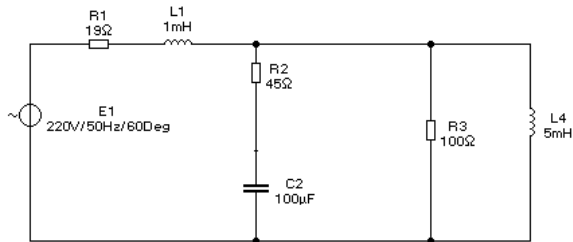
Варіант 1:



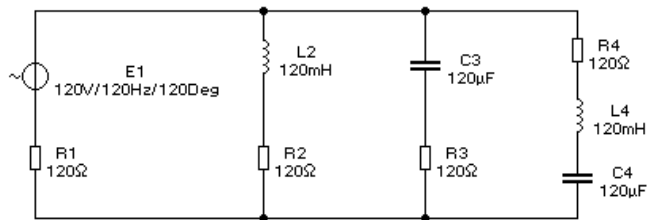
Варіант 2:



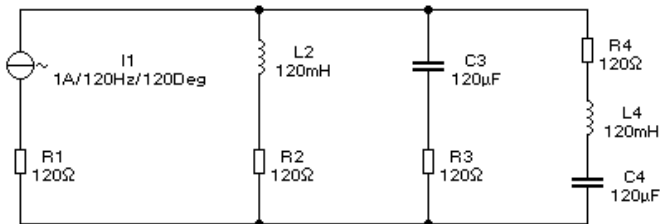
Варіант 3:



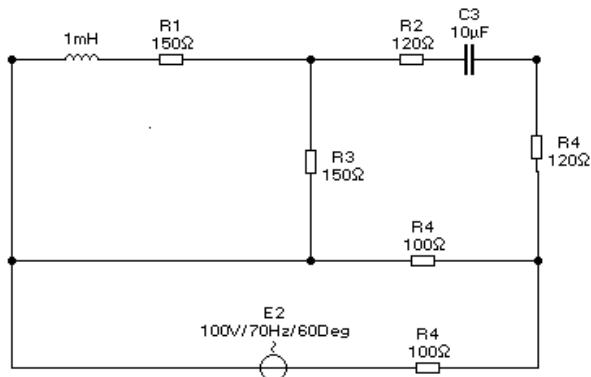
Варіант 4:



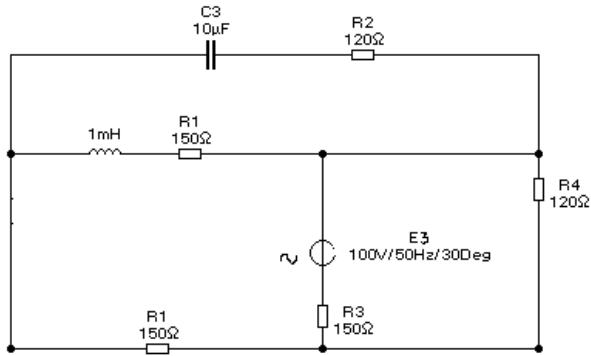
Варіант 5:



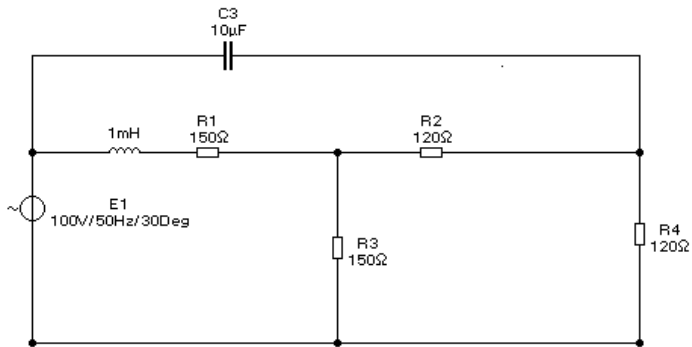
Варіант 6:



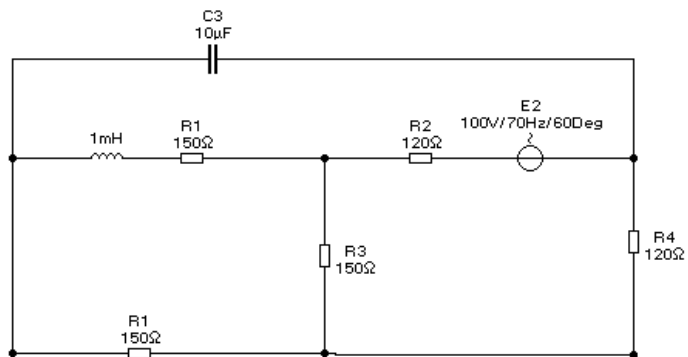
Варіант 7:



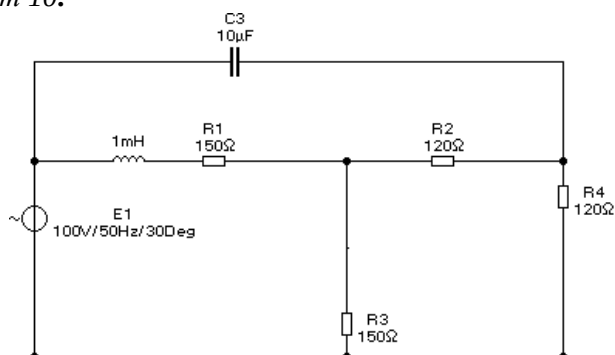
Варіант 8:



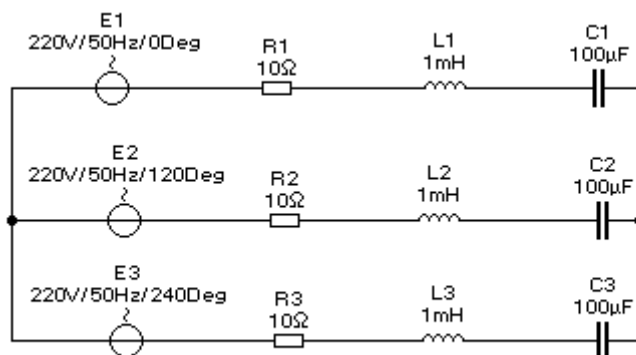
Варіант 9:



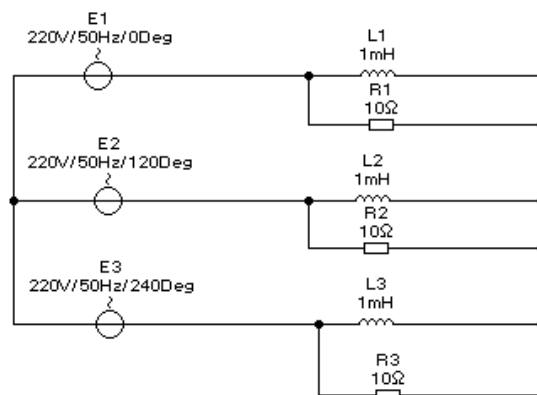
Варіант 10:



