

## Передмова

В першому розділі другої частини навчально–методичного посібника "Комп'ютерні технології в електротехніці та електроніці" викладено методичні рекомендації до виконання лабораторних робіт з дисципліни "Електротехніка та основи електроніки" з використанням програми схемотехнічного моделювання *Electronics Workbench (EWB–версія 5.12)*.

Завдання до виконання лабораторних робіт розділу "Електричні кола" багатоваріантні і можуть поєднуватися з практичними заняттями та з виконанням розрахунково–графічних робіт. Завдання до розділу "Основи електроніки" одноваріантні. Вони призначені для виконання на лабораторному устаткуванні учбового універсального стенду EB–4 і орієнтовані на сумісне дослідження реальних пристроїв та їх математичних моделей в середовищі *EWB*.

До кожної роботи подані контрольні запитання, на які студент повинен дати обґрунтовані відповіді, а також завдання, що доповнюють відповідні лабораторні роботи і орієнтовані на їх експериментальне дослідження.

Другий розділ містить методичні рекомендації до виконання контрольних завдань. Вони поєднують елементи аналітичного розв'язку та експериментального дослідження. В деяких випадках для побудови експериментальних моделей надаються пояснення до роботи з програмою *EWB*.

Виконання лабораторних робіт на ПК дає змогу експериментального дослідження сталих і перехідних процесів електричних кіл постійного і змінного струму та електронних пристроїв, безпосередньо спостерігати на екрані мульти-медійного осцилографа змінні їх електричного стану у часі, порівнювати результати розрахунків та моделювання, досліджувати залежності цих змінних від параметрів елементів схем, в тому числі і в аварійних режимах, що неможливо на реальних лабораторних стендах.

Завдання методично відпрацьовані зі студентами теплоенергетичного факультету НТУУ "КПІ". Перелік лабораторних робіт та обсяги завдань до їх виконання можуть бути змінені в залежності від обсягу учбових годин відповідних спеціальностей.

## 1. Лабораторі роботи

### № 1. Вимірювання електричних величин

*Мета роботи:* ознайомлення з основами вимірювальної техніки та набуття навичок вимірювання основних фізичних величин електричного кола.

#### Теоретичні відомості

В електротехніці фізичними величинами вважають потужності джерел та споживачів, струми та напруги окремих елементів електричного кола, електричний опір, тощо. Серед названих величин тільки струм, згідно міжнародній системі фізичних одиниць *СИ*, відноситься до основних, інші є похідними.

Відповідно до Державного стандарту України ДСТУ 2681-94, *вимірювання* — це знаходження значень фізичних величин дослідним шляхом за допомогою спеціальних технічних засобів. Виконання вимірювань вимагає дотримання наступних обов'язкових вимог:


- безпека дослідника та збереження приладів і об'єкта дослідження;
- точність отриманих результатів експерименту;
- швидкість одержання інформації та якість оформлення звіту.

Вимірювання здійснюється за допомогою спеціальних технічних засобів та вимірювальних приладів. Залежно від способу представлення вихідної інформації всі прилади поділяють на аналогові, покази яких є безперервними функціями вимірюваних величин та цифрові, покази яких подаються в дискретному (числовому) вигляді.

На схемах аналогові прилади позначають кільцем, цифрові – прямокутником. Інформація, що необхідна досліднику для дотримання згаданих вимог, надається на передніх панелях приладів у вигляді певних символів (літер, цифр, тощо), розуміння яких є обов'язковим. Далі наведено найважливіші символи та назви приладів.

Символ	Назва приладу
<b>A</b> , <b>mA</b> , <b>μA</b>	Амперметр для вимірювання діючого значення струму в амперах, міліамперах, мікроамперах
<b>V</b> , <b>mV</b> , <b>kV</b>	Вольтметр для вимірювання діючого значення напруги в вольтах, мілівольтах, кіловольтах
<b>W</b> , <b>mW</b> , <b>kW</b>	Ватметр для вимірювання активної потужності у ватах, міліватах, кіловатах

## Комп'ютерні технології в електротехніці та електроніці

$\Omega$ , k $\Omega$ , M $\Omega$	Омметр для вимірювання активного опору в омах, кілоомах, мегомах
Wh, kWh	Лічильник для вимірювання активної енергії у ват-годинах, кіловат-годинах
$\varphi$	Фазометр для вимірювання кута зсуву фаз у градусах електричних
Hz	Частотомір для вимірювання частоти у герцах
— або DC	Прилади для вимірювання постійного струму або напруги (постійної складової)
~ або AC	Прилади для вимірювання змінного струму або напруги у вказаному частотному діапазоні.
	Ізоляція приладу випробувана напругою 500 вольт або вказаною в середині зірочки в кіловольтах

Граничне значення вимірюваної приладом величини або межа вимірювання вказана біля відповідного перемикача, а у його відсутність – як кінцеве значення шкали (наприклад, 1 А, 300 В). Ціна однієї поділки шкали  $C_n$  визначається як відношення межі вимірювання до кількості поділок шкали.

***Однією з найважливіших характеристик приладу є його внутрішній опір, який вказують на шкалі або в його паспорті.***

Введення приладу в досліджуване коло супроводжується внесенням в нього додаткового опору, який впливає на електричний стан кола і є причиною виникнення систематичної похибки, яку мінімізують конструктивним шляхом. З цією метою внутрішній опір амперметрів, а також опір струмової обмотки ватметрів намагаються по можливості зменшити (частки Ом), оскільки вони вмикаються послідовно. Внутрішній опір вольтметрів і опір обмотки напруги ватметрів роблять якомога більшим ( $10^4 \div 10^7$  Ом) і вмикають паралельно споживачеві.

***Особливо небезпечним є вмикання амперметра паралельно джерелу електричної енергії. Значний струм, що виникає у такому випадку, незворотно зруйнує прилад і може зашкодити здоров'ю експериментатора.***

Покази вимірювальних приладів завжди відрізняються від дійсних значень вимірюваної фізичної величини, що пов'язано з цілою низкою причин. Тому при вимірюванні необхідно оцінити похибку вимірювання, тобто відхилення результату вимірювання від дійсного значення вимірюваної величини.

## Комп'ютерні технології в електротехніці та електроніці

За формою похибки вимірювання поділяються на абсолютні, відносні і зведені. **Абсолютна похибка** – це різниця між результатом вимірювання і дійсним значенням величини (в іменованих одиницях):

$$\Delta A = A_g - A,$$

де  $A_g$  – показання приладу (результат вимірювання),  
 $A$  – дійсне значення вимірюваної величини.

**Відносна похибка** – це відношення абсолютної похибки до дійсного значення величини, виражене, як правило, у відсотках:

$$\delta = \Delta A / A \cdot 100 \%.$$

За залежністю від вимірюваної величини, похибки поділяються на **адитивні**, які не залежать від вимірюваної величини, і **мультиплікативні**, які лінійно залежать від вимірюваної величини.

Для оцінки точності вимірювального приладу, у якого переважає адитивна похибка, застосовують поняття зведеної похибки, яку визначають як відношення абсолютної похибки до граничного значення вимірюваної величини:

$$\gamma = \Delta A / A_g \cdot 100 \% ,$$

де  $A_g$  – граничне значення вимірюваної приладом величини.

Ця зведена похибка називається класом точності приладу і є кількісною оцінкою якості вимірювального приладу. Класи точності стандартизовані: для зразкових і точних приладів це 0,05; 0,1; 0,2; 0,5, для робочих – 1; 1,5; 2; 5; 5 %. Для аналогових приладів клас точності вказують безпосередньо на шкалі, для цифрових – у паспорті приладу. Абсолютна похибка цифрових приладів не перевищує половини значення найменшого розряду шкали.

Розглянемо приклади розрахунку похибок:

1. Амперметром з граничним значенням шкали 10 А і класом точності 1,5 виміряли струм  $I_g = 2$  А. Визначити абсолютну та відносну похибки.

Абсолютна похибка:  $\Delta A = \gamma A_g / 100 = 1,5 \cdot 10 / 100 = 0,15$  А.

Дійсне значення знаходиться в межах:  $I = I_g \pm \Delta I = (2 \pm 0,15)$  А

Відносна похибка:  $\delta = \Delta A / A \cdot 100 \% = 0,15 / (2) \cdot 100 = 7,5$  %.

2. Тим же приладом виміряли струм  $I_g = 9$  А. Визначити абсолютну і відносну похибки.

Абсолютна похибка:  $\Delta I = 0,15$  А

Дійсне значення знаходиться в межах:  $I = I_g \pm \Delta I = (9 \pm 0,15)$  А

Відносна похибка:  $\delta = \Delta A / A \cdot 100 \% = (0,15 / 9) \cdot 100 \% = 1,7$  %.

## Комп'ютерні технології в електротехніці та електроніці

Відносна похибка, як видно з прикладів, зростає зі зменшенням значення вимірюваної величини, тому для підвищення точності вимірювань необхідно обирати межу приладу якнайближче до вимірюваної величини.




При непрямих (опосередкованих) вимірюваннях вимірювану величину обчислюють за результатами вимірювання інших величин за певними формулами. Наприклад, опір визначається за законом Ома за результатами вимірювання струму і напруги

$$R = U/I.$$

Похибка опосередкованого вимірювання величини  $A$  пов'язана з похибками вимірювання допоміжних величин  $B$  та  $C$  таким співвідношенням:

$$\text{якщо } A = B^n C^m, \text{ то } \gamma_A = |n\gamma_B| + |m\gamma_C|.$$

До недавнього часу застосовувалися, в основному аналогові вимірювальні прилади. Бурхливий розвиток електроніки, інтегральних мікросхем призвів до широкого застосування цифрових вимірювальних приладів, які поступово витісняють аналогові. Проте аналогові прилади ще продовжують застосовуватися у багатьох галузях виробництва. Аналогові вимірювальні прилади випускаються таких систем:

Умовна позначка	Назва системи
	Магнітоелектрична
	Електромагнітна
	Електродинамічна

Прилади магнітоелектричної системи мають рівномірну шкалу та відносно малу похибку вимірювання (клас 0,2), але можуть використовуватися тільки в колах постійного струму. На це вказує умовна позначка „+” та „-” біля затискачів, а також горизонтальна риска на панелі приладу.

Прилади електромагнітної системи мають нерівномірну шкалу, клас точності 0,5 і більше. Можуть працювати в колах як постійного так і змінного струму, чим і обумовлено їх широке розповсюдження. Прилади електродинамічної системи конструктивно складніші, мають рівномірну шкалу, клас точності 0,5 і більше. Вони використовуються у колах постійного та змінного струму, а також для вимірювання величин, які визначаються двома чинниками. Наприклад, потужності, що дорівнює добутку напруги та струму. Такі прилади мають обмотку напруги та обмотку струму (на першу подається напруга, в другу

## Комп'ютерні технології в електротехніці та електроніці

струм). Початки обмоток помічають позначками „\*” або „+”. Від узгодженості приєднання цих обмоток залежить напрямок (знак для цифрових приладів) відхилення стрілки приладу.

Вимірювальні засоби системи схемотехнічного моделювання *Electronics Workbench (EWB)* за зовнішнім виглядом і технічними характеристиками аналогічні промисловим цифровим приладам і прийоми роботи з ними такі ж самі як і з реальними приладами. Докладніше з віртуальними вимірювальними приладами можна ознайомитись в [3].

### Послідовність виконання роботи

1. Зібрати електричне коло відповідно до схеми рис. 1.1.1.
2. З дозволу викладача ввімкнути коло, підібрати оптимальні межі вимірювальних приладів і занести в табл. 1.1 їх паспортні дані.

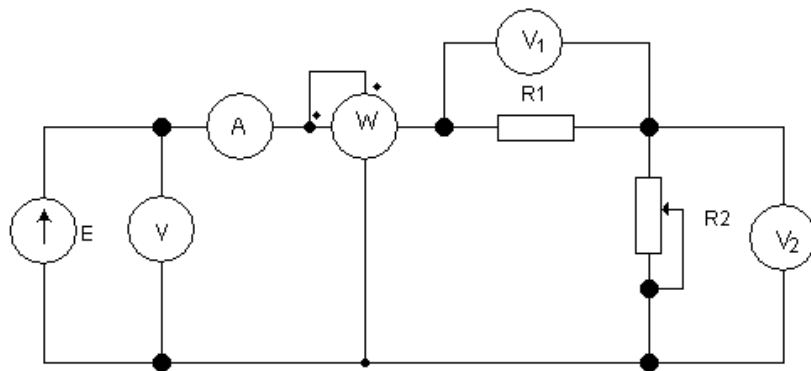


Рис. 1.1.1

Таблиця 1.1

Назва приладу	Система вимірювання	Граничне значення	Ціна поділки	Клас точності

3. Занести покази приладів у перший рядок табл. 1.2.
4. Обчислити абсолютні та відносні похибки вимірювань струму, напруг, потужності та вхідного опору кола.
5. Записати межі дійсних значень вимірювальних величин та відносних похибок відповідно в другий і третій рядки табл. 1.2.

Таблиця 1.2

№ рядка	$I$	$U$	$U_1$	$U_2$	$P$	$R_{ex}$
1						
2						
3						
4						

6. Побудувати експериментальну модель електричного кола в середовищі *EWB* (рис. 1.1.2) з параметрами аналогічними до схеми рис. 1.1.1. Результати вимірювання занести в четвертий рядок табл. 1.2.

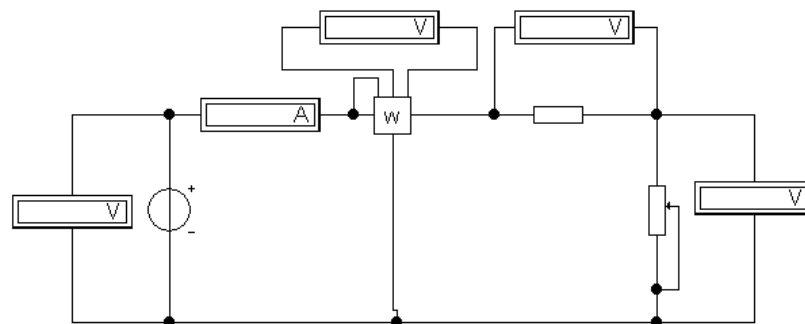


Рис. 1.1.2

7. Зробити порівняльний аналіз вимірювань реальними і віртуальними приладами середовища *EWB*.

## Контрольні запитання та завдання

1. Назвіть правила увімкнення в коло амперметра, вольтметра та ватметра.
2. Як визначається ціна поділки шкали приладів?
3. Що таке похибки вимірювання та клас точності приладів ?
4. Які особливості використання приладів різних систем вимірювання?
5. Міліамперметром на номінальний струм  $I_n=30 \text{ mA}$  і нормованим спадом напруги на ньому  $U=75 \text{ mV}$  потрібно вимірювати струм до 10 А. Визначити опір зовнішнього шунта до цього приладу та побудувати експериментальну модель довільного електричного кола з вимірюванням струму 10А.
6. Визначити значення додаткового опору, який потрібно приєднати послідовно з міліамперметром (п. 4), щоб можна було виміряти з його допомогою напругу до 150 В та експериментально підтвердити результати розрахунку.

**№ 2. Просте електричне коло постійного струму**

*Мета роботи:* дослідження електричного стану простих електричних кіл постійного струму та освоєння методу їх розрахунку.

**Послідовність виконання роботи**

Для електричного кола, схема якого показана на рис. 1.2.1, відповідно до варіанта завдання (табл. 2.1), виконати такі дії:

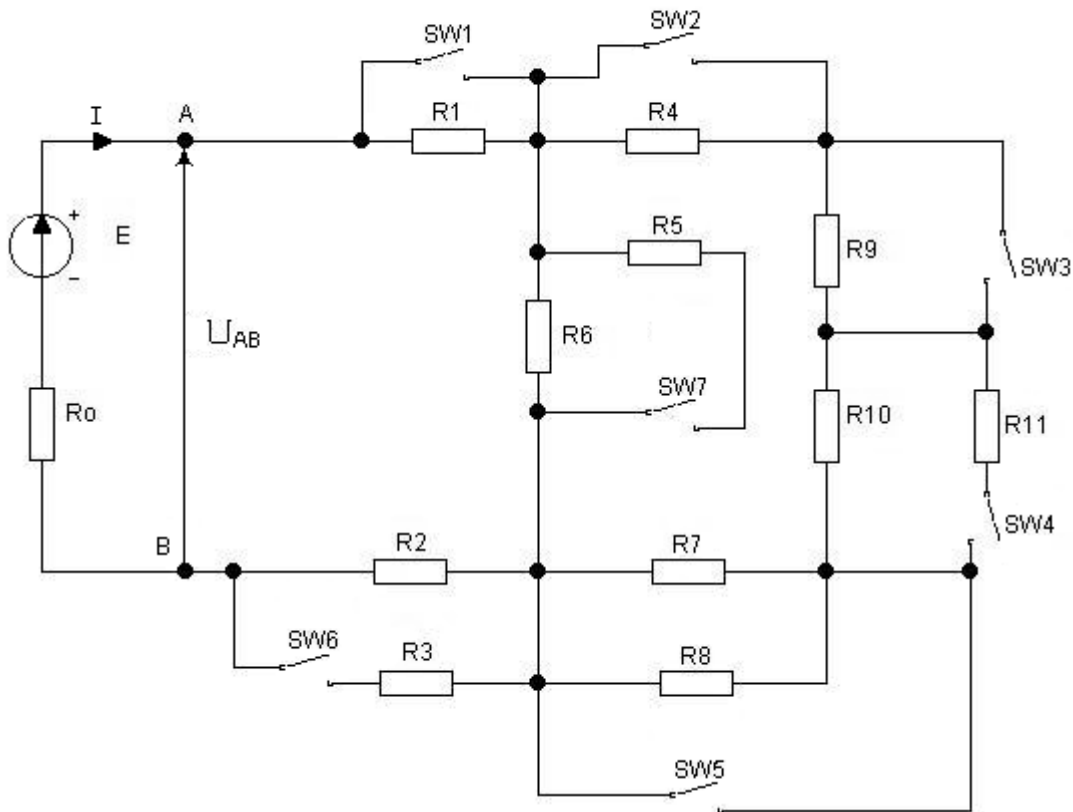


Рис. 1.2.1

Таблиця 2.1

ЕРС, В	Опір, Ом				Стан перемикачів			
	$R_0$	$R_1 \div R_4$	$R_5 \div R_6$	$R_7 \div R_{11}$	1	2	3	4
$E$								
					Всі розімкнені	Замкнені		

1. Обчислити струм  $I$  джерела, напругу  $U_{AB}$  на його затискачах, еквівалентний опір кола  $R_e$  та струм в вітці з опором  $R_6$  відповідно до



## Комп'ютерні технології в електротехніці та електроніці

чотирьох станів перемикачів. Результати розрахунків занести в відповідні стовпці табл. 2.2, ліворуч.

2. За результатами розрахунків побудувати вольт-амперну характеристику джерела.

3. Побудувати експериментальну модель електричного кола з необхідними вимірювальними приладами, а також з перемикачами, керованими відповідними цифровими клавішами (1,2...7), рис. 1.2.2.

Таблиця 2.2

Шукані значення	Результати розрахунку та моделювання							
	Стан перемикачів							
	1	2	3	4	5	6	7	8
$I, A$								
$U_{AB}, B$								
$I_6, A$								
$R_e, Ом$								

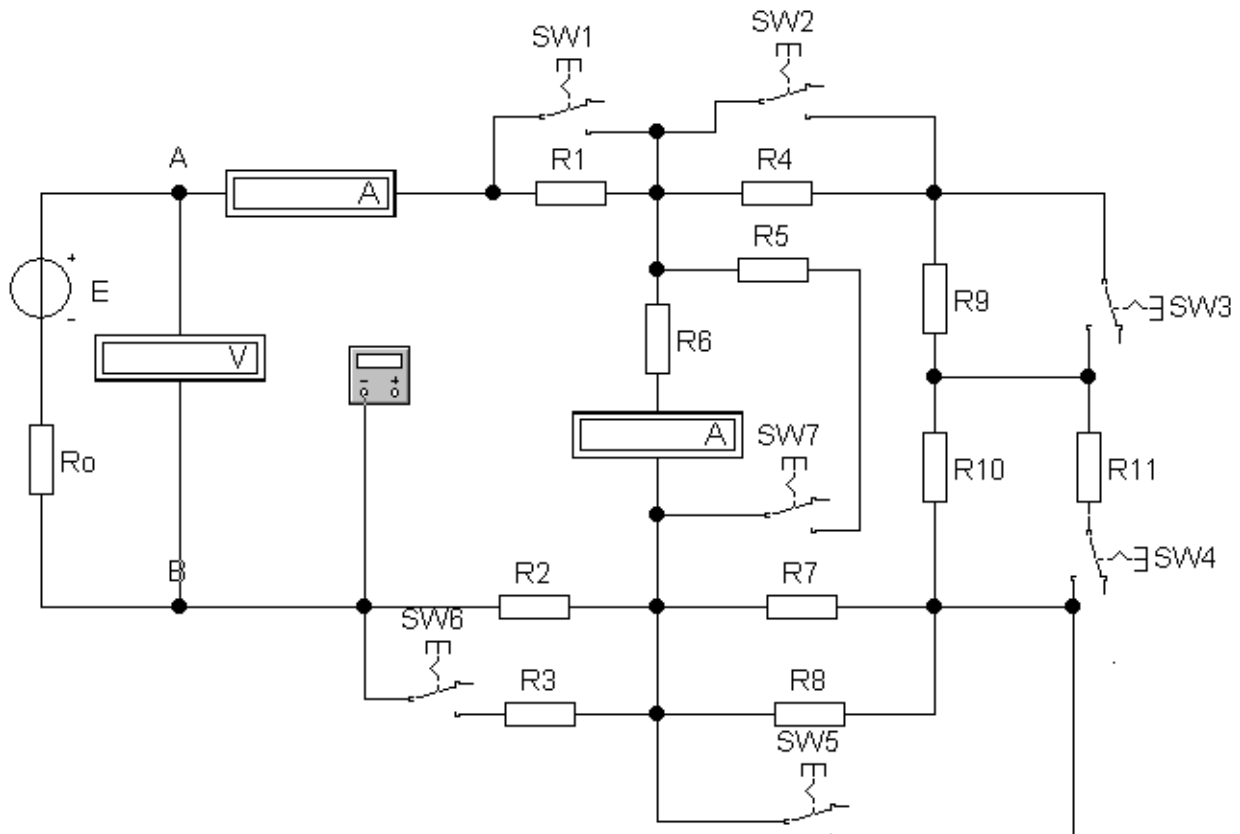


Рис. 1.2.2

4. Провести досліди відповідно до п.1. Результати експериментальних досліджень записати у відповідні стовпці табл. 2.2, праворуч.

