

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДОНЕЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
до виконання лабораторних і розрахунково-графічних робіт
з курсу
“ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ЕЛЕКТРОТЕХНІКИ”

РОЗГЛЯНУТО:
на засіданні кафедри
електротехніки
Протокол № 1
від 31.08.2005р.
ЗАТВЕРДЖЕНО:
на засіданні
навчально-видавничої
ради ДонНТУ
Протокол №3
від 12. 10 .2005р.
Перезатверджено:
на засіданні кафедри
електротехніки
протокол № 7
від “ 25 ” квітня 2011р.

Методичні вказівки до виконання лабораторних і розрахунково-графічних робіт з курсу “Теоретичні основи електротехніки” (для студентів усіх форм навчання) / О.О.Шавьолкін, В.Д.Пронін, А.О.Чурсінова, Н.Л.Тютюнник, О.О.Білобородько, Д.М.Мірошник. Донецьк: ДонНТУ, 2005

Складені відповідно з програмою курсу “Теоретичні основи електротехніки”. Є частиною комплексу методичних матеріалів, що розроблені кафедрою електротехніки ДонНТУ і містять в собі вказівки до підготовки і проведення лабораторних робіт, а також з виконання домашніх розрахунково-графічних робіт.

При виконанні лабораторних робіт для досліджень застосований метод схемотехнічного моделювання на персональному комп’ютері з використанням версії програми Electronics Workbench, версія 5.0.

Методичне забезпечення передбачає:

1. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт у формі електронного документу Word.
2. Форми звітів до лабораторних робіт у вигляді електронного документу Word.
3. Шаблони схем, що досліджуються.

Все це знаходиться на робочому місці у відповідній директорії ПК.

У розробці методичних вказівок брали участь студенти гр. ЗК-02 Федюшина З.В., Сухова Ю.А.

Автори: О.О. Шавьолкін, доц.
В.Д. Пронін, доц.
А.О. Чурсінова, доц.
Н.Л. Тютюнник, ст. викл.
О.О. Білобородько, ас.
Д.М. Мірошник, ас.

Відп. за випуск В.Д. Пронін, доц.

Рецензент: Є. Б. Ковальов, проф.

Лабораторна робота № 8.1

ДОСЛІДЖЕННЯ КІЛ НЕСИНУСОЇДНОГО СТРУМУ

Мета роботи: дослідження кола несинусоїдного струму з реактивними елементами і оволодіння методикою розрахунку кіл несинусоїдного струму.

ДОМАШНЯ ПІДГОТОВКА

- а) ознайомитися з теоретичним матеріалом за поданою темою [1,2];
- б) ознайомитися з методичними вказівками до лабораторної роботи;
- в) підготувати бланк звіту про роботу.

ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ

Періодичними несинусоїдними називають струм та напругу, що змінюються в часі за періодичним несинусоїдним законом.

Несинусоїдність струму та напруги ускладнює розрахунок електричних кіл.

Періодичну несинусоїдну напругу у загальному випадку можна записати у вигляді тригонометричного ряду Фур'є:

$$u(t) = U_0 + U_{1m} \sin(\omega t + \psi_1) + U_{2m} \sin(2\omega t + \psi_2) + \dots + U_{km} \sin(k\omega t + \psi_k) + \dots \quad (1.1)$$

де U_0 - постійна складова (нульова гармоніка);

U_{1m} - перша гармоніка, з частотою ω

U_{km} - амплітуда напруги k -тої гармоніки,

ψ_k - початкова фаза напруги k -тої гармоніки.

Якщо напругу виду (1.1) приложити до кола, яке складається з послідовного з'єднання активного опору R , індуктивності L і ємності C , то у колі виникає струм:

$$i(t) = I_0 + I_{1m} \sin(\omega t + \psi_1 - \varphi_1) + I_{2m} \sin(2\omega t + \psi_2 - \varphi_2) + \dots + I_{km} \sin(k\omega t + \psi_k - \varphi_k) + \dots \quad (1.2)$$

де I_{km} - амплітуда струму k -тої гармоніки,

φ_k - кут зсуву фаз між напругою і струмом k -тої гармоніки.

При цьому

$$I_{km} = \frac{U_{km}}{\sqrt{R^2 + \left(k\omega L - \frac{1}{k\omega C}\right)^2}}, \quad (8.3)$$

$$\varphi_k = \arctg \frac{k\omega L - \frac{1}{k\omega C}}{R}. \quad (8.4)$$

Особливо треба підкреслити залежність індуктивного і ємнісного опору від кутової частоти струму:

$$\begin{aligned} X_L &= k\omega L, \\ X_C &= \frac{1}{k\omega C} \end{aligned} \quad (8.5)$$

Із формул (8.5) видно, що індуктивний опір прямо пропорційний, а ємнісний – зворотно пропорційний частоті, тобто порядку гармоніки.

В основу розрахунку кіл несинусоїдного струму покладено принцип накладання. Розрахунок виконується в три етапи.

1. Розкладають несинусоїдну криву ЕРС або напруги джерела живлення на постійну та синусоїдні складові.

2. Розраховують струми кола для кожної із гармонік окремо.

3. Дійсні струми у гілках схеми визначають підсумовуючи струми окремих гармонік.

У відповідності з принципом накладання спочатку гадають, що в колі діє тільки постійна складова ЕРС E_0 і розраховують струми та напруги, обумовлені дією цієї ЕРС. Потім вважають, що в колі діє тільки перша гармоніка ЕРС e_1 і визначають струми та напруги, породжені дією тільки цієї гармоніки і т.д.

Реактивні опори треба визначати окремо для кожної гармоніки, згідно (8.5). Необхідно підкреслити, що в установленому режимі індуктивність не чинить опору постійній складові струму ($x_L^{(0)} = 0$), а опір конденсатора постійному струму нескінченно великий ($x_C^{(0)} = \infty$).

В колі з послідовним з'єднанням елементів R, L, C можливий резонанс напруг. Його умовою є рівність ($x_L^{(k)} = x_C^{(k)}$).

Діюче значення напруги і струмів визначається згідно:

$$\left. \begin{aligned} U_k &= \frac{U_{km}}{\sqrt{2}}; \quad I_k = \frac{I_{km}}{\sqrt{2}} \\ U &= \sqrt{U_0^2 + U_1^2 + U_2^2 + \dots + U_k^2 + \dots} \\ I &= \sqrt{I_0^2 + I_1^2 + I_2^2 + \dots + I_k^2 + \dots} \end{aligned} \right\} \quad (8.6)$$

Активна потужність періодичного струму довільної форми визначається як середня потужність за період:

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T u i dt. \quad (8.7)$$

Після перетворювань отримуємо вираз для визначення потужності кола, яка дорівнює сумі потужностей окремих гармонік:

$$P = U_0 I_0 + U_1 I_1 \cos \varphi_1 + U_2 I_2 \cos \varphi_2 + \dots + U_k I_k \cos \varphi_k + \dots \quad (8.8)$$

де U_k, I_k - дійсні значення напруги і струму k-й гармоніки.

В цій роботі для одержання несинусоїдної напруги живлення використовується k послідовно з'єднаних джерел ЕРС, які мають різне значення частоти, при цьому $f_1=f, f_2=2f, f_3=3f, \dots, f_k=kf$.

ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ

1. Аналіз джерела напруги:

1.1. Запустити програму EWB (на „Робочому столі” знаходиться ярлик цієї програми з ім'ям Wewb50c). Відкрити файл „nsin”, що знаходиться в директорії **Мої документи ТОЕ\ Лабораторна робота №8.1**. Зберегти його у папці **Мої документи \ Група...**

1.2. З поля компонентів **Favorites** вибрати блок **sprint-джерело** відповідно своєму варіанту. Зібрати з ним схему рис.8.1

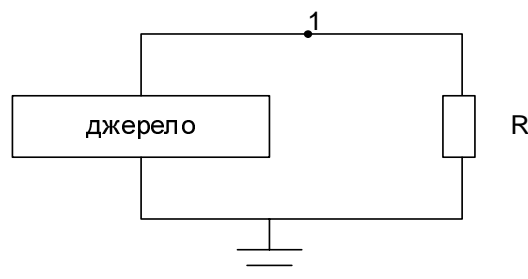


Рисунок 8.1- Схема дослідження джерела напруги

1.3. Зняти осцилограму напруги джерела. Для цього з'єднати вхід А з точкою 1. Осцилограму перенести на рис.1 бланку звіту. Переконавшись, що джерело напруги дійсно має несинусоїдну форму.

1.4. визначимо складові напруги згідно ряду Фур'є, для чого у пункті основного меню програми **Analysis** вибираємо пункт **Fourier**. Розкриється вікно **Fourier Analysis** у якому:

Output node - номер вузла схеми (1), для якого проводиться розкладання в ряд Фур'є;

Fundamental frequency - основна частота коливання (перша гармоніка)-встановлюємо-50Гц;




Number of harmonics - число гармонік, що враховуються при аналізі - встановлюємо - 5.

Поле **Results** (відображення результатів) дає можливість міняти вигляд результатів, що виводяться (за умовчанням виводиться графік амплітуд гармонік). У цьому полі:

Vertical scale - масштаб по осі Y (вибираємо лінійний);

Display phase - відображення фази гармонічних складових у вигляді безперервної функції;

Output as line graph - відображення амплітуди гармонічних складових у вигляді безперервної функції.

Кнопка **Simulate** - виконати Фур'є аналіз. При натисненні кнопки Simulate з'являється вікно *Analysis Graphs*, що містить у собі вікно Fourier, в якому будується графік розкладання напруги в ряд Фур'є, відносно частоти. На панелі вікна є кнопки –    що мають назву *Toggle Grid* - вставити сітку, вставити позначення точки, що контролюється, вивести числові дані амплітуд та фази гармонік.

Згідно графіка записати у звіт амплітуди усіх гармонік, їхню частоту і фазу (таблиця 1 бланку звіту).

Наприклад: на рис 8.2 показана схема для якої виконано розклад у ряд Фур'є.

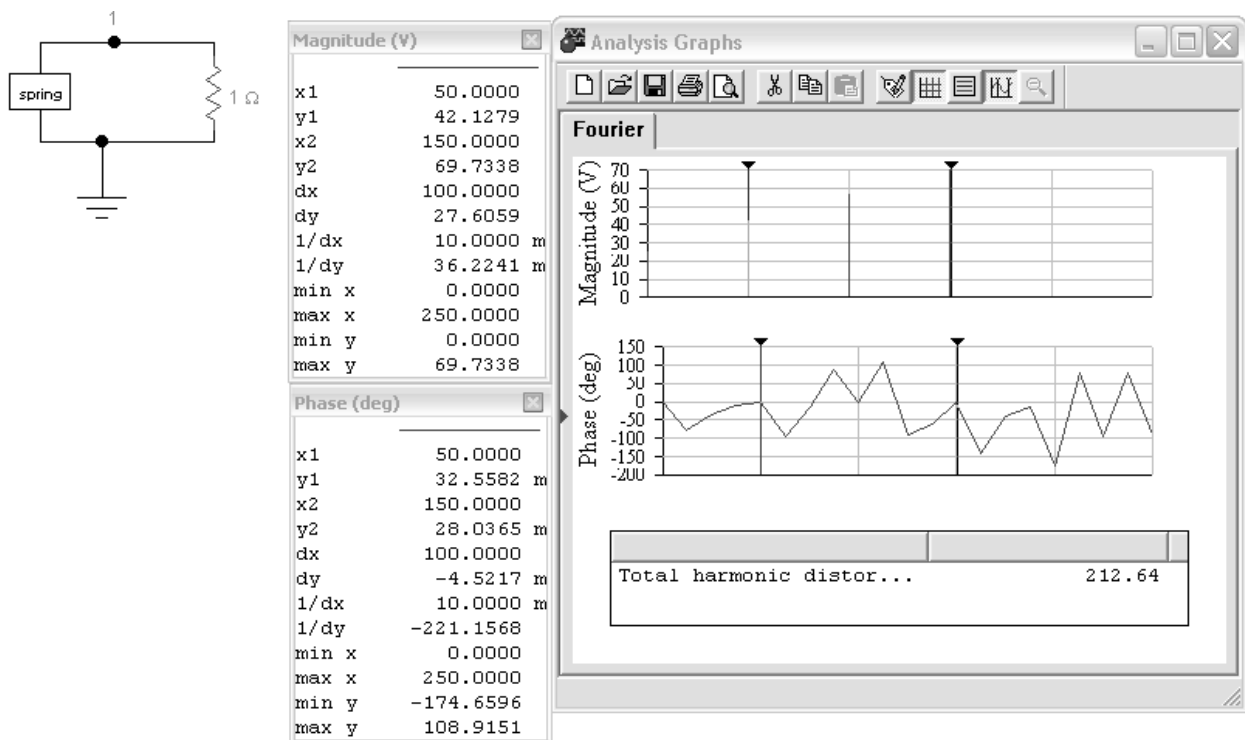


Рисунок 8.2 - Приклад розкладання у ряд Фур'є

У прикладі натиснуті кнопки „вставити сітку” та „виведення числових даних” амплітуд та фаз гармонік. Курсор1 встановлено у місце, яке відповідає значенню $X1=50$ (частота гармоніки 50Гц) $Y1=42,13$ (амплітуда гармоніки 42,13В), фаза $Y1=32,56 \cdot 10^{-3}$ deg (приймаємо 0 град). Курсор 2 встановлено у місце, яке відповідає значенню $X2=150$ (частота гармоніки 150Гц) $Y=69,73$ (амплітуда гармоніки 69,73В), фаза $Y2=28,04$ m deg (0 град).

Згідно отриманих даних визначити миттєве значення напруги.

Результати досліджень занести у таблицю 8.1 бланку звіту.

Зібрати схему рис.8.1, але замість блоку джерела напруги зібрати джерело несинусоїдної напруги з послідовним з'єднанням відповідних джерел постійної та синусоїдної напруги відповідно величинам напруги та частоти.

Знов провести розклад у ряд Фур'є. Переконайтеся, що обидві схеми працюють однаково.

2. Дослідження дії несинусоїдної напруги у колі з індуктивним та ємнісним навантаженням (рисунок 8.3)

Для цього відкрити файл „схема”, що знаходиться в директорії **Мої документи ТОВ\ Лабораторна робота №8.1**. Зберегти його у папці **Мої документи \ Група...**

У цьому файлі на полі компонентів **Favorites** знаходяться субблок ватметра – wattmetr, та джерело напруги, яке керується струмом – **VI**.

Згідно своїм розрахункам і даним таблиці 8.1 встановити параметри усіх елементів схеми.

Таблиця 8.1

№ вар.	R, Ом	L, мГн	C, мкФ
1	6	30	500
2	10	40	600
3	4	50	500
4	3	30	300
5	5	40	200
6	6	50	400
7	10	20	500
8	4	30	600
9	3	40	300
10	5	50	200

Вихід каналу А осцилографу підключено до джерела напруги, що керується струмом, щоб було можливо спостерігати осцилограму струму (чорний колір). Вихід каналу В осцилографу з'єднайте з точкою 1 для спостереження осцилограми вхідної напруги (синій колір).