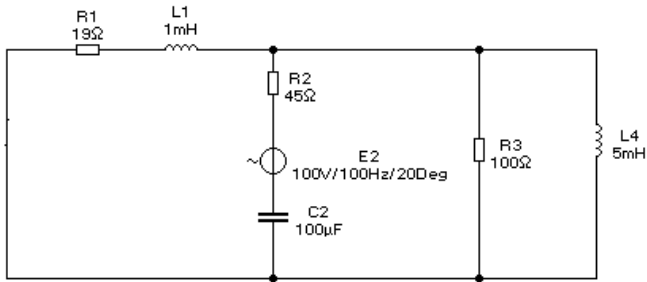
Варіант 11:



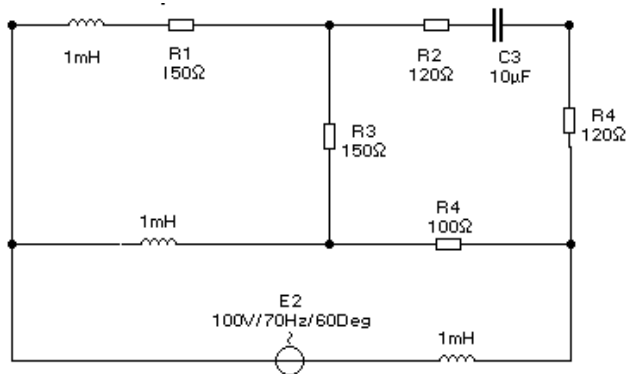
Варіант 12:



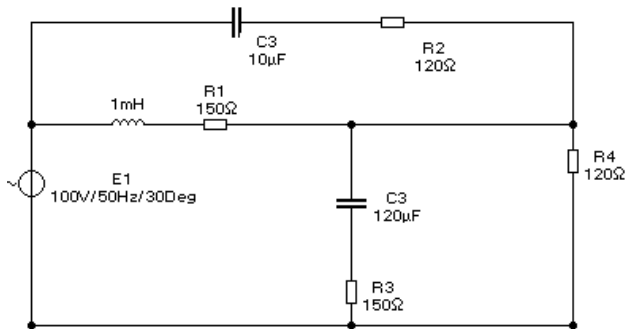
Варіант 13:



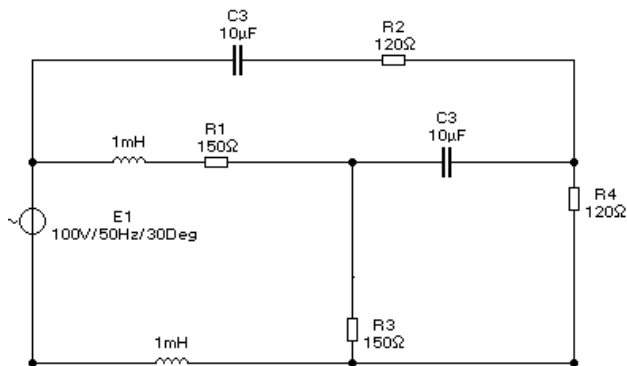
Варіант 14:



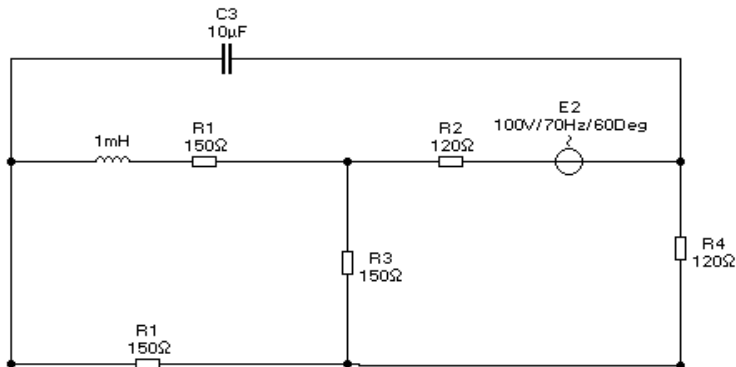
Варіант 15:



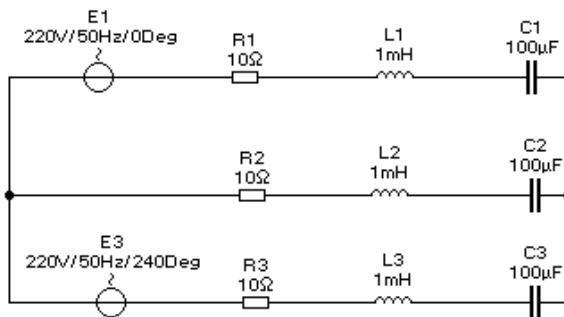
Варіант 16:



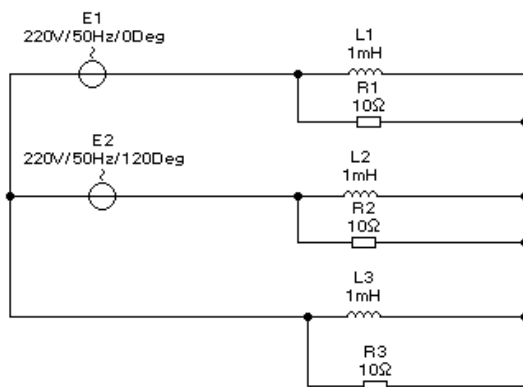
Варіант 17:



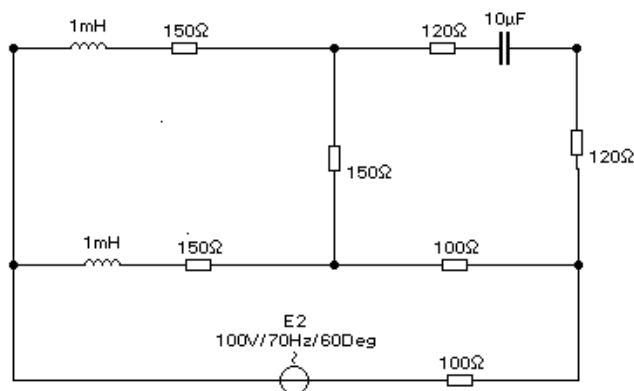
Варіант 18:



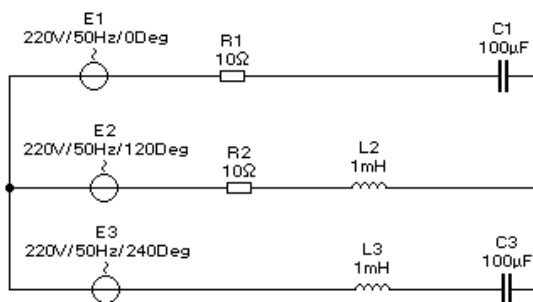
Варіант 19:



