

Національний Технічний університет України
“Київський політехнічний інститут”
імені Ігоря Сікорського

Лабораторна робота №02_АС_01

**Дослідження розгалужених електричних кіл синусоїдного
струму**

Виконав ст. групи АА-00

Коваленко К.К.

Перевірив

Іваненко І.І.

Київ —20_ _

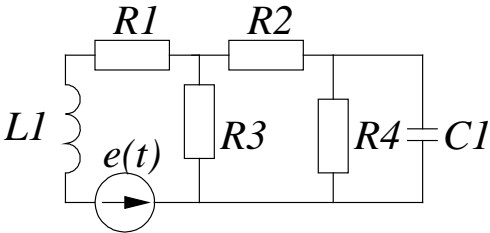
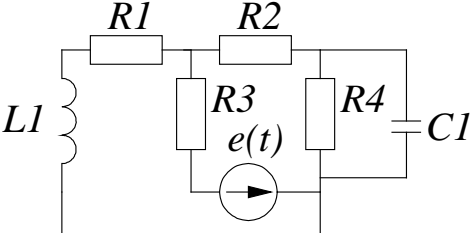
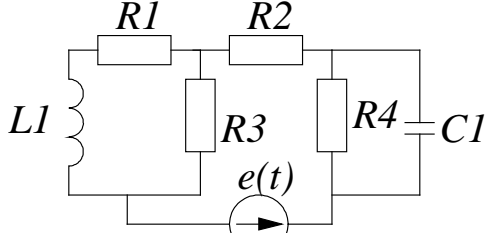
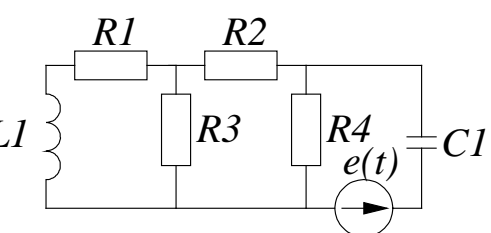
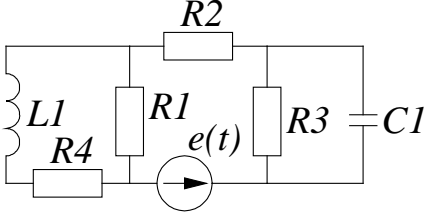
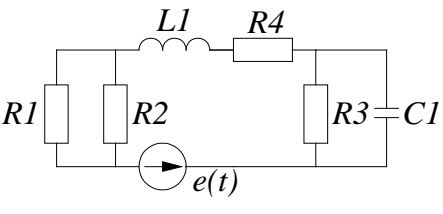
Лабораторна робота №02_АС_01. " Дослідження розгалужених електричних кіл синусоїдного струму"

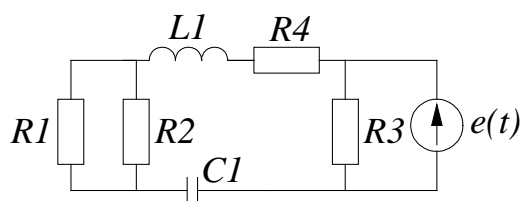
Мета роботи: Оволодіти методами аналізу і отримати навички експериментального дослідження розгалужених електричних кіл синусоїдного струму

Послідовність виконання

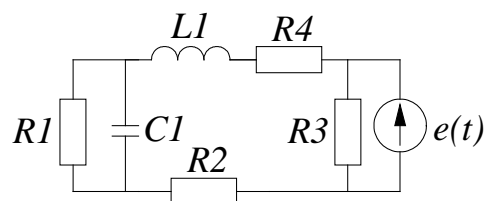
Вибрати електричне коло відповідно до заданого викладачем варіанту N , який визначається номером студента у журналі групи.

Варіанти індивідуального завдання

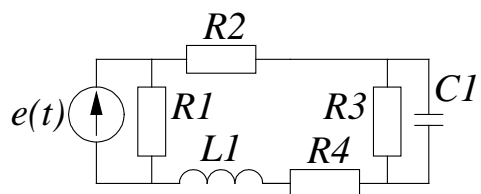
 <p style="text-align: center;">Варіант 1</p>	 <p style="text-align: center;">Варіант 2</p>
 <p style="text-align: center;">Варіант 3</p>	 <p style="text-align: center;">Варіант 4</p>
 <p style="text-align: center;">Варіант 5</p>	 <p style="text-align: center;">Варіант 6</p>