## Комп'ютерні технології в електротехніці та електроніці

5. В звіті подати результати моделювання до четвертого стану перемикачів.

### Контрольні запитання та завдання

1. Дайте визначення закону Ома та законів Кірхгофа.
2. За яких умов перетворення в електричних колах буде еквівалентним?
3. В колі, схема якого показана на рис. 1.2.3, джерело з ЕРС  $E=100\text{ В}$  і внутрішнім опором  $R_0=2\text{ Ом}$  живить споживач з опором  $R_1$ . Струм в колі  $I=20\text{ А}$ , а після замикання ключа  $SW$  збільшується до  $25\text{ А}$ .

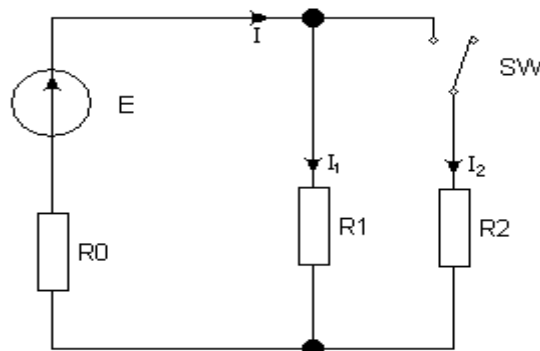


Рис. 1.2.3

За даними параметрів джерела побудувати його зовнішню вольтамперну характеристику і за її допомогою визначити силу струмів  $I_1$  та  $I_2$  в паралельних вітках. Результати розрахунків підтвердити моделюванням кола в середовищі *EWB*.

4. Обчислити еквівалентний (вхідний) опір електричних кіл (рис. 1.2.3) відносно клем А і В. Результати розрахунків перевірити вимірюванням за допомогою мультиметра ( $R=30\text{ Ом}$ ).

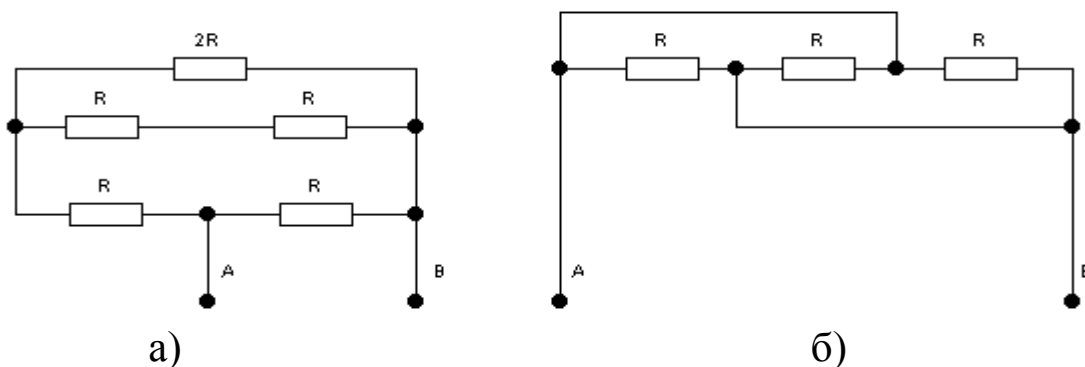


Рис. 1.2.3

5. Підібрати такі потужності ламп розжарювання щоб при утворенні кола (Рис. 1.2.4) всі лампи світилися. Дослідити електричний

## Комп'ютерні технології в електротехніці та електроніці

стан кола. Як вплине зміна потужності лампи  $HL3$  на розжарення ламп  $HL1$  та  $HL2$  (ЕРС та внутрішній опір джерела і потужності ламп взяти довільними).

*Примітка: правильний вибір параметрів ламп буде відповідати становищу, коли вони світять (лампа світить, якщо струм  $I > 0.5 I_{max}$ ; якщо струм  $I < 0.5 I_{max}$  лампа не світить і якщо струм  $I > I_{max}$  лампа перегорає).*

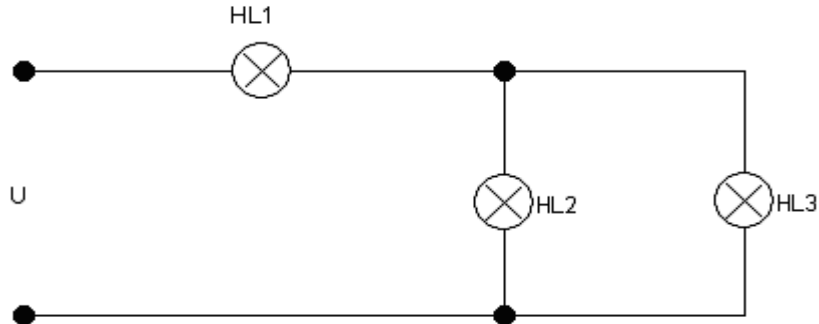


Рис. 1.2.4

### № 3. Складне електричне коло постійного струму

*Мета роботи:* освоєння методів розрахунку та експериментальна перевірка правильності розрахунку складного електричного кола постійного струму.

#### Послідовність виконання роботи

Для електричного кола (Рис. 1.3.1), параметри елементів якого відповідно до варіанту завдання наведені в табл. 3.1, виконати:

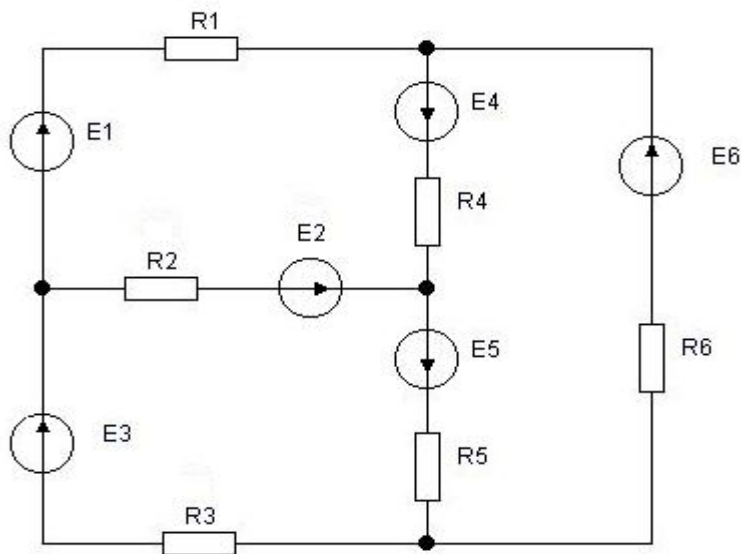


Рис 1.3.1

Таблиця 3.1.

ЕРС, В		Номер вітки до методу екв. генератора	Опір, Ом					
$E$	$E$		$R_1$	$R_2$	$R_3$	$R_4$	$R_5$	$R_6$

1. За методом контурних струмів обчислити струми та їх напрямки у вітках заданого електричного кола. Результати розрахунків, занести до табл. 3.2.

2. Спростити задане електричне коло до двох контурів, використавши перетворення з'єднання трикутником в еквівалентне з'єднання зіркою. Обчислити силу струмів в вітках спрощеного кола за методами рівнянь Кірхгофа, вузлової напруги та накладання дій ЕРС. Результати розрахунків, відповідно до розрахункового методу, занести в табл. 3.3 та 3.4.

3. Обчислити силу струму в заданій вітці електричного кола (рис. 1.2.1) методом еквівалентного генератора (активного двополюсника). Обчислені параметри еквівалентного генератора і значення струму занести в в табл. 3.5.

4. Експериментально дослідити електричне коло (рис. 1.3.1) із ввімкненими амперметрами в кожній його вітці засобами *EWB*. Результати моделювання занести в табл. 3.2.

Таблиця 3.2.

Метод контурних струмів	Струми в вітках, А					
	$I_1$	$I_2$	$I_3$	$I_4$	$I_5$	$I_6$
Результати розрахунку						
Результати моделювання						

5. Побудувати засобами *EWB* експериментальну модель спрощеного до двох контурів електричного кола з ввімкненими амперметрами в кожній його вітці та вольтметром між вузлами. Експериментально визначити струми і напруги методом вузлової напруги. Результати моделювання занести в табл. 3.3.

6. Експериментально визначити струми методом накладання дій ЕРС. Результати моделювання занести в табл. 3.4.

## Комп'ютерні технології в електротехніці та електроніці

Таблиця 3.3.

Метод вузлової напруги	Струми в вітках, $A$			Між вузлова напруга, $B$
	$I$	$I$	$I$	$U$
Результати розрахунків методом рівнянь Кірхгофа				
Результати розрахунків методом вузлової напруги				
Результати моделювання				

Таблиця 3.4.

Метод накладання	Струми в вітках, $A$		
Результати :	$I$	$I$	$I$
розрах. щодо дії ЕРС $E$			
модел. щодо дії ЕРС $E$			
розрах. щодо дії ЕРС $E$			
модел. щодо дії ЕРС $E$			
розрах. щодо дії ЕРС $E$ і $E$ .			
модел. щодо дії ЕРС $E$ і $E$			

7. Побудувати експериментальні моделі і виміряти ЕРС еквівалентного генератора, його внутрішній опір та струм в заданій вітці. Результати моделювання занести в табл. 3.5.

Таблиця 3.5.

Метод екв. генератора	$E_{екв}, B$	$R_{вн}, Ом$	$I, A$
Рез. розрахунків			
Рез. моделювання			

8. Виконати порівняльний аналіз результатів розрахунку та моделювання. Привести у звіті експериментальні моделі відповідно до пп. 4,5,6, та 7.

### Контрольні запитання та завдання

1. Якими критеріями користуються при виборі доцільного методу розрахунку складного електричного кола?
2. Яка послідовність розрахунку струму методом еквівалентного генератора (активного двополюсника)?
3. Зробіть порівняльний аналіз різних методів розрахунку складних електричних кіл.

## Комп'ютерні технології в електротехніці та електроніці

4. Переконайтесь за допомогою експерименту в справедливості еквівалентного перетворення з'єднання «трикутник» в еквівалентну «зірку» (за результатами п.2).

5. Назвіть режими роботи активного двополюсника (еквівалентного генератора). Експериментально дослідіть залежність потужності споживача від його опору  $R$ , рис. 1.3.2 ( $E$ ,  $R^*$  – відповідно ЕРС та внутрішній опір активного двополюсника (еквівалентного генератора)).

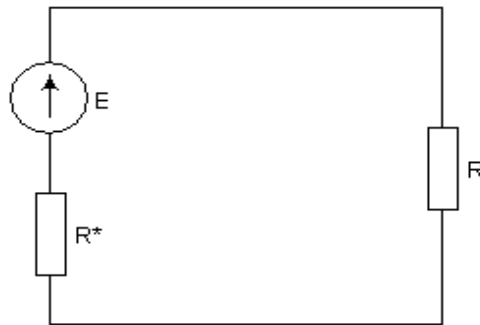


Рис. 1.3.2

### **№ 4. Електричне коло синусоїдного струму з послідовним з'єднанням $R$ , $L$ та $C$ елементів**

*Мета роботи:* дослідження електричного стану, явища резонансу напруг та особливостей застосування другого закону Кірхгофа і закону Ома в розрахунках кіл синусоїдного струму з послідовним з'єднанням активних і реактивних елементів

#### **Послідовність виконання роботи**

Для електричного кола промислової частоти, зображеного на рис. 1.4.1, з параметрами елементів у відповідності з варіантом завдання, наведених у табл. 4.1, виконати наступне:

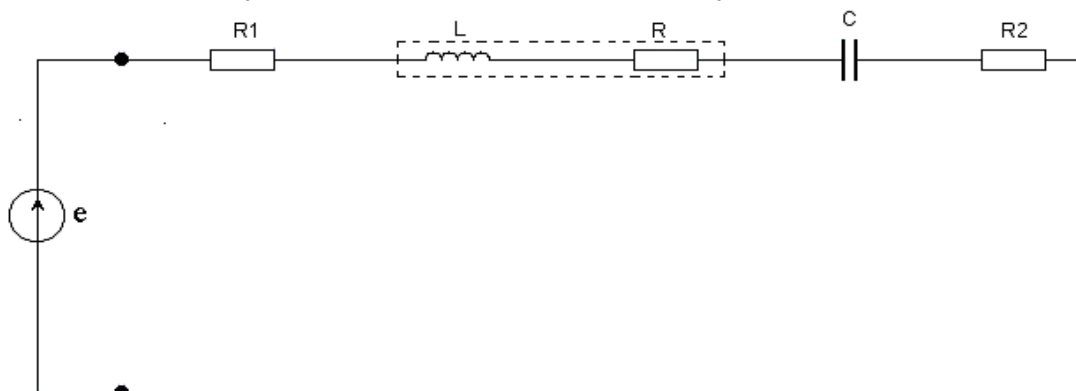


Рис. 1.4.1

## Комп'ютерні технології в електротехніці та електроніці

Таблиця 4.1

ЕРС, $E$	Почат. фаза, $\psi_E$	Опори			Індуктивність, $L$	Ємність, $C$
		$R_1$	$R_2$	$R$		
В	Град	Ом			Гн	μФ

1. Визначити діюче значення струму в електричному колі, напруги на елементах кола, кути зсуву початкових фаз та активні потужності кола і його елементів. Результати розрахунків записати в 1<sup>й</sup> рядок табл. 4.2.

2. Побудувати топографічну векторну діаграму напруг і струму.

3. Записати вирази для миттєвих значень струму в колі і напруг на його елементах.

4. Визначити частоту джерела за якої настане резонанс напруг. Для цього значення частоти визначити діюче значення струму в електричному колі, напруги на елементах кола, кути зсуву початкових фаз та активні потужності кола і його елементів. Результати розрахунків занести в 3<sup>й</sup> рядок табл. 4.2.

5. Побудувати засобами *EWB* експериментальну модель заданого електричного кола з вимірювальними приладами, рис. 1.4.2:

–амперметра, вольтметрів і ватметра для вимірювання струму в колі та відповідних напруг і активних потужностей;

–осцилографа для спостереження часових діаграм напруги на затискачах джерела і струму в колі;

–графобудівника для побудови фазочастотних характеристик.

Таблиця 4.2

Електр. коло	№ рядка	Струм, А	Напруга, В					Кут зсуву, град	Активні потужності, Вт				
			$I$	$U_{R1}$	$U_L$	$U_C$	$U_{R2}$		$U$	$\varphi$	$P_1$	$P_L$	$P_C$
Вихідне	1												
	2												
за умов ре- зонансу	3												
	4												

## Комп'ютерні технології в електротехніці та електроніці

*Примітка: –побудову експериментальної моделі кола починати з розміщення на робочому полі ватметра;*

*–спад напруги на активному опорі  $R_2 = 1$  Ом по формі і значенню відповідає струму в колі.*

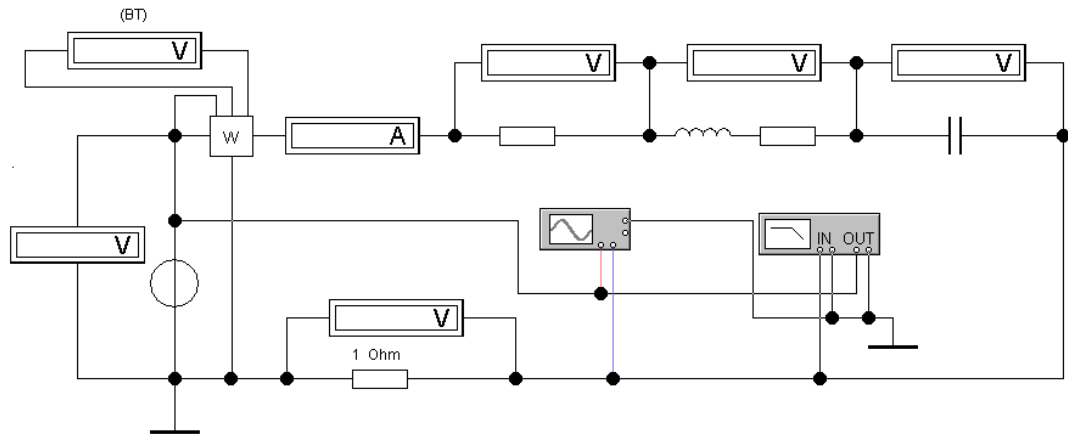


Рис 1.4.2

6. За результатами моделювання:

–записати покази амперметра, вольтметрів та ватметра в 2<sup>й</sup> рядок табл. 4.2.

–порівняти записи миттєвих значень струму та напруг (п. 3) з осцилограмами цих же величин;

–визначити кут зсуву фаз між струмом в колі і напругою на його затискачах за допомогою візирних ліній розширеної моделі осцилографа. Значення кута зсуву фаз записати в 2<sup>й</sup> рядок табл. 4.2.

7. Встановити в експериментальній моделі частоту джерела, що відповідає режиму резонансу напруг. Визначити за показами вимірювальних приладів діючі значення струму у колі і напруг на елементах кола, а також початкові фази напруг на елементах кола. Результати моделювання записати в 4<sup>й</sup> рядок табл. 4.2.

8. Дослідити частотні характеристики кола: залежність кута зсуву фаз та повного опору кола від частоти ( $\varphi = \Psi(f)$  і  $Z = \Psi(f)$ ). Частотний діапазон визначити самостійно відносно резонансної частоти та зафіксувати показання візирних ліній відповідно до промислової і резонансної частот.

9. Порівняти результати розрахунків та моделювання і зробити висновки. В звіті привести експериментальні моделі та результати моделювання відповідно до пунктів п.6, 7 та п.8.



## Контрольні запитання та завдання

1. Якими параметрами характеризуються синусоїдні електричні величини і які існують форми їх зображення?
2. У якій послідовності будується топографічна векторна діаграма напруг?
3. Назвіть умову виникнення резонансу напруг. Яке співвідношення між напругами на елементах електричного кола у режимі резонансу напруг? До яких негативних наслідків може призвести резонанс напруг в енергетиці і де його використовують свідомо?
4. Дослідити амплітудні та фазові співвідношення між струмом у колі та напругами на резисторі ( $R$ ), індуктивності ( $L$ ) та ємності ( $C$ ) в такій послідовності:
  - розрахуйте діюче значення струму і порівняйте їх з показами амперметра (параметри джерела синусоїдної ЕРС та  $R$ ,  $L$ , і  $C$  елементів взяти довільно);
  - визначте за допомогою осцилографа зсув початкових фаз між струмом і напругою на затискачах відповідного елемента.
5. В колі з'єднані послідовно опір  $R$ , індуктивність  $L=0.015$  Гн та ємність  $C$  і живляться від джерела синусоїдної напруги  $U=220$  В частоти  $f=50$  Гц. Струм у колі  $I=11$  А, активна потужність  $P=300$  Вт. Визначити значення активного опору і ємності та переконатись в справедливості розрахунків за допомогою досліду.

## № 5. Коло однофазного синусоїдного струму зі змішаним з'єднанням активних і реактивних елементів

*Мета роботи:* дослідження електричного стану, проблеми підвищення коефіцієнта потужності споживачів та опанування символічним методом розрахунку електричних кіл.

### Послідовність виконання роботи

Споживачі з активним і активно-індуктивним характером навантаження з'єднані лінією електропередач з ідеальним джерелом ЕРС промислової частоти, рис. 1.5.1. Відповідно до вихідних даних, таблиця 5.1, виконати:

## Комп'ютерні технології в електротехніці та електроніці

1. Обчислити діючі значення струмів, ЕРС джерела, спад напруги в лінії, а також коефіцієнт потужності споживача. Результати розрахунку записати в 1<sup>й</sup> рядок табл. 5.2.

2. Побудувати сумісну топографічну векторну діаграму напруг та векторну діаграму струмів.

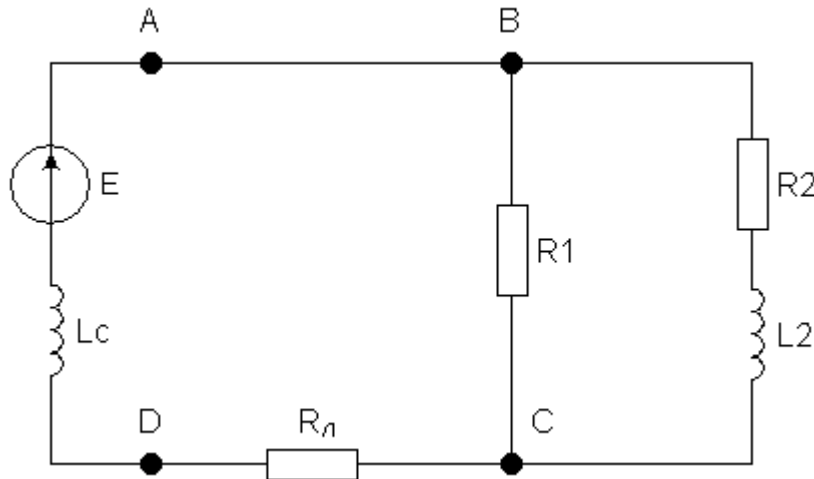


Рис. 1.5.1

Таблиця 5.1

Напруга, $U_{вс}$ , В	Опори, Ом			Індуктивність, Гн		Коефіцієнт потужності, в.о. $\cos \varphi_k$
	$R_L$	$R_1$	$R_2$	$L_C$	$L_2$	

3. Записати вирази для миттєвих значень струму у нерозгалуженій частині кола, напруги на споживачах та ЕРС джерела.