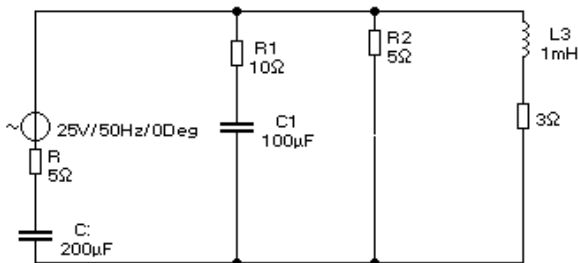
Варіант 20:



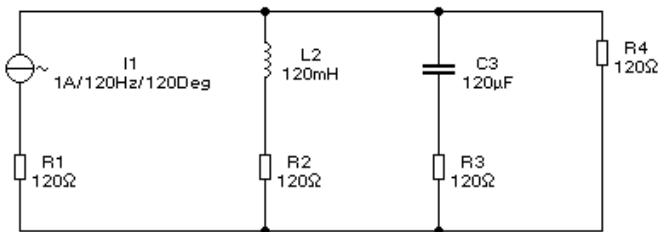
Варіант 21:



Варіант 22:



Варіант 23:



Тема 2. Численний розрахунок перехідних процесів в лінійних колах методом дискретних струмових моделей

Математична модель

Розглянемо, як приклад, електричну схему, що показана на рисунку 2.1.

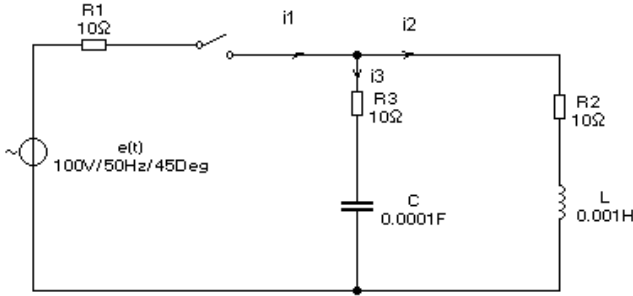


Рисунок 2.1 – Електричне коло з параметрами елементів, що задані

У момент $t=0$ замикається ключ і починається перехідний процес в наведеному електричному колі.

Замінімо індуктивний і ємкісний елементи їх дискретними струмовими моделями. Тоді коло набуде вигляд, показаний на рисунку 4.2. У цьому колі немає жодного ємкісного чи індуктивного елементу – це ланцюг постійного струму.

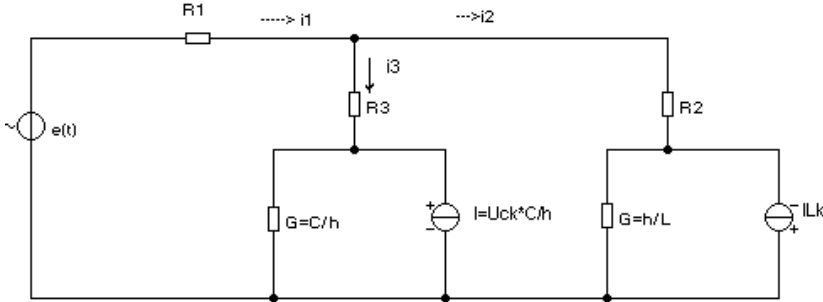


Рисунок 2.2 – Еквівалентна схема постійного струму для кожного кроку інтегрування

В початковий момент $t=0$ відомі струм i_2^k і напруга u_c^k ($k=1$). Це незалежні початкові умови. Для моменту $t=h$ можна визначити всі струми та напруги, виконавши розрахунок кола постійного струму. Виконаємо цей розрахунок методом вузлових потенціалів, для цього перетворимо джерело ЕРС $e(t)$ в джерело струму й отримаємо схему, яка наведена на рисунку 4.3.

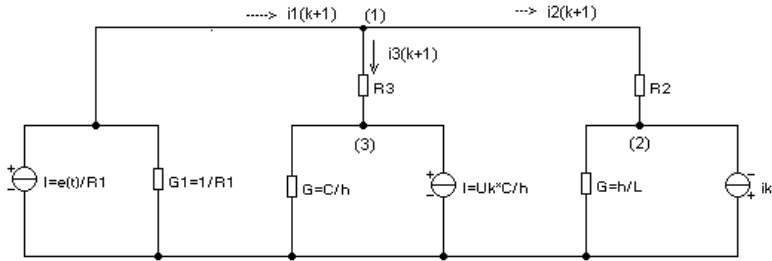


Рисунок 2.3 – Ланцюг з джерелом ЕРС $e(t)$, який перетворено на джерело струму.

Система потенціальних рівнянь має вигляд:

$$\begin{aligned}
 +G_{11}\varphi_1 - G_{12}\varphi_{21} - G_{13}\varphi_3 &= I_{11} \\
 -G_{21}\varphi_1 + G_{22}\varphi_{21} - G_{23}\varphi_3 &= I_{22} \\
 -G_{31}\varphi_1 - G_{32}\varphi_{21} + G_{33}\varphi_3 &= I_{33}
 \end{aligned} \tag{4.1}$$

де

G_{11} - сума провідностей гілок, що сходяться до вузла 1.

$$G_{11} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_2};$$

G_{22} - сума провідностей гілок, що сходяться до вузла 2.

$$G_{22} = \frac{1}{R_2} + \frac{h}{L};$$

G_{33} - сума провідностей гілок, що сходяться до вузла 3.

$$G_{33} = \frac{1}{R_3} + \frac{C}{h};$$

$G_{12} = G_{21}$ - провідність гілки між вузлами 1 і 2.

$$G_{12} = \frac{1}{R_2};$$

$G_{13} = G_{31}$ - провідність гілки між вузлами 1 і 3.

$$G_{13} = \frac{1}{R_3};$$

$G_{23} = G_{32}$ - провідність гілки між вузлами 1 и 3.

$$G_{23} = 0;$$

I_{11}, I_{22}, I_{33} - вузлові струми.

I_{11} - алгебраїчна сума струмів джерел, що сходяться до вузла 1.

$$I_{11} = \frac{e(t)}{R_1};$$

I_{22} - алгебраїчна сума струмів джерел, що сходяться до вузла 2.

$$I_{22} = -i_2^k;$$

I_{33} - алгебраїчна сума струмів джерел, що сходяться до вузла 3.

$$I_{22} = U_C^k;$$

Таким чином, отримуємо систему лінійних рівнянь з постійними коефіцієнтами.

Рішення системи (4.1) дозволить отримати потенціали вузлів, тобто $\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3$.

Якщо відомі потенціали вузлів визначимо всі струми й напруги на ємності

$$i_1 = \frac{e(t)}{R} - \varphi_1 \frac{1}{R};$$

$$i_2 = \frac{\varphi_1 - \varphi_2}{R_2};$$

$$i_3 = \frac{\varphi_1 - \varphi_3}{R_3};$$

$u_C = \varphi_3$; Після визначення i_2 і u_C уточнюємо параметри дискретних струмових моделей, час збільшуємо на величину кроку h і все

обчислюється заново, поки кількість кроків інтеграції не досягне заданої величини.

Блок-схема алгоритму розрахунку приведена на малюнку 2.2.