Включити схему в роботу.

Перенести осцилограму струму у бланк звіту. Переконайтеся, що осцилограма напруги відповідає осцилограмі, яку ви отримали на початку роботи.

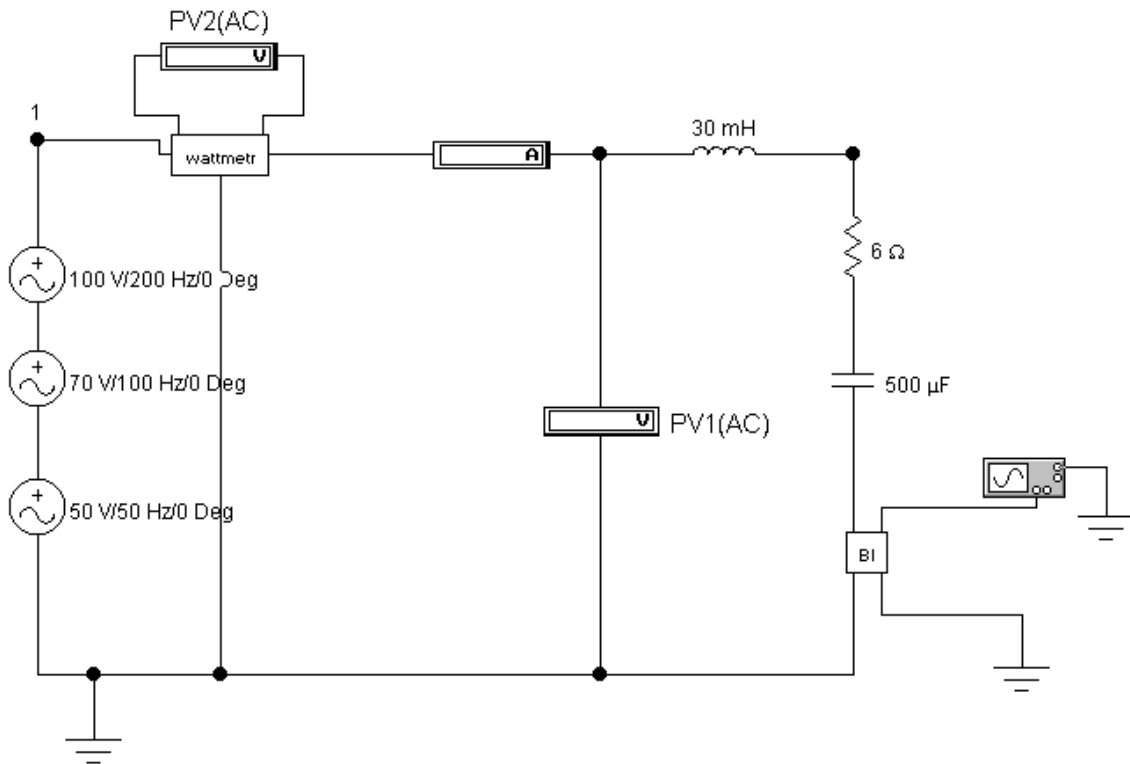


Рисунок 8.3.- Схема дослідження

Зняти показання приборів:

Амперметр РА вимірює діюче значення несинусоїдного струму.

Вольтметр PV1 вимірює діюче значення несинусоїдної напруги.

Вольтметр PV2 вимірює активну потужність кола.

Результати дослідження занести у таблицю 1.2 звіту.

ОФОРМЛЕННЯ ЗВІТУ

1. Для свого варіанту розрахувати діюче значення струму навантаження і діюче значення напруги, враховуючи несинусоїдне значення джерела напруги. Результат обчислювання занести в таблицю 2 бланка звіту.
2. Розрахувати потужність кола, використовуючи формулу:

$$P = \frac{U^2}{R}$$

Результати досліджень занести у таблицю.

3. Зробити висновки о вірності вимірів.
4. Записати миттєві значення синусоїдного струму. За результатами розрахунків накреслити криву струму $i(t)$, як складову усіх гармонік у кожному мить часу. Порівняти осцилограму струму, яку ви одержали при розрахунку та при проведенні експерименту.
5. Письмово відповісти на питання:
 - 1) Назвіть причини, які зумовлюють несинусоїдність напруг та струмів.
 - 2) Як залежить опір резистора, індуктивності та ємності від порядку гармоніки струму?

ЗВІТ
про лабораторну роботу № 8.1
ДОСЛІДЖЕННЯ КІЛ НЕСИНУСОЇДНОГО СТРУМУ

Група	П.І.Б. студента	Дата	Підпис викладача

Рисунок 1 - Осцилограма джерела напруги

Таблиця 1

Результати дослідження джерела напруги

	E_1	E_2	E_3	E_4	$E(t)$
$E_m, В$					
$f, Гц$					
$\varphi, град$					

Таблиця 1.2

Параметри елементів схеми

Параметри елементів навантаження			Діюче значення струму $I, А$	Діюче значення напруги $U, В$	Активна потужність кола $P, Вт$
$R, Ом$	$L, Гн$	$C, мкФ$			

Рисунок 1.2 Осцилограма струму навантаження

Письмово відповіді на питання:

1. Назвіть причини, які зумовлюють несинусоїдність напруг та струмів.

2. Як залежить опір резистора, індуктивності та ємності від порядку гармоніки струму?

Лабораторна робота № 8.2

ДОСЛІДЖЕННЯ НЕЛІНІЙНИХ КІЛ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ

Мета роботи – дослідження вольт-амперних характеристик нелінійних опорів, а також графічного метода розрахунку електричних кіл, що містять нелінійні елементи.

ДОМАШНЯ ПІДГОТОВКА

- а) ознайомитись з теоретичним матеріалом за поданою темою з [1, 2]. Можна вивчити ці питання за будь-яким підручником по ТОЕ;
- б) ознайомитися з методичними вказівками до лабораторної роботи;
- в) підготувати бланк звіту про роботу.

ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ

Нелінійними колами називаються кола, які містять один або декілька нелінійних елементів (НЕ).

Нелінійними елементами можна назвати елементи електричних кіл, опір яких не є постійним і залежить від різних факторів, внаслідок чого вольт-амперна характеристика (ВАХ) нелінійна.

У сучасній електротехніці, радіотехніці, електроніці, автоматиці, вимірювальній техніці широко застосовуються різноманітні НЕ. Назвемо деякі з них (умовні позначення на схемах та вигляд ВАХ цих НЕ показано в табл.1):

терморезистори – напівпровідникові прилади, які використовуються в системах регулювання температури, теплового захисту, протипожежної сигналізації. Розрізняють термістори (при підвищенні температури його опір зменшується) і позистори (при підвищенні температури його опір збільшується).

варистор - напівпровідниковий прилад, опір якого залежить від прикладеної напруги. Використовуються в стабілізаторах, у пристроях захисту приладів та елементів схем від перенапруг, у системах контролю та автоматичного регулювання.

випрямні діоди - напівпровідникові прилади, призначені для перетворення змінного струму в постійний. Вони мають істотно відмінний опір залежно від полярності прикладеної напруги.

газосвітні та люмінесцентні лампи, лампи розжарювання. Наприклад, для лампи розжарювання із збільшенням струму її температура та відповідно опір збільшується.

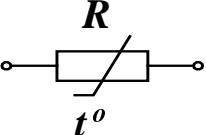
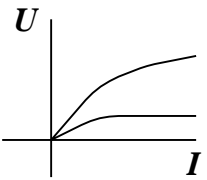
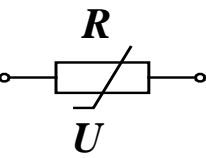
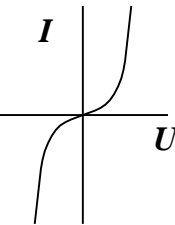
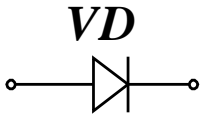
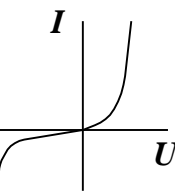
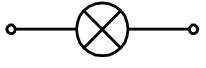
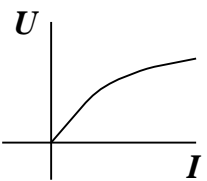
Аналіз і розрахунок нелінійних кіл складніший і більш трудомісткий ніж аналіз і розрахунок лінійних електричних кіл.

Електромагнітні процеси в нелінійних колах описуються нелінійними алгебраїчними або диференціальними рівняннями. Загальних методів розв'язання нелінійних рівнянь не існує. Тому для розрахунку нелінійних кіл, як правило, використовуються або графічні (графоаналітичні) методи,

або наближені чисельні методи розв'язання нелінійних рівнянь. В останні роки для цього все частіше використовують сучасну обчислювальну техніку.

Таблиця 1

Позначення і вольт-амперні характеристики деяких нелінійних елементів

Елемент	Позначення	Характеристика
Терморезистор		
Варистор		
Випрямний діод		
Лампа розжарювання		

ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ

1. Дослідження характеристик нелінійних елементів у колі постійного струму.

Запустити програму EWB (на „Робочому столі” знаходиться ярлик цієї програми з ім'ям Wewb50с). Відкрити файл „лрНЕ”, що знаходиться в

директорії **Мої документи** ТОВ\ **Лабораторна робота №8.2**. Зберегти його у папці **Мої документи \ Група...**

1.1. Зібрати модель кола за схемою, яка наведена на рис. 2.1 (в якості нелінійного елемента взяти елемент NE1 на полі компонентів Favorits).

Для регулювання напруги використовується дільник напруги на резисторі R.

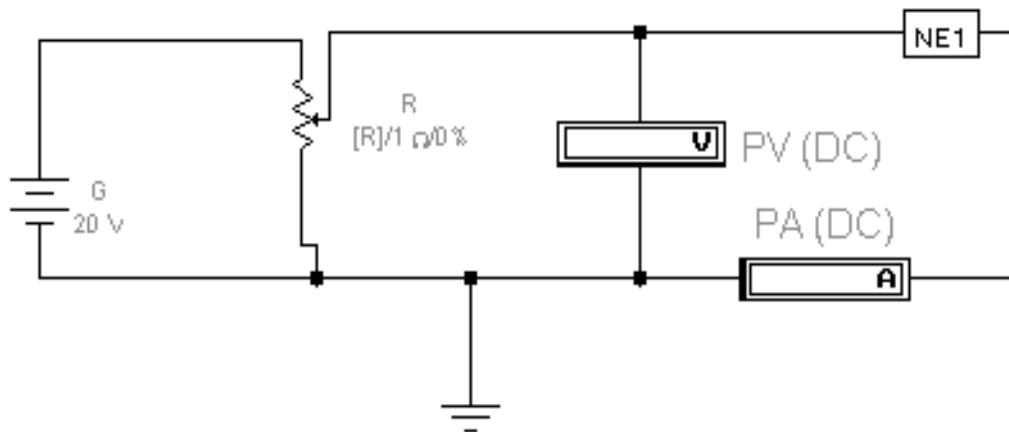


Рисунок 2.1 - Схема для дослідження ВАХ нелінійного елемента

1.2. Для встановлення параметрів схеми необхідно:

- задати напругу джерела G ($U = 20$ В);
- у вікні діалогу для зміни параметрів резистора змінного опору R на вкладці Value задати значення опору $R=1$ Ом у полі Resistance, початкове положення бігунка 0% в полі Setting, крок зміни опору 25% в полі Increment, клавішу управління (клавішу-ключ) R в полі Key.

1.3. Запустити процес моделювання, натиснувши вимикач у правому верхньому куті вікна програми. Показання приладів PV і PA записати в рядок 1 таблиці 1 бланку звіту відповідної схеми.

Збільшуючи опір резистора змінного опору R (для зменшення опору натискати клавішу R, для збільшення – Shift+R), заповнити рядки 2-5 таблиці 1 бланку звіту для відповідної схеми.

Вимкнути процес моделювання.

1.4. Замінити нелінійний елемент NE1 на нелінійний елемент NE2 (він знаходиться на полі компонентів Favorits).

Повторити дослідження за пунктом 1.3.

1.5. За даними табл. 1 в одній і тій же системі координат побудувати вольт-амперні характеристики нелінійних елементів NE1 і NE2 (рис. 3 бланку звіту). Скопіювати ці характеристики на рис. 4 бланку звіту.

2. Дослідження послідовного з'єднання нелінійних елементів у колі постійного струму.

2.1. Накреслити схему послідовного з'єднання нелінійних елементів у коло постійного струму (рис. 1 бланку звіту).

Графоаналітичним методом розрахувати ВАХ для цього випадку і побудувати її пунктиром на рис. 3 бланку звіту.

2.2. Відкрити файл “ЛР_НЭ_ посл”. Приклад схеми, що досліджується в програмі EWB наведений на рис.2.2.

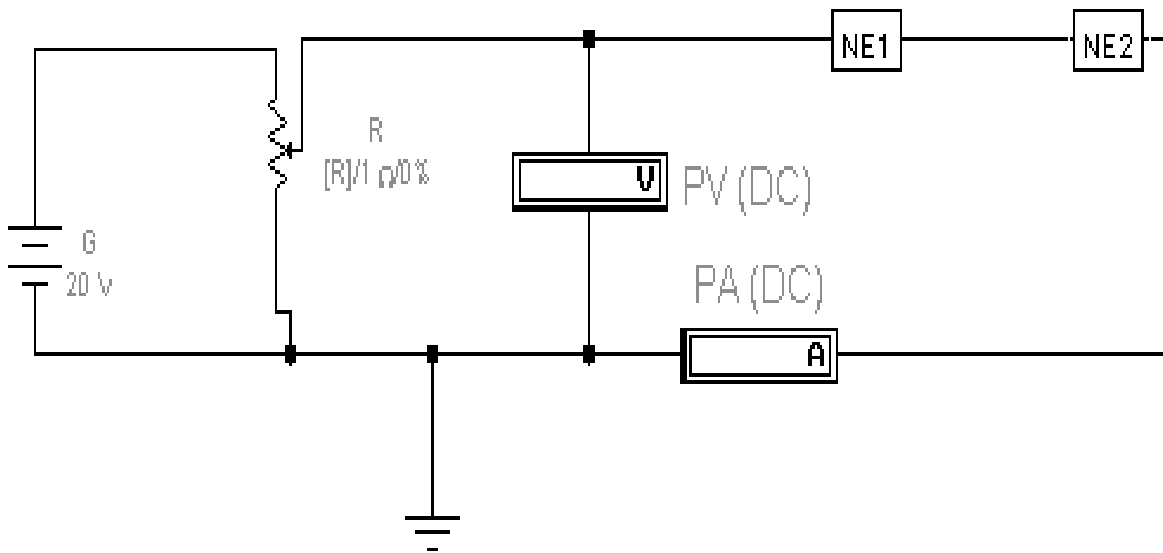


Рисунок 2.2 - Схема для дослідження послідовного з'єднання нелінійних елементів

Запустити процес моделювання. Повторити дослідження за пунктом 1.3.