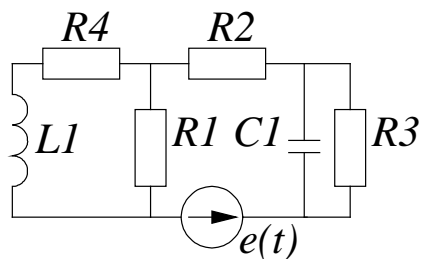
Варіант 7



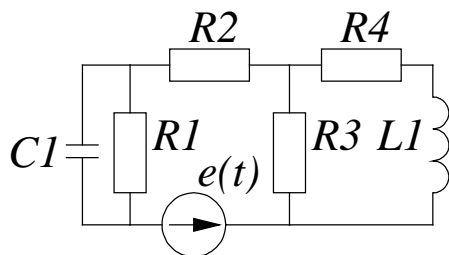
Варіант 8



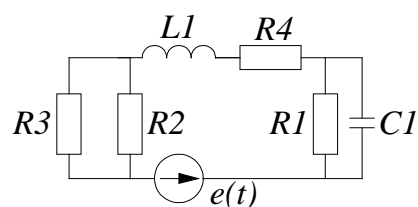
Варіант 9



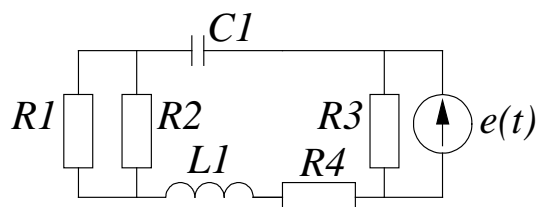
Варіант 10



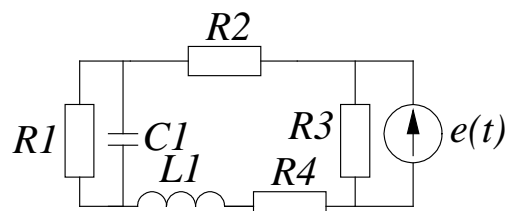
Варіант 11



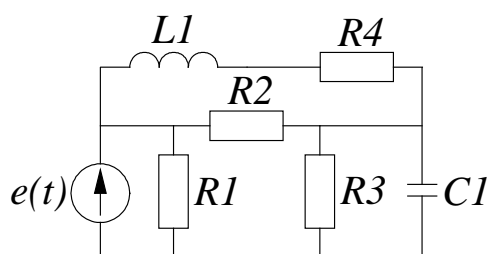
Варіант 12



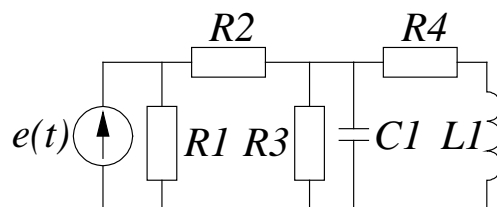
Варіант 13



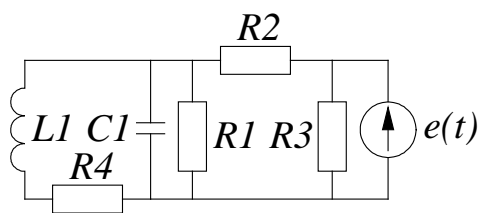
Варіант 14



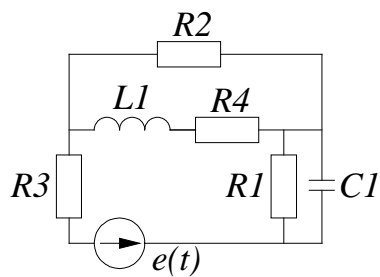
Варіант 15



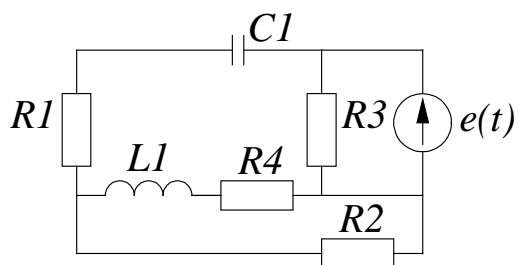
Варіант 16



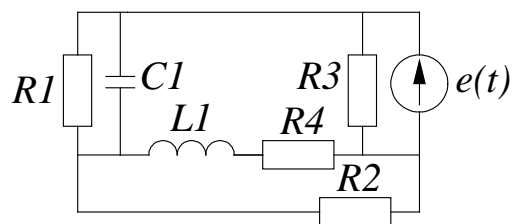
Вариант 17



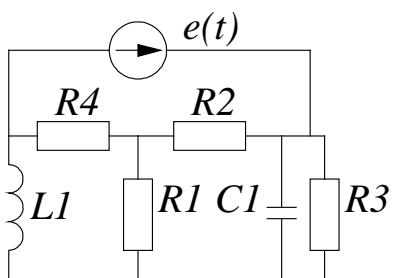
Вариант 18



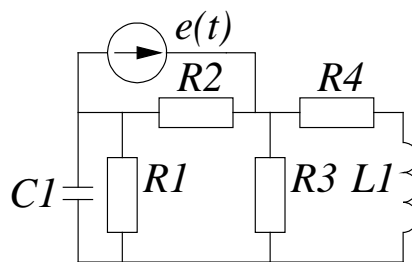
Вариант 19



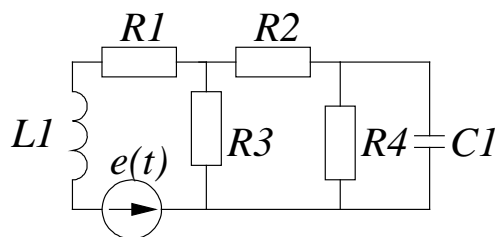
Вариант 20



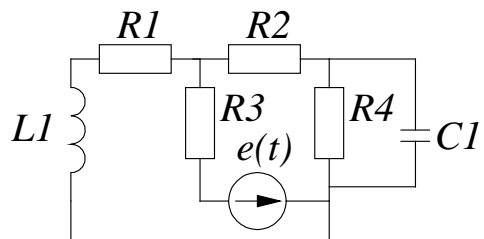
Вариант 21



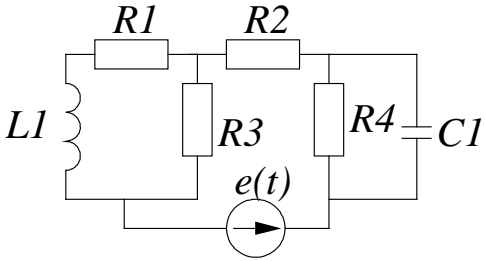
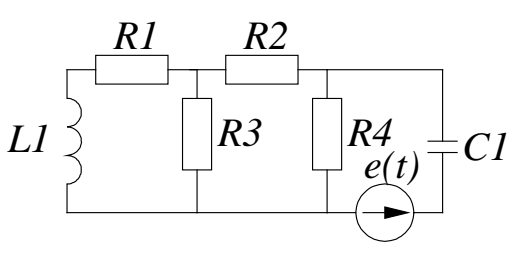
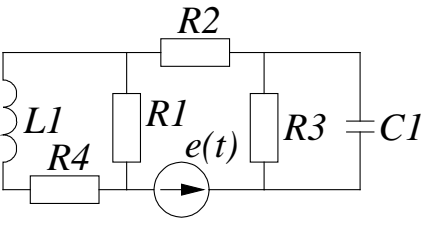
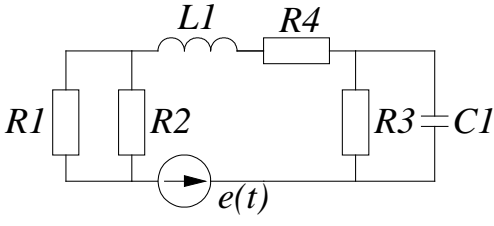
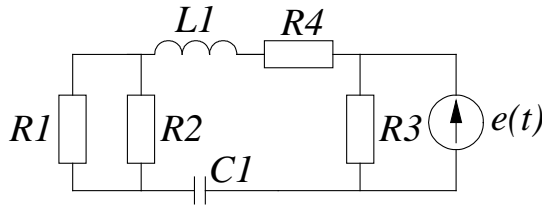
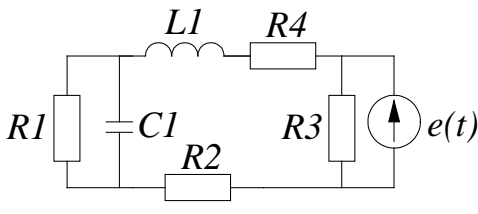
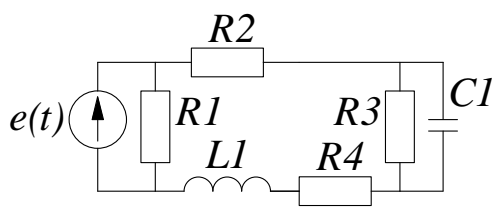
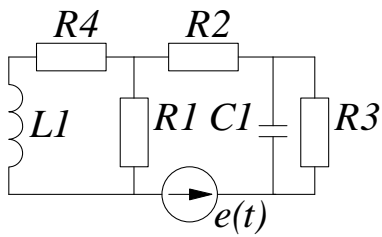
Вариант 22



Вариант 23



Вариант 24

 <p>Варіант 25</p>	 <p>Варіант 26</p>
 <p>Варіант 27</p>	 <p>Варіант 28</p>
 <p>Варіант 29</p>	 <p>Варіант 30</p>
 <p>Варіант 31</p>	 <p>Варіант 32</p>

Задати параметри елементів заданого електричного кола відповідно до свого варіанта:

Для групп АА-01, ВВ-01

$E_{xm} = 2 \cdot \text{mV}$ $f_x = 20 \cdot \text{kHz}$ $\psi_x = 7.5 \text{ deg}$ $R1 = 26 \Omega$ $R2 = 32 \Omega$ $R3 = 38 \Omega$ $R4 = 44 \Omega$ $L1 = 0.207 \text{ mH}$ $C1 = 306.067 \text{ nF}$ Варианти 1,11, 21,31	$E_{xm} = 4 \cdot \text{mV}$ $f_x = 30 \cdot \text{kHz}$ $\psi_x = 15 \text{ deg}$ $R1 = 27 \Omega$ $R2 = 34 \Omega$ $R3 = 41 \Omega$ $R4 = 48 \Omega$ $L1 = 0.143 \text{ mH}$ $C1 = 196.488 \text{ nF}$ Вариант 2, 12, 22,32
--	---

$E_{xm} = 6 \cdot \text{mV}$ $f_x = 40 \cdot \text{kHz}$ $\psi_x = 22.5 \text{ deg}$ $R1 = 28 \Omega$ $R2 = 36 \Omega$ $R3 = 44 \Omega$ $R4 = 52 \Omega$ $L1 = 0.111 \text{ mH}$ $C1 = 142.103 \text{ nF}$ Вариант 3,13, 23,33	$E_{xm} = 8 \cdot \text{mV}$ $f_x = 50 \cdot \text{kHz}$ $\psi_x = 30 \text{ deg}$ $R1 = 29 \Omega$ $R2 = 38 \Omega$ $R3 = 47 \Omega$ $R4 = 56 \Omega$ $L1 = 0.092 \text{ mH}$ $C1 = 109.762 \text{ nF}$ Вариант 4,14, 24,34
--	--

$E_{xm} = 10 \cdot \text{mV}$ $f_x = 60 \cdot \text{kHz}$ $\psi_x = 37.5 \text{ deg}$ $R1 = 30 \Omega$ $R2 = 40 \Omega$ $R3 = 50 \Omega$ $R4 = 60 \Omega$ $L1 = 0.08 \text{ mH}$ $C1 = 88.419 \text{ nF}$ Вариант 5,15, 25,35	$E_{xm} = 12 \cdot \text{mV}$ $f_x = 70 \cdot \text{kHz}$ $\psi_x = 45 \text{ deg}$ $R1 = 31 \Omega$ $R2 = 42 \Omega$ $R3 = 53 \Omega$ $R4 = 64 \Omega$ $L1 = 0.07 \text{ mH}$ $C1 = 73.343 \text{ nF}$ Вариант 6,16, 26,36
---	---

$E_{xm} = 14 \cdot \text{mV}$ $f_x = 80 \cdot \text{kHz}$ $\psi_x = 52.5 \text{ deg}$ $R1 = 32 \Omega$ $R2 = 44 \Omega$ $R3 = 56 \Omega$ $R4 = 68 \Omega$ $L1 = 0.064 \text{ mH}$ $C1 = 62.17 \text{ nF}$	$E_{xm} = 16 \cdot \text{mV}$ $f_x = 90 \cdot \text{kHz}$ $\psi_x = 60 \text{ deg}$ $R1 = 33 \Omega$ $R2 = 46 \Omega$ $R3 = 59 \Omega$ $R4 = 72 \Omega$ $L1 = 0.058 \text{ mH}$ $C1 = 53.588 \text{ nF}$
--	---

Варіант 7,17, 27,37	Варіант 8,18, 28,38
---------------------	---------------------