4. Визначити значення компенсаційної ємності  $C_k$ , приєднання якої паралельно до споживачів забезпечить заданий коефіцієнт потужності,  $\cos \varphi_k$ . Визначити діючі значення сили струмів у вітках кола, ЕРС джерела, спад напруги в лінії електропередач та коефіцієнт потужності споживача з компенсаційною ємністю. Результати розрахунків занести в 3<sup>й</sup> рядок табл. 5.2.

5. Побудувати модель електричного кола з необхідними вимірювальними приладами (рис. 1.5.2), встановивши параметри електричного кола згідно з даними табл.5.1. Покази вимірювальних приладів записати в 2<sup>й</sup> рядок табл. 5.2.

6. Проаналізувати осцилограми часових діаграм струму у нерозгалуженій частині кола, напруги на споживачах та ЕРС джерела і порівняти їх із значеннями, обчисленими теоретично в п.3.

## Комп'ютерні технології в електротехніці та електроніці

7. У моделі електричного кола приєднати паралельно до споживачів компенсуючу ємність  $C_K$  і виміряти силу струмів у вітках кола, ЕРС джерела, спад напруги в лінії електропередач, коефіцієнт потужності споживача. Результати занести в 4<sup>й</sup> рядок табл. 5.2.

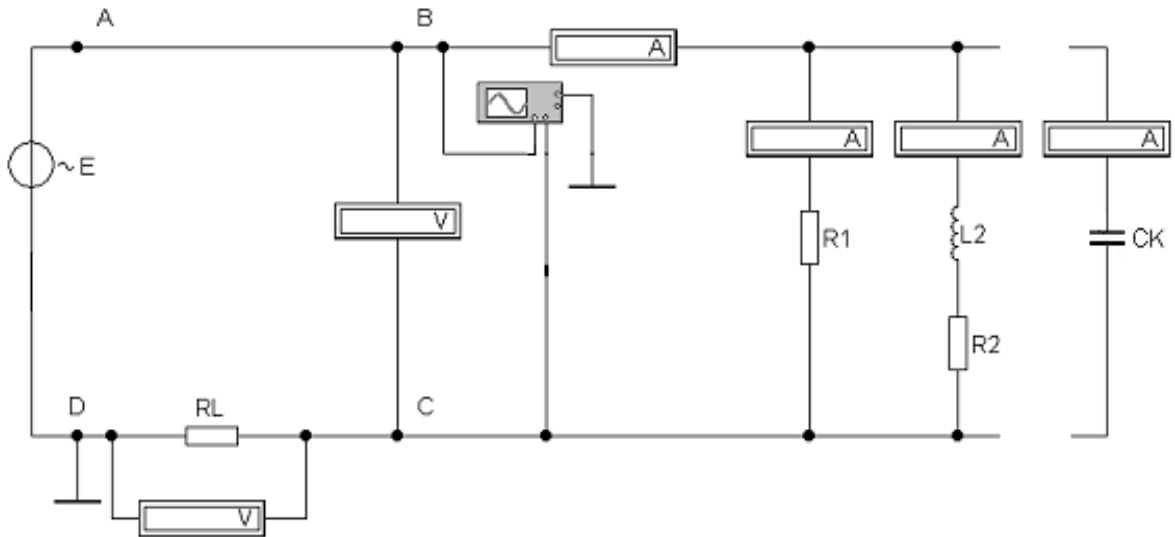


Рис. 1.5.2

Таблиця 5.2

Електр. коло	№ рядка	Струми, А			ЕРС та напруга, В		Коеф. потужності, в.о. $\cos\varphi$
		$I$	$I_1$	$I_2$	$E$	$U_L$	
З вихід. параметр.	1						
	2						
З комп. ємні-стю.	3						
	4						

8. Порівняти результати розрахунків та моделювання і зробити висновки.

9. В звіті навести експериментальні моделі відповідно до п.5 і 7.

### Контрольні запитання та завдання

1. У якій послідовності розраховують електричні кола символічним методом?
2. У чому полягає проблема коефіцієнта потужності і як її вирішують?
3. Яка умова виникнення резонансу струмів?
4. Дослідіть амплітудні та фазові співвідношення між напругою на затискачах паралельно з'єднаних  $RLC$  елементів і струмом в нерозгалуженій частині кола, рис. 1.5.3 ( $R = 10 \text{ Ом}$ ,  $L = 0.06 \text{ Гн}$  і  $C = 1000 \text{ мкФ}$ ,  $U = 220 \text{ В}$ ) в такій послідовності:

– обчисліть діюче значення струму в нерозгалуженій частині кола і порівняйте його з показом амперметра;

– отримайте частотні характеристики кола: залежність кута зсуву початкових фаз та повної провідності кола від частоти ( $\varphi = \Psi(f)$  і  $Y = \Psi(f)$ ). Частотний діапазон вибрати самостійно відносно резонансної частоти;

– за частотними характеристиками знайдіть значення кута зсуву початкових фаз і повної провідності кола для промислової і резонансної частот.

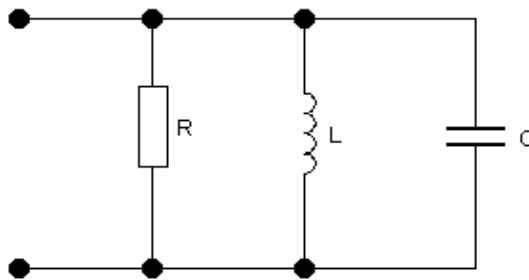


Рис. 1.5.3

5. На рис. 1.5.4 показана схема електричного кола промислової частоти з параметрами:  $U = 220 \text{ В}$ ,  $R1 = 4 \text{ Ом}$ ,  $Z1 = 5 \text{ Ом}$ ,  $R2 = 12 \text{ Ом}$ ,  $Z2 = 20 \text{ Ом}$ . Обчислити величини  $C1$ ,  $L2$ , загальні потужність і струм та струми в кожній вітці. Перевірте результати розрахунків моделюванням кола.

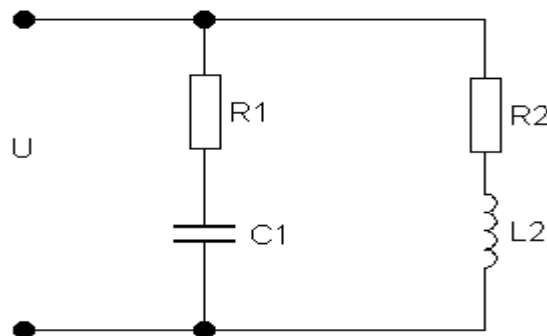


Рис. 1.5.4

## № 6. З'єднання зіркою в трифазному колі

*Мета роботи:* дослідження електричного стану трифазного електричного кола з три- та чотири провідною лінією електропередачі з різними за значенням і характером навантаженнями.

### Послідовність виконання роботи

Дослідити електричне коло трифазного струму промислової частоти і напруги 380/220 В, рис. 1.6.1.

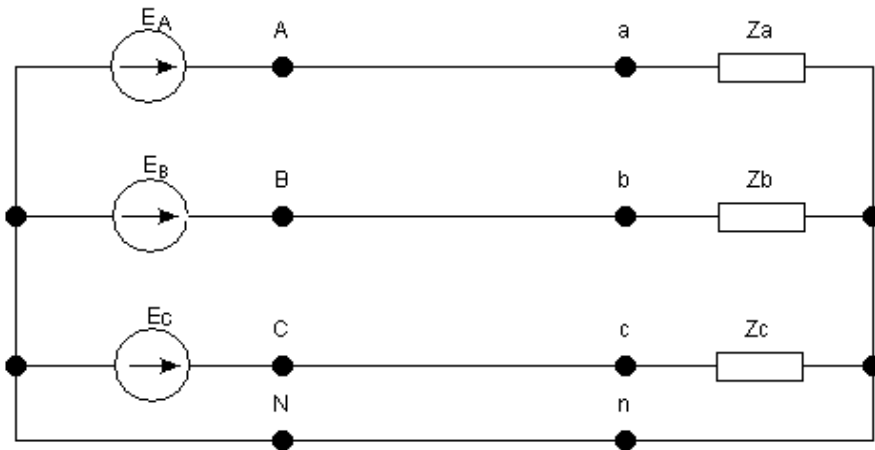


Рис 1.6.1

Таблиця 6.1.

Н а в а н т а ж е н н я   ф а з		
А	В	С
Електрична лампа	1. У колі з симетричним споживачем і активним характером навантаження. 2. У колі з несиметричним споживачем і активним характером навантаження. Щоб зробити споживач несиметричним, слід потужність електричних ламп в фазі В збільшити на____%, а в фазі С зменшити на____% відносно потужності лампи фази А. 3. У колі з різним за значенням і характером навантаженням фаз. Встановити опір приймачів в фазах В і С такими, як в п.2,– тільки відповідно з активно–індуктивним та активно–ємнісним характером навантаження і наступними коефіцієнтами потужності приймачів: $\cos \varphi_B = \underline{\hspace{2cm}}$ , $\cos \varphi_C = \underline{\hspace{2cm}}$ .	
$P_H$ Вт		
$U_H$ В		

Відповідно до даних табл. 6.1 виконати наступне:

## Комп'ютерні технології в електротехніці та електроніці

1. Обчислити струми, напруги та споживану потужність в фазах кола з нульовим та без нульового проводу і навантаженнями відповідно до п.1,2 і 3, табл. 6.1.

2. Результати розрахунків записати в відповідні рядки табл. 6.2.

3. За результатами розрахунків побудувати сумісні топографічні векторні діаграми напруг і струмів, користуючись якими визначити:

- струми у нульовому проводі  $I_n$  для всіх режимів навантаження кола з нульовим проводом;
- напруги зсуву нейтралі  $U_{nN}$  для всіх режимів навантаження кола без нульового проводу.

*Таблиця 6.2.*

№	Режим навантаження	Потужність, Вт			Напруга, В				Струм, А			
		$P_a$	$P_b$	$P_c$	$U_a$	$U_b$	$U_c$	$U_{nN}$	$I_a$	$I_b$	$I_c$	$I_n$
1	Акт. симетричне з нульов.проводом											
2	Теж без нульового проводу											
3	Акт. несиметричне з нульовим проводом											
4	Теж без нульового проводу											
5	Несим. з різним характ. навантаження і нульовим проводом											
6	Теж без нульового проводу											

4. Змоделювати розраховані у попередніх пунктах електричні трифазні системи засобами *EWB*. Побудувати модель трифазного електричного кола з необхідними вимірювальними приладами, рис. 1.6.2.

**Примітка:**

- побудову експериментальної моделі кола починати з розміщення на робочому полі ватметра;
- в лінійних провідниках кола встановити запобіжники.

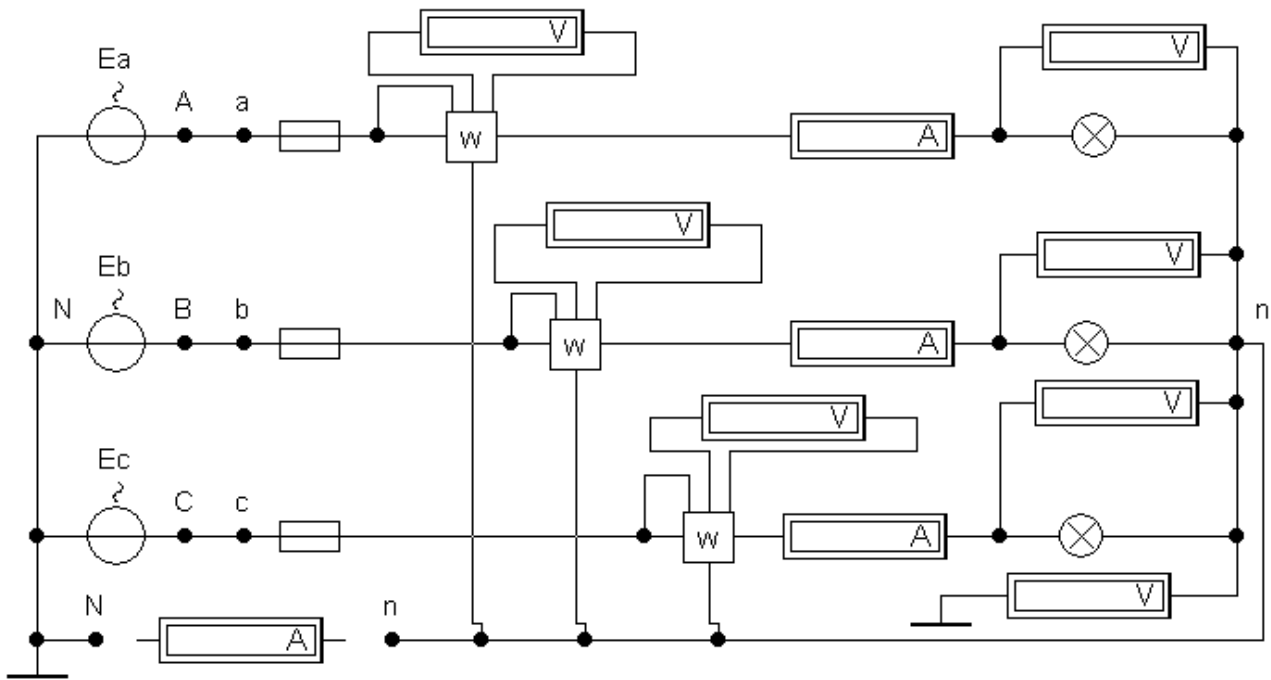


Рис. 1.6.2

5. Визначити струм плавкої вставки запобіжників за умови:  $I_{вст.} = 1.7I$  ( $I$  – відповідно діючі значення струмів, одержаних в п. 1).

6. Експериментально визначити засобами *EWB* відповідно до моделі трифазного кола, наведеного на рис. 1.6.2 діючі значення фазних і лінійних струмів, напруг та потужностей споживачів у фазах у всіх режимах роботи, вказаних у табл. 6.1. Покази вимірювальних приладів записати в нижні рядки табл. 6.2.

7. Результати моделювання відповідно до режимів навантаження п.3 (табл. 6.1) подати у звіті в вигляді рис. 1.6.2.

### Контрольні запитання та завдання

1. Що таке трифазні електричні кола та які схеми з'єднання джерел і споживачів використовують в них?

2. Яке призначення нульового проводу? Чому в ньому не ставлять запобіжник?

3. Що називають зсувом нейтралі? В яких випадках він виникає?

4. Дослідіть аварійні режими (обрив та коротке замикання фази  $a$ ) на прикладі трифазного симетричного споживача, з'єданого зіркою (п.1, табл. 6.1).

## Комп'ютерні технології в електротехніці та електроніці

5. Визначте за допомогою векторних діаграм та переконайтесь за допомогою експерименту значення лінійних напруг трифазного генератора, якщо обмотка фази  $B$  з'єднана невірно (кінці обмоток фаз  $A$  і  $C$ , відповідно  $X$  і  $Z$ , з'єднані з початком обмотки фази  $B$ ).

### № 7. Перехідні процеси в електричних колах

*Мета роботи:* дослідження перехідних процесів в лінійних електричних колах з одним накопичувачем електричної енергії і з'ясування впливу параметрів кола на тривалість та характер перехідних процесів.

#### Послідовність виконання роботи

Для електричних кіл, що на рис. 1.7.1 у відповідності до вихідних даних (табл. 7.1) виконати такі дії:

1. Написати вирази для струму та спадів напруг на елементах кіл в перехідних режимах при приєднанні їх до джерел постійної ЕРС (ключі 1 замкнені, 2–розімкнені) та короткому замиканні (ключі 1 розімкнені, 2–замкнені).

2. Обчислити миттєві значення струму і спаду напруги на елементах кола для моментів часу  $t=\tau, 2\tau, 3\tau, 4\tau, 5\tau$  ( $\tau$ –стала часу). Результати обчислень записати в відповідні верхні рядки табл. 7.2.

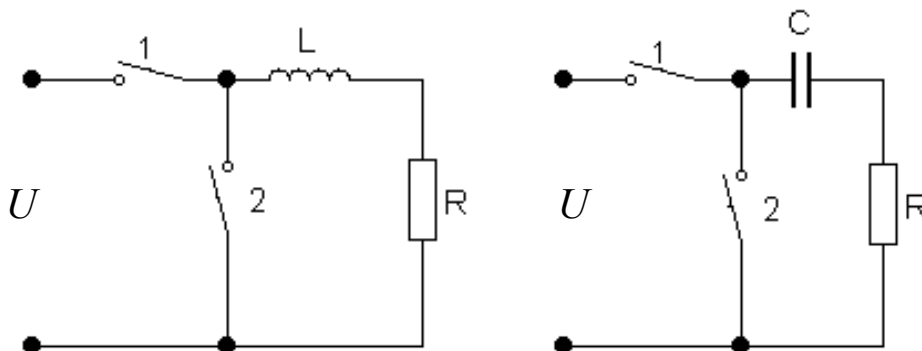


Рис. 1.7.1

3. Побудувати залежності від часу струму і напруг на елементах окремо для кожного кола.

4. Побудувати експериментальну модель електричних кіл для дослідження перехідних процесів з постійною ЕРС (рис. 1.7.2) та виконати наступне:



## Комп'ютерні технології в електротехніці та електроніці

Таблиця 7.1

Напруга $U$ , В	Опір $R$ , Ом	Індуктивність $L$ , Гн	Ємність $C$ , μФ

Таблиця 7.2

Момент часу $t$ , сек	RL–коло			RC–коло		
	Струм $i(t)$ , А	Напруга		Струм $i(t)$ , А	Напруга	
		у <sub>R</sub> ( $t$ ), В	у <sub>L</sub> ( $t$ ), В		у <sub>R</sub> ( $t$ ), В	у <sub>C</sub> ( $t$ ), В
$\tau$						
$2\tau$						
$3\tau$						
$4\tau$						
$5\tau$						

–визначити за допомогою візирних ліній на осцилограмах перехідних процесів миттєві значення струмів і напруг у колі і переконатись в правильності розрахунків, одержаних в п. 2 (осцилограми одержати за допомогою команди *Display Graph* меню *Analysis*); миттєві значення змінних записати в відповідні нижні рядки табл. 7.2.

–оцінити вплив параметрів електричних кіл на тривалість перехідних процесів для чого збільшити (зменшити) параметри кіл  $L$  ( $C$ ), або  $R$  вдвоє.

5. Записати рівняння для струму в  $RL$ –колі та напруги на ємності в  $RC$ –колі при приєднанні їх до джерел синусоїдальної ЕРС та визначити їх максимальні і мінімальні значення в перехідному режимі.

6. Побудувати експериментальну модель електричних кіл для дослідження перехідних режимів з синусоїдальною ЕРС (замінити джерело постійної ЕРС синусоїдальною, рис. 1.7.2). Визначити за допомогою візирних ліній на осцилограмах перехідних процесів миттєві значення струмів і напруг у колі і переконатись в правильності розрахунків, одержаних в п. 2 і п. 5.

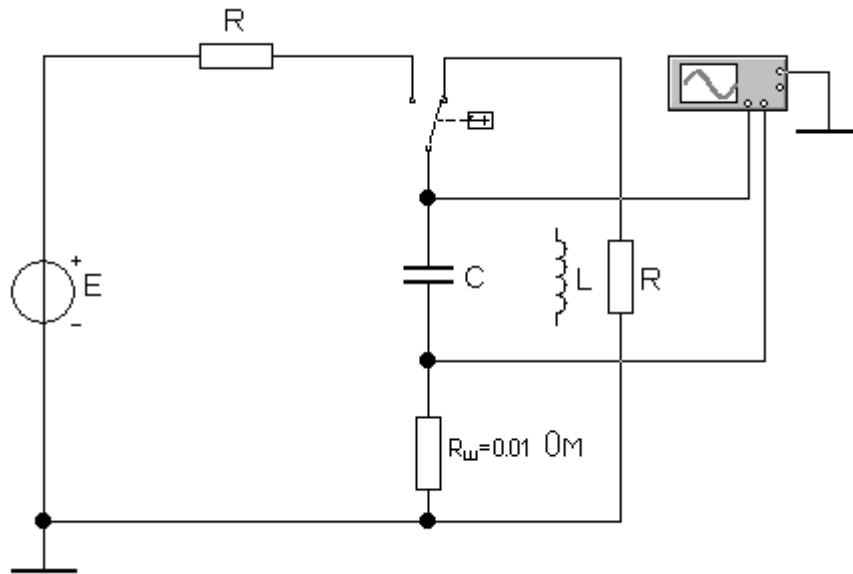


Рис. 1.7.2

7. У звіті навести експериментальні моделі електричних кіл з постійною і синусоїдною ЕРС відповідно до п.4 та 6 та осцилограми з показами курсорів в контрольних точках.

*Примітка: Для реалізації в експериментальній моделі функцій комутації використати реле часу, яке знаходиться в полі компонент Basic. Час початку (момент комутації -TON) і кінця (TOFF) дослідження перехідних процесів визначити з урахуванням сталих часу. В дослідженні перехідних процесів в колах з синусоїдальною ЕРС момент комутації (TON) зручно установити рівним періоду ЕРС.*

### Контрольні запитання та завдання

1. Які процеси в електричних колах називають перехідними, за яких умов вони виникають і від яких параметрів кола залежить тривалість цих процесів?

