ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №8

НЕРОЗГАЛУЖЕНІ КОЛА СИНУСОЇДАЛЬНОГО СТРУМУ

Мета роботи експериментальне дослідження режимів в послідовних *RL*-, *RC*- і *RLC*- колах синусоїдального струму.

8.1. Теоретичні відомості і розрахункові формули

8.1.1. Реактивні опори X_L і X_C та кут зсуву фаз φ

Рівняння електричної рівноваги напруги та струмів кола синусоїдального струму можна записати в аналітичній формі і представити графічно у вигляді векторних діаграм.

Аналізуючи кола синусоїдального струму необхідно мати на увазі таке:

– реактивний *індуктивний* опір X_L індуктивної котушки і реактивний ємнісний X_C опір конденсатора залежать від частоти f джерела синусоїдальної напруги $u = U_m \sin(2\pi ft + \psi_u)$, тобто

$$X_L = \omega L = 2\pi fL ,$$

$$X_C = 1/(\omega C) = 1/(2\pi f C),$$

де $\omega = 2\pi f$ – кутова частота напруги джерела, [рад/с]; $f = 1/T$ – циклічна частота, [Гц]; T – період синусоїдальної напруги, [с]; ψ_u – початкова фаза напруги, [рад] чи [град];

– у гілках з реактивними елементами L і C між напругою і струмом виникає *фазовий зсув* $\varphi = \psi_u - \psi_i$, де ψ_i – початкова фаза струму (рис. 8.1). Кут φ (в рад чи град) – алгебраїчна величина, що змінюється в діапазоні від –90° (–π/2 рад) до +90° (+π/2 рад). Знак і величина кута залежать від типу та величини параметрів послідовно з'єднаних елементів R, L та C гілки та частоти f напруги джерела.

8.1.2. Векторні діаграми напруг і струму у *RL*-, *RC*- та *RLC*-гілках

В табл. 8.1 наведені типові гілки схеми кола синусоїдального струму, векторні діаграми напруг і струмів гілок та кути зсуву фаз φ між їхніми струмами і напругами, а, відповідно, і векторами, що їх зображають. Аналіз векторних діаграм показує, що резистивний елемент R є частотно-незалежним елементом: струм і напруга на його затискачах *збігаються за фазою* (форма струму $\boldsymbol{i_R}$ повторює форму напруги $\boldsymbol{u_R}$), тому визначаючи (за

осцилограмами) кут зсуву фаз між напругою та струмом у гілках кола, як датчик струму зазвичай використовують резистор з опором R_0, напруга $\boldsymbol{u_{R0} = R_0 i}$ із затискачів якого подається на один із входів осцилографа.