$E_{xm} = 18 \cdot \text{mV}$ $f_x = 100 \cdot \text{kHz}$ $\psi_x = 67.5 \text{ deg}$ $R1 = 34 \Omega$ $R2 = 48 \Omega$ $R3 = 62 \Omega$ $R4 = 76 \Omega$ $L1 = 0.054 \text{ mH}$ $C1 = 46.81 \text{ nF}$ Варіант 9,19, 29,39	$E_{xm} = 20 \cdot \text{mV}$ $f_x = 110 \cdot \text{kHz}$ $\psi_x = 75 \text{ deg}$ $R1 = 35 \Omega$ $R2 = 50 \Omega$ $R3 = 65 \Omega$ $R4 = 80 \Omega$ $L1 = 0.051 \text{ mH}$ $C1 = 41.339 \text{ nF}$ Варіант 0,10, 20,30
---	--

Для груп АА-02, ВВ-02

$E_{xm} = 3 \cdot \text{mV}$ $f_x = 20 \cdot \text{kHz}$ $\psi_x = 7.5 \text{ deg}$ $R1 = 36 \Omega$ $R2 = 42 \Omega$ $R3 = 48 \Omega$ $R4 = 54 \Omega$ $L1 = 0.286 \text{ mH}$ $C1 = 221.049 \text{ nF}$ Варіанти 1,11, 21,31	$E_{xm} = 6 \cdot \text{mV}$ $f_x = 30 \cdot \text{kHz}$ $\psi_x = 15 \text{ deg}$ $R1 = 37 \Omega$ $R2 = 44 \Omega$ $R3 = 51 \Omega$ $R4 = 58 \Omega$ $L1 = 0.196 \text{ mH}$ $C1 = 143.383 \text{ nF}$ Варіант 2, 12, 22,32
---	--

$E_{xm} = 9 \cdot \text{mV}$ $f_x = 40 \cdot \text{kHz}$ $\psi_x = 22.5 \text{ deg}$ $R1 = 38 \Omega$ $R2 = 46 \Omega$ $R3 = 54 \Omega$ $R4 = 62 \Omega$ $L1 = 0.151 \text{ mH}$ $C1 = 104.707 \text{ nF}$ Варіант 3,13, 23,33	$E_{xm} = 12 \cdot \text{mV}$ $f_x = 50 \cdot \text{kHz}$ $\psi_x = 30 \text{ deg}$ $R1 = 39 \Omega$ $R2 = 48 \Omega$ $R3 = 57 \Omega$ $R4 = 66 \Omega$ $L1 = 0.124 \text{ mH}$ $C1 = 81.618 \text{ nF}$ Варіант 4,14, 24,34
---	---

$E_{xm} = 15 \cdot \text{mV}$ $f_x = 60 \cdot \text{kHz}$ $\psi_x = 37.5 \text{ deg}$ $R1 = 40 \Omega$ $R2 = 50 \Omega$ $R3 = 60 \Omega$ $R4 = 70 \Omega$ $L1 = 0.106 \text{ mH}$ $C1 = 66.315 \text{ nF}$ Варіант 5,15, 25,35	$E_{xm} = 18 \cdot \text{mV}$ $f_x = 70 \cdot \text{kHz}$ $\psi_x = 45 \text{ deg}$ $R1 = 41 \Omega$ $R2 = 52 \Omega$ $R3 = 63 \Omega$ $R4 = 74 \Omega$ $L1 = 0.093 \text{ mH}$ $C1 = 55.455 \text{ nF}$ Варіант 6,16, 26,36
---	---

$E_{xm} = 21 \cdot \text{mV}$ $f_x = 80 \cdot \text{kHz}$ $\psi_x = 52.5 \text{ deg}$ $R1 = 42 \Omega$ $R2 = 54 \Omega$ $R3 = 66 \Omega$ $R4 = 78 \Omega$ $L1 = 0.084 \text{ mH}$ $C1 = 47.368 \text{ nF}$ Варіант 7,17, 27,37	$E_{xm} = 24 \cdot \text{mV}$ $f_x = 90 \cdot \text{kHz}$ $\psi_x = 60 \text{ deg}$ $R1 = 43 \Omega$ $R2 = 56 \Omega$ $R3 = 69 \Omega$ $R4 = 82 \Omega$ $L1 = 0.076 \text{ mH}$ $C1 = 41.125 \text{ nF}$ Варіант 8,18, 28,38
---	---

$E_{xm} = 27 \cdot \text{mV}$ $f_x = 100 \cdot \text{kHz}$ $\psi_x = 67.5 \text{ deg}$ $R1 = 44 \Omega$ $R2 = 58 \Omega$ $R3 = 72 \Omega$ $R4 = 86 \Omega$ $L1 = 0.07 \text{ mH}$ $C1 = 36.172 \text{ nF}$ Варіант 9,19, 29,39	$E_{xm} = 30 \cdot \text{mV}$ $f_x = 110 \cdot \text{kHz}$ $\psi_x = 75 \text{ deg}$ $R1 = 45 \Omega$ $R2 = 60 \Omega$ $R3 = 75 \Omega$ $R4 = 90 \Omega$ $L1 = 0.065 \text{ mH}$ $C1 = 32.153 \text{ nF}$ Варіант 0,10, 20,30
---	--

Розрахункова частина

Визначити струм в індуктивному елементі і напругу на ємнісному елементі символічним методом у такій послідовності:

□ Визначити і обчислити значення комплексних опорів (імпедансів) елементів кола;

- ☐ Визначити комплексне значення електрорушійної сили;
- ☐ Побудувати еквівалентну комплексну схему заданого електричного кола;
- ☐ Розрахувати комплексний струм в індуктивному і напругу на ємнісному елементах;
- ☐ За комплексними значеннями розрахувати амплітуду і початкову фазу струму в індуктивному і напруги на ємнісному елементах;

Експериментальна частина

Послідовність виконання роботи

Побудувати засобами *Electronic Workbench* електричне коло, приклад якого наведено на рис. 01-АС.01.

На рис. 01-АС.01 показані:

E1 — джерело синусоїдної напруги. Джерела напруги і струму знаходяться на вкладці *Sources*;

R1, R2, R3, R4 — резистори. Резистори знаходяться на вкладці *Basic*;

L1 — індуктивний елемент (індуктор). Індуктори знаходяться на вкладці *Basic*;