2. Сформулюйте закони комутації.

3. Від чого залежить тривалість перехідних процесів? Що таке стала часу і як її визначають?

4. Дві паралельні вітки ( $L=0.1$  Гн,  $R_1=R_2=10$  Ом) приєднуються до джерела постійної напруги  $U=100$  В, рис. 1.7.3. Визначити ємність  $C$  за умови незмінності струму джерела в перехідному і усталеному режимах та експериментально підтвердити результати розрахунків.

5. Визначити сталі значення струмів у всіх вітках електричного кола (рис. 1.7.3) та напруг на індуктивності  $L$  і ємності  $C$  по закінченню перехідного процесу. Порівняти результати розрахунку з результатами експериментального дослідження.

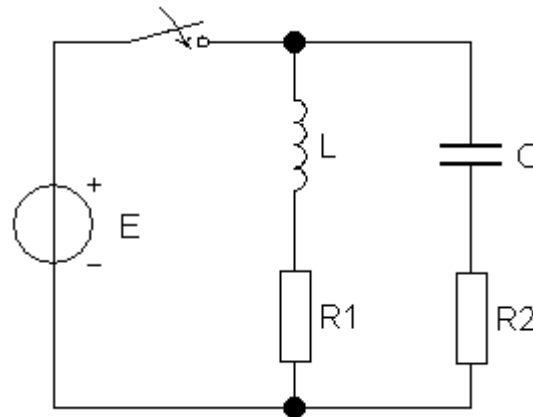


Рис. 1.7.3

### № 8. Лінійні електричні кола з несинусоїдними ЕРС

*Мета роботи:* Освоєння розрахунку та дослідження електричного стану лінійних електричних кіл з несинусоїдними ЕРС і впливу характеру параметрів електричного кола на форму несинусоїдного струму.

#### Послідовність виконання роботи

Для електричного кола, схема якого наведена на рис. 1.8.1, у відповідності до варіанту завдання (див. вихідні дані та результати дослідження лабораторної роботи №5, п.4) виконати такі дії:

1. Подати діюче значення ЕРС рядом Фур'є з першою та третьою гармоніками (40 відсотків третьої гармоніки відносно першої) з нульовими початковими фазами.

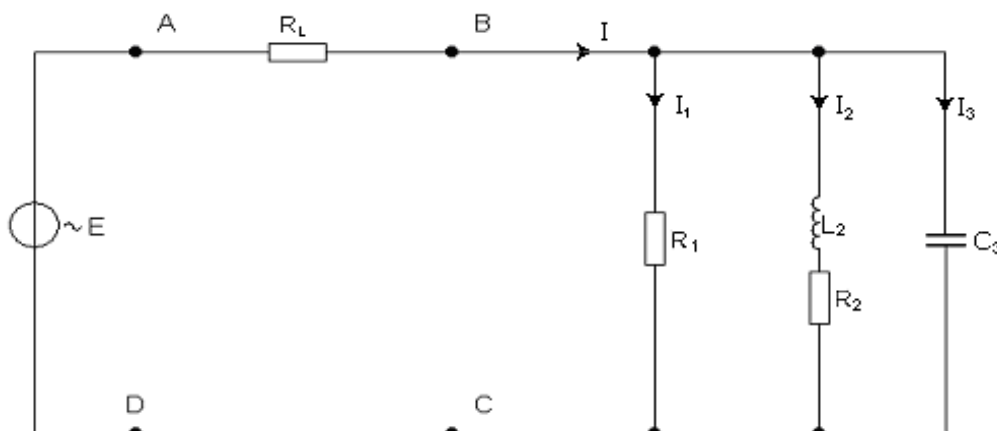


Рис. 1.8.1

## Комп'ютерні технології в електротехніці та електроніці

2. Обчислити діючі значення струмів, напруг та активних потужностей в вітках електричного кола. Результати розрахунків записати в верхній рядок табл. 8.1.

Таблиця 8.1.

Струми, А			Напруги, В			Потужності, Вт			
$I$	$I_1$	$I_2$	$I_3$	$U_{AD}$	$U_{AB}$	$U_{BC}$	$P_{AD}$	$P_{AB}$	$P_{BC}$

3. Записати миттєві значення ЕРС та струмів в гілках електричного кола.

4. Побудувати модель електричного кола з потрібними вимірювальними приладами, рис. 1.8.2. Покази вимірювальних приладів записати в нижній рядок табл. 8.1.

5. Дослідити вплив характеру параметрів електричного кола на форму несинусоїдного струму. Для цього порівняти осцилограми напруг на затискачах споживачів  $u_{BC}$  з осцилограмами струмів  $i_1$ ,  $i_2$  та  $i_3$ .

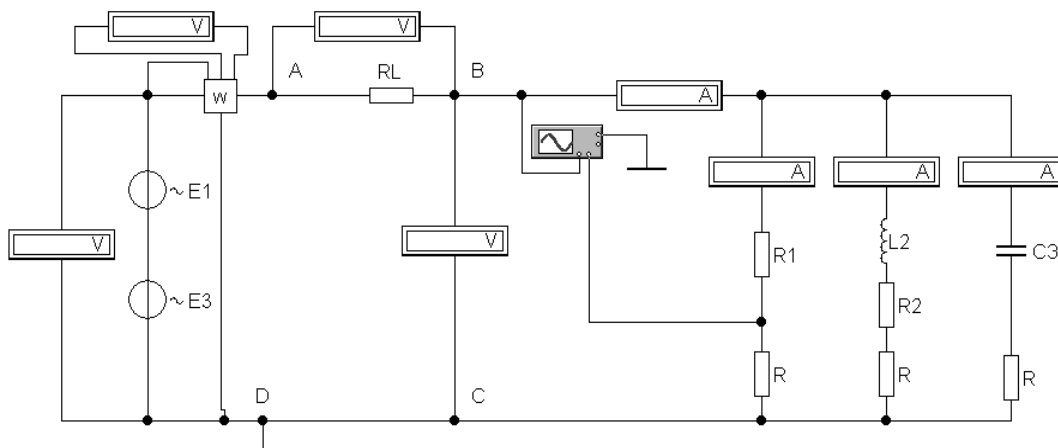


Рис. 1.8.2

**Примітка:**– несинусоїдну ЕРС замінити джерелами синусоїдних ЕРС з параметрами згідно ряду Фур'є з'єднаними послідовно;

– додаткові опори  $R$  в вітках споживачів встановити в діапазоні  $0.01...0.001$  Ом, оскільки такі їх значення практично не будуть впливати на результати моделювання, а спад напруги на них відповідатиме формі кривих струмів.

6. Порівняти результати розрахунків та моделювання. У звіті навести експериментальну модель електричного кола з показами вимірювальних приладів і осцилограми відповідно до п. 5.

### Контрольні запитання та завдання

1. Які причини виникнення несинусоїдного струму?
2. За якими формулами визначають потужності та діючі значення напруг і струмів в колах несинусоїдного струму?
3. Якими коефіцієнтами характеризують несинусоїдні струми, напруги та ЕРС?
4. Котушка з активним опором  $R=10 \text{ Ом}$  і індуктивністю  $L=33 \text{ мГн}$  приєднана до ідеального джерела несинусоїдної ЕРС  $e=10+20\sin\omega t+12\sin3\omega t \text{ В}$ . Визначити активну потужність, діюче значення струму та записати вираз для його миттєвого значення. Експериментально підтвердити результати розрахунків.
5. Ввімкнути паралельно котушці (завдання 4) конденсатор ємністю  $C=31 \text{ мкФ}$  і виконати дії відповідно до завдання 4. Зробити сумісний аналіз результатів дослідження котушки відповідно до завдань 4 і 5.

### № 9. Однофазні випрямлячі

*Мета роботи:* Дослідження одно і двонапівперіодних однофазних випрямлячів та вплив на випрямлену напругу згладжувальних фільтрів.

#### Послідовність виконання роботи

1. Побудувати експериментальну модель однонапівперіодного випрямляча з однофазним трансформатором (використати модель ідеального трансформатора) та вимірювальними приладами: осцилографу для спостереження напруг на вторинній обмотці трансформатора  $u_2$  і на навантаженні  $u_d$ , вольтметрів для вимірювання діючого значення напруги на вторинній обмотці трансформатора  $U_2$  і постійної складової напруги на навантаженні  $U_d$  та амперметра для вимірювання постійної складової струму навантаження  $I_d$ , рис. 1.9.1.
2. Виконати дослідження однопівперіодного випрямляча без згладжувального фільтра:
  - визначити і установити коефіцієнт трансформації трансформатора, приєданого до мережі промислової частоти напруги  $U=220 \text{ В}$  за умови забезпечення постійної складової напруги на вибраному опорі навантаження  $U_d=12 \text{ В}$ ;

## Комп'ютерні технології в електротехніці та електроніці

–одержати і проаналізувати осцилограми напруг на вторинній обмотці трансформатора  $u_2$  і на навантаженні  $u_d$ ;

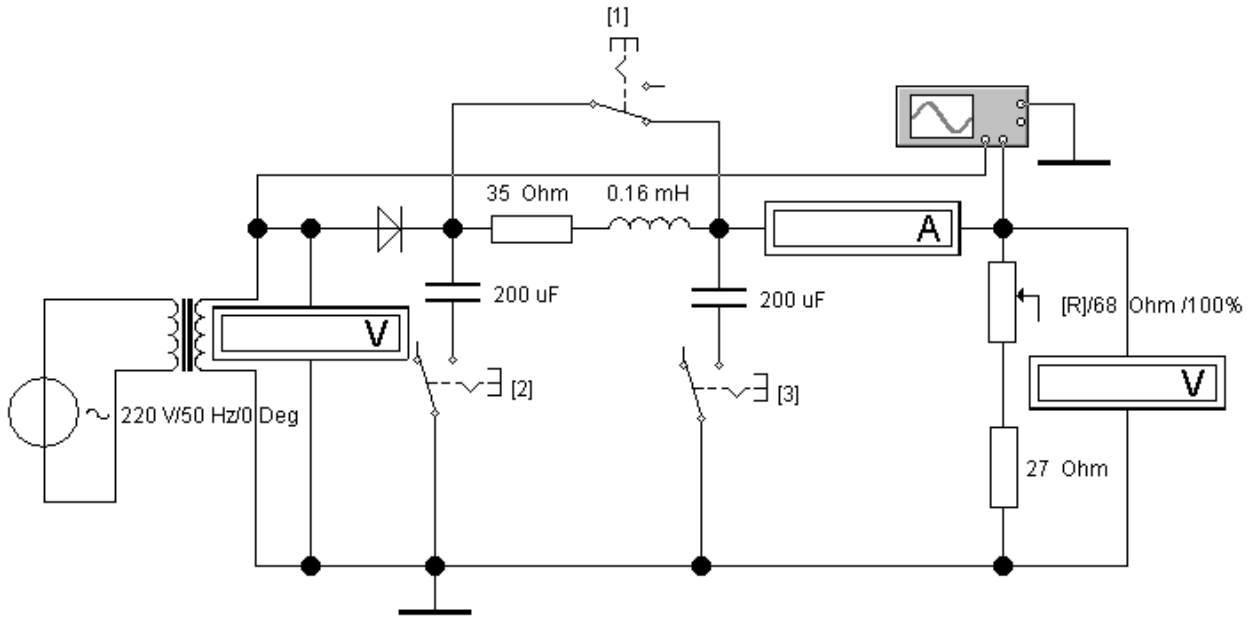


Рис. 1.9.1

–записати діюче значення напруги на вторинній обмотці трансформатора  $U_2$  та постійних складових напруги (середнього значення) на навантаженні  $U_d$  і струму  $I_d$  в табл. 9.1;

–одержати дискретний спектр ряду Фур'є напруги на навантаженні і за його допомогою визначити коефіцієнт пульсацій (меню *Analysis* → *Fourier...*) та записати його значення в табл. 9.1;

–не змінюючи напругу на вторинній обмотці трансформатора і опору навантаження виконати аналогічні дослідження випрямляча з  $L$ ,  $C$  та  $CLC$  фільтрами.

Таблиця 9.1

Схема випрямляча	Тип згладжувального фільтра	Напруга, В			Струм, А	Коефіцієнт пульсацій	Коефіцієнт згладжування
		$U_2$	$U_d$	$U_{m1}$	$I_d$		
Однонапівперіодний випрямляч	Без фільтра						
	$L$ -фільт						
	$C$ -фільт						
	$LC$ -фільтр						
	$CLC$ -фільтр						
Двонапівперіодний випрямляч	Без фільтра						
	$L$ -фільт						
	$C$ -фільт						
	$LC$ -фільтр						
	$CLC$ -фільтр						

## Комп'ютерні технології в електротехніці та електроніці

3. Зняти зовнішні характеристики однонапівперіодного випрямляча  $U_d=f(I_d)$  при  $U_2 = const$  без фільтра і з  $CLC$ -фільтром. Змінюючи опір навантаження, одержати 6 вимірів, включаючи режим холостого ходу. Режим холостого ходу випрямляча забезпечити установленням значного опору навантаження, наприклад 1 МОм. Показання приладів записати в табл. 9.2.

Таблиця 9.2

Схема випрямляча		Вимірювальна величина	Номер вимірювання					
			1	2	3	4	5	6
Однонапівперіодний випрямляч	без фільтра	$U_d, B$						
		$I_d, A$						
	з $CLC$ -фільтром	$U_d, B$						
		$I_d, A$						
Двонапівперіодний випрямляч	без фільтра	$U_d, B$						
		$I_d, A$						
	з $CLC$ -фільтром	$U_d, B$						
		$I_d, A$						

4. Побудувати експериментальну модель двонапівперіодного випрямляча в якій використати модель ідеального трансформатора з середньою точкою, рис. 1.9.2.

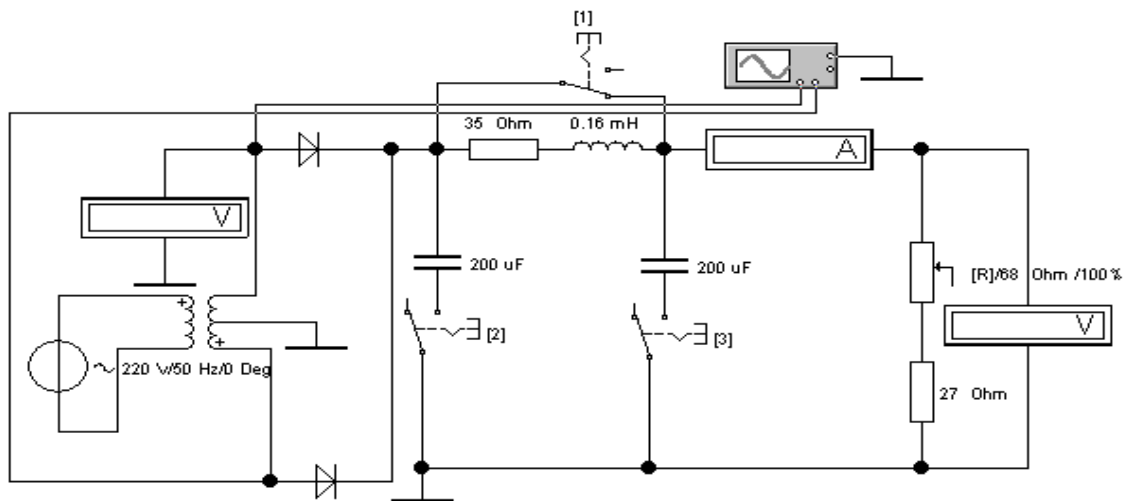


Рис. 1.9.2

5. Виконати аналіз осцилограм напруг на вторинних обмотках трансформатора відносно середньої точки та виконати дослідження відповідно до п. 2 і 3. Результати досліджень записати в табл. 9.1 і 9.2.

## Комп'ютерні технології в електротехніці та електроніці

6. Визначити коефіцієнти згладжування фільтрів випрямлячів та записати їх значення в табл. 9.1.

7. В звіті зробити порівняльний аналіз схем випрямлячів та подати результати моделювання одно і двонапівперіодного випрямлячів відповідно до п.2 і 4 у вигляді рис. 1.9.1 і 1.9.2 (для випрямлячів без і з *CLC* фільтром з осцилограмами напруг на вторинній обмотці трансформатора  $u_2$  та на навантаженні  $u_d$  та з результатами дискретного спектру ряду Фур'є).

### Контрольні запитання та завдання

1. Пояснити принцип дії одно– і двонапівперіодних схем випрямлячів.

2. Якими чинниками визначають якість випрямлячів?

3. Назвіть основні типи згладжувальних фільтрів і пояснити згладжувальну дію  $L$  і  $C$  елементів.

4. Дослідити вольт–амперну характеристику ідеального діода середовища *EWB*: визначити статичний та динамічний опори для довільно вибраної робочої точки вольт–амперної характеристики.

5. Для зменшення пульсацій напруги на опорі навантаження  $R_n$ , приєднаного до мостового двонапівперіодного випрямляча, застосовано індуктивний згладжувальний фільтр  $L$ , рис. 1.9.3.

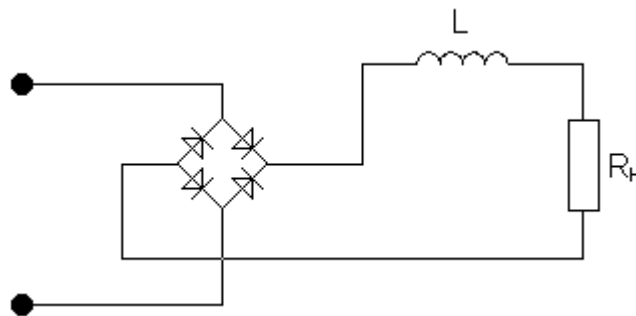


Рис. 1.9.3

Визначити коефіцієнти пульсації до і після фільтра, якщо  $L=0.4$  Гн,  $R_n=100$  Ом, а напруга на його вході задана рівнянням  $u=70+32\cos 628t$  В. Експериментально підтвердити результати розрахунків.



**№ 10. Підсилювач електричних сигналів**

*Мета роботи:* дослідження підсилювача, зібраного на біполярному транзисторі по схемі зі спільним емітером, та аналіз впливу параметрів елементів кола на його основні характеристики.

**Послідовність виконання роботи**

1. Побудувати експериментальну модель підсилювача (рис. 1.10.1) з потрібними для дослідження приладами: функціональним генератором (джерело вхідного сигналу), осцилографом для спостереження вхідних і вихідних сигналів, графопобудовника для отримання амплітудно–частотних характеристик та вольтметрів (режим АС) для вимірювання напруг вхідних і вихідних сигналів, рис. 1.10.1 (тип транзистора 2N3702, бібліотека *National3*). Установити параметри схеми підсилювача відповідно до варіанта 1, табл. 10.1.

1. Дослідити підсилювач в режимі постійного струму:

–виконати аналіз підсилювача в режимі постійного струму (меню *Analysis* → *DC operating Point*). Результати аналізу записати в таблицю;

Номери вузлів (нод)	1	2	3	4	5	6	7	8
Напруга, В								

–зняти сімейства вхідних  $I_b=f(U_{be})$  при  $U_{ce}=const$  та вихідних  $I_c=f(U_{ce})$  при  $I_b=const$  характеристик транзистора 2N3702 за допомогою експериментальної моделі, рис. 1.10.2 (струм бази  $I_b$  задавати джерелом струму в межах  $1...20 \mu A$ , а напругу  $U_{ce}$  джерелом напруги в межах  $4...12 V$  зі ступенями: струм  $I_b - 3 \mu A$ , напруга  $U_{ce} - 2 V$ .)

–результати вимірювань відповідно до сімейств вхідних і вихідних характеристик записати в табл. 10.2 і 10.3.