За отриманими даними на рис. 3 бланку звіту побудувати ВАХ для послідовного з'єднання елементів.

3. Дослідження паралельного вмикання нелінійних елементів у коло постійного струму.

3.1. Накреслити схему паралельного вмикання нелінійних елементів у коло постійного струму (рис. 2 бланку звіту).

Графоаналітичним методом розрахувати ВАХ для цього випадку і побудувати пунктиром на рис. 4 бланку звіту.

3.2. Відкрити файл “ЛР_НЭ_ парал”. Приклад схеми, що досліджується в програмі EWB наведений на рис.2.3.

Запустити процес моделювання. Повторити дослідження за пунктом 1.3.

За отриманими даними на рис. 4 бланку звіту побудувати ВАХ для паралельного з'єднання нелінійних елементів.

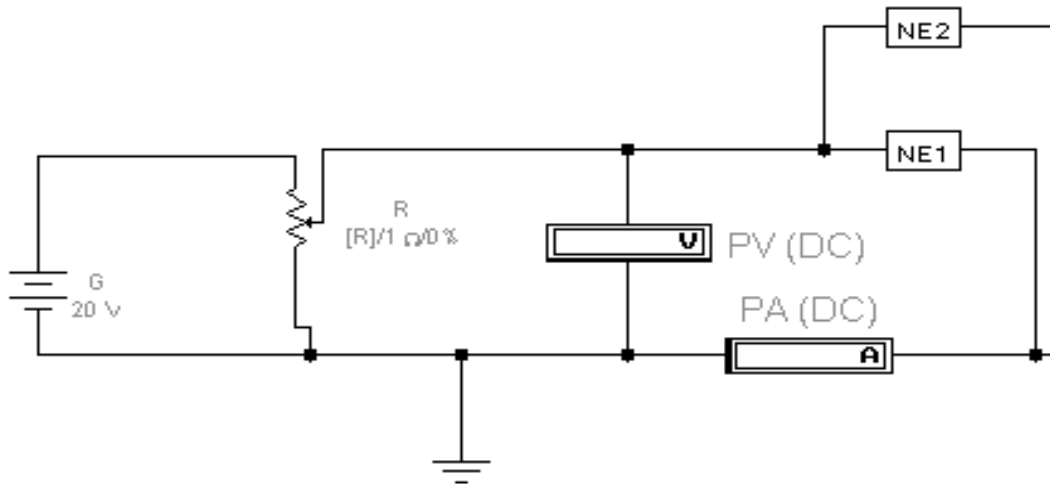


Рисунок 2.3 - Схема для дослідження паралельного вмикання нелінійних елементів

ОФОРМЛЕННЯ ЗВІТУ

Письмово відповісти на питання:

- 1) Визначити струм у колі і напруги на нелінійних елементах на рис. 1, якщо напруга на вході схеми дорівнює 7,5 В.
- 2) Визначити струми в усіх гілках кола на рис. 2, якщо напруга на вході схеми дорівнює 7,5 В.

Лабораторна робота № 8.3

ДОСЛІДЖЕННЯ ПЕРЕХІДНИХ ПРОЦЕСІВ У ЛІНІЙНИХ КОЛАХ

Мета роботи - дослідження перехідних процесів, при заряді і розряді конденсатора, при ввімкненні індуктивної котушки і конденсатора у коло постійного та змінного струму.

ДОМАШНЯ ПІДГОТОВКА:

- а) ознайомитись з теоретичним матеріалом за поданою темою з [1, 2]. Можна вивчити ці питання за будь-яким підручником по ТОЕ;
- б) ознайомитися з методичними вказівками до лабораторної роботи;
- в) підготувати бланк звіту про роботу;
- г) з таблиці 1 вибрати для свого варіанту вхідні данні для схем, що досліджуються, а саме:

- U_м – напруга мережі,
- C – ємність конденсатора,
- L – індуктивність котушки,
- R – опір резистора;

Таблиця 1

Вхідні данні для кіл RC та RL на постійному струмі

Варіант	U, В	Коло з RC		Коло з RL	
		R, МОм	C, мкФ	R, Ом	L, мГн
1	100	0,05	3	4.8	10
2	110	0,1	6	4.9	10.1
3	120	0,15	9	5.0	10.2
4	130	0,2	12	5.1	10.3
5	140	0,25	15	5.2	10.4
6	150	0,3	18	5.3	10.5
7	160	0,1	21	5.4	10.6
8	170	0,15	24	5.5	10.7
9	180	0,2	27	5.6	10.8
10	200	0,25	30	5.7	10.9

Таблиця 2

Вхідні данні для ввімкнення котушки на змінний струм

Варіант	U, В	Коло з RL		
		R, Ом	L, мГн	Ψ, град
1	100	1	100	0
2	110	2	105	10
3	120	3	110	20
4	130	4	115	30
5	140	1	120	40
6	150	2	130	0
7	160	3	125	10
8	170	4	135	20
9	180	5	140	30
10	200	6	150	40

ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ

Перехідним процесом називається процес переходу від одного усталеного режиму електричного кола до другого усталеного режиму.

Перехідні процеси виникають при вмиканні або вимиканні електричного кола, при коротких замиканнях в схемі, при різкій зміні параметрів кола і т.ін. Всі зміни в колі, які викликають перехідні процеси, називаються комутаціями. При цьому відбувається перехід від енергетичного стану до-комутаційного режиму, до енергетичного стану кола після-комутаційного режиму. Кожному стану енергетичного режиму кола відповідає певний запас енергії в електричному полі ємності $W_c = 0,5CU_c^2$ та в магнітному полі індуктивності $W_m = 0,5Li^2$. Перехід до нового режиму кола зв'язаний з перерозподілом цих

енергій між реактивними елементами та незворотним перетворенням електричної енергії в теплову - в резистивних елементах.

Струм в індуктивному та напруга на ємнісному елементах визначається за законами комутації.

Перший закон комутації: в індуктивному елементі струм (і магнітний потік) в момент комутації (при $t = 0_+$) зберігає те ж саме значення, яке він мав безпосередньо перед комутацією (при $t = 0_-$) і далі починає змінюватись саме від цього значення, тобто $i_L(0_+) = i_L(0_-)$.

Другий закон комутації: на ємнісному елементі напруга (і заряд) в момент комутації зберігає те ж саме значення, яке вона мала безпосередньо перед комутацією, і далі починає змінюватись саме з цього значення, тобто $U_C(0_+) = U_C(0_-)$.

При вмиканні кола (рис. 3.1) з послідовно з'єднаними активним опором R і ємності C на постійну напругу U_0 джерела, перехідний процес у ньому протікає по рівнянню другого закону Кірхгофа

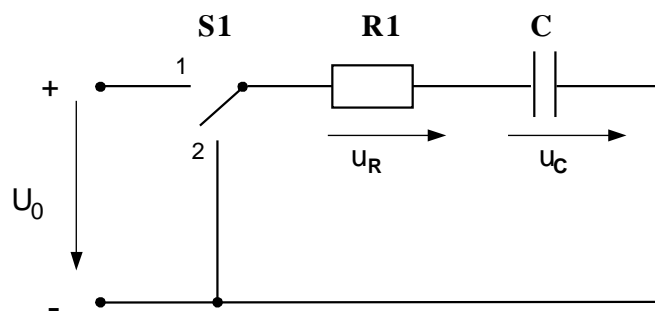


Рисунок 3.1 - Схема кола з R і C

$$Ri + u_c = U_0,$$

або

$$C \frac{du_c}{dt} \cdot R + u_c = U_0, \quad (3.1)$$

де i – миттєвий струм; U_c - миттєве значення напруги на конденсаторі.

Розв'язок рівняння (3.1) будемо шукати у вигляді:

$$U_c = U_{cv} + U_{cb},$$

де $U_{cv} = U_0$ - усталена (вимушена) складова напруги на ємності.

Розв'язанням цього лінійного диференційного рівняння є вираз виду

$$u_c = U_0(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}), \quad (3.2)$$

де $\tau = RC$ – стала часу кола.

Струм у колі можна знайти диференціюванням рівняння (3.2) і множення цього результату на ємність C конденсатора:

$$i = C \frac{du_c}{dt} = C \frac{d}{dt} \left[U_0 - U_0 e^{-\frac{t}{RC}} \right] = \frac{U_0}{R} e^{-\frac{t}{\tau}}. \quad (3.3)$$

Теоретично перехідний процес йде до безкінечності, але практично він закінчується за час, який дорівнює $t_{\text{п.п.}} = (3...5)\tau$.

При розряді ємності C на опір R (коротке замкнення) перехідний процес описується рівнянням

$$RC \frac{du_c}{dt} + u_c = 0. \quad (3.4)$$

При цьому напруга і струм на ємності

$$u_c = U_0 e^{-\frac{t}{\tau}}; \quad i = -\frac{U_0}{R} e^{-\frac{t}{\tau}}. \quad (3.5)$$

На рис. 3.2 подані залежності $U_c(t)$ і $i(t)$ при заряді і розряді конденсатора.

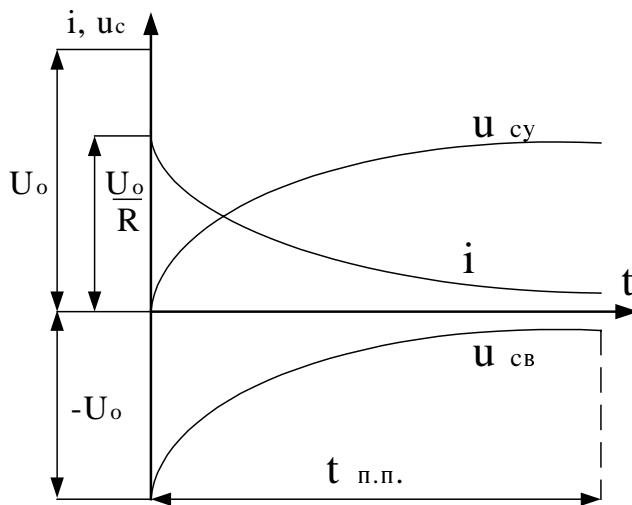


Рисунок 3.2.а - Графіки зміни $u_c(t)$ і $i(t)$ при заряді конденсатора

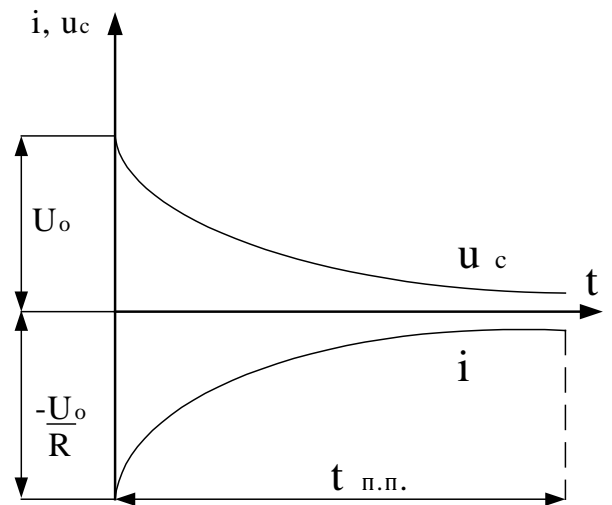


Рисунок 3.2.б - Графіки зміни $u_c(t)$ і $i(t)$ при розряді конденсатора

Тут $u_c = u_{cу} + u_{cв}$.

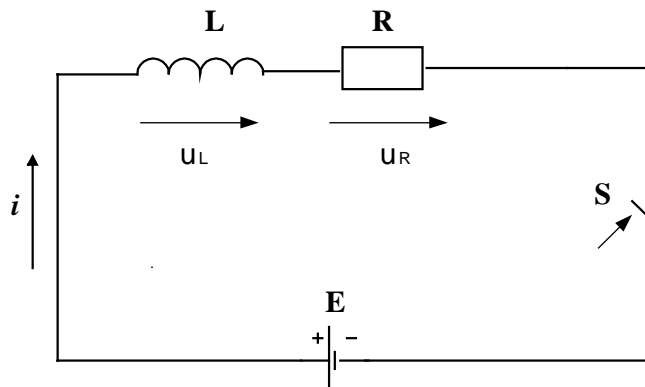


Рисунок 3.3 - Схема кола з RL

Вмикання індуктивної котушки з індуктивністю L на постійну напругу показано на рис. 3.3.

При вмиканні кола (рис. 3.3) зростає енергія магнітного поля, доки струм при $t \rightarrow \infty$ буде мати значення $I = E/R$. Рівняння електричної рівноваги має вид:

$$L \frac{di}{dt} + Ri = E \quad (3.6)$$

Воно інтегрується за загальним правилом.

В усталеному (вимушеному) режимі, якщо струм не змінюється при

$$\frac{di}{dt} = 0, \quad i_V = E/R.$$

Для вільної складової рівняння без правої частини має вид:

$$L \frac{di_B}{dt} + Ri_B = 0 \quad (3.7)$$

Звідси

$$i_B = Ae^{-\frac{t}{\tau}}, \quad (3.8)$$

де $\tau = L/R$ - стала часу.

Постійна інтегрування визначається за першим законом комутації

$$i(0) = i_V(0) + i_B(0) = \frac{E}{R} + A = 0, \quad (3.9)$$

$$A = -\frac{E}{R} \quad \text{і} \quad i = \frac{E}{R}(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}).$$

Струм зростає по експоненціальному закону. Теоретично струм у колі буде сталим при $e^{-\frac{t}{\tau}} = 0$, тобто при $t \rightarrow \infty$.

При вмиканні котушки з індуктивністю L на синусоїдну напругу $u(t) = U_m \sin(\omega t + \psi)$ диференціальне рівняння має вид:

$$L \frac{di}{dt} + Ri = u(t). \quad (3.10)$$

Для сталого режиму $i_V = I_m \sin(\omega t + \psi - \varphi)$, де $I_m = \frac{U_m}{\sqrt{R^2 + (\omega L)^2}}$; $\varphi = \arctg \frac{\omega L}{R}$.

Рівняння для вільної складової струму має вид

$$L \frac{di_B}{dt} + Ri_B = 0. \quad (3.11)$$

Його загальне розв'язання $i_B = Ae^{-\frac{R}{L}t} = 0$, а реальний струм кола

$$i = i_V + i_B = I_m \sin(\omega t + \psi - \varphi) + Ae^{-\frac{R}{L}t}. \quad (3.12)$$

По першому закону комутації $A = -I_m \sin(\psi - \varphi)$,

$$i = i_V + i_B = I_m \sin(\omega t + \psi - \varphi) - I_m \sin(\psi - \varphi)e^{-\frac{R}{L}t} \quad (3.13)$$

За аналізом рівнянь вільна складова струму i_B залежить від моменту вмикання, тобто від початкової фази ψ . Якщо $\psi - \varphi = 0$, то $i_B = 0$, тобто не буде перехідного режиму і струм $i_V = I_m \sin \omega t$. Якщо $(\psi - \varphi) > 0$, то буде перехідний режим. Якщо $\psi - \varphi = 90^\circ$, то i_B буде максимальним. Значення ударного струму перехідного періоду може становити $2I_m$.