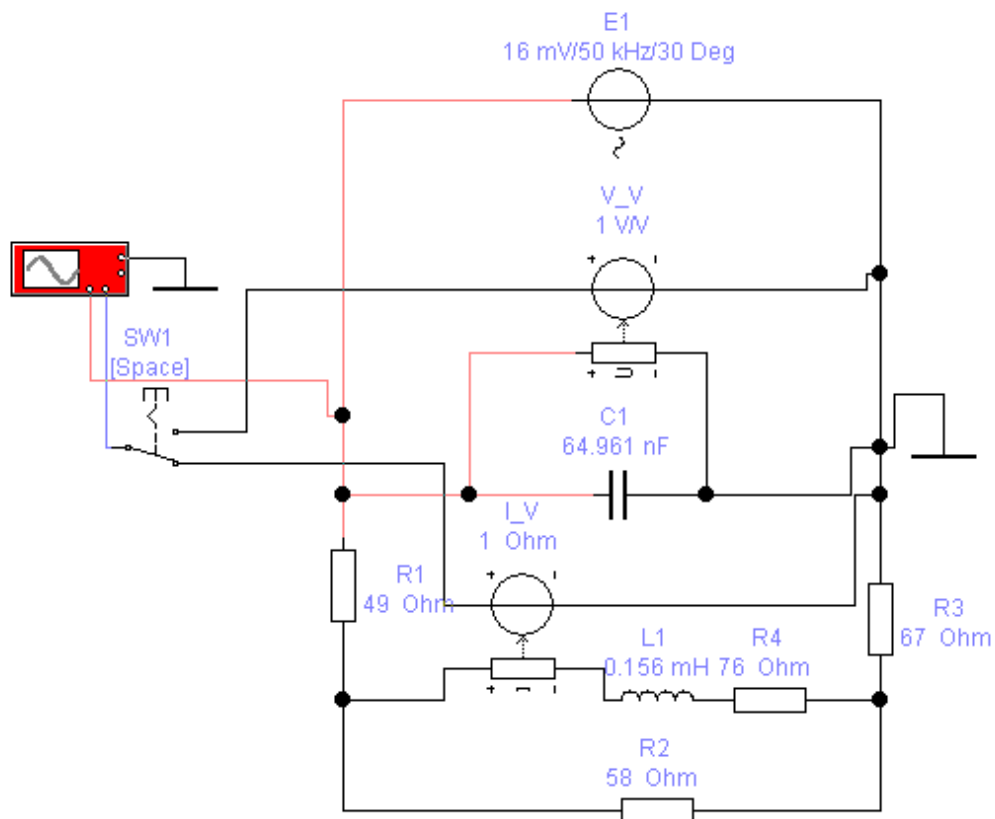


Рис. 01-АС.01 Варіант 00

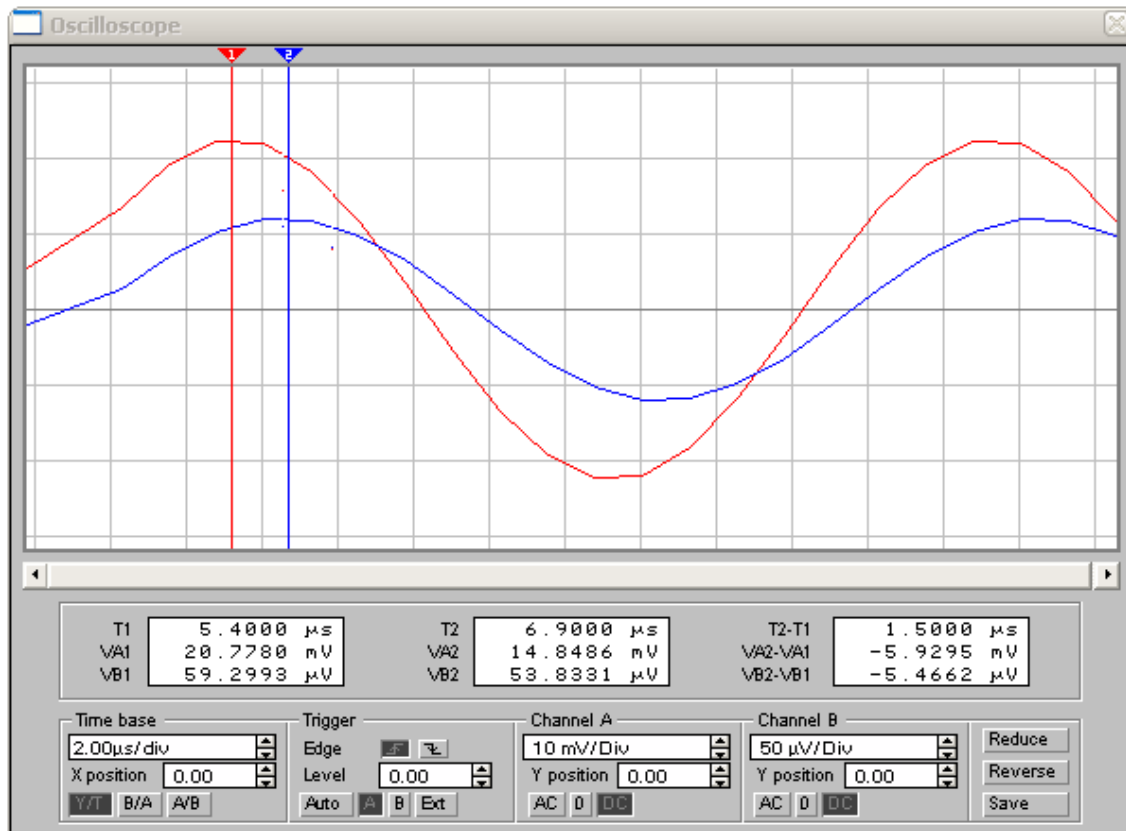


Рис. 01-AC.02 Варіант 00

C1 — конденсатор. Конденсатори знаходяться на вкладці *Basic*;

PV1 — вольтметр у режимі вимірювання синусоїдної напруги (режим AC). Вольтметри знаходяться на вкладці *Indicator*;

PA1 — амперметри у режимі вимірювання синусоїдного струму (режим AC) Амперметр знаходиться на вкладці *Indicators*.

V_V — кероване напругою джерело напруги. Керовані джерела напруги знаходяться на вкладці *Sources*;

I_V — кероване струмом джерело напруги. Керовані джерела напруги знаходяться на вкладці *Sources*;

SW1 — комутатор (ключ). Ключі знаходяться на вкладці *Basic*.

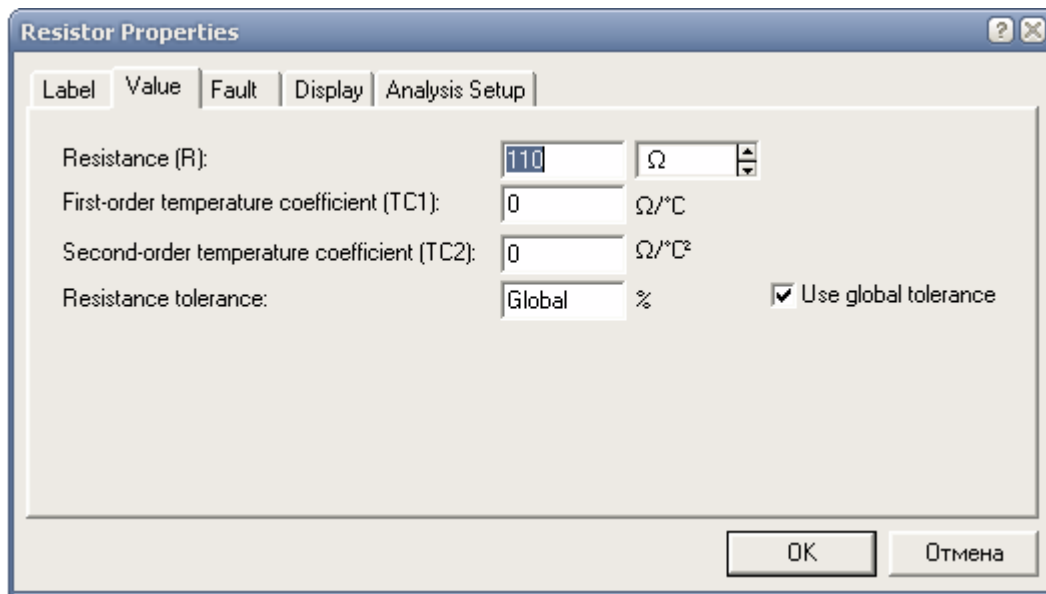



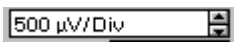
Рис. 01-АС.03

Задати значення параметрів елементів кола, обчислені у розрахунковій частини.

Запустити процес моделювання, натиснувши на кнопку I/O у верхньому правому куті екрану.

Синхронізувати осцилограф для отримання стійкого зображення на його екрані.

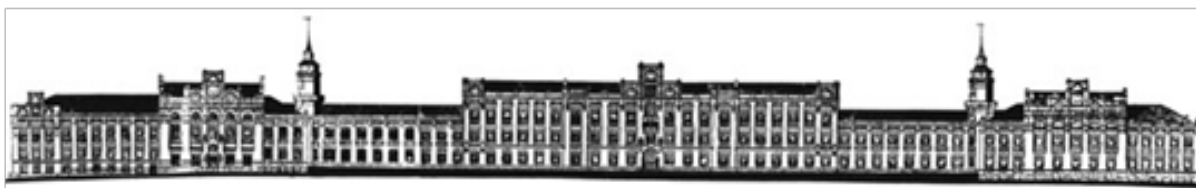
При роботі з осцилографом дотримуватися таких рекомендацій:

- Масштаб за часом (Time base) встановити такий, щоб на екрані осцилографа розміщувалося 1,5...2 періоди коливань.
- Запуск осцилографа (Trigger) встановити від зовнішнього сигналу (Ext), наростанням імпульсу  з нулевим (0,0) рівнем запуску (Level).
- Масштаб напруг  у каналі А (Chanel A) і у каналі В (Chanel B) встановити такий, щоб подвійна амплітуда коливань становила не менше 3/4 екрану.

За допомогою візирів на екрані осцилографа визначити період, початкові фази струму в індуктивності і напруги на ємності

Порівняти результати обчислень і вимірювань і зробити висновки.

На захист представити паперовий і електронний варіанти.



Національний Технічний університет України (КПІ)

Кафедра теоретичної електротехніки

Зразок

Лабораторна робота №02_АС_01

з дисципліни "Основи електротехніки та електроніки"

" Дослідження розгалужених електричних кіл синусоїдного струму "

Виконав:

Студент групи ЕЕ-00

Петренко П.П.

Перевірив:

доц. Коваленко К.К.