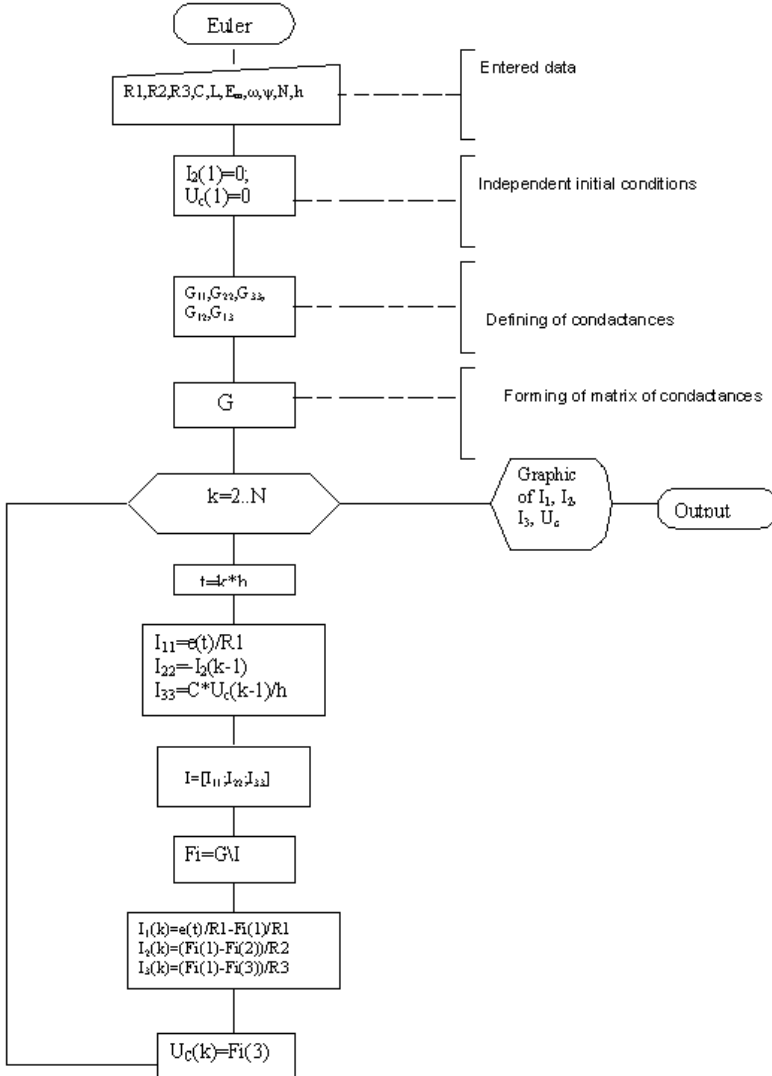


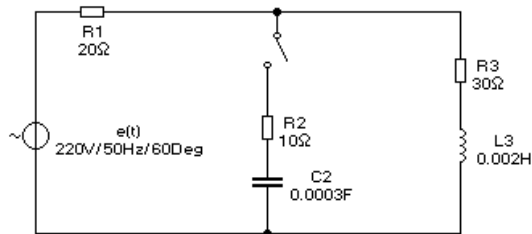
Рисунок 2.4 – Блок-схема алгоритму обчислень перехідного процесу

Для заданого варіанту електричної схеми необхідно:

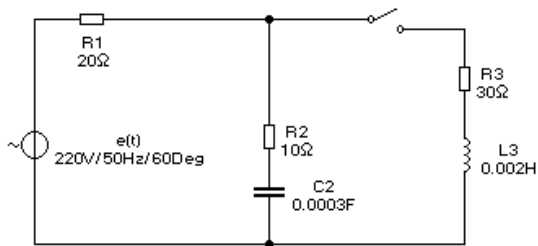
- створіть математичну модель, що реалізовує розрахунок перехідних струмів в гілках схеми для вашого індивідуального завдання;
- розробіть алгоритм згідно створеної математичної моделі, що реалізовує неявний метод Ейлера;
- розробіть програму, що реалізовує розроблений алгоритм;
- введіть до програми оператори, що дозволяють виконати перевірку результатів обчислень;
- організуйте графічне виведення розрахованих функцій струмів і напруги;
- проведіть відладку програми;
- збережіть результати роботи (програма, лістинг обчислень, графіки) у вашому особистому файлі.

Індивідуальні завдання

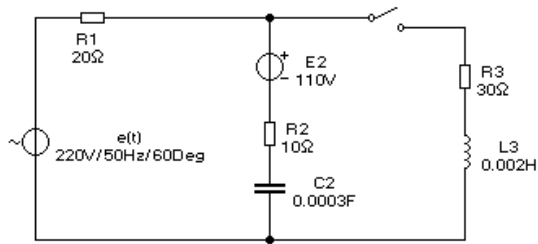
Варіант 1:



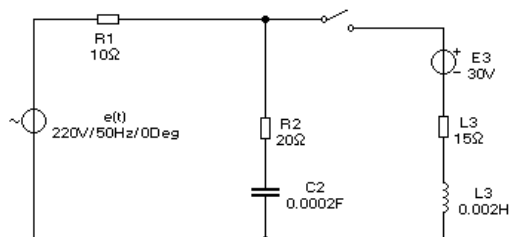
Варіант 2:



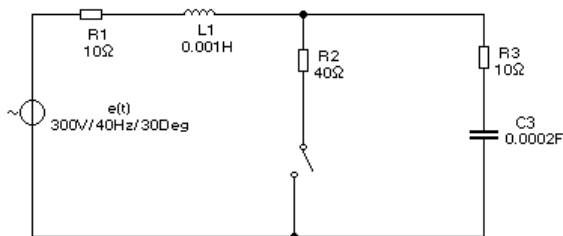
Варіант 3:



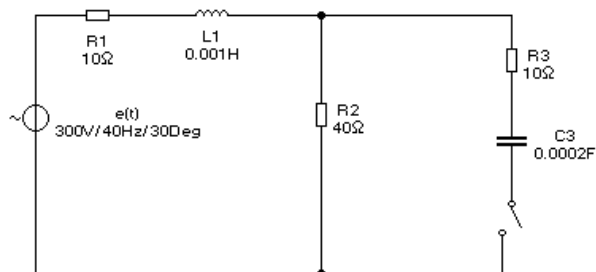
Варіант 4:



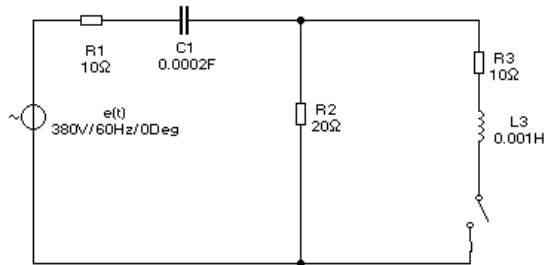
Варіант 5:



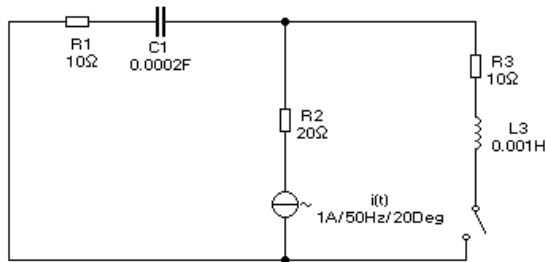
Варіант 6:



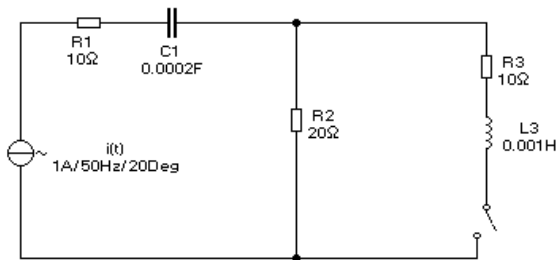
Варіант 7:



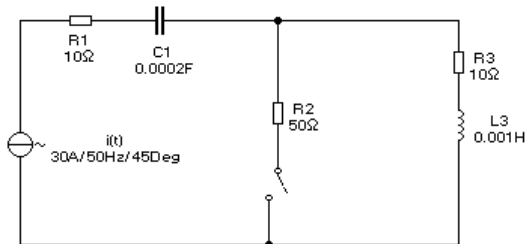
Варіант 8:



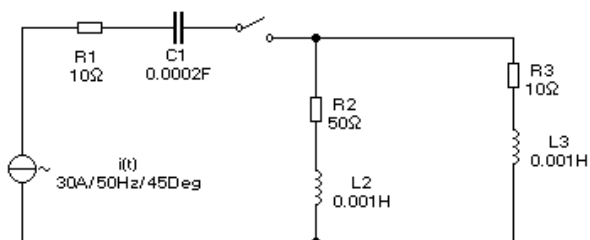
Варіант 9:



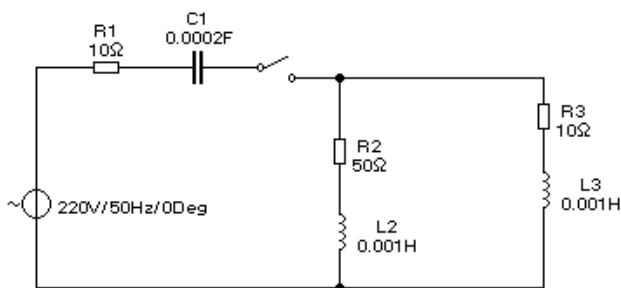
Варіант 10:



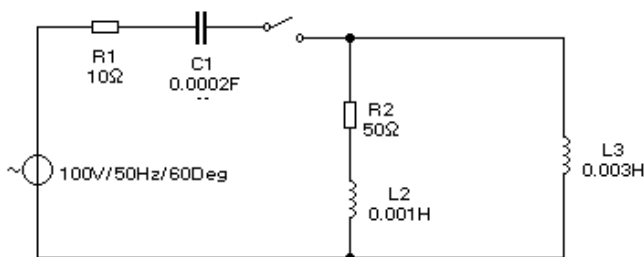
Варіант 11:



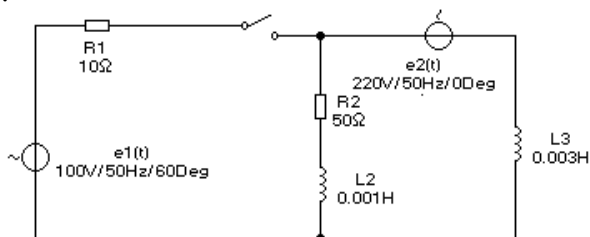
Варіант 12:



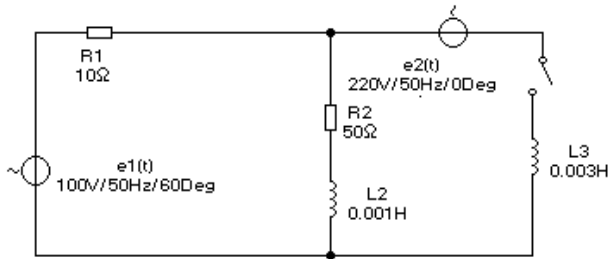
Варіант 13:



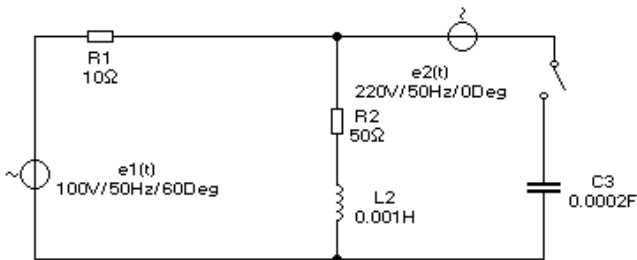
Варіант 14:



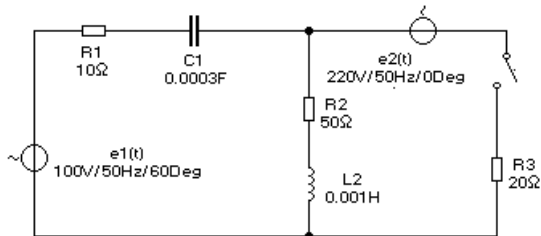
Варіант 15:



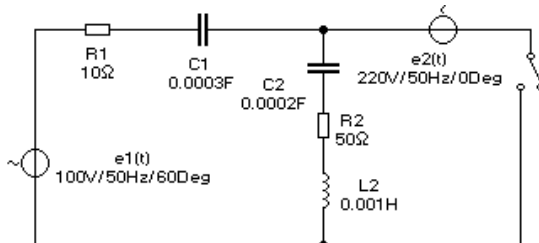
Варіант 16:



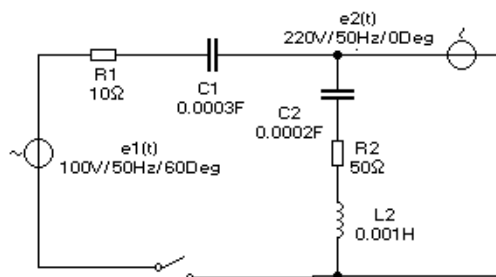
Варіант 17:



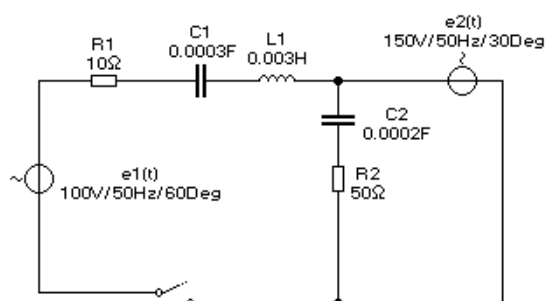
Варіант 18:



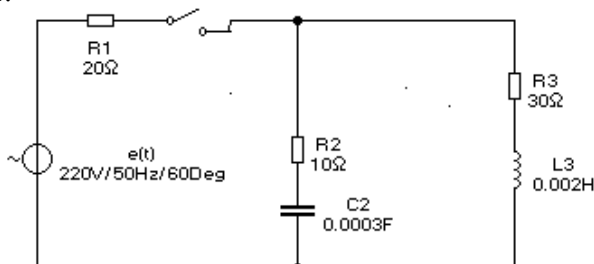
Варіант 19:



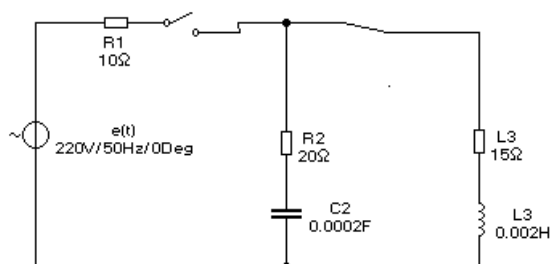
Варіант 20:



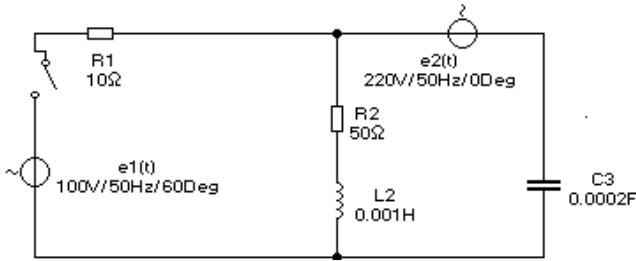
Варіант 21:



Варіант 22:



Варіант 23:



Тема 3. Численний розрахунок сталих електричних процесів в нелінійних електричних колах постійного струму методом Ньютона

Математична модель

Наведемо приклад складання математичної моделі електричних процесів і їх аналізу в простому електричному колі (рис.3.1) в MATLAB.

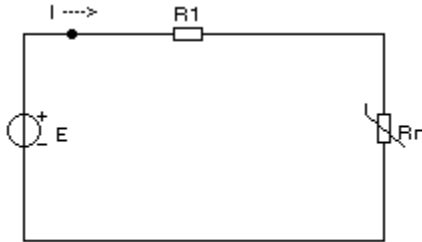


Рисунок 3.1 – Електрична схема, що моделюється.

Параметри елементів схеми: $E=10$ В; $R_1=0.5$ Ом;
 Нелінійний елемент заданий вольт-амперною
 характеристикою (ВАХ) в аналітичному вигляді:

$$U_n = a \cdot I^{1/3}, \quad (6.1)$$

де U_n – напруга на нелінійному елементі; $a=4^{(1/3)}$.

Потрібно визначити струм в схемі методом Ньютона.

На підставі другого закону Кирхгофа можна скласти рівняння

$$R_1 \cdot I + U_n = E. \quad (6.2)$$

Підставимо вирази для ВАХ нелінійного опору (6.1) в рівняння (6.2) і отримаємо нелінійне алгебраїчне рівняння відносно струму I :

$$R_1 \cdot I + a \cdot I^{1/3} = E. \quad (6.3)$$

Рівняння (6.3) можна записати як $f(I) = 0$, де

$$f(I) = R_1 \cdot I + a \cdot I^{1/3} - E. \quad (6.4)$$

Відповідно до алгоритму Ньютона $k+1$ наближення для струму можна знайти як

$$I_{k+1} = I_k - \frac{f(I_k)}{f'(I_k)} \quad (6.5)$$

Виходячи з (6.4), знайдемо вираз для $f'(I)$:

$$f'(I) = R_1 + a/(3 \cdot I^{2/3}).$$

Визначення початкового наближення

Приймемо початкове наближення струму в ланцюзі $I_0=0$, тоді на першому кроці ітерації різниця струмів початкового і наступного наближень

$$I_1 - I_0 = f(I_0)/f'(I_0) = -10/\infty = 0,$$

т.ч., при заданому наближенні процес розходиться.

Візьмемо за початкове наближення $I_0=1$, тоді:

$$I_1 - I_0 = f(I_0)/f'(I_0) = -7.91/1.03 = -7.68.$$

Отже, $I_0=1$ можна прийняти як початкове наближення.

Завдання на виконання роботи

Для заданого варіанту ВАХ нелінійного елементу R_n :

- Розробити математичну модель розрахунку струму в колі (рис.6.1);
- Скласти програму, що реалізовує розроблену модель;

- Організувати графічне виведення розрахункового значення струму в схемі (рис. 6.1) на кожному кроці ітерації від номера цього кроку $I(n)$;
- Відладити програму;
- Результати роботи (програму, лістинг розрахунку, графіки) зберегти в особистій просторі на жорсткому диску.

Індивідуальні завдання

Розрахувати струм в схемі (рис.3.1), якщо ВАХ нелінійного елементу задається аналітичною залежністю відповідно до таблиці 6.1.

Таблиця 3.1

№ варіанта	ВАХ нелінійного елемента R_n	№ варіанта	ВАХ нелінійного елемента R_n
1	$I=2.5U^3$	16	$I=3U^2 \operatorname{sign}(U)$
2	$I=6U^2 \operatorname{sign}(U)$	17	$I=0.5U^4 \operatorname{sign}(U)$
3	$I=2\sqrt{ U } \operatorname{sign}(U)$	18	$I=5U \arctg(U)$
4	$I=3U^5$	19	$I=0.2 \arctg(U)$
5	$I=3[\log_a U - 1]$	20	$I=8.6U^2 \operatorname{sign}(U)$
6	$I=3U^3$	21	$I=3.5[\exp(bU) - 1]$
7	$I=\arctg(U/5)$	22	$I=2 \arctg(U)$
8	$I=5U^2 \operatorname{sign}(U)$	23	$I=9.4U^2 \operatorname{sign}(U)$
9	$I=8 U ^{4/3} \operatorname{sign}(U)$	24	$I=1.7U^3$
10	$I=7U^3$	25	$I=8U^3$
11	$I=6.1U^2 \operatorname{sign}(U)$	26	$I=6.9[\exp(U) - 1]$
12	$I=5.2U^3$	27	$I=6.9U^3$
13	$I=9.3[\ln U - 1]$	28	$I=2[\exp(U/2) - 1]$
14	$I=0.5U^4 \operatorname{sign}(U)$	29	$I=7[\log_a U - 1]$
15	$I=8 U ^{3/2} \operatorname{sign}(U)$	30	$I=5.5[\ln U - 1]$

Тема 4: Числений розрахунок сталих процесів в нелінійних електричних колах постійного струму методом Ньютона, при використанні дискретних струмових моделей

Математична модель

Розглянемо приклад складання математичної моделі електричних процесів в колі, наведеному на рисунку 4.1.