Метод розрахунку перехідних процесів в лінійних електричних колах, який базується на інтегруванні диференціальних рівнянь, котрі зв'язують струми і напруги кола називається класичним.

ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ

1. Дослідження перехідних процесів при заряді і розряді конденсатора у колі постійного струму з послідовним з'єднанням ємності та резистора.

1.1. Запустити програму EWB (на “Робочому столі” знаходиться ярлик цієї програми).

1.2. Зібрати схему з послідовним з'єднанням R та C за рис.1 звіту. Встановити параметри елементів відповідно з варіантом завдання. В схемі застосовані перемикачі S1 та S2 з витримкою часу.

Схема складається з: джерела живлення мережі постійного струму U, що подається на резистор R та конденсатор C; вольтметр pV1 - для вимірювання напруги на джерелі постійного струму; давача струму LA для вимірювання струму та зняття його осцилограми.

1.3. Натиснути перемикач у правому верхньому куту схеми. Спостерігати перехідний процес осцилографу. Для зручності спостереження за напругою і струмом використати канал A і B осцилографу, а відповідні провідники пофарбувати у різні кольори. Після 2...3 с. (контролюємо час у нижньому лівому куту) натискаємо кнопку “Pause”. Перекреслити у масштабі ці осцилограми у звіт (рис.2,а). Навести на рис.2,а також час перехідного процесу та порівняти його з розрахунковим.

Надалі спостерігати процес розряду конденсатора. Осцилограму розряду конденсатора накреслити на рис.2,б.

У таблицю 2 занести данні розрахунку при заряді і розряді конденсатора.

2. Дослідження перехідних процесів у колах постійного і змінного струму з котушкою індуктивності.

2.1. Зібрати схему кола (рис.3 бланку звіту) ввімкнення котушки до джерела постійного струму, встановити параметри всіх елементів, згідно з варіантом завдання (таблиця 2).

2.2. Ввімкнути схему. Спостерігати перехідний процес у колі з індуктивною котушкою. Осцилограми напруги та струму без врахування вітки з діодом VD і резистором R1 накреслити на рис.4,а. Осцилограми напруги та струму вітки з діодом VD і резистором R1 накреслити на рис.4,б.

2.3. У таблицю 4 занести данні розрахунку параметрів з індуктивною котушкою у колі постійного струму.

2.4. Зібрати схему кола (рис.5) ввімкнення індуктивної котушки до джерела змінного струму. Ввімкнути схему. Спостерігати по осцилографу перехідний процес. Осцилограми напруги та струму індуктивної котушки змінного струму коли перехідний процес присутній навести на рисунку 6,а. Розрахувати початкову фазу ψ , щоб перехідний процес був відсутній. Осцилограми напруги та струму індуктивної котушки змінного струму коли перехідний процес відсутній навести на рисунку 6,б.

2.5. Розрахувати значення ударного і сталого струмів і результат розрахунку навести в таблиці 5 бланку звіту.

ОФОРМЛЕННЯ ЗВІТУ

Письмово відповісти на питання:

- 1) Сформулюйте закони комутації.
- 2) Як визначається постійний час τ кола?
- 3) Як знайти постійний час кола з RC по експериментальній залежності $U_C(t)$?
- 4) Як практично визначається тривалість перехідного процесу?

Лабораторна робота № 8.4

ДОСЛІДЖЕННЯ ЧОТИРИПОЛЮСНИКА

Мета роботи – визначення коефіцієнтів пасивного чотириполюсника за експериментами холостого ходу та короткого замикання, розрахунок його характеристичних параметрів.

ДОМАШНЯ ПІДГОТОВКА:

- а) ознайомитись з теоретичним матеріалом за поданою темою з [1, 2]. Можна вивчити ці питання за будь-яким підручником по ТОЕ;
- б) ознайомитися з методичними вказівками до лабораторної роботи;
- в) підготувати бланк звіту про роботу;
- г) згідно з варіантом завдання, що поданий у таблиці 1, вибрати значення напруги джерела і параметрів елементів чотириполюсника для схеми експериментальних досліджень.

Таблиця 1

Вхідні дані для виконання роботи

Варіант	$L_1, ГН$	$L_2, ГН$	$C, мкФ$	$R, Ом$	$U, В$
1	0,1	0,2	10	10	127
2	0,2	0,3	20	15	220
3	0,3	0,4	30	20	150
4	0,4	0,5	40	10	240
5	0,5	0,6	50	15	160
6	0,6	0,7	60	20	200
7	0,7	0,8	70	25	220
8	0,8	0,9	80	30	127
9	0,9	0,1	90	20	100
10	0,1	0,5	100	15	140

ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ

Чотириполюсник - це частина електричного кола, яка має два вхідних (1-1') і два вихідних (2-2') затискача (рис.4.1).

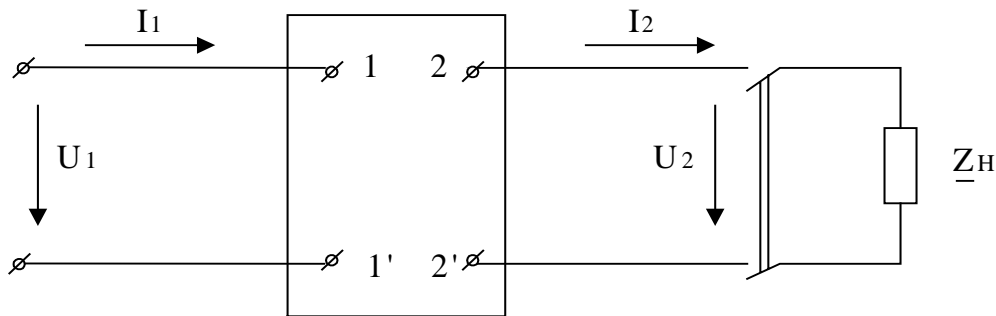


Рисунок 4.1 - Схема чотириполюсника

Основні рівняння чотириполюсника записуються у такому вигляді (форма А):

$$\underline{U}_1 = \underline{A}\underline{U}_2 + \underline{B}\underline{I}_2; \quad (4.1)$$

$$\underline{I}_1 = \underline{C}\underline{U}_2 + \underline{D}\underline{I}_2;$$

де коефіцієнти $\underline{A}, \underline{B}, \underline{C}, \underline{D}$ - комплексні числа, які зв'язані між собою співвідношенням $\underline{AD} - \underline{BC} = 1$

Коефіцієнти чотириполюсника можна розрахувати по його вхідним опорам, що визначаються у режимах холостого ходу (ХХ) і короткого перемикання (КП). Розрахунок коефіцієнтів виконується за формулами:

$$\underline{A} = \sqrt{\frac{\underline{Z}_{1x} \underline{Z}_{1k}}{\underline{Z}_{2k} (\underline{Z}_{1x} - \underline{Z}_{1k})}}; \quad \underline{B} = \underline{A} \cdot \underline{Z}_{2k}; \quad (4.2)$$

$$\underline{C} = \underline{A} / \underline{Z}_{1x}; \quad \underline{D} = \underline{A} \cdot \underline{Z}_{2k} / \underline{Z}_{1k},$$

де $\underline{Z}_{1x} = \underline{U}_{1x} / \underline{I}_{1x} = R_{1x} + jX_{1x} = \underline{Z}_{1x} e^{j\varphi_{1x}}$ - комплекс вхідного опору чотириполюсника у режимі ХХ при живленні його зі сторони вхідних затискачів (рис. 4.1).

При цьому

$$\underline{Z}_{1x} = \underline{U}_{1x} / \underline{I}_{1x}; \quad R_{1x} = P_{1x} / I_{1x}^2;$$

$$X_{1x} = \sqrt{\underline{Z}_{1x}^2 - R_{1x}^2}; \quad \varphi_{1x} = \arctg X_{1x} / R_{1x}.$$

Відповідно $\underline{Z}_{1k} = \underline{U}_{1k} / \underline{I}_{1k} = R_{1k} + jX_{1k} = \underline{Z}_{1k} e^{j\varphi_{1k}}$ - комплекс вхідного опору у режимі КП чотириполюсника зі сторони вхідних затискачів. При цьому

$$\underline{Z}_{1k} = \underline{U}_{1k} / \underline{I}_{1k}; \quad R_{1k} = P_{1k} / I_{1k}^2;$$

$$X_{1k} = \sqrt{\underline{Z}_{1k}^2 - R_{1k}^2}; \quad \varphi_{1k} = \arctg X_{1k} / R_{1k}.$$

Але $\underline{Z}_{2k} = \underline{U}_{2k} / \underline{I}_{2k} = R_{2k} + jX_{2k} = \underline{Z}_{2k} e^{j\varphi_{2k}}$ - комплекс вихідного опору чотириполюсника у режимі КП при живленні, його зі сторони вихідних затискачів.

У свою чергу:

$$Z_{2K} = U_{2K} / I_{2K}; \quad R_{2K} = P_{2K} / I_{2K}^2;$$

$$X_{2K} = \sqrt{Z_{2K}^2 - R_{2K}^2}; \quad \varphi_{2K} = \arctg X_{2K} / R_{2K}.$$

Отже, по даним експерименту XX і двом експериментам $KП$ можна знайти комплекси опорів чотириполюсника $\underline{Z}_{1X}, \underline{Z}_{1K}$ і \underline{Z}_{2K} , а по ним розрахувати коефіцієнти $\underline{A}, \underline{B}, \underline{C}$ і \underline{D} .

Пасивний чотириполюсник характеризується трьома незалежними коефіцієнтами, тому його можна замінити трьохелементною еквівалентною схемою (Т – подібна і П – подібна відповідно на рисунку 4.2, а, б).

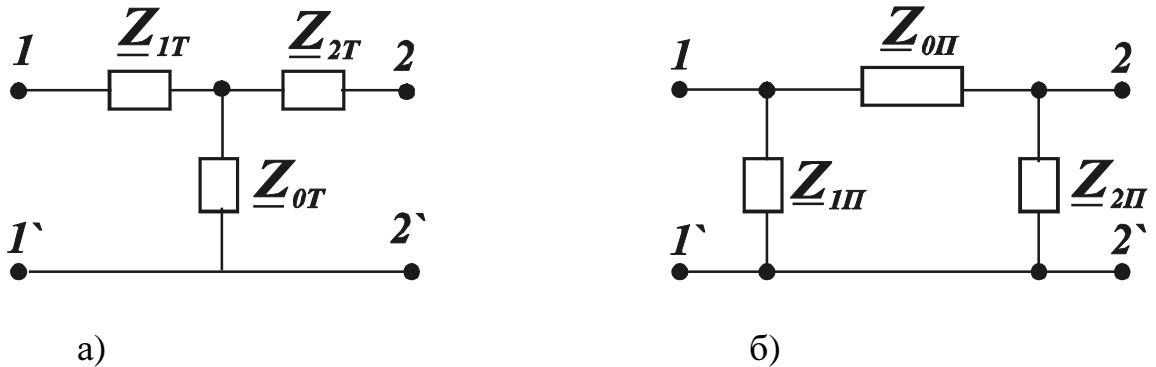


Рисунок 4.2 - Еквівалентні схеми заміщення чотириполюсника:
а) Т-подібна; б) П - подібна

Зв'язок між параметрами цих схем і коефіцієнтами чотириполюсника має вигляд:

для Т – подібної схеми

$$\underline{Z}_{1T} = \frac{\underline{A}-1}{\underline{C}}; \quad \underline{Z}_{2T} = \frac{\underline{D}-1}{\underline{C}}; \quad \underline{Z}_{0T} = \frac{1}{\underline{C}}; \quad (4.3)$$

для П – подібної схеми

$$\underline{Z}_{1П} = \frac{\underline{B}}{\underline{D}-1}; \quad \underline{Z}_{2П} = \frac{\underline{B}}{\underline{A}-1}; \quad \underline{Z}_{0П} = \underline{B}. \quad (4.4)$$

Характеристичні параметри чотириполюсника визначаються по його коефіцієнтам

$$\underline{Z}_{1c} = \sqrt{\frac{\underline{A} \cdot \underline{B}}{\underline{C} \cdot \underline{D}}}; \quad \underline{Z}_{2c} = \sqrt{\frac{\underline{D} \cdot \underline{B}}{\underline{C} \cdot \underline{A}}}; \quad th \underline{\Gamma} = \sqrt{\frac{\underline{B} \cdot \underline{C}}{\underline{A} \cdot \underline{D}}}; \quad (4.5)$$

Тут $\underline{\Gamma}$ - постійна передачі чотириполюсника

$$\underline{\Gamma} = a + jv,$$

де a – коефіцієнт власного загасання чотириполюсника і v – коефіцієнт фазової постійної чотириполюсника.

Величину загасання в Неперах визначають за формулою:

$$a = \ln \frac{U_1}{U_2} = \ln \frac{I_1}{I_2}, \text{ Нп};$$

$$\text{або в Децибелах } a = 20 \lg \frac{U_1}{U_2} = 20 \lg \frac{I_1}{I_2}, \text{ дБ};$$

якщо: $U_1 / U_2 = e = 2,718$, то $a = 1$ Нп;

$$U_1 / U_2 = 10, \text{ то } a = 20 \text{ дБ} = 1,15 \text{ Нп}.$$

Загасання в 20 дБ відповідає ослабленню напруги у 10 разів.

Фазова постійна ϵ позначає зсув фаз між напругами (струмами) на вході і виході чотириполюсника $\epsilon = \varphi_1 - \varphi_2$, град (рад.).

Характеристичні параметри можна визначити по досвідам *ХХ* і *КП*:

$$\underline{Z}_{1C} = \sqrt{\underline{Z}_{1X} \cdot \underline{Z}_{1K}}; \quad \underline{Z}_{2C} = \sqrt{\underline{Z}_{2X} \cdot \underline{Z}_{2K}}; \quad th \underline{\Gamma} = \sqrt{\frac{\underline{Z}_{1K}}{\underline{Z}_{1X}}} = \sqrt{\frac{\underline{Z}_{2K}}{\underline{Z}_{2X}}};$$

$$\underline{\Gamma} = \ln(C \cdot \underline{Z}_{2C} + D) \sqrt{\underline{Z}_{1C} / \underline{Z}_{2C}}.$$

ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ

Запустити програму EWB (на „Робочому столі” знаходиться ярлик цієї програми з ім'ям Wewb50c). Відкрити файл „4p”, що знаходиться в директорії **Мої документи ТОВ\ Лабораторна робота №8.4**. Зберегти його у папці **Мої документи \ Група...**

Чотириполюсник, що досліджується, збирається у вигляді кола, яке складається з котушок індуктивності, резисторів і ємності (рис. 4.3).