*Таблиця 10.1*

Номер варіанту	Параметри елементів схеми підсилювача			Параметри підсилювача			
	$R_k, \text{кОм}$	$R_{нз}, \text{кОм}$	$C_2, \mu\text{Ф}$	$\Delta f=f_{в}-f_{н}, \text{кГц}$	$D, \text{Дб}$	$K \text{ (по АЧХ), в.о.}$	$K \text{ (по АХ), в.о.}$
1	4.3	12	20.0				
2	2.2	12	20.0				
3	4.3	12	0.1				
4	4.3	8.2	20.0				

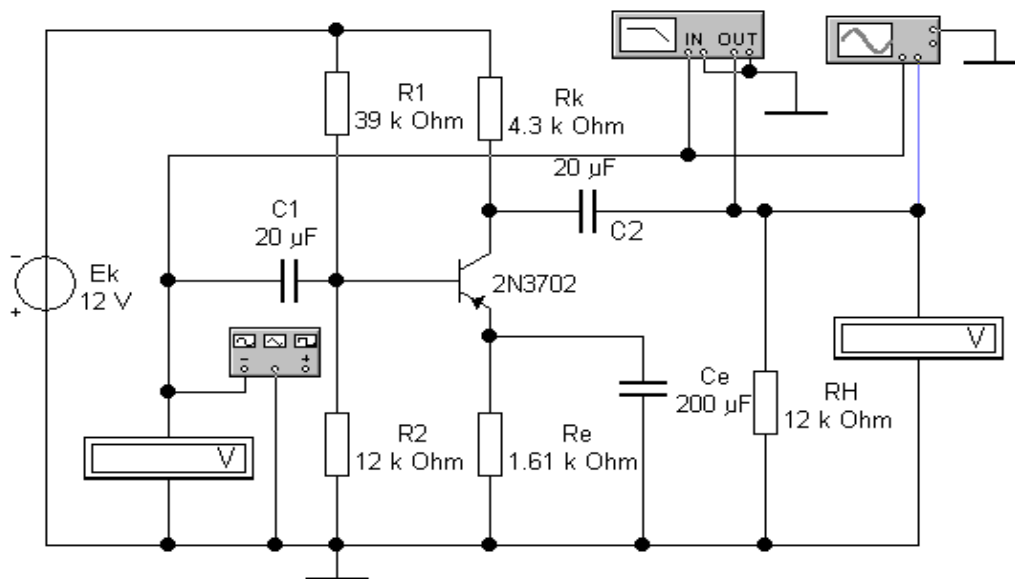


Рис. 1.10.1

Таблиця 10.2

№	$U_{ke}$ В	Вимірювальні величини	Номер виміру							
			1	2	3	4	5	6	7	
1	-5	$I_b, \mu A$								
		$U_{be}, B$								
2	-10	$I_b, \mu A$								
		$U_{be}, B$								

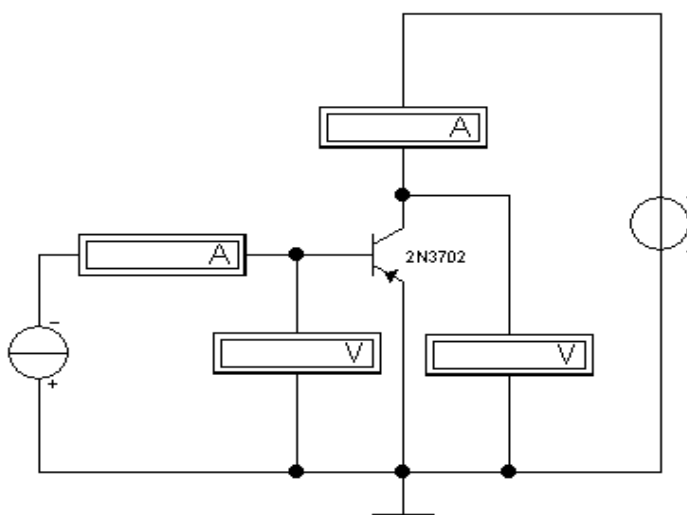


Рис. 1.10.2

Таблиця 10.3

№	$I_{\bar{b}}, \mu A$	Вимірювальні величини	Номер виміру						
			1	2	3	4	5	6	7
1	-1	$I_k, mA$							
		$U_{ке}, B$							
2	-4	$I_k, mA$							
		$U_{ке}, B$							
3	-7	$I_k, mA$							
		$U_{ке}, B$							
4	-10	$I_k, mA$							
		$U_{ке}, B$							
5	-13	$I_k, mA$							
		$U_{ке}, B$							
6	-16	$I_k, mA$							
		$U_{ке}, B$							
7	-19	$I_k, mA$							
		$U_{ке}, B$							

–одержати перехідну динамічну характеристику транзистора  $I_k=f(I_{\bar{b}})$  в схемі підсилювача (варіант 1) за допомогою експериментальної моделі, рис. 1.10.3 (меню *Analysis* → *Parameter Sweep* ;

–побудувати сімейства вхідних і вихідних характеристик транзистора за якими та за перехідною динамічною характеристикою виконати графічний аналіз підсилювача по режиму постійного струму і порівняти його з результатами аналізу п.2.

3. Дослідити підсилювач в режимі змінного струму з різними значеннями параметрів схеми підсилювача відповідно до варіантів, табл. 10.1:

–одержати за допомогою графопобудовника в логарифмічному масштабі амплітудно–частотні характеристики (*АЧХ*) підсилювача  $K=\Psi(f)$  в частотному діапазоні 20 Гц...10 МГц і вхідному сигналу  $U_{ex}=5 mB$ ;

–визначити за допомогою візирної лінії, що знаходиться в початку координат *АЧХ* коефіцієнти підсилення підсилювача по напрузі для ча-

## Комп'ютерні технології в електротехніці та електроніці

стоти вхідного сигналу  $f=20 \text{ кГц}$  та смугу пропускання частот підсилювача  $\Delta f=f_г-f_н$ . Визначені параметри підсилювача записати в табл. 10.1.

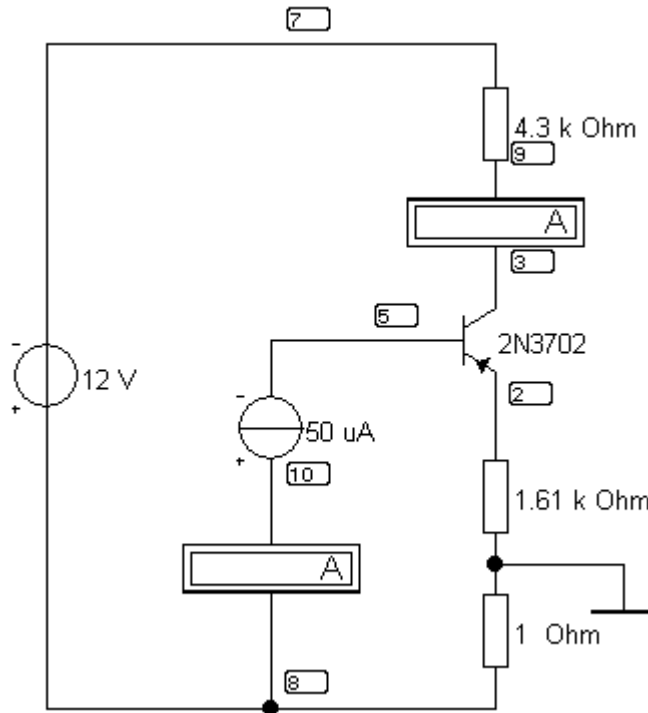


Рис. 1.10.3

4. Зняти амплітудну характеристику підсилювача  $U_{вих}=f(U_{вх})$  при  $f=20 \text{ кГц}$  (варіант схеми підсилювача 1). Показання приладів записати в табл. 10.4.

**Примітка:** напругу  $U_{вх}$  змінювати від нульового значення (амплітуду функціонального генератора установити рівною нулю) до значення, при якому помітно спотворення вихідного сигналу з таким розрахунком, щоб одержати вісім вимірів.

Таблиця 10.4

$U_{вх}, \text{ mV}$								
$U_{вих}, \text{ mV}$								

5. Побудувати відповідно до табл. 10.4 амплітудну характеристику підсилювача і визначити за її допомогою динамічний діапазон роботи підсилювача  $D$  та коефіцієнт підсилення  $K$  на лінійній ділянці характеристики і записати їх значення в табл. 10.1.

6. В звіті зробити порівняльний аналіз варіантів схем підсилювача та подати результати моделювання відповідно до п.3 (АЧХ схеми підсилювача до варіанту 1 з установленою візирною лінією на частоті 20 кГц) і п.4 (з осцилограмами без і з спотворенням вихідного сигналу).

## Контрольні запитання та завдання

1. Пояснити роботу транзистора у динамічному режимі.
2. Якими чинниками характеризують підсилювачі електричних сигналів?
3. Пояснити призначення елементів схеми підсилювача та вплив їх параметрів на його основні характеристики.
4. Вхідна напруга електричного кола з послідовним з'єднанням  $RC$  елементів  $u=5+0.005\sin 125.6 \cdot 10^3 t$  В, рис. 1.10.4.

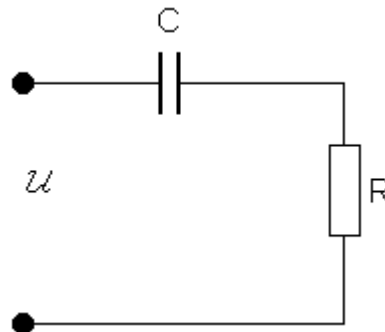


Рис. 1.10.4

Визначити діючі значення напруг на ємності  $C$  і опорі  $R$  і одночасно записати рівняння для їх миттєвих значень, якщо  $C=20 \mu F$  і  $R=12 k\Omega$ . Експериментально підтвердити результати розрахунків і пояснити чому конденсатор в такому колі називають роз'єднуючим та усвідомити його місце в схемі підсилювача.

5. Вхідний струм  $i$  ділянки електричного кола з паралельним з'єднанням  $RC$  елементів  $i=10+5\sin 125.6 \cdot 10^3 t$  мВ, рис. 1.10.5.

Визначити діючі значення напруги на  $RC$  елементах та струмів в опорі  $R$  і ємності  $C$ . Одночасно записати рівняння для їх миттєвих значень, якщо  $C=20 \mu F$  і  $R=12 k\Omega$ . Експериментально підтвердити результати розрахунків та пояснити використання цієї ділянки кола, як елемента схеми підсилювача.

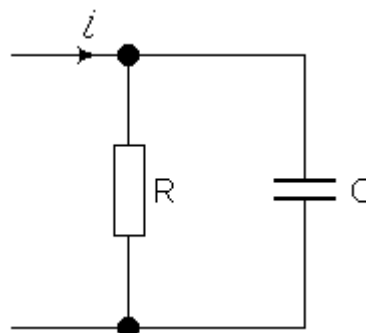


Рис. 1.10.5

## 2. Рекомендації до виконання контрольних завдань

2. 1. 5. Визначимо внутрішній опір приладу  $R_g = U/I_H = 0.075/0.03 = 2.5 \text{ Ом}$ , струм шунта  $I_{ш} = I - I_H = 10 - 0.03 = 9.97 \text{ А}$  та опір шунта  $R_{ш} = U/I_{ш} = 0.075/9.97 = 0.0075226 \text{ Ом}$ .

Експериментальна модель електричного кола до вимірювання струму подана ідеальним джерелом напруги  $U = 100 \text{ В}$  та опором  $R = 10 \text{ Ом}$ , рис. 2.1.1. Показання вольтметра  $U = 0.7494 \text{ мВ}$

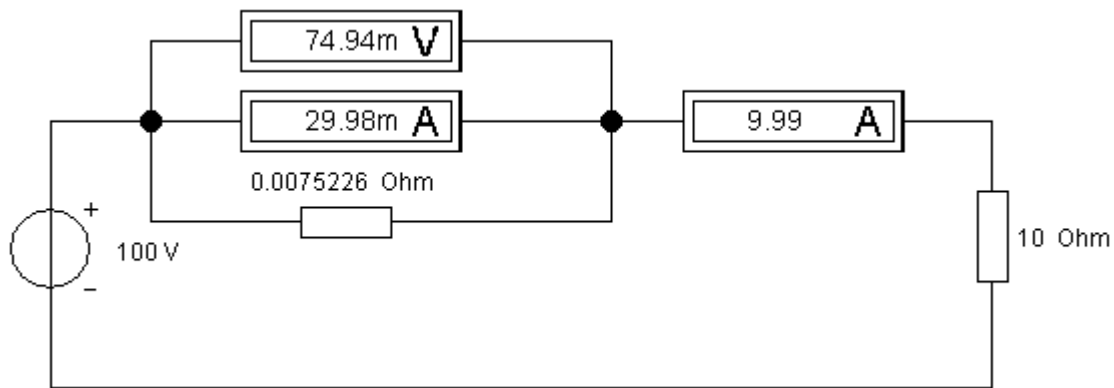


Рис. 2.1.1

та амперметра  $I = 0.2998 \text{ мА}$  з внутрішнім опором  $R_g = 2.5 \text{ Ом}$  близькі відповідно до нормованого спаду напруги та номінального струму міліамперметра. Це свідчить, що опір шунта  $R_{ш} = 0.0075226 \text{ Ом}$  визначений вірно.

2. 1. 6. Після визначення значення додаткового опору, який потрібно з'єднати послідовно з міліамперметром для вимірювання напруги до  $150 \text{ В}$  потрібно підтвердити результати розрахунку за допомогою експериментальної моделі, рис. 2.1.2.

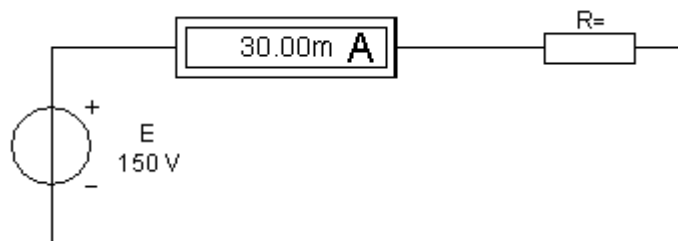


Рис. 2.1.2

## Комп'ютерні технології в електротехніці та електроніці

**2. 2. 3.** На рис. 2.2.1 подана зовнішня вольтамперна характеристика джерела ( 1 ), побудована за двома точками відповідно до режимів холостого ходу ( $I=0, U=E$ ) та короткого замикання ( $U=0, I=E/R_0$ ). Вольтамперні характеристики еквівалентних опорів споживача для двох положень перемикача  $SW$  (2 і 3) мають виходити з початку координат і перетинати зовнішню характеристику джерела в точках, абсцисами яких є відповідно струми  $I=20$  і  $25$  А.

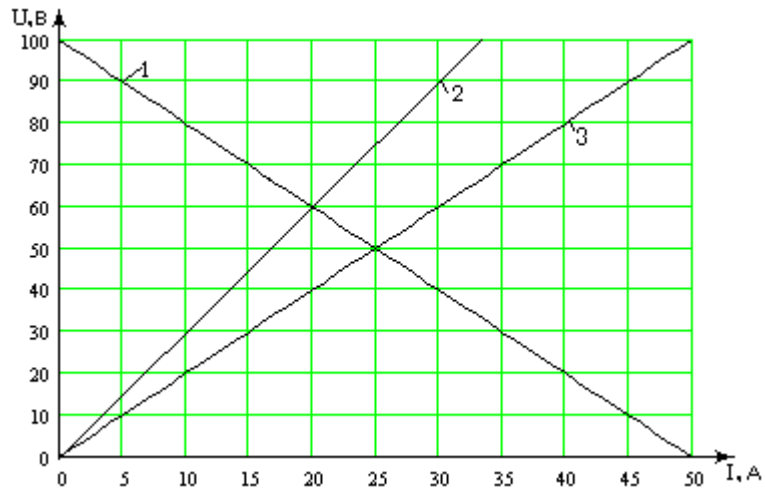


Рис. 2.2.1

Визначивши графічно напруги на еквівалентних опорах споживача для двох положень перемикача  $SW$ , не складно обчислити його опори, а потім і струми.

Розрахунки потрібно підтвердити результатами моделювання електричного кола, рис. 2.2.2.

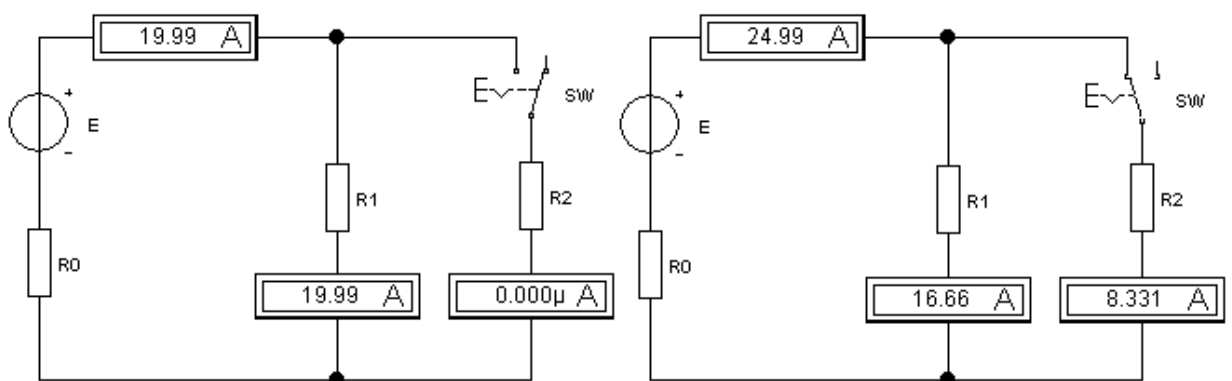


Рис. 2.2.2

**2. 2. 4.** Для прикладу обчислимо вхідний опір кола, рис. 2.2.3,а. Опори  $R_2$  і  $R_3$  з'єднані послідовно, їх еквівалентний опір дорівнюватиме:

$$R_{23}=R_2+R_3=30+30=60 \text{ Ом.}$$

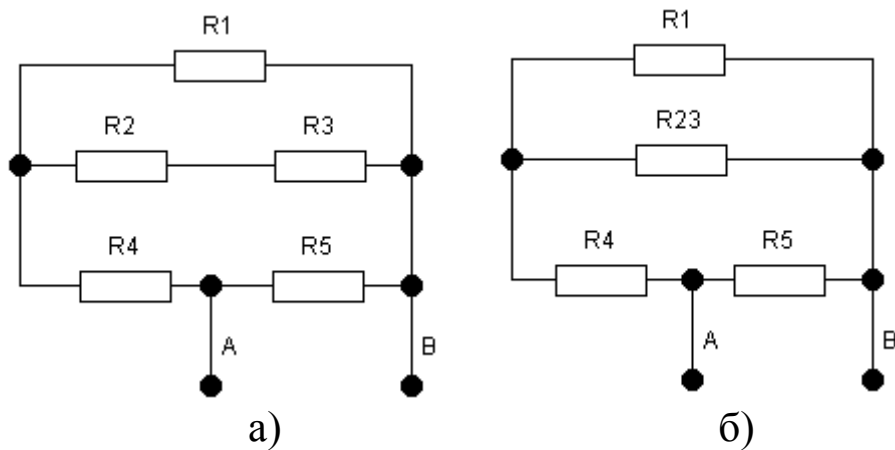


Рис. 2.2.3

Еквівалентна схема після заміни послідовного з'єднання еквівалентним опором набуде вигляду, рис. 2.2.3, б. В цій схемі опори  $R_1$  і  $R_{23}$  з'єднані паралельно, а їх еквівалентний опір з опором  $R_4$  – послідовно. Визначимо еквівалентний опір цього з'єднання:

$$R^* = R_4 + (R_1 * R_{23}) / (R_1 + R_{23}) = 30 + (30 * 60) / (30 + 60) = 50 \text{ Ом.}$$

Опори  $R^*$  та  $R_5$  з'єднані паралельно. Вхідний опір кола відносно клем А і В буде:

$$R_{ex} = R^* * R_5 / (R^* + R_5) = 50 * 30 / 50 + 30 = 18.75 \text{ Ом.}$$

Побудуємо модель електричного кола, рис. 2.2.4 і за показанням мультиметра пересвідчимось в справедливості розрахунків

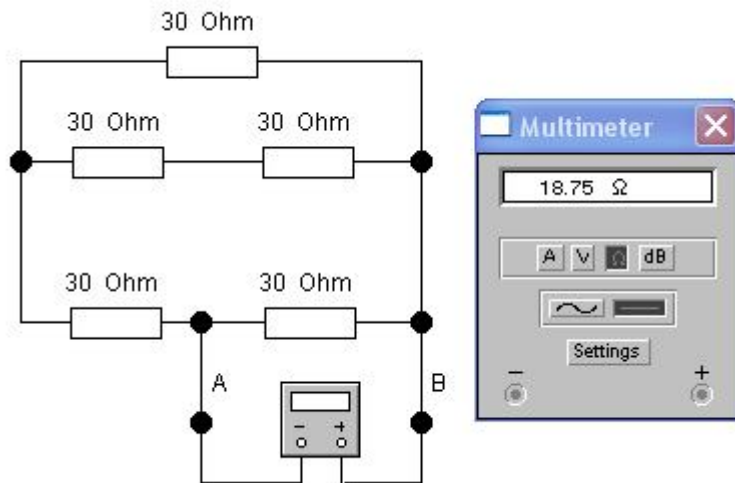


Рис. 2.2.4

**2. 2. 5.** Аналітичне дослідження електричного стану змішаного з'єднання електричних ламп зручно звести до визначення струмів та напруг в вітках електричного кола з відповідним з'єднанням опорів, рис. 2.2.5. Параметри кола необхідно визначити за номінальними параметрами ламп: потужністю та напругою.



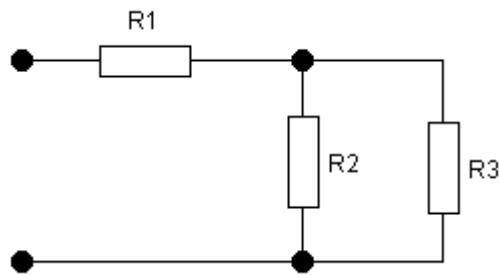


Рис. 2.2.5

Щодо експериментального дослідження, то потрібно побудувати модель змішаного з'єднання електричних ламп з вибраними параметрами відповідно до параметрів джерела постійного струму (лампи світяться), наприклад так, як показано на рис. 2.2.6.