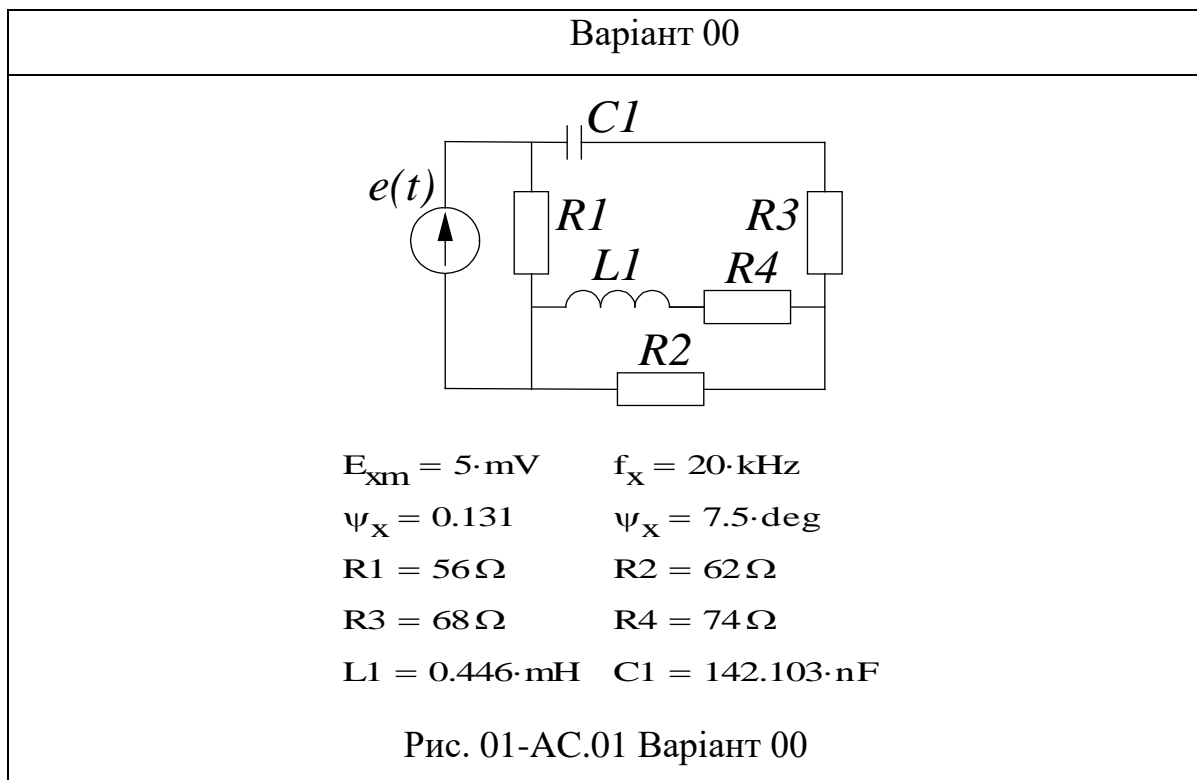
Київ —20__

Мета роботи: Оволодіти методами аналізу і отримати навички експериментального дослідження розгалужених електричних кіл синусоїдного струму з одним джерелом енергії

Завдання

Визначити струм в індуктивному елементі і напругу на ємнісному елементі символічним методом. Розрахунки перевірити числовим експериментом комп'ютерними симуляторами ***Electronic Workbench, Multisim.***

Завдання для варіанту 00



Розрахункова частина

Розрахунок струмів у вітках кола і напруг на елементах кола виконуємо методом еквівалентних перетворень, використовуючи математичну комп'ютерну програму **Mathcad**.

Визначаємо струм в індуктивному елементі і напругу на ємнісному елементі у такій послідовності:

1. обчислюємо комплексне значення електрорушійної сили

$$E_x := \frac{E_{xm}}{\sqrt{2}} \cdot e^{j \cdot \psi_x} = (3.505 + 0.461j) \cdot \text{mV} ;$$

2. визначаємо кутову частоту

$$\omega := 2 \cdot \pi \cdot f_x = 1.257 \times 10^5 \frac{1}{\text{s}}$$

3. визначаємо комплексні опори (імпеданси) елементів кола

$$Z_{R1} = R1 \quad Z_{R2} = R2 \quad Z_{R3} = R3 \quad Z_{R4} = R4$$

$$Z_{L1} := (j \cdot \omega) \cdot L1 \quad Z_{C1} := \frac{1}{[(j \cdot \omega) \cdot C1]} ;$$

4. визначаємо еквівалентний комплексний опір послідовного з'єднання L1-R4 і обчислюємо його значення

$$Z_{L_R4} := Z_{L1} + R4 = (74 + 56j) \Omega ;$$

5. визначаємо еквівалентний комплексний опір паралельного з'єднання віток L1-R4 та R2 і обчислюємо його значення

$$Z_a := \frac{1}{\frac{1}{R2} + \frac{1}{Z_{L_R4}}} = (37.833 + 9.951j) \Omega ;$$

6. визначаємо еквівалентний комплексний опір послідовного з'єднання ділянок C1, R3, Z_a

$$Z_b := R3 + Z_{C1} + Z_a = (105.833 - 46.049j) \Omega ;$$

7. визначаємо струм в еквівалентному комплексному опорі Z_b

$$I_b := \frac{E_x}{Z_b} = (26.253 + 15.784j) \cdot \mu A$$

8. визначаємо комплексну напругу на ємнісному елементі

$$U_{C1} := Z_{C1} \cdot I_b = (0.884 - 1.47j) \text{ mV}$$

9. визначаємо діюче значення комплексної напруги на ємнісному елементі

$$|U_{C1}| = \sqrt{(0.884)^2 + (1.47)^2} = 1.715 \text{ mV}$$

10. визначаємо амплітудне значення комплексної напруги на ємнісному елементі

$$U_{Cm} = \sqrt{2} \cdot U_{C1} = 2.426 \text{ mV}$$

11. визначаємо початкову фазу комплексної напруги на ємнісному елементі

$$\psi_{C1} = \text{atan}\left(\frac{\text{Im}(U_{C1})}{\text{Re}(U_{C1})}\right) = \text{atan}\left(\frac{1.47}{0.884}\right) = -1.029 = -58.986 \text{ deg}$$

12. визначаємо струм в еквівалентному комплексному опорі Z_a

$$U_a := Z_a \cdot I_b = (0.836 + 0.858j) \text{ mV}$$

13. визначаємо комплексний струм в індуктивному елементі

$$I_{L1} := \frac{U_a}{Z_{L_R4}} = (12.767 + 1.939j) \mu A$$

14. визначаємо діюче значення комплексного струму в індуктивному елементі

$$|I_{L1}| = \sqrt{(12.767)^2 + (1.939)^2} = 12.913 \mu A$$

15. визначаємо амплітудне значення комплексного струму в індуктивному елементі

$$I_{Lm} = \sqrt{2} \cdot I_{L1} = 18.262 \mu A$$

16. визначаємо початкову фазу комплексного струму в індуктивному елементі

$$\psi_{L1} = \operatorname{atan}\left(\frac{\operatorname{Im}(I_{L1})}{\operatorname{Re}(I_{L1})}\right) = \operatorname{atan}\left(\frac{1.939}{12.767}\right) = 0.151 \cdot \text{rad} = 8.634 \text{ deg}$$

17. записуємо напругу на ємнісному елементі як функцію часу

$$u_C(t) = 1.715 \cdot \sqrt{2} \cdot \sin(1.257 \times 10^5 \cdot t - 1.029) \cdot \text{mV}$$

18. записуємо струм в індуктивному елементі як функцію часу

$$i_L(t) = 12.913 \cdot \sqrt{2} \cdot \sin(1.257 \times 10^5 \cdot t + 0.151) \cdot \mu A$$

Експериментальна частина

Послідовність виконання роботи

Будуємо засобами *Electronic Workbench* електричне коло для варіанту 00 (рис. 02-АС.01).

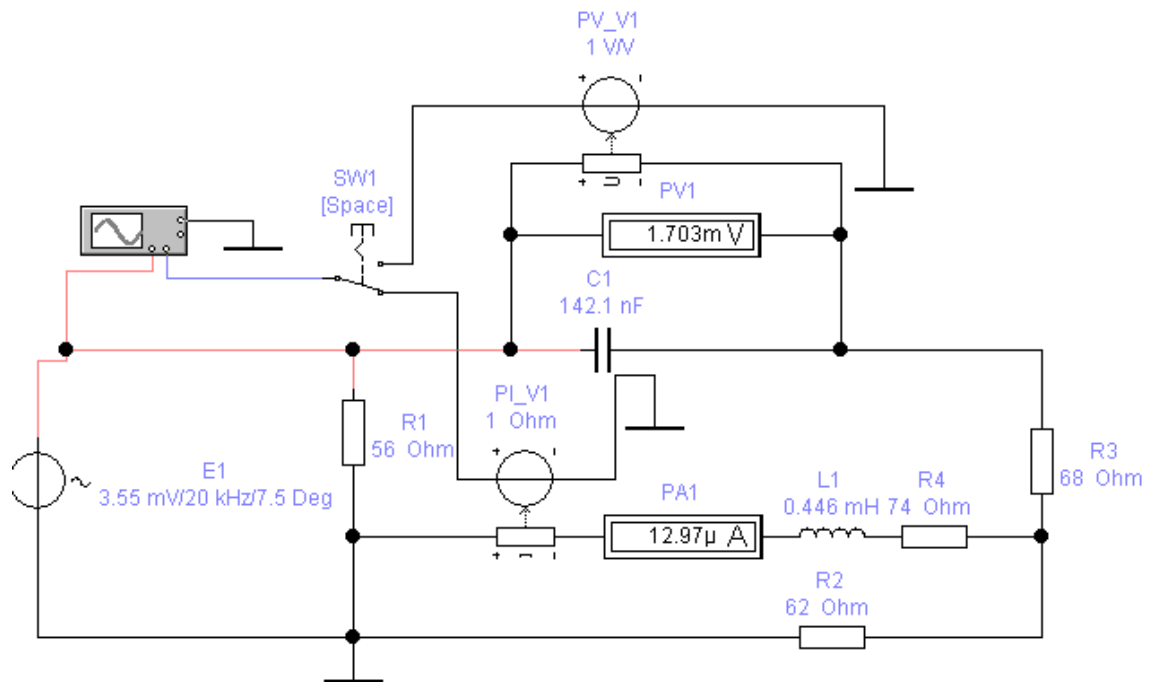


Рис. 01-АС.02 Варіант 00

На рис. АС_01.2 показані:

E1 — джерело синусоїдної напруги (вкладка *Sources* компонент *AC Voltage Source*);

R1 — резистор (вкладка *Basic* компонент *Resistor*);

L1 — індуктивний елемент (вкладка *Basic* компонент *Inductor*);

C1 — конденсатор (вкладка *Basic* компонент *Capacitor*);

PV_V1 — кероване напругою джерело напруги (вкладка *Sources* компоненти *Voltage—Controlled Voltage Source*);

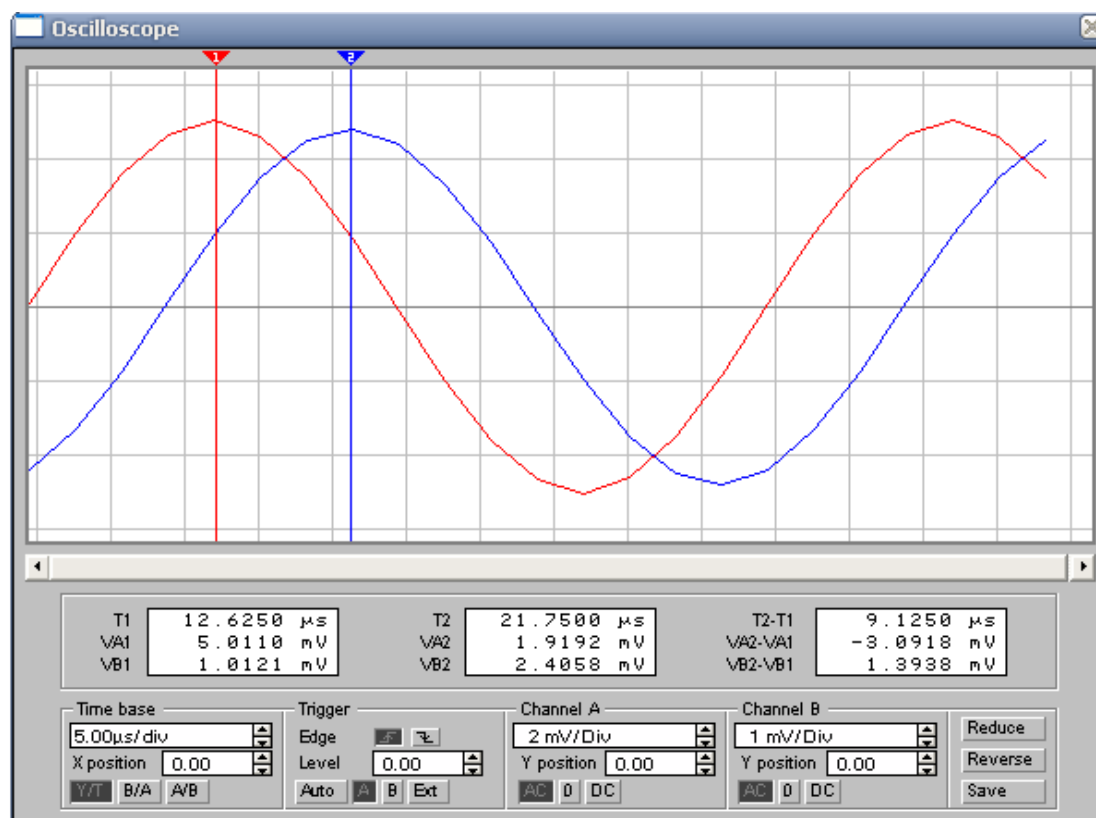


Рис. 01-AC.03 Варіант 00

I_V1 — кероване струмом джерело напруги (вкладка *Sources* компоненти *Current—Controlled Voltage Source*);

Осцилограф (*Oscilloscope*), призначений для відображення графіків залежностей електричних величин від часу. Осцилограф знаходиться на вкладці *Instrument* (третій зліва);

Задаємо значення параметрів елементів кола відповідно до індивідуального варіанту 00.

Переводимо амперметр і вольтметр у режим вимірювання синусоїдного струму — AC.

Запускаємо процес моделювання, натиснувши на кнопку I/O у верхньому правому куті екрану.

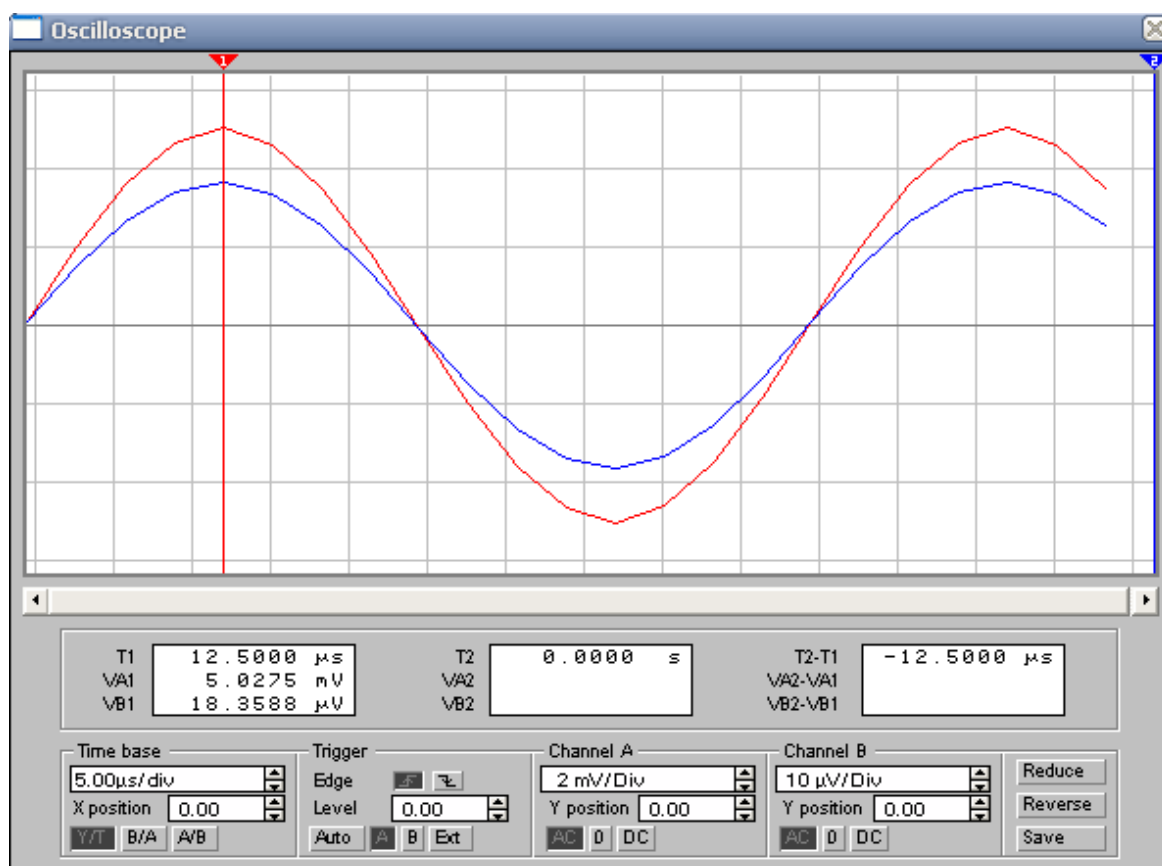


Рис. 01-АС.04 Варіант 00

Таблиця 01-АС.01

	Параметри		
	Діюче значення	Амплітудне значення	Початкова фаза
Струм в індукторі, mA			
Результати обчислень	12.913 μA	18.262 μA	8,634
Результати вимірювань	12.97 μA	18.3588 μA	7,5
Напруга на конденсаторі, V			
Результати обчислень	1.715 mV	2.426 mV	-58.986
Результати вимірювань	1.703 mV	2.4058 mV	-59.1