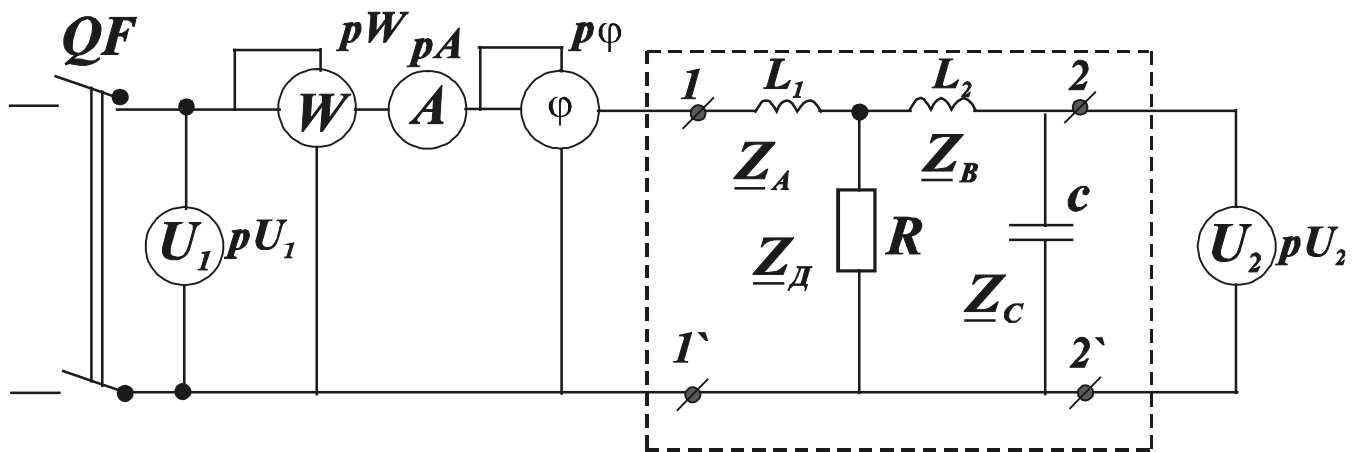


Рисунок 4.3 - Схема експериментальних досліджень чотириполюсника

Для визначення характеру зсуву фаз між вхідним струмом і напругою (позитивний і негативний) у схемі вмикається фазометр.

1. Визначення коефіцієнтів і параметрів чотириполюсника.

1.1 Зібрати схему (рис. 1 звіту) з вихідними даними (табл. 4.1) згідно свого варіанту і виконати експеримент при *ХХ* чотириполюсника (табл. 1 звіту). Величину $\cos \varphi$ занести у таблицю при сталому значенні показання вольтметра.

1.2. У схемі вольтметр pU_2 замінити амперметром pA_2 і виконати експеримент короткого перемикування *КП* (табл. 1 звіту).

1.3. При тієї ж напрузі живлення U_1 виконати експеримент зворотного *КП*, для чого в схемі експерименту *КП* (п.1.2) затискачі $1-1'$ і $2-2'$ змінити місцями.

1.4. У попередній схемі (п. 1.3) амперметр pA_2 замінити на вольтметр pU_2 і виконати експеримент зворотного *ХХ*.

1.5. По значенням даних експериментів визначити параметри чотириполюсника при XX і $KП$.

Результати вимірювань та розрахунків занести у таблицю 1 звіту.

1.6. Переконайтеся у справедливості співвідношення.

$$\underline{Z}_{1X} / \underline{Z}_{1K} = \underline{Z}_{2X} / \underline{Z}_{2K}$$

1.7. По даним значень комплексних опорів \underline{Z}_{1X} , \underline{Z}_{1K} і \underline{Z}_{2K} знайти коефіцієнти чотириполюсника \underline{A} , \underline{B} , \underline{C} і \underline{D} і по ним визначити параметри T – подібної і Π – подібної схем.

1.8. Визначити характеристичні параметри чотириполюсника \underline{Z}_{1C} , \underline{Z}_{2C} і \underline{G} .

ОФОРМЛЕННЯ ЗВІТУ

1. За експериментами XX і $KП$ визначити параметри чотириполюсника (табл. 4.1 звіту).
2. Визначити коефіцієнти чотириполюсника \underline{A} , \underline{B} , \underline{C} і \underline{D} .
3. Визначити параметри T – подібної і Π – подібної схем.
4. Визначити характеристичні параметри чотириполюсника \underline{Z}_{1C} , \underline{Z}_{2C} і \underline{G} .
5. Письмово відповісти на питання:
 - 1) Що називається чотириполюсником? Навести приклади.
 - 2) Як визначаються коефіцієнти чотириполюсника?
 - 3) Як можна визначити параметри T – і Π – подібних схем чотириполюсника?
 - 4) Як розраховуються характеристичні параметри чотириполюсника?
 - 5) Записати рівняння чотириполюсника у формі A .

Лабораторна робота № 8.5

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕЛЕКТРИЧНИХ ФІЛЬТРІВ

Мета роботи – вивчення основних властивостей і частотних характеристик фільтрів низьких та високих частот.

ДОМАШНЯ ПІДГОТОВКА:

- а) ознайомитись з теоретичним матеріалом за поданою темою з [1, 2]. Можна вивчити ці питання за будь-яким підручником по ТОЕ;
- б) ознайомитися з методичними вказівками до лабораторної роботи;
- в) підготувати бланк звіту про роботу;
- г) виконати розрахунок параметрів фільтрів у відповідності з варіантом завдання.

ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ.

Електричними фільтрами називають чотириполюсники, що пропускають струми одних частот і затримують струми інших частот.

Електричні фільтри поділяються на наступні типи: фільтри вищих частот (ФВЧ), фільтри низьких частот (ФНЧ), смугові фільтри (СФ), загороджувальні фільтри (ЗФ).

Кожен тип фільтра має ряд модифікацій, які відрізняються різними елементами (фільтри L-С, фільтри R-С, кварцові фільтри, електромеханічні і т.д.); схемою з'єднання елементів (простіші фільтри к-типу, м-типу, мостові фільтри і т.д.).

Фільтри L-С-типу мають багато різновидів: к-типу, м-типу, мостові. Фільтри к-типу Т- і П-подібних схем мають у послідовному і паралельному плечах елементи з реактивними опорами Z_1 і Z_2 . Ці опори вибрані таким чином, щоб величина $\sqrt{Z_1 Z_2}$ дорівнювала якомусь числу К, яке не залежить від частоти. Фільтри, у яких цей добуток залежить від частоти, називають м-фільтрами.

Найпростіші фільтри к-типу мають схеми, які зображені на рис.5.1:

а) Г-подібну ланку; б) Т-подібну ланку; в) П-подібну ланку.

Простішу Г-подібну ланку частіше називають напівланкою.

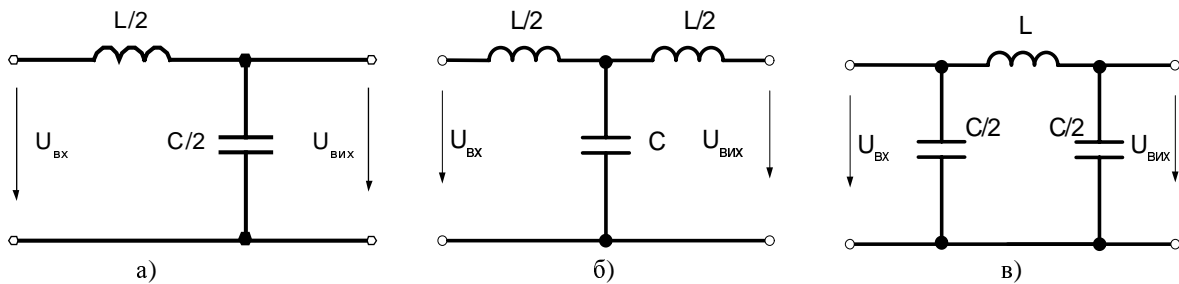


Рисунок 5.1 – Принципові схеми ФНЧ

Діапазон частот, що пропускаються фільтром без згасання, називають – смугою прозорості, а діапазон частот, що пропускаються фільтром із затуханням (згасанням) – смугою затухання (згасання). Частоту, яка є межею між смугами прозорості та затухання, називають частотою зрізу.

Будь-який фільтр характеризується наступними параметрами: характеристичним опором Z_c та постійною передавання $\Gamma = a + jb$ (a – коефіцієнт затухання фільтра, b – коефіцієнт фази фільтра).

Коефіцієнти a і b визначаються параметрами фільтра (чотириполосника) і не залежать від величини опору навантаження, але експериментально визначаються тільки при узгодженому навантаженні, тобто коли $Z_{н} = Z_c$.

При узгодженому навантаженні фільтра:

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{I_2}{I_1} = e^{\Gamma} = e^a \cdot e^{jb}. \quad (5.1)$$

Із виразу 5.1 одержуємо:

$$a = \ln(U_1/U_2), \text{ Нп}; \quad b = \varphi_1 - \varphi_2, \text{ град (рад)}.$$

Коефіцієнт a вимірюється у неперах (Нп) або децибелах ($a = 20 \lg(U_1/U_2)$, дб), а коефіцієнт b вимірюється у градусах або радіанах. Останній буде позитивним, якщо напруга на вході фільтра U_1 ($U_{вх}$) буде випереджати напругу на його виході U_2 ($U_{вих}$) за фазою.

Визначення фільтруючих властивостей чотирьополосників так або інакше пов'язано з дослідженням залежності їх коефіцієнтів a , b і характеристичного опору Z_c від частоти ω . При побудові цих графіків використовують резонансну кутову частоту зрізу ω_b , відносно якої будуються вищезгадані залежності, а величину $\xi = \omega/\omega_b$ прийнято називати відносною кутовою частотою.

ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ

1. У відповідності з варіантом завдання (таблиця 1) розрахувати параметри фільтрів низьких та високих частот.

Таблиця 1

Вхідні дані для виконання лабораторної роботи

№ варіанта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Схема фільтра	П	Т	П	Т	П	Т	П	Т	П	Т
Частота зрізу $f_{зр}$, Гц	50	75	100	250	500	750	1000	2500	5000	7500

Ємність конденсатора прийняти у розрахунках $C=100\text{мкФ}$.

Розрахунок відбувається за наступними формулами для вихідної величини частоти зрізу $f_{зр}$, яка відповідає номеру варіанта, а також у залежності від схеми фільтра.

Частоти першої та третьої гармонік вхідної напруги:

$$f_1 = f_{зр}/2, f_3 = 3f_1.$$

Розрахунок параметрів ФНЧ.

Індуктивність фільтра:

$$L_n = 1/(\pi^2 f_{зр}^2 C). \quad (5.2)$$

Характеристичний опір для Т- та П-подібних схем:

$$Z_{сП}' = \sqrt{\frac{L_n}{C}} \frac{1}{\sqrt{1-(\xi')^2}}, Z_{сТ}' = \sqrt{\frac{L_n}{C}} \sqrt{1-(\xi')^2}, \quad (5.3)$$

де $\xi' = f_1/f_{зр}$ - відносна кутова частота ФНЧ;

L_n - індуктивність ФНЧ (5.2).

Розрахунок параметрів ФВЧ.

Індуктивність фільтра:

$$L_6 = 1/(16\pi^2 f_{зр}^2 C). \quad (5.4)$$

Характеристичний опір для Т- та П-подібних схем:

$$Z_{сП}'' = \sqrt{\frac{L_6}{C}} \frac{1}{\sqrt{1-1/((\xi'')^2)}}, Z_{сТ}'' = \sqrt{\frac{L_6}{C}} \sqrt{1-1/((\xi'')^2)}, \quad (5.5)$$

де $\xi'' = f_3/f_{зр}$ - відносна кутова частота ФВЧ

L_6 - індуктивність ФВЧ (4)

2. Запустити програму EWB (на „Робочому столі” знаходиться ярлик цієї програми з ім'ям Wewb50c).

2.1. Зібрати схему фільтра низьких частот (рисунок 5.2).

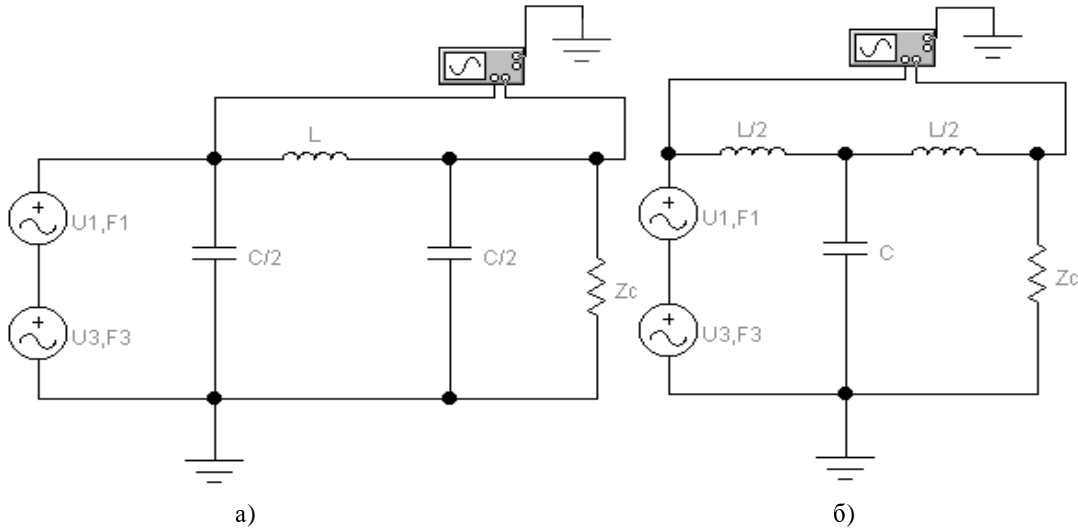


Рисунок 5.2 – Принципова схема для дослідження ФНЧ
а) П- подібний фільтр; б) Т-подібний фільтр

Встановити у джерелах діючі значення напруги першої та третьої гармонік 71В. Опір навантаження встановити рівним Z_c' , що розраховується за виразом (5.3).

Запустити схему і отримати осцилограми напруги з входу та виходу фільтра. Намалювати ці осцилограми на рисунку 2 бланка звіту. Пояснити їх форму.

2.2. Зібрати схему фільтра високих частот (рисунок 5.3).