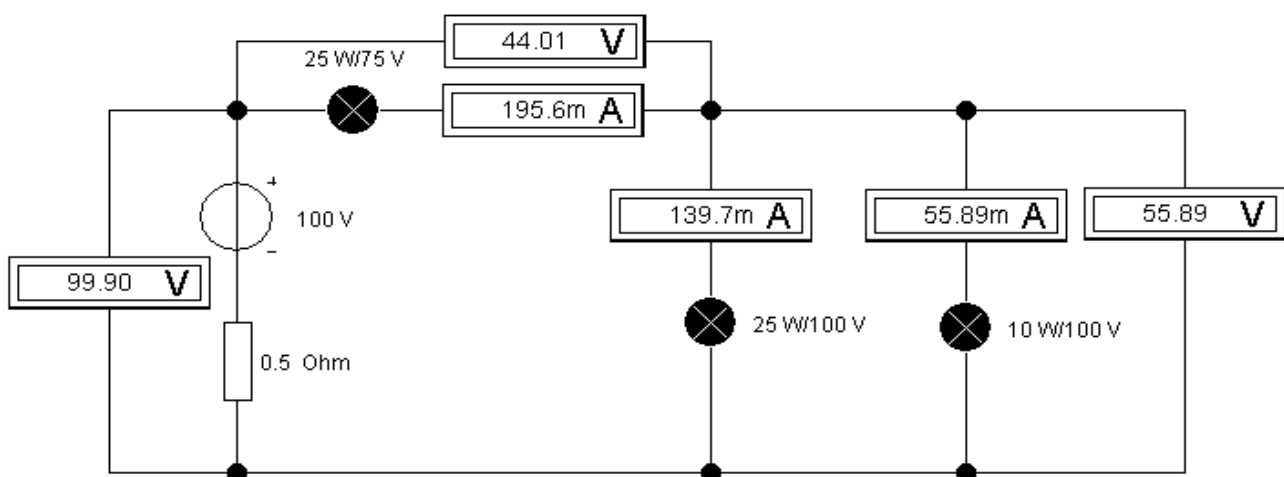


Рис. 2.2.6

**2. 3. 4.** Щоб переконатись в справедливості еквівалентного перетворення з'єднання «трикутником» в еквівалентну «зірку» (за результатами п.2) необхідно побудувати експериментальні моделі відповідно з'єднання «трикутник», рис. 2.3.1 і еквівалентної «зірки», рис. 2.3.2. Потім послідовно приєднати мультиметр в режимі омметра до відповідних вузлів з'єднань, а однакові покази величин опорів будуть підтвердженням справедливості їх еквівалентного перетворення.

Параметри з'єднання в трикутник, рис 2.3.1:  $R_2=5$  Ом,  $R_3=8$  Ом,  $R_5=7$  Ом.

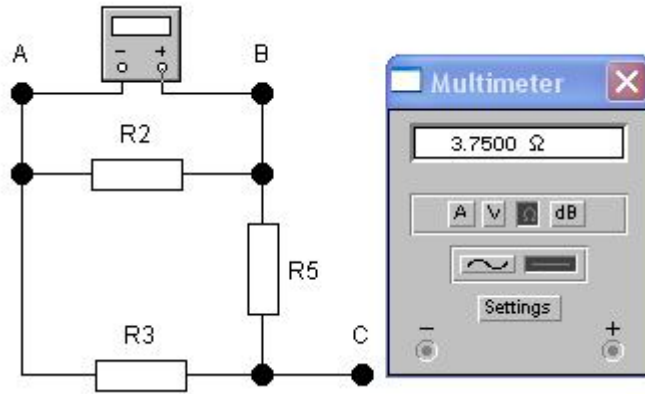


Рис. 2.3.1

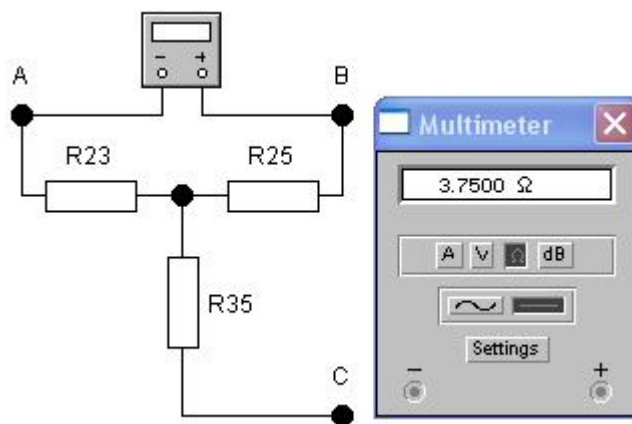


Рис. 2.3.2

**2.3.5.** Активний двополюсник, що живить пасивний двополюсник, може працювати в режимах холостого ходу, короткого замикання, а також узгодженому та номінальному. Потрібно дати визначення названим режимам.

Зокрема, узгоджений режим роботи двополюсників забезпечує передачу максимальної потужності пасивному двополюснику, що має місце тоді, коли внутрішній опір активного двополюсника дорівнює вхідному опору пасивного двополюсника, тобто  $R^*=R$ . В цьому можна переконатись за допомогою експерименту, рис. 2.3.3.

Побудуємо графік залежності потужності пасивного двополюсника (споживача) від його опору. Для вимірювання потужності в експериментальній моделі кола використаємо аналоговий перемножувач напруги (вхід  $X$ ) та струму (вхід  $Y$ ), що знаходиться в полі компонент *Controls*. Значення струму одержимо за допомогою додаткового опо-

## Комп'ютерні технології в електротехніці та електроніці

ру  $R_0=0.001 \text{ Ом}$ , падіння напруги на якому потрібно збільшити в 1000 раз (коефіцієнт передачі по входу  $Y$ ).

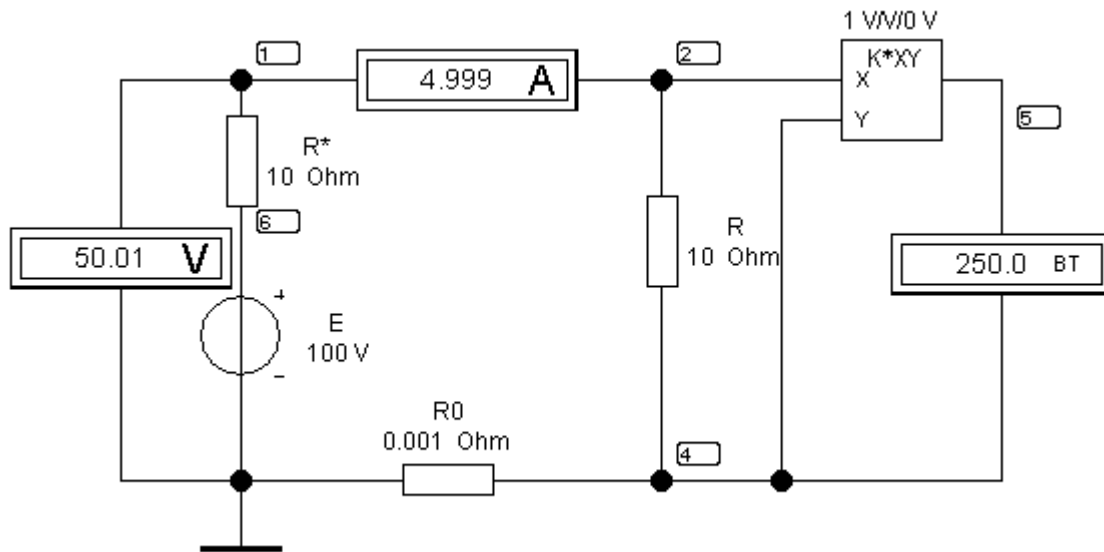


Рис. 2.3.3

**Примітка:** для спостереження за струмом в вітках електричних кіл вмикають в них опори (шунти) з такими значеннями (за звичаєм  $0.01...0.001 \text{ Ом}$ ), щоб вони практично не впливали на результати досліджень і спостерігають за спадом напруги на них, яка пропорційна струму.

Після виконання команди *Parameter Sweep...* меню *Analysis* необхідно установити діапазон та ступінь зміни опору пасивного двополюсника (споживача), номер вихідної ноди (вузла) –5 (щоб вивести

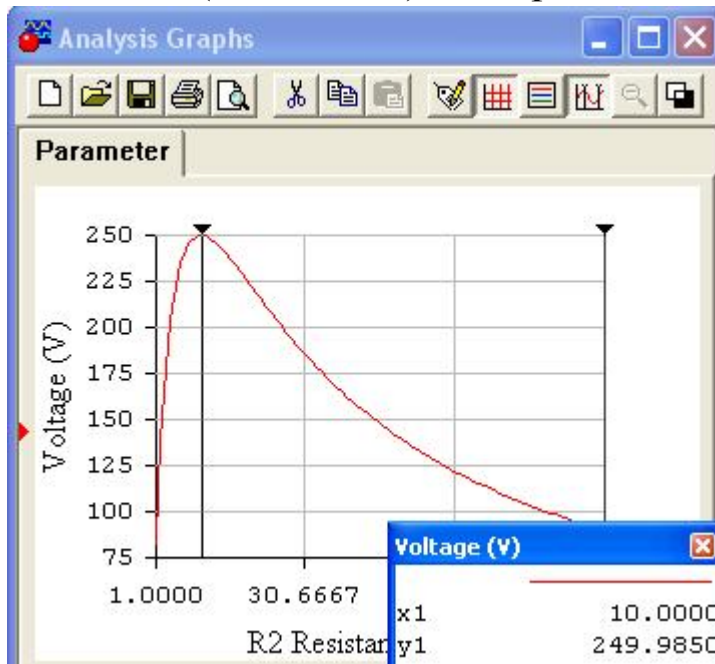


Рис. 2.3.4

номери нод в експериментальній моделі потрібно виконати наступну процедуру: активізувати меню *Circuit* → *Schematic Options* → *Show nodes*) і виконати команду *Simulate*. Результатом виконання команди буде графік залежності потужності споживача від його опору.

Аналіз цієї залежності та показань вимірювальних приладів переконує в спра-

ведливості умови узгоджу-  
ного режиму роботи актив-

ного і пасивного двополюсників, рис 2.3.4.

## Комп'ютерні технології в електротехніці та електроніці

2.4.4. Для прикладу, проведемо дослідження амплітудних та фазових співвідношень напруги  $u=179.07 \sin \omega t$  та струму в колі з індуктивністю ( $L=0.038 \text{ H}$ ), рис. 2.4.1. Визначимо індуктивний опір та діюче значення струму в колі і порівняємо його з показанням амперметра експериментальної моделі, рис. 2.4.2:  $X_L=\omega L=314 \cdot 0.038=11.94 \text{ Ом}$ ;  $I=U/X_L=127/11.94=10.6 \text{ A}$ .

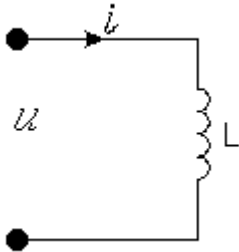


Рис. 2.4.1

Щодо фазового співвідношення між синусоїдами напруги та струму, то з аналізу осцилограм очевидно, що початкова фаза синусоїди струму в колі з індуктивністю

відстає від напруги на кут  $\pi/2$ . Аналогічно можна дослідити електричні кола з активним опором і ємністю.

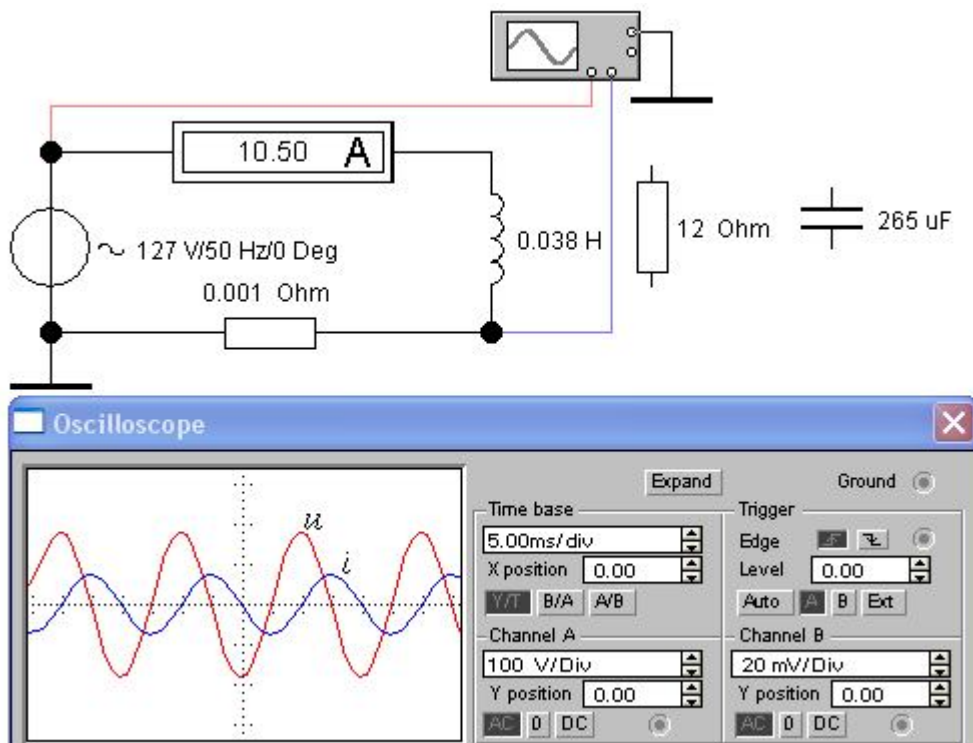


Рис. 2.4.2

2.4.5. В справедливості визначених величин опору  $R$  та ємності  $C$  потрібно переконатися за допомогою експериментальної моделі, рис. 2.4.3.

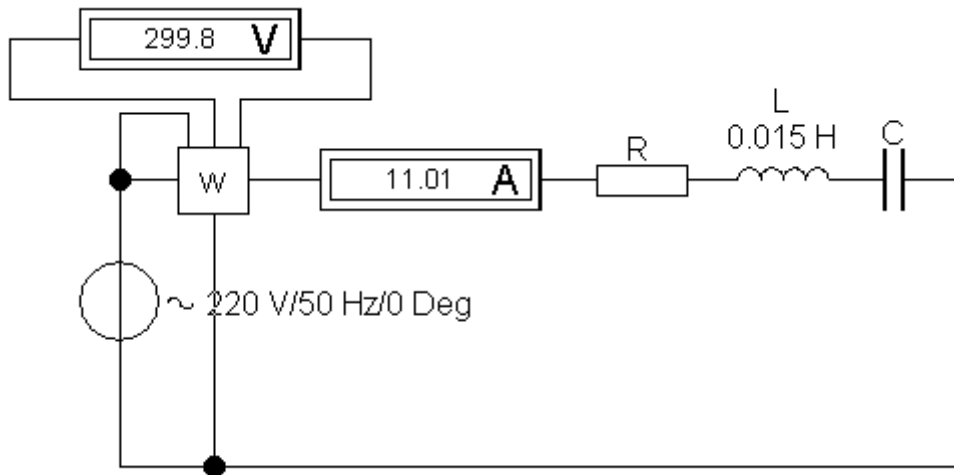


Рис. 2.4.3

**2.5.4.** Обчислимо провідності віток та повну провідність електричного кола:

$$\begin{aligned}
 g &= 1/20 = 0.05 \text{ 1/Ом}, \\
 b_L &= 1/\omega L = 1/314.159 \cdot 0.06 = 0.053052 \text{ 1/Ом}, \\
 b_C &= \omega C = 314.159 \cdot 636 \cdot 10^{-6} = 0.199805 \text{ 1/Ом}, \\
 Y &= 0.155035 \text{ 1/Ом}.
 \end{aligned}$$

Струм в нерозгалуженій частині кола  $I = U Y = 220 \cdot 0.155035 = 34.1 \text{ А}$ .

Нижче наведена експериментальна модель електричного кола, рис. 2.5.1. Різницю між показами амперметра в нерозгалуженій частині електричного кола та обчисленим його значенням можна пояснити заокругленнями при обчисленні реактивних провідностей.

Щоб одержати графік залежності повної провідності кола від частоти ( $Y = \Psi(f)$ ) потрібно на вихід (OUT) графопобудовника подати дійсне значення струму. Для цього спад напруги на додатковій опорі, що пропорційний струмові, підсилюється функціональним аналоговим підсилювачем.

Візирні лінії на приведених, як приклад, залежностях повної провідності кола та кута зсуву фаз від частоти  $Y = \Psi(f)$ ,  $\varphi = \Psi(f)$  знаходяться поблизу відповідно резонансної та промислової частот, рис. 2.5.2.

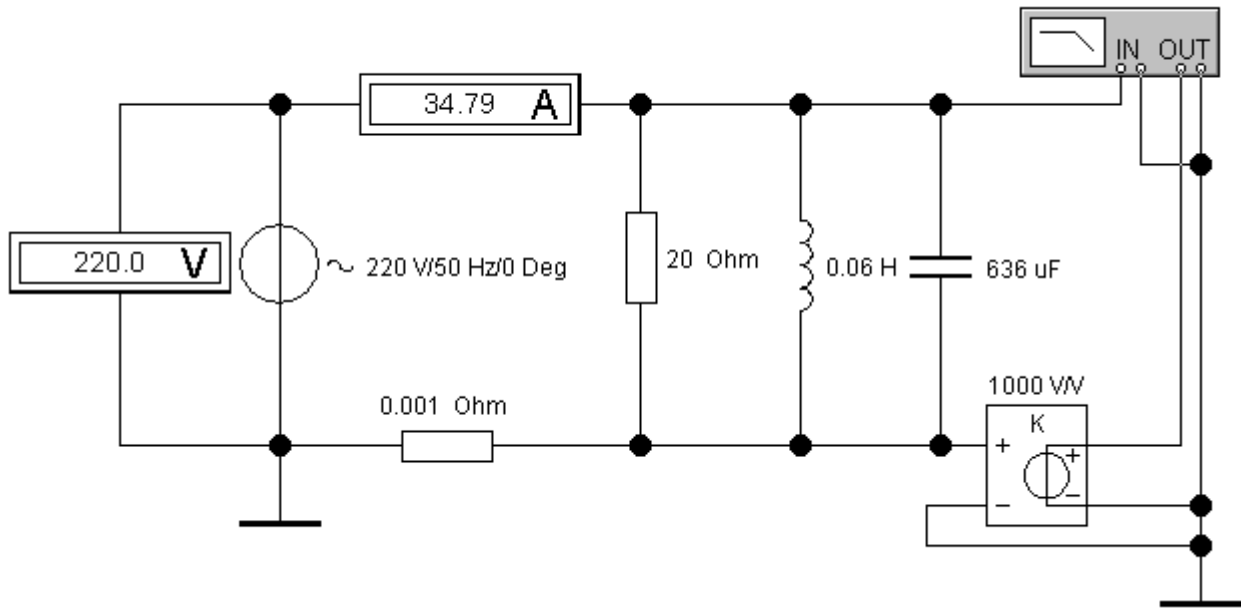


Рис. 2.5.1

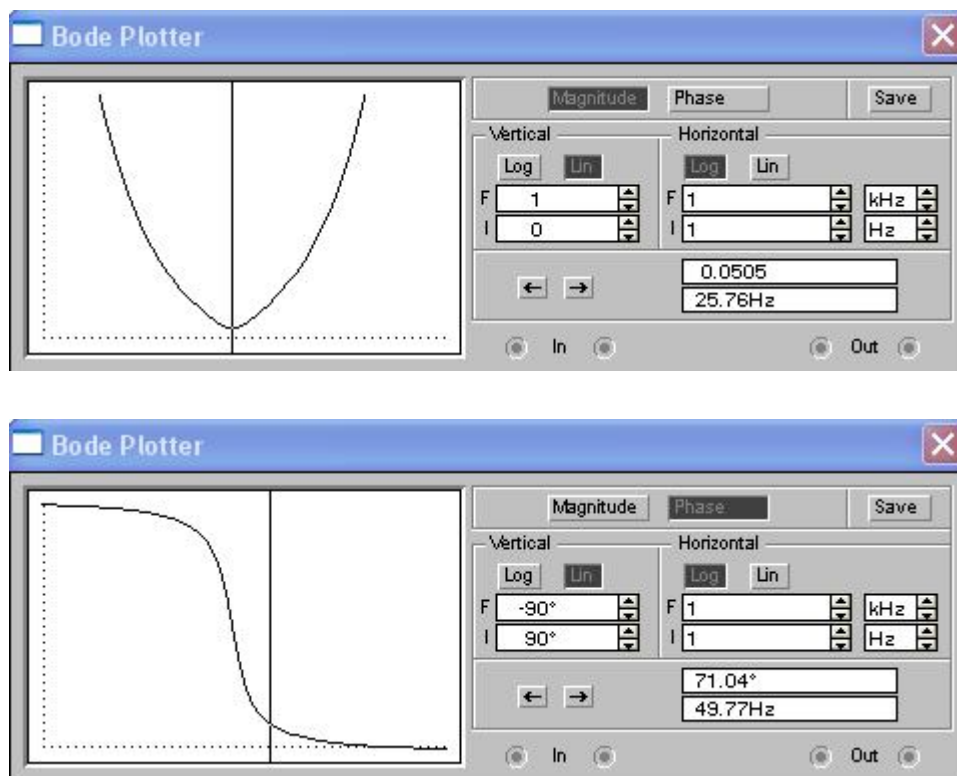


Рис. 2.5.2

**2.4.5.** В справедливості визначених величин ємності  $C1$  та індуктивності  $L2$  потрібно переконатися за допомогою експериментальної моделі, рис. 2.5.3.

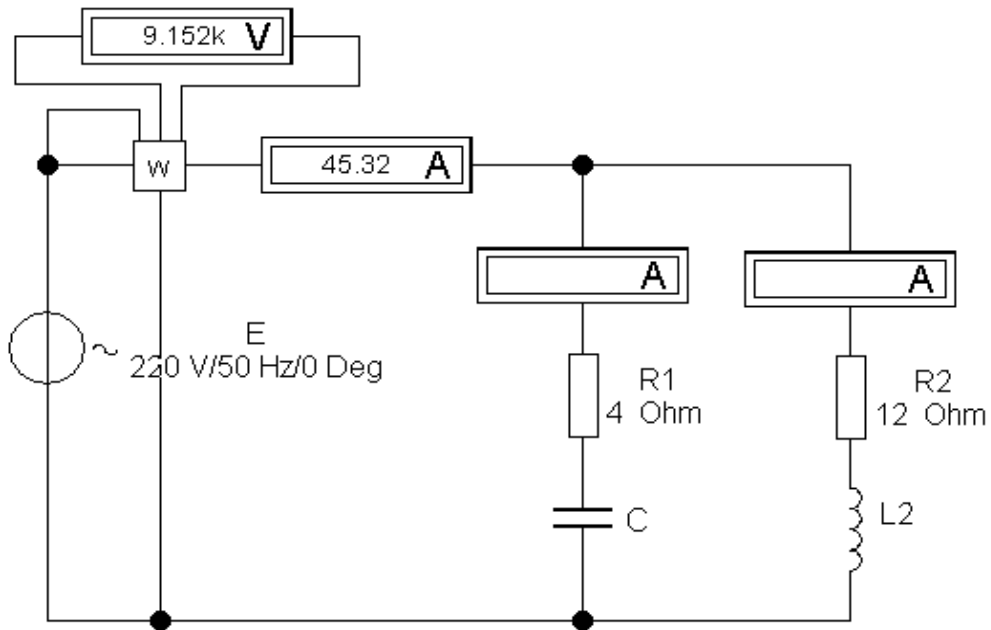


Рис. 2.5.3

**2.6.4.** Дослідження аварійних режимів короткого замикання та обриву лінійного проводу зручно виконувати за допомогою такої процедури. Відкрити діалогове вікно потрібної компоненти *Component Properties*, вибрати команда *Fault*, а потім закладку *Short* (замикання), або *Open* (обрив).