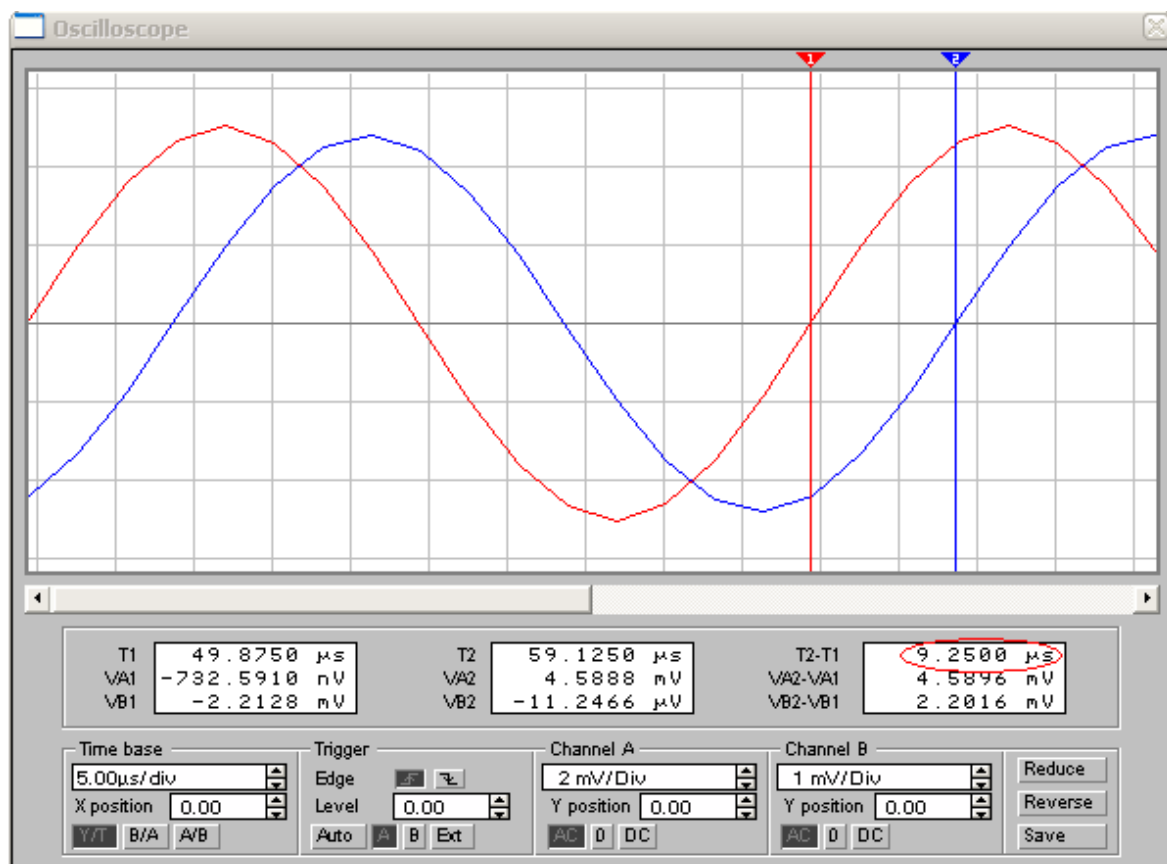


Рис. 01-АС.05 Варіант 00

Знімаємо покази амперметра і вольтметра, тобто діючі значення, і заносимо їх у табл. 01-АС.01.

За допомогою осцилографа знімаємо осцилограми залежності струму в індуктивності і напруги на ємності від часу. На осцилограмах (АС_01.3, АС_01.4) за допомогою візирів вимірюємо амплітудні значення струму в індуктивності і напруги на ємності і записуємо їх в табл. 01-АС.01.

За допомогою візирів визначаємо зсув за часом напруги на ємності відносно вхідної напруги (рис. АС_01.5).

$$\Delta t_{U_C} := 9.25 \cdot \mu s$$

Визначаємо різницю фаз між вхідною напругою і напругою на ємнісному елементі

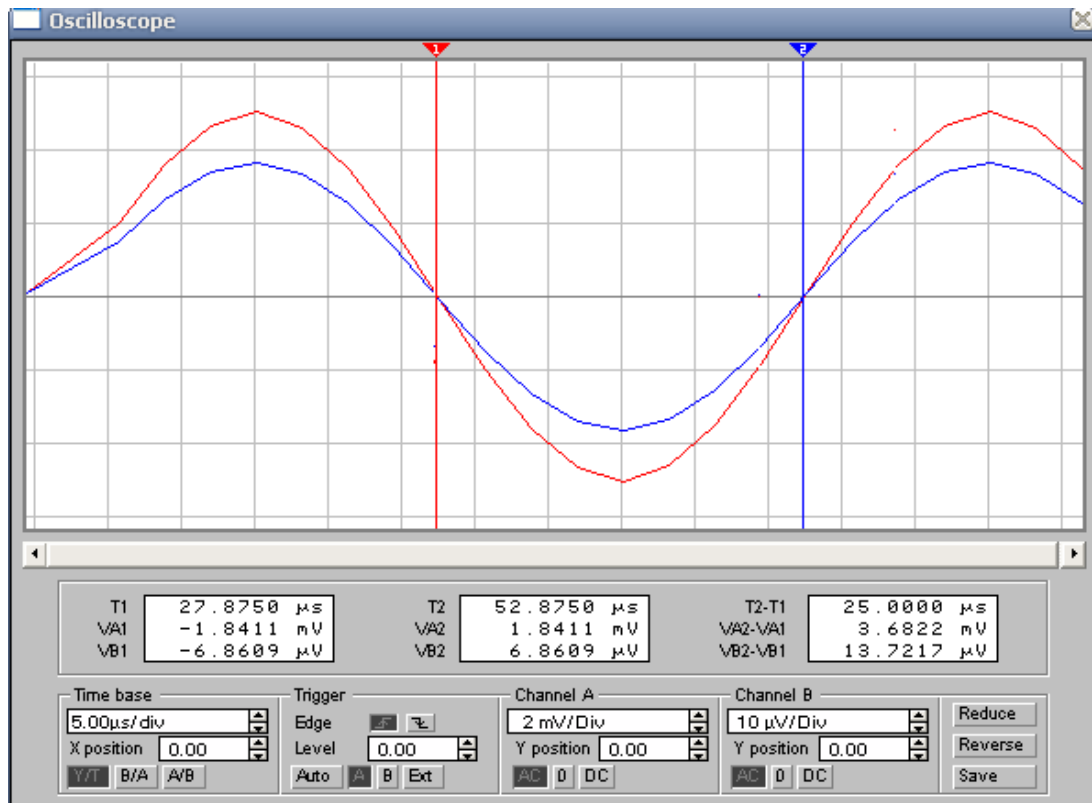


Рис. 01-АС.06 Варіант 00

$$\phi_{U_C} = \frac{\Delta t_{U_C}}{T} \cdot 360 = \Delta t_{U_C} \cdot (f_x) \cdot 360 = 66.6$$

Визначаємо початкову фазу напруги на ємнісному елементі

$$\psi_{U_C} = \psi_x + \phi_{U_C} = 7.5 - 66.6 = -59.1$$

Заносимо знайдене значення початкової фази напруги на ємнісному елементі у табл. 01-АС.01

Визначаємо зсув за часом синусоїди струму в індуктивності відносно синусоїди вхідної напруги. Як видно з осцилограми (АС_01.6), між цими синусоїдами нульовий зсув по часу

$$\Delta t_{\Pi} := 0 \cdot \mu s$$

Отже, зсув фаз між цими синусоїдами також буде рівний нулю

$$\phi_{\text{IL}} = \frac{0}{T} \cdot 360 = 0 \cdot (f_x) \cdot 360 = 0$$

Визначаємо початкову фазу струму в індукторі

$$\psi_{\text{IL}} = \psi_x + \phi_{\text{IL}} = 7.5 + 0 = 7.5$$

Заносимо знайдене значення початкової фази напруги на ємнісному елементі у табл. 01-АС.01

Теоретичні відомості

Символічний метод розрахунку електричних кіл синусоїдного струму

Аналіз і розрахунок електричних кіл, як вже зазначалось, значно спрощується, якщо електрорушійні сили, напруги, струми, а також параметри елементів електричних кіл представити комплексними числами. Метод розрахунку, що ґрунтується на такому представленні, дістав назву *символічного*.

Розрахунок електричних кіл синусоїдного струму доцільно здійснювати у такій послідовності:

- ☐ параметри джерел напруги (електрорушійні сили і внутрішні опори) і струму (струми джерел і внутрішні провідності) представляються комплексними значеннями;
- ☐ параметри споживачів електричної енергії також представляються комплексними значеннями;
- ☐ невідомі синусоїдні струми і напруги комплексними величинами з невідомими значеннями;
- ☐ будуються комплексні схеми заміщення елементів кола і на їх основі будується комплексна схема заміщення електричного кола у цілому;

□ визначаються невідомі струми і напруги на елементах і розраховуються їх значення;

□ за знайденими комплексними значеннями визначаються миттєві значення струмів і напруг як функцій часу.