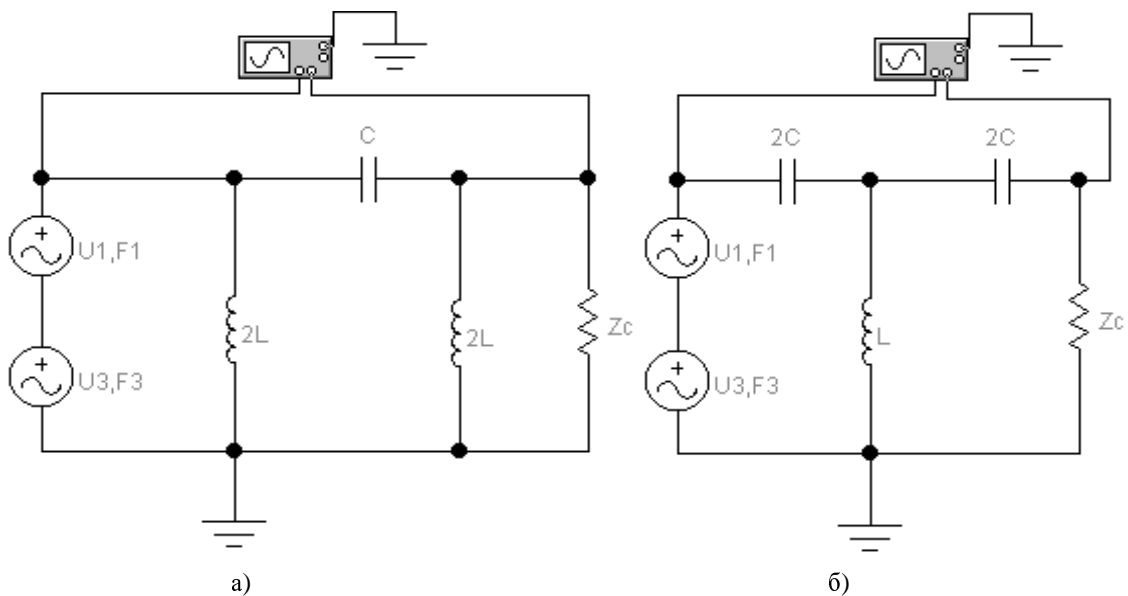


Рисунок 5.3 – Принципова схема для дослідження ФВЧ
а) П- подібний фільтр; б) Т-подібний фільтр

Встановити у джерелах діючі значення напруги першої та третьої гармонік 71В. Опір навантаження встановити рівним Z_c'' , що розраховується

за виразом (5.5).

Запустити схему і отримати осцилограми напруги з входу та виходу фільтра. Намалювати ці осцилограми на рисунку 5 бланка звіту. Пояснити їх форму.

ОФОРМЛЕННЯ ЗВІТУ

1. Побудувати частотні характеристики ФНЧ у рисунок 3 бланка звіту.

Їх побудова відбувається за наступними формулами (параметр ξ змінюється від 0 до ∞):

$$a(\xi), \quad cha = \begin{cases} 1, & \text{якщо } \xi < 1 \\ 2\xi^2 - 1, & \text{якщо } \xi > 1 \end{cases}$$
$$b(\xi), \quad \cos b = \begin{cases} 1 - 2\xi^2, & \text{якщо } \xi < 1 \\ -1, & \text{якщо } \xi > 1, b > 0 \end{cases}$$
$$Z_c(\xi), \quad Z_c = \sqrt{\frac{L_n}{C}} \sqrt{1 - \xi^2} \text{ - для Т-подібної схеми фільтра}$$
$$Z_c = \sqrt{\frac{L_n}{C}} \frac{1}{\sqrt{1 - \xi^2}} \text{ - для П-подібної схеми фільтра}$$

2. Побудувати частотні характеристики ФВЧ у рисунок 6 бланка звіту.

Їх побудова відбувається за наступними формулами (параметр ξ змінюється від 0 до ∞):

$$a(\xi), \quad cha = \begin{cases} 2/(\xi^2) - 1, & \text{якщо } \xi < 1 \\ 1, & \text{якщо } \xi > 1 \end{cases}$$
$$b(\xi), \quad \cos b = \begin{cases} 1 - 2/(\xi^2), & \text{якщо } \xi > 1 \\ -1, & \text{якщо } \xi < 1, b < 0 \end{cases}$$
$$Z_c(\xi), \quad Z_c = \sqrt{\frac{L_6}{C}} \sqrt{1 - 1/(\xi^2)} \text{ - для Т-подібної схеми фільтра}$$
$$Z_c = \sqrt{\frac{L_6}{C}} \frac{1}{\sqrt{1 - 1/(\xi^2)}} \text{ - для П-подібної схеми фільтра}$$

3. Письмово відповісти на питання:

- 1) Дайте визначення частотного фільтра.
- 2) Як можна класифікувати частотні фільтри?
- 3) Як змінюються коефіцієнти згасання та фази ФНЧ в залежності від частоти?
- 4) Як залежать коефіцієнти а і b ФВЧ від частоти?
- 5) За якої частоти ФВЧ узгоджують з навантаженням?

Розрахунково-графічна робота № 1

РОЗРАХУНОК РОЗГАЛУЖЕНИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ КІЛ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ

1. Вихідні дані.

До лінії електропостачання (ЛЕП) постійного струму (рис.1) з загальним опором обох провідників лінії $R_{\text{Л}} = 1$ Ом, що має живлення через вимикач S_1 від генератора G з ЕРС E_1 і внутрішнім опором $R_{01} = 0,1$ Ом, приєднуються через вимикачі $S_2 \dots S_4$ наступні споживачі електроенергії :

- 1) електронагрівачі (ЕК1...ЕК3), які мають параметри $P_{\text{ном}}$ (табл.1), $U_{1\text{ном}} = U_{2\text{ном}} = 127$ В, $U_{3\text{ном}} = 220$ В;
- 2) двигун постійного струму M з ЕРС E_3 і внутрішнім опором $R_{03} = 0,4$ Ом для привода навантажено-підйомного пристрою ;
- 3) акумуляторної батареї GB , яка складається з n послідовно з'єднаних елементів з параметрами кожного елемента: ЕРС E_n і внутрішнім опором $R_{\text{он}} = 0,004$ Ом.

Значення величин E , $P_{\text{ном}}$, E_n і номери розімкнених вимикачів $S_2 \dots S_4$ вибираються по двом останнім цифрам залікової книжки відповідно з таблицями 1 і 2.

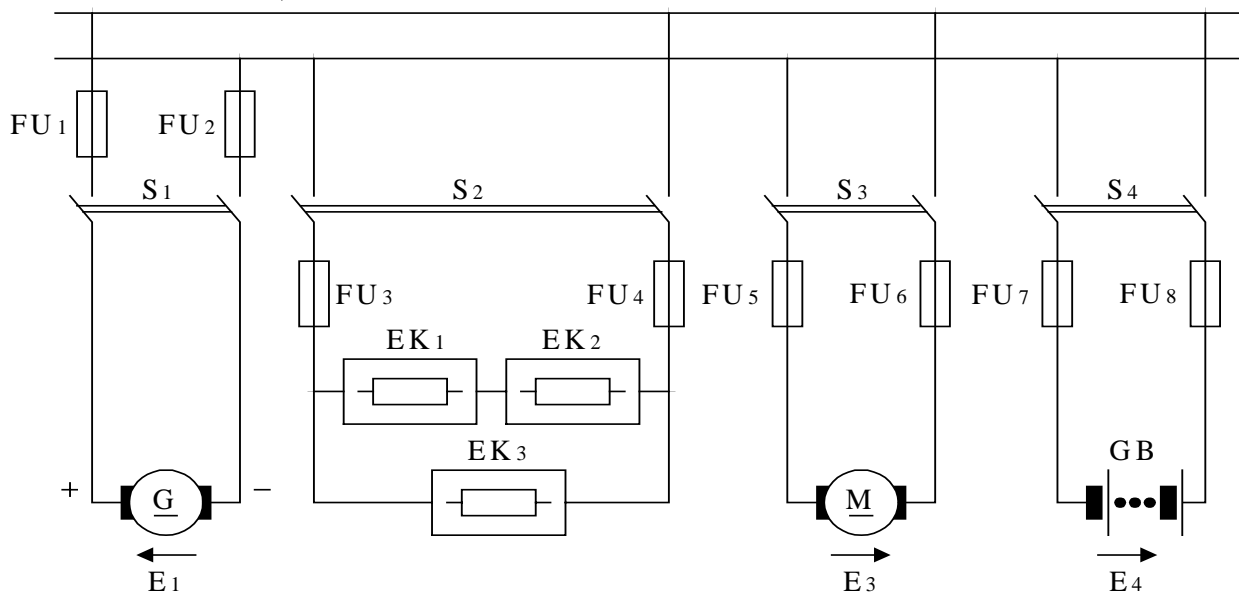


Рисунок 1 - Принципова схема електричного кола

2. Завдання.

Для свого варіанта необхідно:

1. Накреслити принципову схему (гілки з розімкненими вимикачами не креслити) . Нумерацію споживачів зберегти за рис.1.
2. Накреслити схему заміщення (еквіваленту), що відповідає фізичним процесам у принциповій схемі.
3. Визначити струми в гілках схеми методом Кірхгофа.
4. Перевірити ці розрахунки методом контурних струмів і методом двох вузлів.
5. Визначити режими роботи джерел ЕРС та других ланок кола.
6. Скласти рівняння балансу потужностей.
7. Визначити спад напруги на ЛЕП.

8. Вибрати площину перерізу провідників ЛЕП і окремих ліній з вимикачами $S_2 \dots S_4$ по таблиці 3 згідно припустимому струмовому навантаженню.
9. Визначити коштовність втрати енергії у проводах ЛЕП за місяць роботи, якщо споживачі працювали у середньому по 8 годин на добу при тарифі 0,2 гривні.
10. Накреслити еквіваленту схему кола при короткому перемиканні ЛЕП при вимкнутих вимикачах $S_2 \dots S_4$. Визначити струм короткого перемикання у цьому випадку.
11. Вибрати з табл.4 значення струмів плавких вставок запобіжників $FU_1 \dots FU_8$ для захисту джерел і споживачів енергії від струмів короткого перемикання.

Таблиця 1

Номінальні потужності електронагрівачів

Номінальна потужність нагрівача	Варіант										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	m
$P_{\text{НОМ1}}, \text{Вт}$	500	600	500	400	350	300	400	500	400	2000	2000
$P_{\text{НОМ2}}, \text{Вт}$	400	400	600	700	500	750	800	1200	400	800	600
$P_{\text{НОМ3}}, \text{Вт}$	2200	1500	1750	2000	1500	2000	2250	1500	1750	1000	1000

Таблиця 2

Параметри джерел ЕРС

Параметри гілок	Варіант										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	n
$E_1, \text{В}$	230	240	220	240	235	230	225	230	230	225	230
$E_3, \text{В}$	200	210	180	170	200	195	190	200	180	180	200
$E_n, \text{В}$	2,1	2,15	2,05	2,2	2,18	2,2	2,1	2,1	2,2	2,0	2,2
n, шт	85	80	80	75	100	90	80	80	85	95	80
Розімкнені вимикачі	4	3	4	4	3	4	4	3	4	4	3

Таблиця 3

Припустимі струмові навантаження

Переріз провідників, мм^2	1	1,5	2,5	4	6	10	16	25	35	50	70	95	120
Тривало припустимий струм навантаження, $I_{\text{доп}}, \text{А}$	6	10	15	25	35	60	90	125	150	190	240	290	340

Таблиця 4

Номінальні струми плавких вставок

Номінальний струм плавкої вставки, А	6	10	15	20	25	35	45	60	80	100	125	160	200	300	350
--------------------------------------	---	----	----	----	----	----	----	----	----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

Розрахунково-графічна робота № 2

РОЗРАХУНОК РОЗГАЛУЖЕННЯХ ОДНОФАЗНИХ КІЛ ЗМІННОГО СТРУМУ

1. Вихідні дані

До двохпровідної лінії передачі (ЛЕП), яка живиться від однофазного генератора G частотою 50 Гц (рис.1, вмикаються паралельно через вимикачі $S_1 \dots S_6$ приймачі $\Pi_1 \dots \Pi_6$ (табл.1).

Напруга на затискачах генератора U_1 (у початку ЛЕП) вимірюється вольтметром pV_1 , а на затискачах приймачів - pV_2 . Для вимірювання струмів кожного приймача ввімкнуті амперметри $pA_1 \dots pA_6$, а для генератора - pA_7 .

Варіанти заданих значень напруги U_2 , опорів провідників ЛЕП R_L і X_L , ввімкнених вимикачів і параметри приймачів вибираються відповідно з табл.1 і 2. Генератор прийнятий ідеальним і його опір дорівнює нулю.

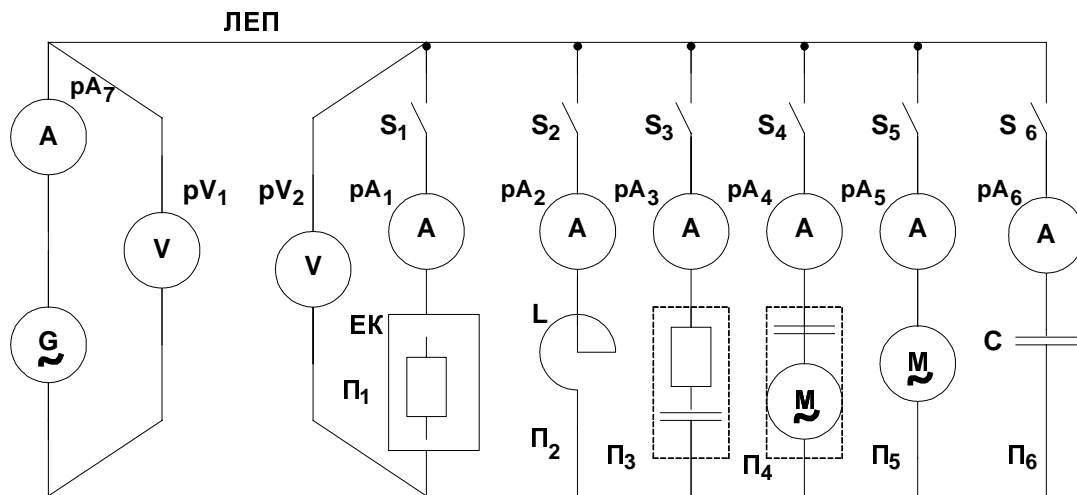


Рисунок 1 - Принципова схема підключення приймачів

Таблиця 1

Параметри приймачів електроенергії

Передостан- ня цифра номера залікової книжки	Тип приймача і параметри його послідовної схеми заміщення, Ом									
	Π_1 , нагрівальна піч	Π_2 , реактор	Π_3 , активно- емнісний фільтр		Π_4 , однофазний конденсаторний електродвигун			Π_5 , однофазний електродви- гун		Π_6 , батарея конденса- торів
0	100	100	80	60	100	100	100	80	60	100
1	60	80	40	30	40	40	70	40	30	83,3
2	50	50	40	30	40	40	10	30	40	100
3	100	70	70,7	70,7	50	50	50	60	80	125
4	100	80	60	80	80	40	100	70,7	70,7	100
5	40	100	80	60	80	100	100	32	24	66,6
6	40	40	24	32	24	40	72	80	60	20
7	40	40	32	24	24	72	40	60	80	125
8	50	30	32	24	12	16	32	16	24	30
9	20	20	15	20	16	48	48	32	24	66,6
m	80	275	50	50	100	400	400	100	100	200

Таблиця 2

Параметри схеми по рис. 1

Найменування	Остання цифра номера залікової книжки										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	n
Номера ввімкнених вимикачів	1	1	1	1	2	2	2	3	3	4	2
	2	2	2	2	3	3	3	4	4	5	4
	3	4	5	6	4	5	6	5	6	6	5
											6
Напруга U_n , В	127	220	380	660	127	220	380	660	127	380	220
Активний опір провідників лінії R_n , Ом	1	5	3	2	1	5	3	2	1	3	6
Індуктивний опір провідників лінії X_n , Ом	3	15	9	6	3	15	9	6	3	9	18

2. Завдання.