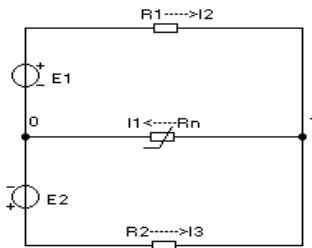


Рисунок 4.1 – Задане електричне коло

Значення параметрів елементів:

ЕРС:

$$E_1 = 10 \text{ V}; \quad E_2 = 5 \text{ V};$$

Лінійні опори :

$$R_1 = 2 \text{ Ом}; \quad R_2 = 3 \text{ Ом};$$

Нелінійний опір R_n задається аналітичним вираженням ВАХ:

$$U_f(I) = a \cdot I^{1/3}, \quad (7.1)$$

де $U_f(I)$ – напруга на нелінійному резисторі, $a = 10^{1/3}$.

Потрібно визначити струми у всіх гілках даного ланцюга.

Для вирішення потрібно обчислювати похідну $\frac{dI}{dU}$ при конкретних

значеннях напруги. Для виконання цієї мети вирішимо рівняння (7.1) щодо струму I , і візьмемо похідну:

$$I'_f(U) = 0.3U^2 \quad (7.2)$$

Вираз (7.2) дозволяє обчислити провідність дискретної струмової моделі нелінійного резистивного елементу. Тому в програмі

визначимо вираз (7.2) функцією користувача. Початкове значення (нульове наближення) струму в нелінійному опорі має бути задане. Задамо його рівним $I_0 = 0,1$ А (середньо-стельова величина). Нульове наближення повинне відповідати двом вимогам: похідна dI/dU при цьому значенні струму не має бути рівною нулю; значення I_0 не повинно перевищувати максимально можливого значення струму в нелінійному елементі. Попередній розрахунок I_0 можна виконати таким чином: грубо замінити ВАХ прямою лінією і виконати розрахунок струмів в отриманому лінійному ланцюзі. Проте в більшості випадків виконувати попередній розрахунок I_0 не потрібно. Простіше визначити I_0 методом пристрілки. Якщо при якомусь значенні I_0 розрахунок упевнено сходиться, то вибране значення I_0 – те, що треба.

Обчислені струми у всіх гілках всіх кроків ітерації зберігаємо в двовимірному масиві I . Перший індекс задає номер струму гілки, другої, – номер ітерації.

Далі йде цикл обчислень, в якому номер ітерації до змінюється від одиниці до заданого номера N . У циклі обчислюються параметри дискретної струмової моделі G , J , а нелінійний ланцюг (рис.7.1) замінюється еквівалентною схемою заміщення (рис.7.2).

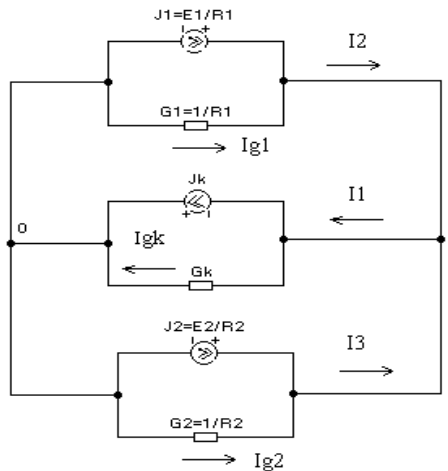


Рисунок 4.2 – Еквівалентна схема

Розрахунок струмів в лінійному колі, показаному на рис.3.9, проведемо методом двох вузлів:

$$\varphi_1 = \frac{\frac{E_1}{R_1} + \frac{E_2}{R_2} - J}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + G},$$

де J та G - параметри дискретної струмової моделі.
Тоді струми гілок обчислюються по формулах

$$\begin{aligned} I_{1,k} &= \frac{E_1 - \varphi_1}{R_1}; \\ I_{2,k} &= \frac{E_2 - \varphi_1}{R_2}; \\ I_{0,k} &= J - \varphi_1 \cdot G. \end{aligned}$$

Завдання на виконання роботи

- Розробити математичну модель розрахунку струму в електричному колі (рис.4.1);
- Скласти програму, що реалізовує розроблену модель;
- Організувати графічне виведення розрахункового значення струмів в схемі (рис. 4.1) на кожному кроці ітерації від номера цього кроку $I_1(n)$; $I_2(n)$; $I_3(n)$;
- Відладити програму;
- Результати роботи (програму, лістинг розрахунку, графіки) зберегти в особистому просторі жорсткого диску.

Індивідуальні завдання

Обчисліть струми в гілках даного електричного кола (рис.4.1), якщо ВАХ нелінійного елемента задається таблицею 4.1.

Таблиця 4.1

Номер варіанта	ВАН нелінійного елемента R_n	R_1 , $Ом$	R_2 , $Ом$	E_1 , $В$	E_2 , $В$
1	$I=5.5[\ln U-1]$	5	5	40	7
2	$I=7[\log_a U-1]$	6	8	15	20
3	$I=2[\exp(U/2)-1]$	7	7.1	5	13
4	$I=6.9U^3$	3	8	8	10
5	$I=6.9[\exp(U)-1]$	2	8.5	13	14
6	$I=8U^3$	8	4.1	5.5	6.6
7	$I=0.5U^4 \text{ sign}(U)$	7	8	8.9	8.5
8	$I=5U^2 \text{ sign}(U)$	5	3	20	3.8
9	$I=9.3[\ln U-1]$	9	9.9	13	8.9
10	$I=7U^3$	2	10	6.9	8.3
11	$I=0.5U^4 \text{ sign}(U)$	5	7.4	3.8	19
12	$I=3 U ^{4/3} \text{ sign}(U)$	1	1.9	7	8.6
13	$I=5.2U^3$	6	25	9	6.8
14	$I=6.1U^2 \text{ sign}(U)$	7.1	8.8	8.7	4.9
15	$I=8 U ^{4/3} \text{ sign}(U)$	9.7	8.3	4.8	3.9
16	$I=3U^2 \text{ sign}(U)$	5.9	7.1	20	25
17	$I=5U \arctg(U)$	3.7	8.2	30	40
18	$I=\arctg(U/5)$	7	9.5	8	71
19	$I=0.2 \arctg(U)$	20	1.8	5.9	9
20	$I=8.6U^2 \text{ sign}(U)$	5.4	7.4	50	28
21	$I=3.5[\exp(bU)-1]$	4.0	8.5	41	52
22	$I=2 \arctg(U)$	22	4.8	17	7
23	$I=9.4U^2 \text{ sign}(U)$	13	5.9	5.9	12
24	$I=1.7bU^3$	3.5	6	8.9	35
25	$I=3U^3$	2.1	8	26	23
26	$I=3[\log_a U-1]$	4.8	4	13	9
27	$I=3U^5$	6.1	9	4	10
28	$I=2\sqrt{ U } \text{ sign}(U)$	8.2	5	46	13
29	$I=6U^2 \text{ sign}(U)$	5	3.9	11	12
30	$I=2.5U^3$	9	8.2	45	50

Тема 5. Численний розрахунок електромагнітних процесів в нелінійних магнітних колах постійного струму методом Ньютона із застосуванням дискретних моделей магнітних опорів і їх інтерполяції сплайнами