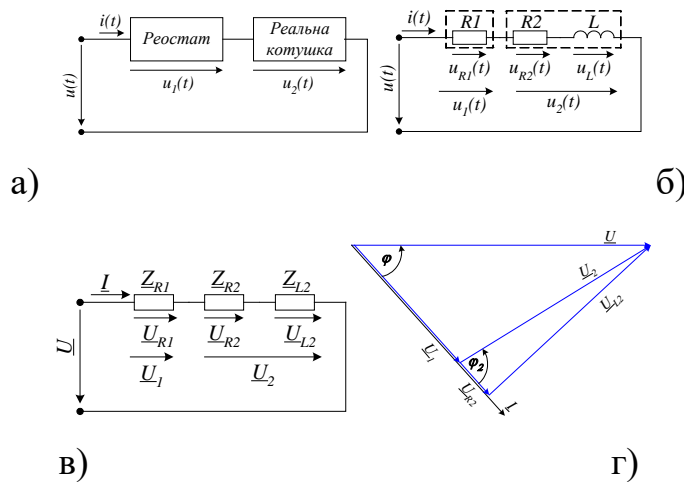


Рис. T01-AC.01

Розглянемо приклади застосування символічного методу для розрахунку електричних кіл синусоїдного струму.

Розрахунок простих електричних кіл синусоїдного струму

Застосування символічного методу для розрахунку простих електричних кіл дає змогу дослідити основні електромагнітні процеси у колах, визначити необхідні параметри елементів електричних кіл.

Послідовне з'єднання реостата і реальної котушки.

Приклад 3.14. Реальна котушка, індуктивність якої дорівнює 124 мН, активний опір 7.8 Ω , і реостат опором 27 Ω з'єднані послідовно і увімкнені в електричну мережу промислової частоти напругою 220 V. Визначити струм у колі, напруги на елементах кола, потужності елементів.

Розв'язок

Для адекватного відображення електромагнітних процесів на промисловій частоті достатньо для реальної котушки вибрати схему

заміщення, що складається з резистивного та індуктивного елементів. З'єднання ідеальних елементів у схемі заміщення доцільно вибрати послідовним, оскільки саме досліджуване коло — послідовне з'єднання елементів. Для заміщення реостата на промисловій частоті достатньо одного ідеального елемента — резистивного. Електрична схема досліджуваного кола зі схемами заміщення реальних електротехнічних пристроїв зображена на рис.3.34.

Запишемо комплексні параметри елементів кола

$$\underline{Z}_{R1} = R_1 = 27 \, \Omega$$

$$\underline{Z}_{R2} = R_2 = 7.8 \, \Omega$$

$$\underline{Z}_{L2} = j \cdot \omega \cdot L_2 = j \cdot 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L_2 = j \cdot 2 \cdot 3.14 \cdot 50 \cdot 0.124 = j \cdot 39 \, \Omega$$

Запишемо комплексне значення вхідної напруги, прийнявши для зручності початкову фазу напруги рівною нулю

$$\underline{U} = 220 \cdot e^{j \cdot 0}$$

Будуємо комплексну схему заміщення електричного кола за отриманими комплексними параметрами його елементів (3.34 в).

За законом Ома у комплексній формі визначаємо струм у колі

$$\underline{I} = \frac{\underline{U}}{\underline{Z}_{R1} + \underline{Z}_{R2} + \underline{Z}_{L2}} = \frac{220 \cdot e^{j \cdot 0}}{27 + 7.8 + j \cdot 39} = 2.802 + j \cdot 3.141 \, \text{А} = 4.209 \cdot e^{-j \cdot 0.842}$$

Кут зсуву фаз між напругою і струмом у колі є аргументом еквівалентного опору всього кола і дорівнює

$$\varphi = \psi_U - \psi_I = 0 - (-0.842) = 0.842 = 48.3^\circ$$

Струм у колі змінюватиметься у часі за законом

$$i(t) = 4.209 \cdot \sqrt{2} \cdot \sin(100\pi t - 0.842) = 4.209 \cdot \sqrt{2} \cdot \sin(100\pi t - 48.3^\circ)$$

Визначаємо значення напруг на елементах комплексної схеми заміщення електричного кола (рис. 3.34 в)

$$\underline{U}_{R1} = \underline{I} \cdot \underline{Z}_{R1} = 4.209 \cdot e^{-j0.842} \cdot 27 = 114 \cdot e^{-j0.842} \text{ V}$$

$$\underline{U}_{R2} = \underline{I} \cdot \underline{Z}_{R2} = 4.209 \cdot e^{-j0.842} \cdot 7.8 = 33 \cdot e^{-j0.842} \text{ V}$$

$$\underline{U}_{L2} = \underline{I} \cdot \underline{Z}_{L2} = 4.209 \cdot e^{-j0.842} \cdot j \cdot 39 = 164 \cdot e^{+j0.729} \text{ V}$$

Визначаємо комплексні значення напруг на елементах кола. Комплексне значення напруги на реостаті дорівнюватиме комплексному значенню напруги на резистивному елементі R_1

$$\underline{U}_1 = \underline{U}_{R1},$$

оскільки схема заміщення реостата одноелементна.

Комплексне значення напруги на реальній котушці дорівнюватиме

$$\underline{U}_2 = \underline{I} \cdot (\underline{Z}_{R2} + \underline{Z}_{L2}) = 4.209 \cdot e^{-j0.842} \cdot (7.8 + j \cdot 39) = 167 \cdot e^{+j0.531} \text{ V}$$

Різниця фаз напруги на реальній котушці і струму у колі дорівнюватиме

$$\varphi_2 = \psi_{U2} - \psi_I = 0.531 - (-0.842) = 1.373 = 79^\circ$$

Активна потужність резистивних елементів дорівнюватиме

$$P_1 = I^2 \cdot R_1 = 4.209^2 \cdot 27 = 478 \text{ W}$$

$$P_2 = I^2 \cdot R_2 = 4.209^2 \cdot 7.8 = 138 \text{ W}$$

Реактивна потужність індуктивного елемента

$$Q_2 = I^2 \cdot X_2 = 4.209^2 \cdot 39 = 690 \text{ VAR}$$

Комплексна потужність реальної котушки

$$\underline{S}_2 = \underline{U}_2 \cdot \underline{I}^* = 167 \cdot e^{+j0.531} \cdot 4.209 \cdot e^{+j0.842} = (138 + 690j) \text{ V} \cdot \text{A}$$

Комплексна потужність всього кола у цілому

$$\underline{S} = P + jQ = \underline{U} \cdot \underline{I}^* = 220 \cdot e^{j0} \cdot 4.209 \cdot e^{+j0.842} = (616 + 690j) \text{ V} \cdot \text{A}$$

Баланс активної потужності виконується

$$P = 616 \text{ W} = P_1 + P_2 = 478 + 138 = 616 \text{ W}$$

Баланс реактивної потужності також виконується

$$Q = 690 \text{ VAR} = Q_2 = 690 \text{ VAR}$$

Приклад 3.15. Реальна котушка і реостат з'єднані послідовно і увімкнені в електричну мережу промислової частоти з напругою 380 V. Вольтметр, увімкнений паралельно реостату, показує 200 V, а вольтметр, увімкнений паралельно котушці, показує 300 V. Амперметр, увімкнений послідовно з котушкою і реостатом, показує 12.5 A. Визначити опір реостату, активний опір реальної котушки та індуктивність котушки.

Розв'язок

Схеми заміщення реостату і реальної котушки вибираємо такі ж самі, як і у попередньому прикладі, керуючись тими самими міркуваннями. Електрична принципова схема, комплексна схема заміщення і векторна діаграма напруг на елементах і струму у колі наведена на рис. 3.34 у попередньому прикладі.

За теоремою косинусів визначаємо косинус кута зсуву фаз між напругою і струмом

$$\cos \varphi = \frac{U^2 + U_1^2 - U_2^2}{2 \cdot U \cdot U_1} = \frac{380^2 + 200^2 - 300^2}{2 \cdot 380 \cdot 200} = 0.621$$

Визначаємо активну та реактивну складові вхідної напруги

$$U_a = U \cdot \cos \varphi = 380 \cdot 0.621 = 236 \text{ V}$$

$$U_r = U \cdot \sin \varphi = U \cdot \sqrt{1 - (\cos \varphi)^2} = 380 \cdot 0.784 = 298 \text{ V}$$

Визначаємо активну складову напруги на реальній котушці

$$U_{2a} = U_{R2} = U_a - U_1 = U_a - U_{R1} = 236 - 200 = 36 \text{ V}$$

Знаходимо значення опору реостату і реальної котушки

$$R_1 = \frac{U_1}{I} = \frac{U_{R1}}{I} = \frac{200}{12.5} = 16 \text{ } \Omega$$

$$R_2 = \frac{U_{2a}}{I} = \frac{U_{R2}}{I} = \frac{36}{12.5} = 3 \text{ } \Omega$$

Визначаємо індуктивний опір котушки

$$X_{L2} = \frac{U_r}{I} = \frac{298}{12.5} = 24 \text{ } \Omega$$

Індуктивність котушки дорівнюватиме

$$L = \frac{X_{L2}}{\omega} = \frac{X_{L2}}{2 \cdot \pi \cdot f} = \frac{24}{100\pi} = 76 \text{ мН}$$