На рис. 2.6.1 і 2.6.2 подаються відповідно результати дослідження кола з нульовим та без нульового проводу при перегорянні запобіжника (обриву лінії) в фазі  $a$ .

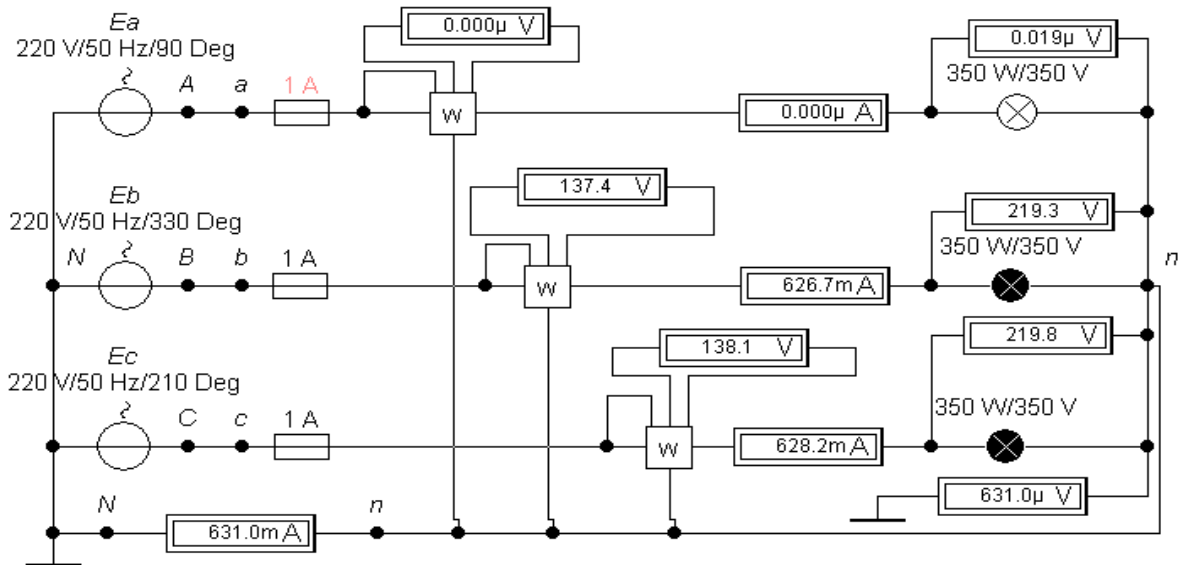


Рис. 2.6.1

## Комп'ютерні технології в електротехніці та електроніці

Аналіз показів вимірювальних приладів спільно з побудовою топографічних векторних діаграм допоможе в'ясувати електричний стан кола.

Аналогічно виконується дослідження кола в випадку обриву та короткому замиканні в фазах споживачів.

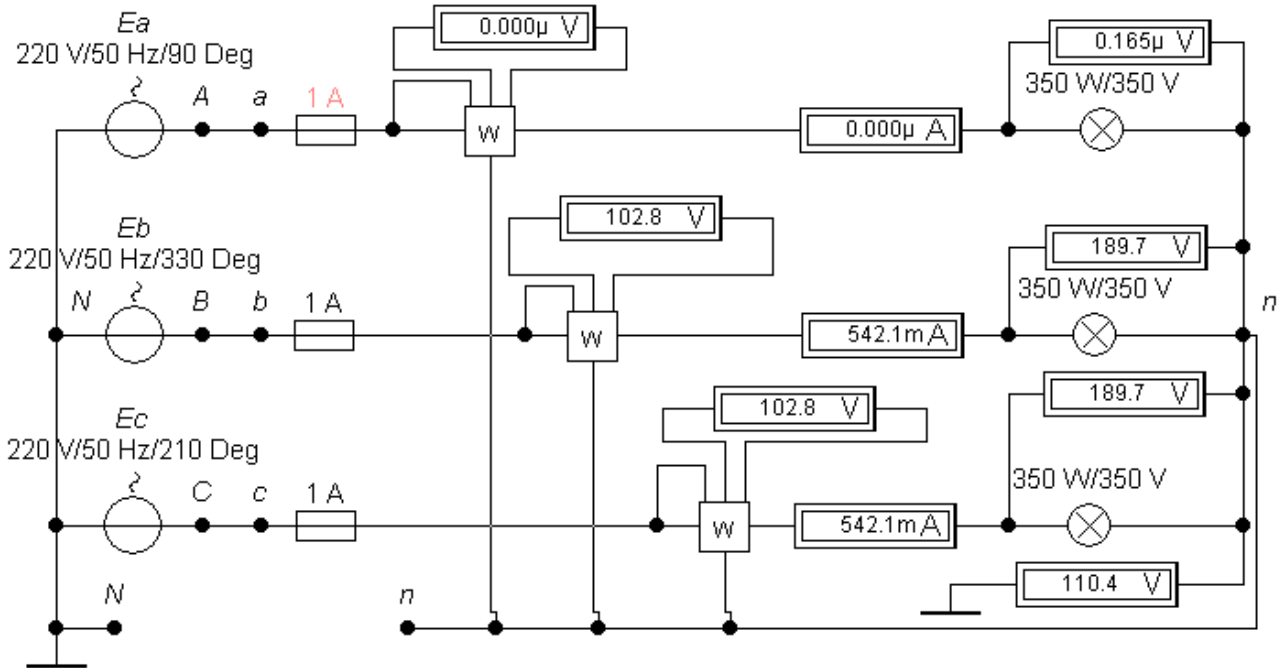


Рис. 2.6.2

**2. 6. 5.** Для визначення лінійних напруг  $U_{AY}$ ,  $U_{YC}$  і  $U_{CA}$  потрібно звернутись до рівняння  $U_{AY} = U_B + U_A$ ,  $U_{YC} = -U_C - U_B$ ,  $U_{CA} = -U_A + U_C$  та побудувати відповідно їм топографічну векторну діаграму і переконатись в результатах експерименту, рис. 2.6.3.

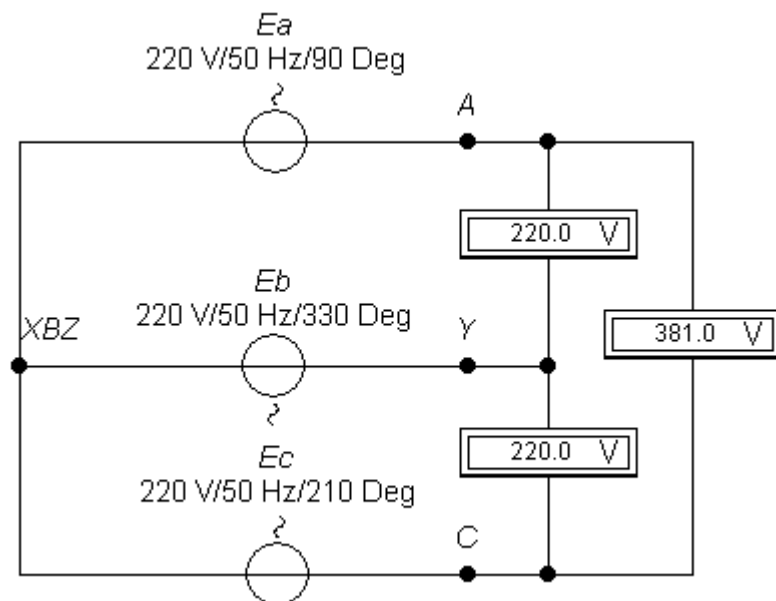


Рис. 2.6.3



## Комп'ютерні технології в електротехніці та електроніці

2.7.4. Ємність  $C$  визначається за умови однакових сталих часу віток кола з індуктивністю і ємністю.

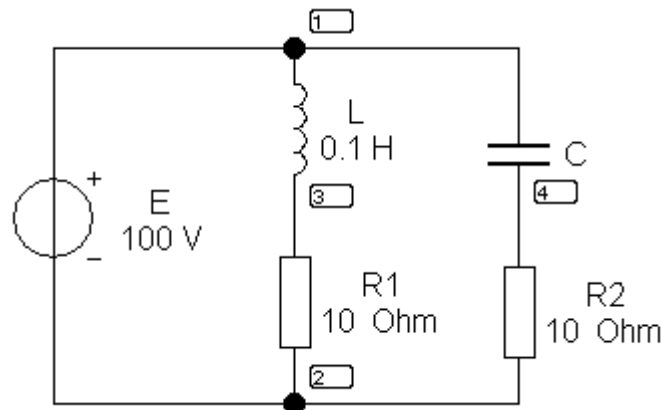


Рис. 2.7.1

Після визначення ємності  $C$  зробимо дослідження за допомогою експериментальної моделі, рис. 2.7.1, а щоби переконатись, що струм джерела в перехідному режимі сталий, одержимо і проаналізуємо осцилограми напруг на опорах  $R1$  і  $R2$  (вони будуть повторювати форму струму), рис. 2.7.2.

Очевидно, що алгебраїчна сума миттєвих значень напруг у будь-який момент часу, а, отже, і струмів в вітках з індуктивністю і ємністю, – стала величина.

Виконати експериментальне дослідження і отримати осцилограми в перехідному режимі можна за такою процедурою: меню *Analysis* → команда *Transient...* → діалогове вікно *Transient Analysis*. В діалоговому вікні потрібно зазначити такі параметри: початковий (*TSTART*) і кінцевий (*TSTOP*) час аналізу перехідних процесів, початкові умови (*Initial conditions*) та номери вузлів (нод – див. 2.3.5) напруга в яких, відносно загального вузла, підлягає аналізу (*Nodes for analysis*).

Зрозуміло, що для нашого випадку початковий час аналізу  $t=0$ , кінцевий достатньо вважати  $t \approx 10 \tau$  ( $\tau$  – стала часу), а номери вузлів 3 і 4. Після цього потрібно натиснути команду *Simulate*.

2.7.5. В справедливості визначення значень сталих струмів у всіх вітках електричного кола (рис. 1.7.3) і напруг на індуктивності  $L$  і ємності  $C$  по закінченню перехідного процесу (сталого режиму) можна переконатись за допомогою експериментальної моделі, рис. 2.7.3.

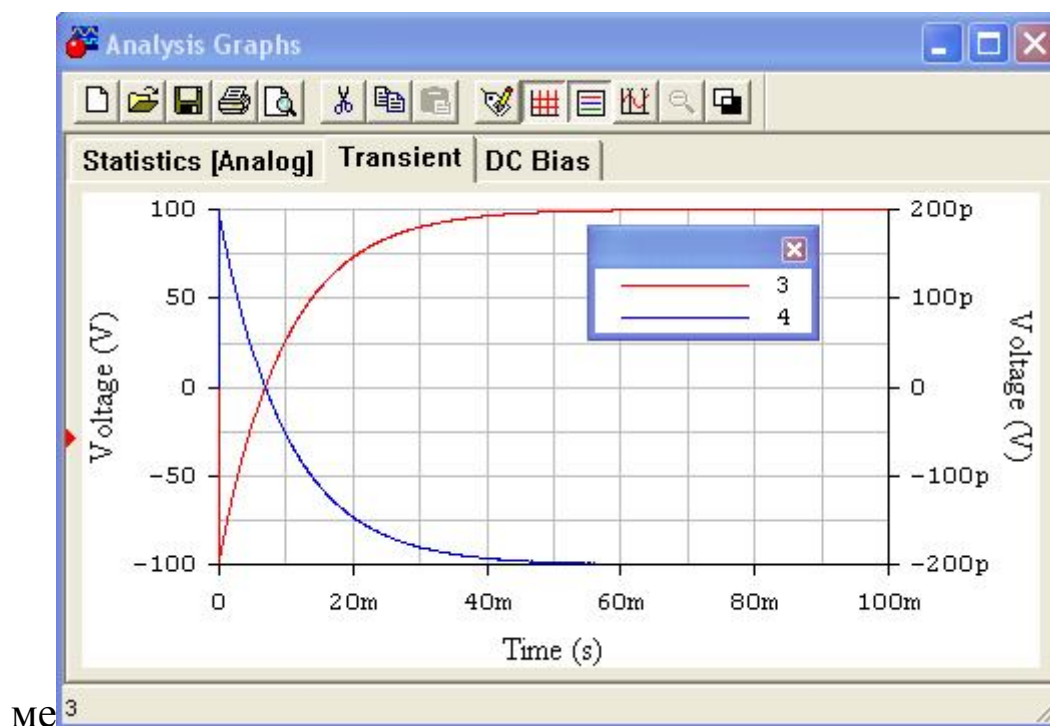


Рис. 2.7.2

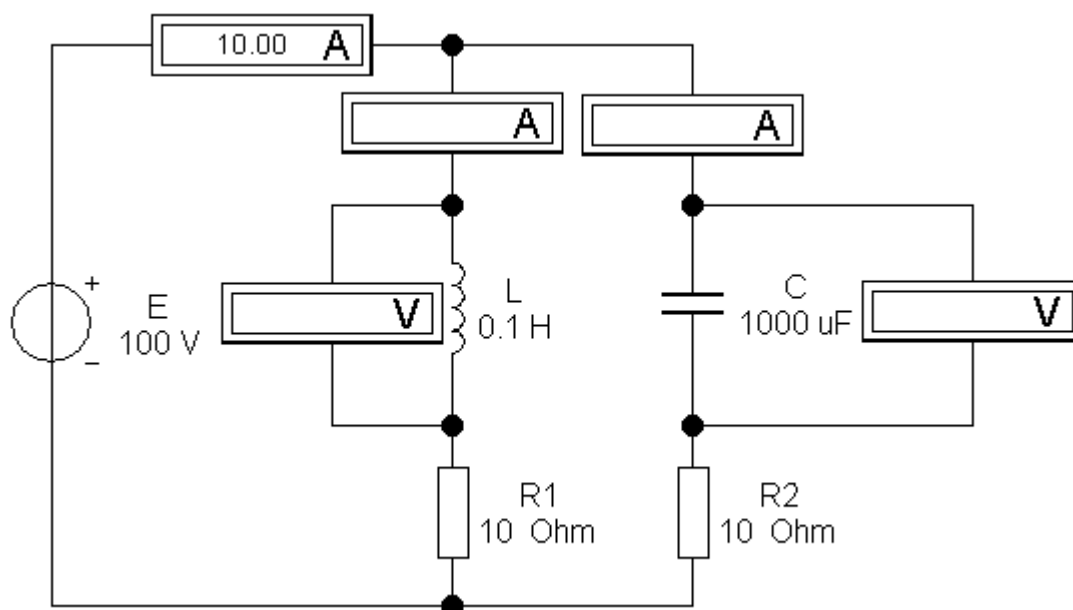


Рис. 2.7.3

**2. 8. 4.** На рис. 2.8.1,а наведена схема електричного кола в якій джерело несинусоїдної ЕРС замінено еквівалентно трьома джерелами ЕРС, з'єднаними послідовно відповідно до ряду Фур'є. Розрахунок схеми рис. 2.8.1 за методом накладання дій ЕРС зводиться до визначення струмів і потужностей трьох окремих схем, рис. 2.8.1,б, в і г.

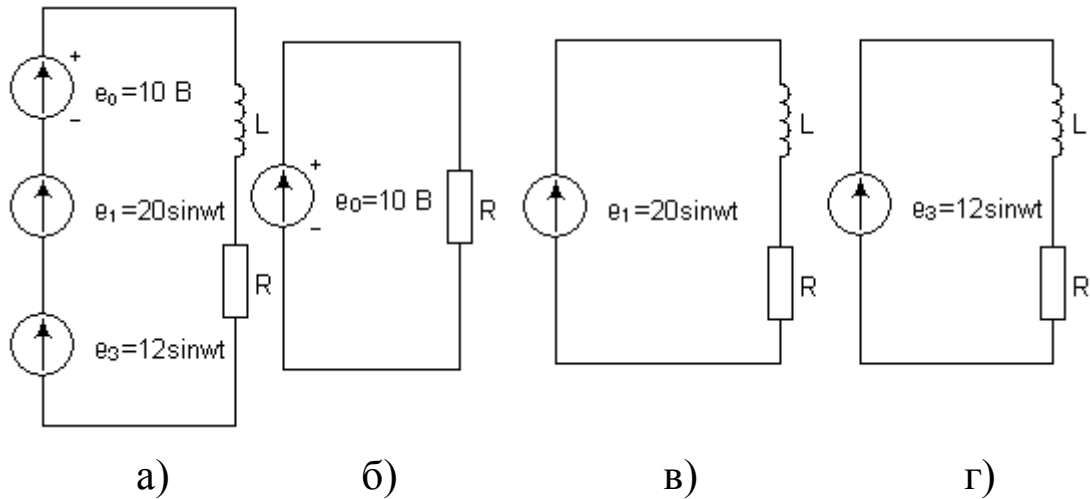


Рис. 2.8.1

Схема, що зображена на рис. 2.8.1,б є схемою заміщення по постійній складові ( $\omega=0$ ), тому індуктивний опір котушки  $\omega L$  дорівнює нулю і опір кола визначається тільки активним опором  $R$ . Схеми що на рис. 2.8.1,в і г є схемами заміщення відповідно по першій і третій гармонічних складових. Комплексні опори в цих схемах будуть:

$$Z_{(1)} = R + j\omega L = 10 + j 314 33 10^{-3} = 10 + j10.3 = 14.35 e^{j45.8} \text{ Ом},$$

$$Z_{(3)} = R + j3\omega L = 10 + j 3 314 33 10^{-3} = 10 + j30.9 = 32.48 e^{j72.1} \text{ Ом}.$$

Далі потрібно визначити постійну складову струму, діючі значення струмів першої і третьої гармонічних складових, а після цього – діюче значення струму та активну потужність котушки.

Переконались в справедливості розрахунків можна за допомогою експериментальної моделі, рис. 2.8.2. Важливо звернути увагу на форму струму по відношенню до форми ЕРС джерела, рис. 2.8.3 та його дискретний спектр, рис. 2.8.4.

Дискретний спектр ряду Фур'є можна отримати за такою процедурою: меню *Analysis* → команда *Fourier...* → діалогове вікно *Fourier Analysis*. В діалоговому вікні потрібно встановити такі параметри: номер основної гармоніки (*Fundamental frequency*), кількість потрібних для урахування гармонік (*Number of harmonics*) та номер вихідної ноди (вузла) (*Output node*). Після цього потрібно видати команду *Simulate*.

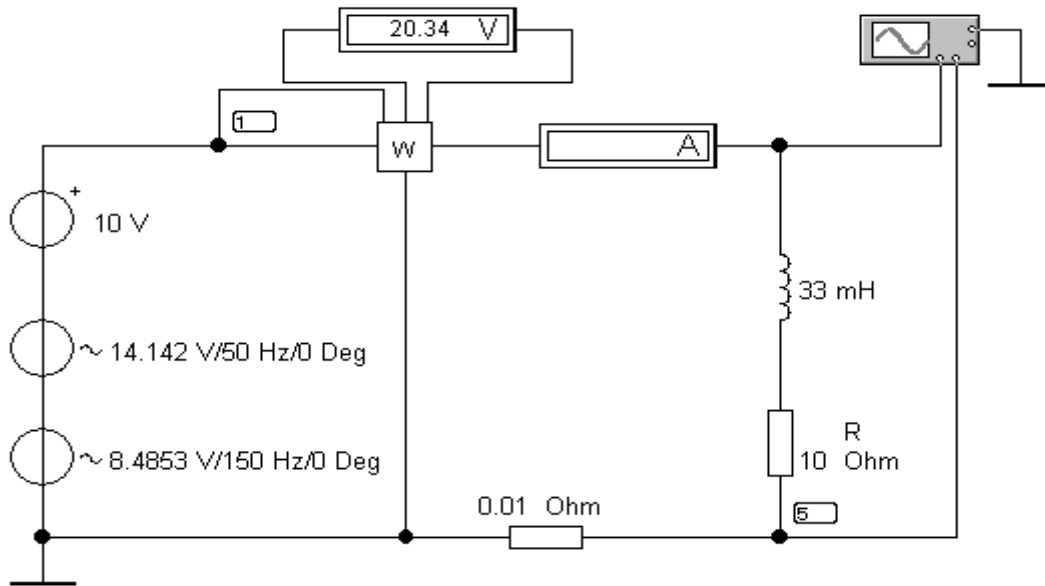


Рис. 2.8.2

На рис. 2.8.4 курсори установлені відповідно на постійній і першій складових ряду Фур'є. Для нашого випадку величина (*Magnitude*) постійної складової  $I_{(0)}=0.98972 A$ , а амплітуда першої гармоніки  $I_{(1)m}=1.38022 A$ . На рис. 2.8.4 складові ряду Фур'є подані в mV, оскільки струм визначається як спад напруги на додатковому опорі величиною 0.01 Ом. Щоб пересвідчитись в справедливості результатів спектрального аналізу потрібно порівняти їх з результатами розрахунків.