Завдання на виконання роботи

Для заданого варіанту магнітного кола (рис.5.1):

- розробити математичну модель розрахунку магнітних потоків в стрижнях;
- скласти програму, що реалізує розроблену модель;
- організувати графічне виведення розрахункових значень магнітних потоків в магнітному колі (рис.5.1) на кожному кроці ітерації від номера цього кроку;
- відладити програму;
- результати роботи (програму, лістинг розрахунку, графіки) зберегти в особистому просторі на жорсткому диску;

Індивідуальні завдання

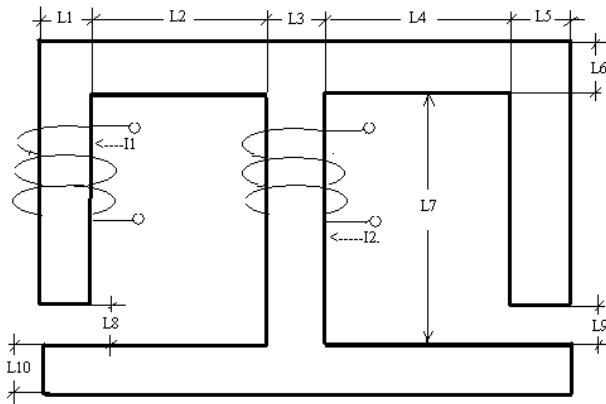
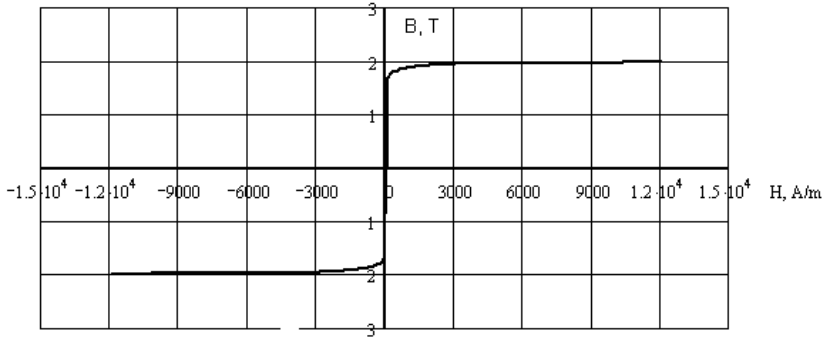
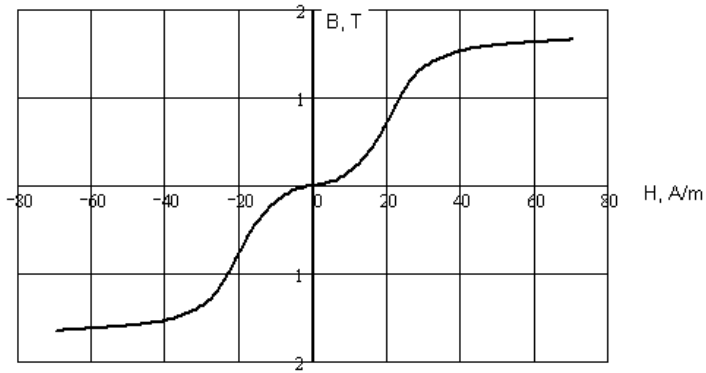


Рисунок 5.1 – Магнітне коло, що моделюється.

Параметри магнітної системи відповідно до заданого варіанту наведені в таблиці 5.1. Крива намагнічення сталі приведена на рисунку 5.2.



а).



б)

а) – загальний вигляд

б) – початкова ділянка кривої намагнічення.

Рисунок 5.2 – Крива намагнічення сталі сердечника $B(H)$;

Таблиця 5.1.

№	L1, ММ	L2, ММ	L3, ММ	L4, ММ	L5, ММ	L6, ММ	L7, ММ	L8, ММ	L9, ММ	L10, ММ	L11*, ММ	I1, А	I2, А	N1	N2
1	20	80	25	80	20	25	80	0.02	0.02	25	25	10	10	60	60
2	25	80	20	80	20	20	80	0.01	0.02	20	20	20	10	30	60
3	20	100	20	100	20	20	100	0.03	0.02	20	20	40	10	10	60
4	30	80	30	80	30	30	80	0.04	0.01	30	30	40	30	14	20
5	20	90	20	90	20	20	90	0.02	0.03	20	20	50	5	40	50
6	15	80	15	80	15	15	80	0.05	0.03	15	15	15	10	15	10
7	20	70	20	70	20	20	70	0.06	0.04	20	20	35	30	50	20
8	40	180	40	180	40	40	180	0.02	0.02	40	40	50	7	10	80
9	50	200	50	200	50	50	200	0.07	0.07	50	50	70	20	20	60
10	20	90	20	90	20	20	90	0.01	0.1	20	20	30	10	40	40
11	30	100	30	100	30	30	100	0.05	0.02	30	40	55	15	5	15
12	50	100	50	100	50	50	300	0.08	0.07	50	50	70	40	20	10
13	40	150	40	150	40	40	140	0.05	0.05	60	40	50	60	10	80
14	40	100	40	100	30	30	100	0.05	0.02	30	40	55	15	50	45
15	10	60	10	60	10	10	60	0.03	0.05	10	20	5	15	50	10
16	80	200	80	200	80	80	200	0.1	0.2	80	80	70	60	10	60
17	50	200	50	200	50	50	200	0.1	0.2	50	50	50	60	20	60
18	50	300	50	300	50	50	300	0.4	0.5	50	50	60	60	30	60
19	30	250	30	250	30	30	250	0.05	0.02	30	40	55	15	30	45
20	40	150	40	150	40	40	150	0.05	0.04	40	40	50	30	50	80
21	60	280	60	280	60	60	280	0.02	0.02	60	60	60	50	10	60
22	20	70	20	80	20	10	80	0.03	0.02	10	20	10	10	60	30
23	20	190	20	190	20	20	190	0.2	0.08	20	20	60	30	40	80
24	25	80	25	80	25	25	80	0.02	0.02	25	20	10	10	65	20
25	30	150	30	150	30	30	150	0.04	0.03	30	30	40	35	18	19

 * - L11- товщина стрижнів сердечника.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Чуа Л.О., Пен – Мин – Лин. Машинный анализ электронных схем. М.: Энергия 1980.
2. Ортега Дж., Пул У. Введение в численные методы решение дифференциальных уравнений. М.: Наука 1986.
3. Нерртер В. Расчет электрических цепей на персональной ЭВМ. М.: Энергоатомиздат 1991.
4. Лазарев Ю.Ф. MatLAB5.x. – К.:Издательская группа BNV, 2000.
5. Герман-Галкин С.Г. Компьютерное моделирование полупроводниковых систем в MATLAB 6.0: Учебное пособие. – СПб.: КОРОНА принт, 2001.
6. Дьяконов В., Круглов В. MATLAB. Анализ, идентификация и моделирование систем. Специальный справочник. – СПб.: Питер, 2002.