Виконати розрахунок схеми методом розкладання струмів і напруг приймачів на активно–реактивні складові і символічним методом.

Для свого варіанта необхідно:

1. Накреслити принципову схему (гілки з вимкненими вимикачами не креслити; нумерацію не змінювати по рис.1).
2. Накреслити еквівалентну схему кола. На схемі нанести умовно – позитивні напрями ЕРС джерел, напруг і струмів, а також падіння напруги на опорі ЛЕП.
3. Визначити струм кожного приймача, тобто показання амперметрів $pA_1 \dots pA_6$.
4. Визначити струм ЛЕП (показання амперметра pA_7).
5. За струмом у ЛЕП і напрузі в кінці ЛЕП U_2 замінити групу приймачів еквівалентним приймачем.
6. Визначити витрату напруги в ЛЕП ΔU_n .
7. Визначити напругу на затискачах генератора U_1 (показання вольтметра pV_1).
8. Збудувати для заданої схеми (у масштабі) векторну діаграму з відображенням усіх струмів і напруг. Виконати аналіз діаграми: визначити кут зсуву фаз між напругами U_1, U_2 і загальним струмом, а також втрати напруги (U_1-U_2).
9. Визначити гілку схеми, де має місто резонанс напруги. Визначити напруги на її елементах.
10. Визначити групу гілок, у яких має місто резонанс струмів.
11. Визначити активну, реактивну і повну потужності кожного приймача і еквівалентного приймача.
12. Скласти баланс активних і реактивних потужностей приймачів. Оцінити відносну погрішність розрахунку.

Розрахунково-графічна робота № 3

РОЗРАХУНОК ТРИФАЗНИХ КІЛ ЗМІННОГО СТРУМУ

1. Вихідні дані

До трифазної лінії змінного струму з лінійною напругою $U_{\text{л}}$ підключені приймачі за схемою (рис.1). Варіанти значень $U_{\text{л}}$ і параметри приймачів беруться з таблиці 1 (Ємнісні опори подані зі знаком мінус “-”).

Розрахунок у трифазних колах ведеться для кожної фази окремо при несиметричному навантаженні за тими ж законами, що і для однофазних кіл змінного струму.

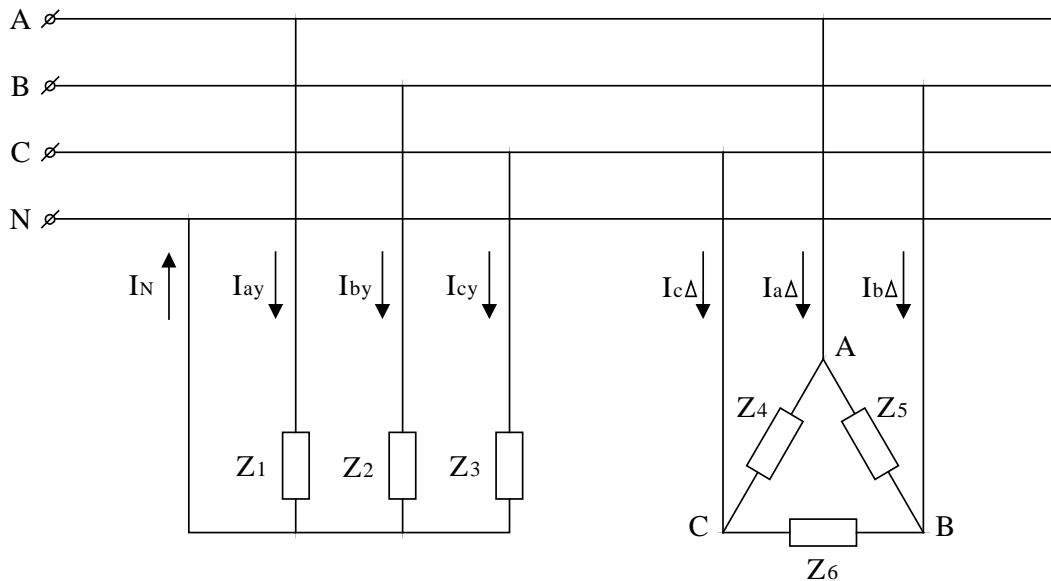


Рисунок 1 - Принципова схема вмикання приймачів до трифазного кола.

2. Завдання.

Розрахунки виконати за допомогою символічного методу.

1. Накреслити схему заміщення заданого кола з урахуванням параметрів приймачів свого варіанту. Опорами ЛЕП запобігти ($Z_{\text{ЛЕП}}=0$).
2. Визначити фазні струми приймачів, увімкнених за схемою трикутник.
3. Збудувати векторну діаграму для п.2 і визначити лінійні струми приймачів, увімкнених по схемі трикутника.
4. Визначити струми приймачів, увімкнених по схемі зірка з нейтральним проводом, і струм у нейтральному проводі.
5. Збудувати векторну діаграму для п.4.
6. Визначити сумарні струми, що споживають приймачі із ЛЕП.
7. Визначити активні потужності фаз приймачів за схемами зірка і трикутник, сумарну активну потужність всього кола.
8. Визначити реактивні потужності фаз приймачів, увімкнених за схемами зірка і трикутник.
9. Накреслити схему заміщення приймачів, увімкнених по схемі трикутник, при обриві лінійного проводу, що з'єднує точку в приймача з лінією В (рис.1) і визначити для цього випадку струми у фазах цих приймачів і в лінійних проводах. Накреслити векторну діаграму для цього випадку.

Таблиця 1

Параметри приймачів електроенергії

Варіант	З'єднання												U _л , В
	трикутник						зірка						
	R _{ab} , Ом	X _{ab} , Ом	R _{bc} , Ом	X _{bc} , Ом	R _{ca} , Ом	X _{ca} , Ом	R _a , Ом	X _a , Ом	R _b , Ом	X _b , Ом	R _c , Ом	X _c , Ом	
MN	10	0	32	-24	12	16	48	0	3	-4	8	6	380
00	6	8	10	0	10	0	5	0	5	0	5	0	220
01	5	0	5	0	5	0	6	8	10	0	10	0	380
02	6	8	10	0	8	6	0	-5	5	0	5	0	660
03	0	-5	5	0	5	0	7	8	6	8	6	8	220
04	3	4	5	0	0	5	0	10	0	10	0	10	220
05	10	0	10	0	0	10	4	3	4	-3	0	-5	660
06	3	4	5	0	0	5	0	10	0	10	0	10	220
07	0	-10	10	0	0	10	3	4	3	4	3	4	380
08	20	0	20	0	12	16	0	20	0	20	0	20	660
09	0	-20	20	0	16	12	20	0	20	0	20	0	1140
10	6	8	10	0	8	-6	4	0	4	0	4	0	220
11	40	0	40	0	24	-32	6	8	6	8	6	8	220
12	0	-5	5	0	3	24	8	6	8	6	8	6	380
13	8	6	8	-6	8	6	0	-5	0	-5	0	-5	660
14	5	0	5	0	0	-5	0	10	0	10	0	10	220
15	0	-10	10	0	0	-10	5	0	5	0	5	0	380
16	12	16	20	0	0	-20	10	0	10	0	10	0	1140
17	10	0	0	10	10	0	12	16	12	16	12	16	660
18	16	12	16	-12	16	-12	20	0	20	0	20	0	1140
19	20	0	0	20	0	20	16	12	16	12	16	12	660
20	24	32	0	40	40	0	40	0	40	0	40	0	1140
21	40	0	0	40	24	32	24	32	0	40	40	0	660
22	4	3	0	5	5	0	5	0	5	0	5	0	220
23	5	0	0	5	4	-3	4	3	4	3	4	-3	360
24	8	6	0	10	0	-10	10	0	10	0	10	0	660
25	10	10	0	10	10	-10	-8	6	0	10	0	10	220
26	16	12	0	20	16	-12	20	0	20	0	20	0	660
27	20	0	16	12	20	0	16	12	16	12	16	12	1140
28	24	32	0	40	0	-40	12	16	12	16	12	16	660
29	5	0	3	4	0	5	6	-8	6	-8	6	-8	220
30	12	16	12	16	20	0	10	0	10	0	10	0	380
31	10	0	6	8	6	8	12	16	12	16	12	16	1140
32	24	-32	24	-32	0	40	12	16	12	16	12	16	1140
33	3	7	0	-5	5	0	5	0	5	0	5	0	220
34	20	0	12	16	12	-16	10	0	10	0	0	-10	380
35	6	8	0	-10	0	10	10	0	10	0	0	10	220
36	40	0	24	32	0	-40	20	0	0	-20	0	-20	1140
37	12	10	0	-20	12	16	10	0	0	10	0	10	660
38	5	0	0	-5	3	-4	4	-3	4	-3	4	3	220
39	24	36	0	-40	24	-36	20	0	0	-20	0	-20	1140
40	10	0	6	-8	0	10	6	-8	6	8	6	8	660
41	4	3	0	-5	0	-5	4	-3	4	3	4	3	220
42	20	0	16	-12	16	12	6	8	6	-8	6	-8	380

Варіант	З'єднання												
	трикутник						зірка						U _л , В
	R _{ab} , Ом	X _{ab} , Ом	R _{bc} , Ом	X _{bc} , Ом	R _{ca} , Ом	X _{ca} , Ом	R _a , Ом	X _a , Ом	R _b , Ом	X _b , Ом	R _c , Ом	X _c , Ом	
43	10	0	0	-10	3	-10	10	0	10	0	0	10	660
44	8	6	8	6	10	0	8	-6	8	6	8	6	220
45	40	0	32	-24	32	-24	24	32	24	-32	24	32	1140
46	16	12	16	12	0	20	10	0	0	-10	0	10	380
47	5	0	3	-4	0	5	4	3	4	-3	4	3	660
48	32	24	32	24	32	24	24	20	0	-20	0	20	1140
49	10	10	20	-20	30	0	24	0	0	-20	0	30	660
50	5	0	4	-3	3	4	3	4	3	4	3	4	220
51	5	0	5	0	5	0	6	8	10	0	10	0	220
52	6	8	10	0	10	0	5	0	5	0	5	0	380
53	0	-5	5	0	5	0	6	8	10	0	8	6	660
54	7	8	7	8	6	8	0	-5	5	0	5	0	220
55	10	0	10	0	10	0	4	3	4	-3	0	-5	380
56	4	3	4	-3	0	-5	10	0	10	0	0	10	660
57	0	10	0	10	0	10	3	4	5	0	0	5	220
58	3	4	3	4	3	4	0	-10	10	0	0	10	380
59	0	20	0	20	0	20	20	0	20	0	12	16	660
60	20	0	20	0	20	0	0	20	20	0	16	12	1140
61	4	0	4	0	4	0	6	8	10	0	8	-6	220
62	6	8	6	8	6	8	40	0	40	0	24	-36	1140
63	8	6	8	6	8	6	0	-5	5	0	3	-4	220
64	0	-5	0	-5	0	-5	8	6	8	-6	8	6	380
65	0	10	0	10	0	10	5	0	5	0	0	-5	660
66	5	0	5	0	5	0	0	-10	10	0	0	-10	220
67	10	0	10	0	10	0	12	16	20	0	0	-20	380
68	12	16	12	16	12	16	10	0	10	10	10	0	660
69	20	0	20	0	20	0	16	12	16	-12	16	-12	1140
70	16	12	16	-12	16	-12	20	0	0	20	0	20	660
71	40	0	40	0	40	0	24	4	36	0	40	0	1140
72	24	36	0	40	40	0	40	0	0	40	24	35	1140
73	5	0	5	0	5	0	4	3	0	5	5	0	220
74	4	-3	4	3	4	-3	5	0	0	5	4	-3	380
75	10	0	10	0	10	0	8	6	0	10	0	-10	660
76	8	6	20	10	20	10	10	0	0	10	0	-10	220
77	20	0	20	0	20	0	16	12	0	20	16	-12	380
78	16	12	16	12	16	12	20	0	16	12	20	0	660
79	12	16	12	16	12	16	24	32	0	40	0	-40	1140
80	6	-8	6	-8	6	-8	5	0	3	4	0	5	220
81	10	0	10	0	10	0	12	16	20	16	20	0	380
82	12	16	12	16	12	16	10	0	6	8	6	8	660
83	12	16	12	16	12	16	24	-36	24	-36	0	40	1140
84	5	0	5	0	5	0	3	4	0	-5	5	0	220
85	10	0	10	0	0	-10	20	0	12	16	12	-16	380
86	10	0	10	0	0	10	6	88	0	-10	0	10	660
87	20	0	0	-20	0	-20	40	0	24	36	0	40	1140
88	10	0	0	10	0	10	12	16	0	-20	12	16	1140

Варіант	З'єднання												U _л , В
	трикутник						зірка						
	R _{ab} , Ом	X _{ab} , Ом	R _{bc} , Ом	X _{bc} , Ом	R _{ca} , Ом	X _{ca} , Ом	R _a , Ом	X _a , Ом	R _b , Ом	X _b , Ом	R _c , Ом	X _c , Ом	
89	4	-3	4	-3	4	3	5	0	0	-5	3	-4	220
90	20	0	0	-20	0	-20	24	36	0	-40	24	-36	380
91	6	-8	6	8	6	8	10	0	6	-8	0	10	660
92	4	-3	4	3	4	3	4	3	0	-5	0	-5	280
93	6	8	6	-8	6	-8	20	0	16	-12	16	12	380
94	10	0	10	0	0	10	10	0	0	-10	0	-10	660
95	8	-6	8	6	8	6	8	6	8	6	10	0	220
96	24	36	24	-36	24	36	40	0	36	-24	36	-24	1140
97	10	0	0	-10	0	10	16	12	16	12	0	20	220
98	4	3	4	-3	4	-3	5	0	3	-4	0	5	380
99	16	12	12	16	20	0	3	4	5	0	3	-4	660
100	10	0	10	0	10	0	24	32	12	16	0	-40	1140

Розрахункова – графічна робота № 4

РОЗРАХУНОК ПЕРЕХІДНИХ ПРОЦЕСІВ У ЕЛЕКТРИЧНИХ КОЛАХ

Електричні кола постійного струму (рис.1,а,б,в) містять джерела живлення з ЕРС E і внутрішнім опором R_0 , резистори R_1 і R_2 , котушки індуктивності з активним опором R_L і індуктивністю L , конденсатор з ємністю C .