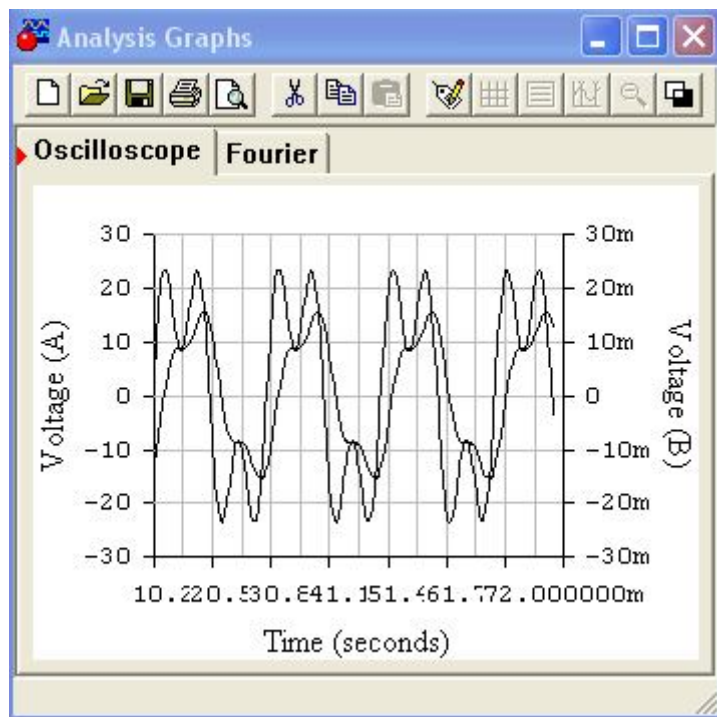


Рис. 2.8.3

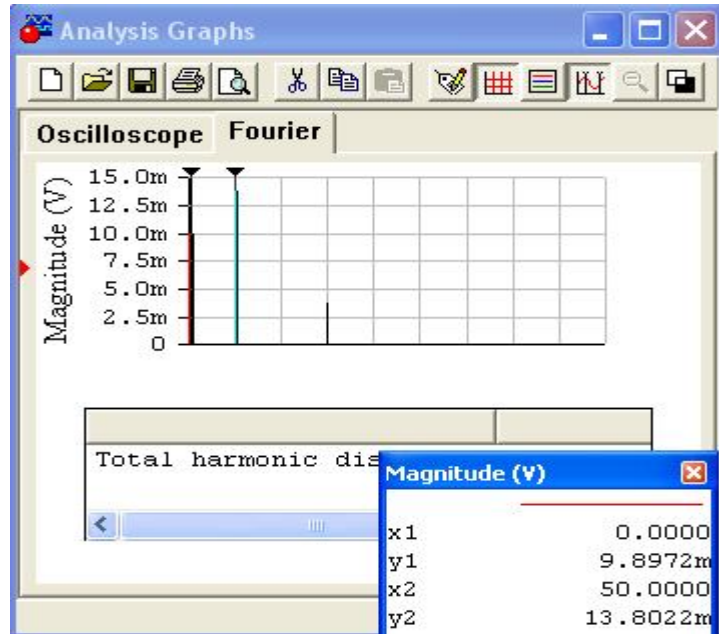


Рис. 2.8.4

**2.8.5.** Спочатку потрібно виконати експериментальне дослідження, приєднавши паралельно до котушки ємність  $C=31 \mu\text{Ф}$  і порівняти форми осцилограм струму через джерело до і після приєднання ємності (рис. 2.8.3 і 2.8.6 – осцилограми відповідають закритому входу осцилографа (режим AC)) та результати спектрального аналізу (рис. 2.8.4 і 2.8.7).

Той факт, що форма струму через джерело після приєднання ємності стала близькою до синусоїдної, повинно допомогти усвідомити процеси в електричному колі і самостійно визначити величину ємності з тим, щоби порівняти її з заданою,  $C=31 \mu\text{Ф}$ .

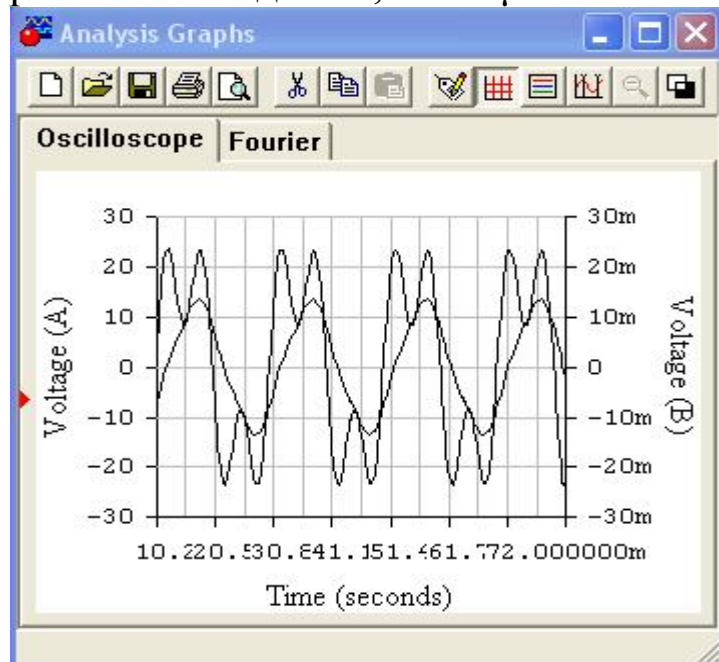


Рис. 2.8.6

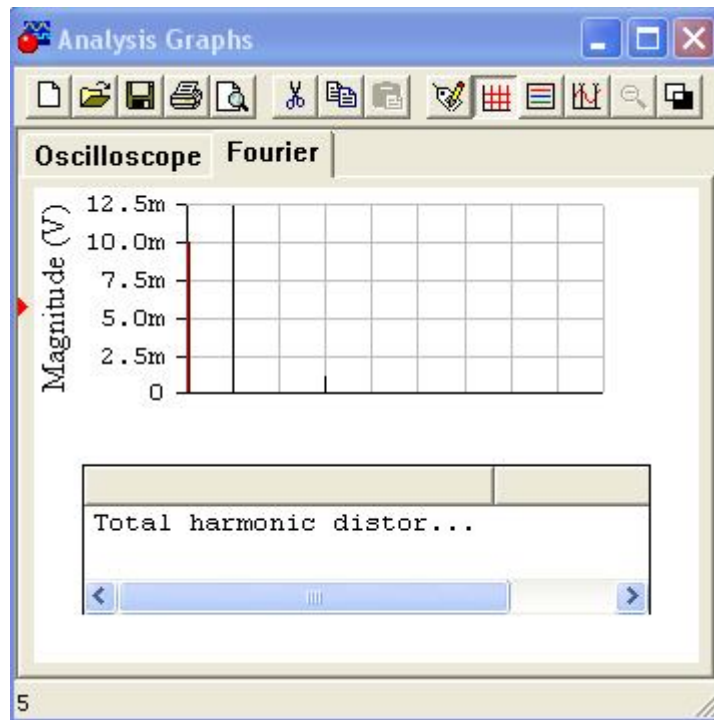


Рис. 2.8 7

**2. 9. 4.** Дослідження ампер–вольтної характеристики ідеального діода середовища *EWB* зручно виконати за допомогою експериментальної моделі (рис. 2.9.1) та меню *Analysis* → *Parameter Sweep* (див. поз. 2.3.5).

За допомогою візирних ліній (активізувати закладку *Toggle Cursors*) визначити статичний та динамічний опори довільної робочої точки ампер–вольтної характеристики. При цьому потрібно усвідомити, що одержана ампер–вольтна характеристика є еквівалентною характеристикою послідовного з'єднання досліджуваного діода і додаткового опору 0.1 Ом, падіння напруги на якому пропорційне струму. На рис. 2.9.1 ампер–вольтна характеристика відповідає прямій напрузі.

Далі потрібно одержати ампер–вольтну характеристику для зворотної напруги, визначити при цьому статичний та динамічний опори довільно вибраної точки ампер–вольтної характеристики та зробити висновок односторонньої провідності діода.

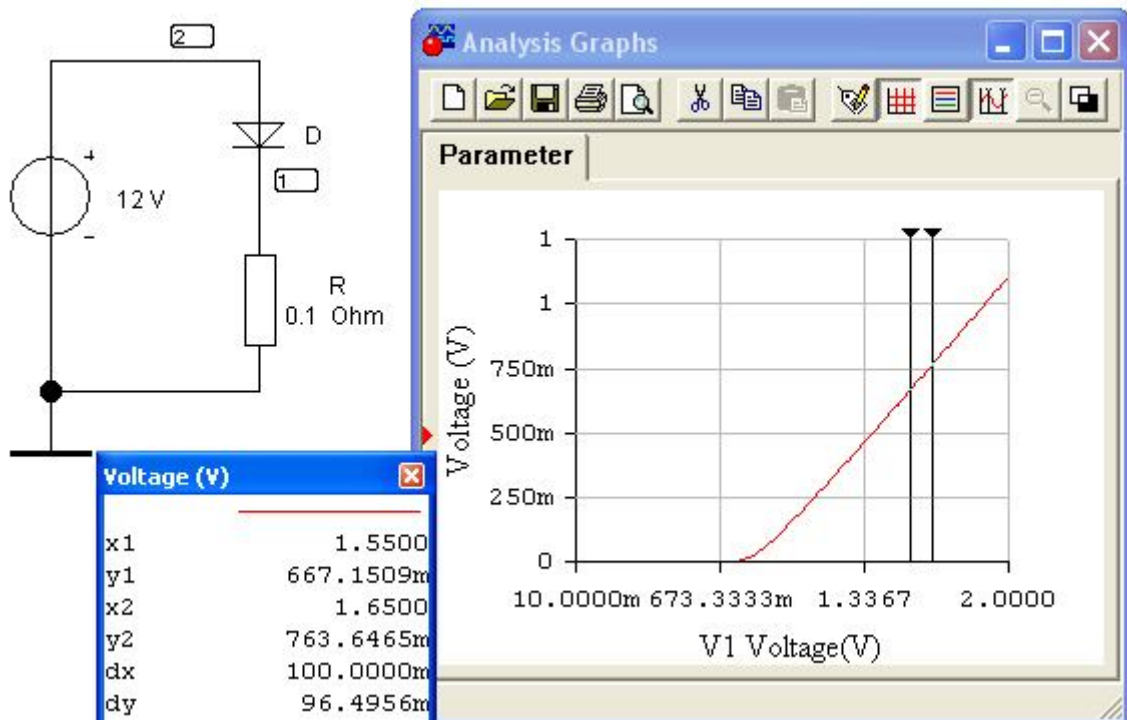


Рис. 2.9.1

**2. 9. 5.** Відомо, що оцінка пульсацій схем випрямлячів, визначається коефіцієнтом пульсацій, який дорівнює відношенню амплітуди  $A_m$  найбільш вираженої гармонійної складової, яка входить до випрямлених струму або напруги, до постійної складової  $A_d$ :  $K_n = A_m/A_d$ . Тоді коефіцієнт пульсацій напруги на виході досліджуваного випрямляча дорівнюватиме:  $K_n = 32/70 = 0.457$ . Щоб визначити коефіцієнт пульсацій напруги на навантаженні  $R_n$  потрібно визначити амплітудне значення на ньому напруги від змінної складової і врахувати, що постійна складова на виході фільтру не зміниться і дорівнюватиме  $A_d = 70$  В.

Експериментальне визначення коефіцієнтів пульсацій виконаємо за допомогою дискретного спектру ряду Фур'є. На рис. 2.9.4 подані експериментальна модель електричного кола і дискретний спектр напруги на вході фільтра (вузол 2).

Щоб пересвідчитись в справедливості визначеного коефіцієнта пульсацій напруги на навантаженні  $R_n$  потрібно порівняти його з результатами спектрального аналізу (вузол 3).

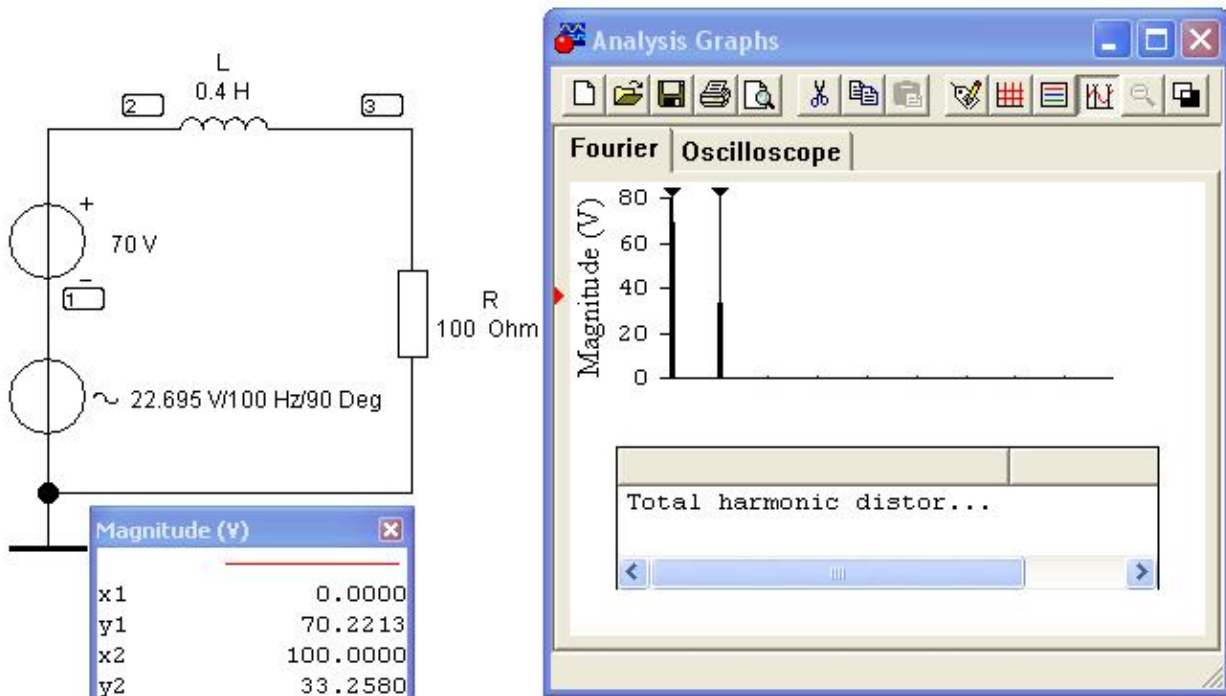


Рис. 2.9.4

**2. 10. 4.** Щоб записати рівняння для миттєвих значень напруг на конденсаторі  $C$  і резисторі  $R$  і одночасно визначити їх діючі значення потрібно згадати принцип суперпозиції (метод накладання дій ЕРС) та виконати розрахунок кола окремо по постійній і змінній складових. Потрібно також згадати тему перехідних процесів в електричних колах, зокрема визначення напруги на ємності в сталому режимі при вмиканні  $RC$  кола до джерела постійної напруги.

Переконатись в справедливості розрахунків можна за допомогою експериментальної моделі, рис. 2.10.1,а. В моделі напруга  $u=5+0.005\sin 125.6 \cdot 10^3 t$  В подана двома ідеальними джерелами ЕРС, з'єднаними послідовно.

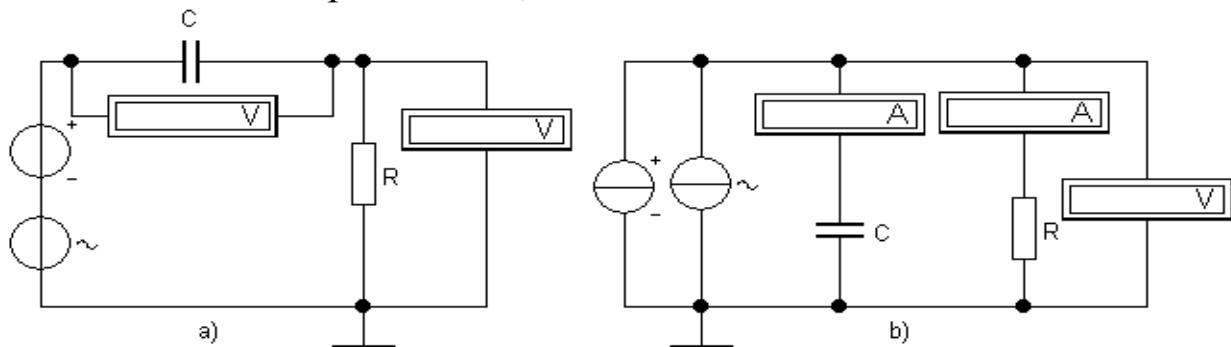


Рис. 2.10.1

Відповідно до теоретичних положень для вимірювання напруги на конденсаторі потрібно приєднати вольтметр в режимі вимірювання постійної напруги (режим  $DC$ ), а на резисторі в режимі вимірю-



## Комп'ютерні технології в електротехніці та електроніці

вання змінної напруги (режим *AC*). Для спостереження миттєвих значень напруг можна використати осцилограф, рис. 2.10.2.

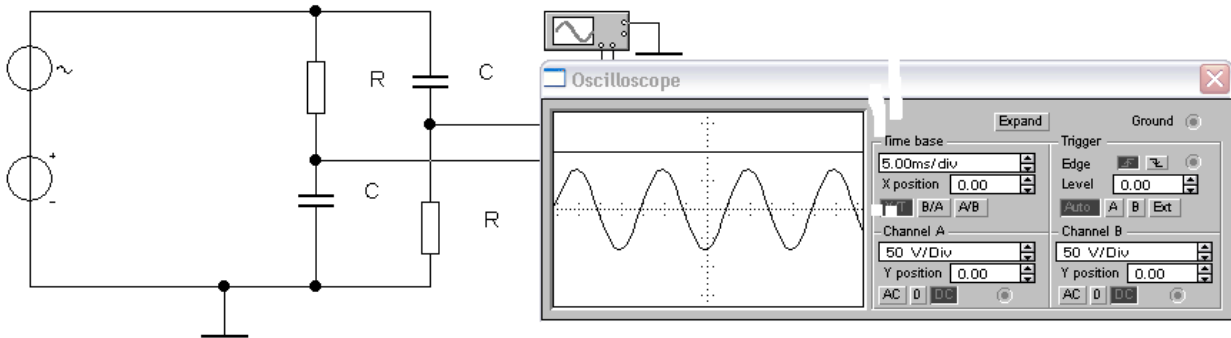


Рис. 2.10.2

На рис. 2.10.2 експериментальна модель електричного кола подана прямим (*CR*) і зворотнім (*RC*) з'єднаннями елементів для того, щоб мати можливість одночасно спостерігати осцилограми напруг на *R* і *C* елементах. Виконуючи дослідження потрібно звернути особливу увагу на режими роботи осцилографа по входу (*DC*, *AC*).

**2. 10. 5.** Визначення напруги на *RC* елементах та струмів в них практично нічим не буде відрізнятися від попередньої задачі, а переконатися в справедливості розрахунків можна за допомогою експериментальної моделі, рис. 2.10.1,в. В моделі струм  $i=10+5\sin 125.6 \cdot 10^3 t$  мА поданий двома ідеальними джерелами струму, з'єднаними паралельно. Відповідно до теоретичних положень для вимірювання напруги на *RC* елементах потрібно скористатися вольтметром в режимі вимірювання постійної напруги (режим *DC*), струму в резисторі амперметром в режимі вимірювання постійного струму (режим *DC*), а струму в конденсаторі амперметром в режимі *AC*. Для спостереження миттєвих значень напруги і струмів можна також використати осцилограф але в такому випадку в коло потрібно ввімкнути додаткові опори.

### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Электротехника и электроника в экспериментах и упражнениях: Практикум по *Electronics Workbench*: В 2 т. /Под общ. ред. Д. И. Панфилова – Т. 1: Электротехника. – М.: Додека, 1999. – 304 с., ил.
2. Карлацук В. И. Электронная лаборатория на IBM PC. Программа *Electronics Workbench* и её применение. М: Солон-Р, 2003. – 726 с., ил.
3. Кучеренко М. Є., Щерба А. А. Комп'ютерні технології в електроніці та електротехніці: Навч. метод. посіб. –К.: ІВЦ “Видавництво «Політехніка»”, 2003. -52 с. іл.
4. Кучумов А.И. Электроника и схемотехника: Учебное пособие.- М.; Гелиос АРВ, 2002.-304 с., ил.
5. Пряшников В.А., Петров Е.А., Осипов Ю.М. Электротехника и ТОЭ в примерах и задачах: Практическое пособие – СПб.; КОРОНА принт, 2001.-336 с., ил.

## ЗМІСТ

Передмова	3
1. Лабораторі роботи	4
№ 1. Вимірювання електричних величин	4
№ 2. Просте електричне коло постійного струму	10
№ 3. Складне електричне коло постійного струму	13
№ 4. Електричне коло синусоїдального струму з послідовним з'єднанням $R$ , $L$ та $C$ елементів	16
№ 5. Коло однофазного синусоїдального струму зі змішаним з'єднанням активних і реактивних елементів	19
№ 6. З'єднання зіркою в трифазному колі	23
№ 7. Перехідні процеси в електричних колах	26
№ 8. Лінійні електричні кола з несинусоїдними ЕРС	29
№ 9. Однофазні випрямлячі	31
№ 10. Підсилювач електричних сигналів	35
2. Рекомендації до виконання контрольних завдань	40
Список літератури	60