а)

б)

в)

Рисунок 1 - Електричні кола постійного струму з приладами комутації

За даними свого варіанту заданими у таблиці 1, визначити і збудувати залежність перехідного струму у колі конденсатора $i_c(t)$ і напруги $u_c(t)$ на його обкладках при заряді, а також перехідного струму у колі котушки індуктивності $i_L(t)$ і перехідної напруги на котушці $u_L(t)$ у функції часу при увімкненні вимикача В і перемиканні вимикача П із одного положення в друге відповідно з завданням. Визначити енергію електричного поля конденсатора W_C і магнітного поля W_L котушки індуктивності.

Примітка: у варіантах 31...60 опір резистора R_1 узяти у два рази більше.

Таблиця 1

Вихідні данні для виконання роботи

Величини	Варіанти завдання														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
E, В	110	220	110	220	110	220	110	220	110	220	110	220	110	220	110
R_0 , Ом	800	800	600	800	600	800	500	500	400	400	-	-	-	-	-
R_1 , Ом	1,5	1,2	1	1	1,1	0,8	0,8	0,9	0,9	1	100	110	55	100	55
R_2 , Ом	0,5	0,6	0,6	0,8	0,7	0,8	0,8	0,9	0,9	1	100	110	55	100	55
R_L , Ом	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	400	200	400	200	150
C, мкФ	5	5	5	10	10	10	15	15	20	20	-	-	-	-	-
L, Гн	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	10	6	10	5	9
Схема кола	Рис.1а										Рис.1б				
Ввімкненні вимикачі	В	-	В	-	В	-	В	-	В	-	В	-	В	-	В
Положення перемикача	Перемикач П перекидається з положення 1 в 2														

Продовження табл..1

Величини	Варіанти завдання														
	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
E, В	220	110	220	110	220	110	220	110	220	110	220	110	220	110	220
R_0 , Ом	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
R_1 , Ом	44	55	50	50	50	40	30	40	90	30	80	30	60	20	60
R_2 , Ом	44	55	50	50	50	80	100	70	100	60	80	60	80	40	60
R_L , Ом	150	180	150	100	100	60	80	60	80	50	70	50	60	40	50
C, мкФ	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
L, Гн	4,5	4	3	2	2	0,6	1	0,8	0,8	0,6	1	0,4	0,8	0,2	0,8
Схема кола	Рис.1б							Рис.1в							
Ввімкненні вимикачі	-	В	-	В	-	V_3	V_3	V_3	V_3	V_3	V_3	V_3	V_3	V_3	V_3
						V_1	V_2	V_1	V_2	V_1	V_2	V_1	V_2	V_1	V_2
Положення перемикача	П з 1-го у 2-ге							Вимикач V_3 розмикається							

Розрахункова – графічна робота № 5

РОЗРАХУНОК МАГНІТНИХ КІЛ

Магнітне коло з симетричним магнітопроводом, виконаним з електротехнічної сталі, розміри котрого задані на рис.1,а і 1,б, має котушку збудження магнітного потоку з числом витків w і струмом I .

Використовуючи криві намагнічування сталі $B(H)$ рис.2 по даним таблиці 1 для свого варіанта завдання визначити енергію магнітного поля W_L і магнітні потоки Φ на всіх ділянках магнітного кола, індуктивність котушки збудження L , скласти еквівалентну електричну схему заданого магнітного кола [3,5,6].

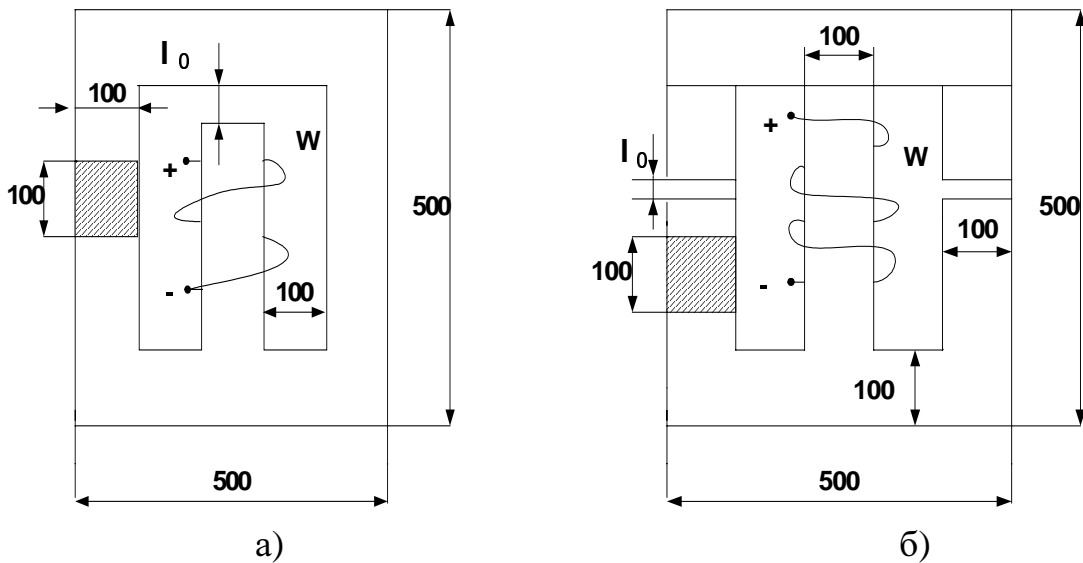


Рисунок 1 - Магнітні кола

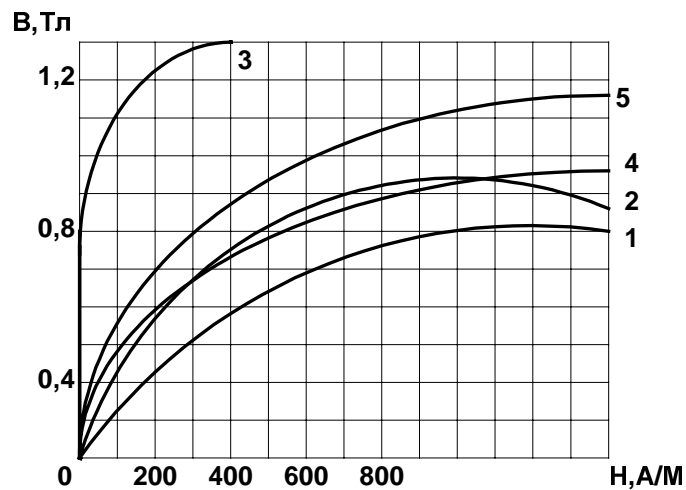


Рисунок 2 - Криві намагнічування сталей:

1-літая сталь; листові електротехнічні сталі:2-1512(гарячекатана);
3-3411(холоднокатана); 4-1212(гарячекатана); 5-1410(гарячекатана)

Вихідні дані для виконання роботи

Величина	Варіанти завдання														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
W, витків	800	800	800	800	900	900	900	900	900	900	900	900	9000	900	900
I, А	3	2,9	2,8	2,7	2,6	2,5	2,4	2,3	2,2	2,1	3	2,8	2,4	2,2	2
I ₀ , мм	2	2,5	2	2,5	2	2,5	2	2,5	2	2,5	2	2,5	2	2,5	2
Магн. коло	Рис.1,а (з одним зазором)														
Марка ст.	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5

Продовження табл.1

Величина	Варіанти завдання														
	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
W, витків	800	800	800	800	800	900	900	900	900	900	1000	1000	1000	1000	1000
I, А	4	3,9	3,8	3,7	3,6	3,5	3,4	3,3	3,2	3,1	4	3,8	3,6	3,4	3,2
I ₀ , мм	2	2,5	2	2,5	2	2,5	2	2,5	2	2,5	2	2,5	2	2,5	2
Магн. коло	Рис.1,б(з двома зазорами)														
Марка ст.	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5

Практичне заняття на тему:

“ЕЛЕКТРИЧНІ КОЛА ПЕРІОДИЧНОГО НЕСІНУСОЇДНОГО СТРУМУ”

При виконанні практичних занять студенти повинні навчитися розраховувати електричні кола з несінусоїдними струмами [3,4,6]. Розуміти причини з'явлення несінусоїдних ЕРС, напруги і струмів в електричних колах, позитивні і негативні їх властивості.

Вихідні дані задач подані у табл.1.

До мережі змінного струму паралельно підключені: котушка індуктивності з активним опором $R_{кат}$ і індуктивністю L і конденсатор з ємністю C . До кола підведена періодична несінусоїдна напруга $u(t)$.

За даними свого варіанту заданими у табл.11.1 визначити амплітудні I_m і діючі значення несінусоїдних струмів і напруг U_m і U , а також їх гармонічних складових, вираз миттєвого значення струму $i(t)$, активну P , реактивну Q і повну S потужності окремих гармонічних складових кола.

Примітка. У парних варіантах котушка індуктивності і конденсатор ввімкнути послідовно. Крім того, для індивідуалізації завдання можна міняти опори $R_{кот}$ в більшу чи меншу сторону.

Таблиця 1

Вихідні данні для виконання роботи

Величини	Варіанти														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
U,В	$u(t)=80\sqrt{2}\sin\omega t+50\sqrt{2}\sin 3\omega t+20\sqrt{2}\sin 5\omega t$														
R _{кот} , Ом	5	5	5	5	5	5	5	5	6	6	6	7	7	7	7
L _М Гн	16	32	48	64	16	32	47	63	16	31	48	65	16	32	47
C, мкФ	266	91	89	30	30	88	91	265	91	89	29	260	91	89	30

Продовження таблиці 1

Величини	Варіанти														
	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
U,В	$u(t)=40+80\sqrt{2}\sin\omega t+50\sqrt{2}\sin 3\omega t$														
R _{кот} , Ом	8	8	8	8	9	9	9	10	10	10	10	12	12	12	13
L _М Гн	64	16	32	47	63	15	31	64	16	32	48	63	16	32	48
C, мкФ	266	91	88	29	265	90	89	265	91	88	30	260	91	90	30

Практичне заняття на тему:

“НЕЛІНІЙНІ ЕЛЕКТРИЧНІ КОЛА ПОСТІЙНОГО СТРУМУ”

При виконанні занять студенти повинні навчитися розраховувати нелінійні електричні кола постійного струму графо - аналітичним методом; вміти будувати вольт – амперні характеристики (ВАХ) [3,4,6].

Вихідні дані задач подані у табл.1.

Електричне коло з послідовно (паралельно) з'єднаними нелінійним R₁ і лінійним R₂ резисторами увімкнено до мережі постійного струму з напругою U . Використовуючи ВАХ I(U₁) нелінійного резистора R₁ (Табл.1) і I(U₂) лінійного резистора (Табл.2) для свого варіанта завдання, визначити струми I в колі і спад напруги U на резисторах R₁ і R₂ . Накреслити залежність зміни струму I(U) в електричному колі. ВАХ резисторів схеми подані у табличній формі.

Таблиця 1

Вольт – амперні характеристики нелінійного елемента

Номера варіантів	Величини									
	U ₁ ,В	I,А	U ₁ ,В	I,А	U ₁ ,В	I,А	U ₁ ,В	I,А	U ₁ ,В	I,А
01,11,21	0	1	2	4	8	12	16	20		
	0	2	3	4	4,2	4,3	4,4	3,5		
02,12,22	0	2	4	6	8	10	12	14		
	0	0,5	1,1	2,2	3,5	4,8	6	8		
03,13,23	0	1	2	4	6	8	10	12		
	0	0,08	0,16	0,4	0,8	1,25	1,5	1,7		
04,14,24	0	1	2	4	6	8	10	12		
	0	0,02	0,04	0,12	0,22	0,4	0,65	1,0		

Номера варіантів	Величини								
	05,15,25	U _{1,B}	0	2	4	6	8	10	12
I _{1,A}		0	0,45	0,84	1,1	1,2	1,25	1,36	14
06,16,26	U _{1,B}	0	0,25	0,5	1,0	1,5	2	2,5	3
	I _{1,A}	0	0,4	0,7	1,1	1,25	1,35	1,4	1,45
07,17,27	U _{1,B}	0	0,5	1	2	3	4	5	6
	I _{1,A}	0	0,3	0,5	0,8	1	1,1	1,2	1,25
08,18,28	U _{1,B}	0	1	2	3	4	5	6	7
	I _{1,A}	0	0,2	0,4	0,6	0,75	0,82	0,9	1,0
09,19,29	U _{1,B}	0	2	2,5	3	305	4	-	-
	I _{1,A}	0	0,5	1	2,2	404	8	-	-
10,20,30	U _{1,B}	0	2	4	6	8	10	12	14
	I _{1,A}	0	0,1	0,5	1	1,25	1,9	2,25	3

Таблиця 2

Вольт – амперні характеристики лінійного елемента

Величини	Варіант														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
U _{2,B}	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	11	11	11	11	11
I _{1,A}	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0	2,1	2,2	2,3	2,4

Продовження таблиці 2

Величини	Варіант														
	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
U _{2,B}	11	11	11	11	11	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
I _{1,A}	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0	2,1	2,2	2,3	2,4

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Основы теории цепей/ Г.В.Зевеке, П.А.Ионкин, А.В.Нетушил, С.В.Страхов. – М.:Энергоатомиздат, 1989.-528с.
2. М.П.Рибалко, В.О.Есауленко, В.І.Костенко. Теоретичні основи електротехніки: Лінійні електричні кола: Підручник. - Донецьк: Новий світ, 2003 – 513с.
3. Электротехника/ Под ред. В.Г.Герасимова, 3-е изд.: - М.: Высшая школа, 1985. – 480с.
4. Сборник задач и упражнений по теоретическим основам электротехники/ Под ред. П.А.Ионкина.- М.:Энергоиздат, 1982. – 768с.
5. В.Г.Данько, В.І.Мілих, А.К.Черкасов. Розрахунок електричних кіл. Навч.посібник. – К.:НМК ВО, 1992. – 124с.
6. Рекус Г.Г., Белоусов А.И. Сборник задач по электротехнике и основам электроники: Уч. пособие для неэлектротехн. спец. вузов. – М.: Высш.шк.,1991. – 416с.

ЗМІСТ

	стор.
Лабораторна робота № 8.1. Дослідження кіл несинусоїдного струму	3
Лабораторна робота № 8.2. Дослідження нелінійних кіл постійного струму	11
Лабораторна робота № 8.3. Дослідження перехідних процесів у лінійних колах	17
Лабораторна робота № 8.4. Дослідження чотиріполюсника	26
Лабораторна робота № 8.5. Дослідження електричних фільтрів	32
Розрахунково-графічна робота № 1. Розрахунок розгалужених електричних кіл постійного струму	39
Розрахунково-графічна робота № 2. Розрахунок розгалуженнях однофазних кіл змінного струму	41
Розрахунково-графічна робота № 3. Розрахунок трифазних кіл змінного струму	43
Розрахунково-графічна робота № 4. Розрахунок перехідних процесів у електричних колах	46
Розрахункова – графічна робота № 5. Розрахунок магнітних кіл	48
Практичне заняття на тему: “Електричні кола періодичного несинусоїдного струму”	49
Практичне заняття на тему: “Нелінійні електричні кола постійного струму”	50
Перелік посилань	52