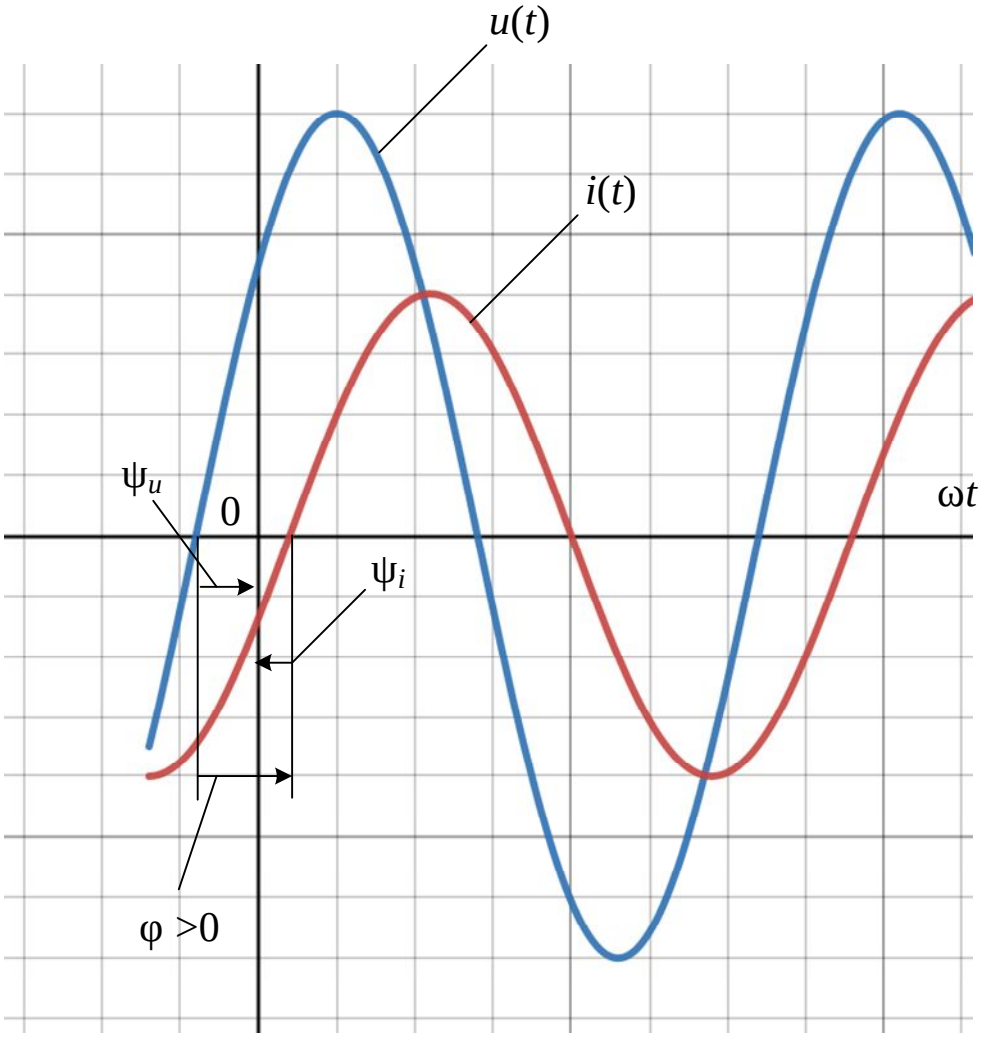
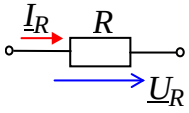
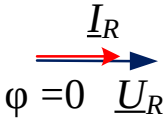
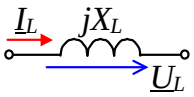
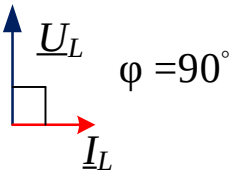
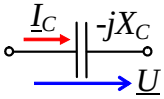
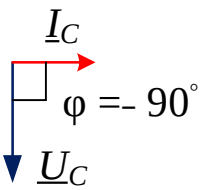
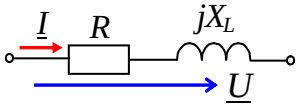
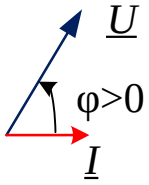
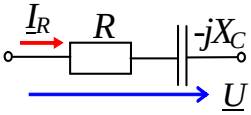
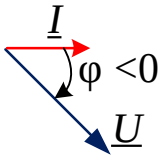
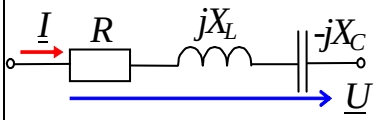


Рисунок 8.1 – Визначення куту зсуву фаз між синусоїдами струму і напруги.

В індуктивному елементі струм відстає по фазі від напруги на 90°, а в ємнісному – струм випереджає напругу на 90°. У *RL*-, *RC*- та *RLC*- гілках кути зсуву фаз залежать від значень параметрів елементів гілок і визначаються, у загальному випадку, за формулою

$$\varphi = \text{arctg}(X_L - X_C)/R.$$

Таблиця 8.1

Номер гілки (рис. 8.3)	Елементи гілки	Векторна діаграма	Кут $\varphi = \psi_u - \psi_i$
1			$\varphi = 0$
2			$\varphi = 90°\ (\pi/2)$
3			$\varphi = -90°\ (-\pi/2)$
4			$\varphi = \text{arctg}(X_L/R)$
5			$\varphi = \text{arctg}(-X_C/R)$
6		*а*) $X_L > X_C$; див. гілку 4; *б*) $X_L < X_C$ див. гілку 5; *в*) $X_L = X_C$; див. гілку 1	$\varphi = \text{arctg}[(X_L - X_C)/R]$

8.1.3. Вимірювання кута зсуву фаз φ

На вхід каналу ***A*** осцилографа будемо подавати падіння напруги u_{R0}, яке пропорційне струму гілки (колір дроту 1 – червоний), а на вхід каналу ***B*** напругу u на ділянці (колір дроту 2 – синій) (рис. 8.2). Значення кута зсуву фаз φ у гілках схеми кола визначають непрямим методом, вимірюючи часові інтервали Δt на осцилограмах, тобто

$$\varphi = 360° \Delta t \cdot f,$$

де Δt – часовий інтервал між двома найближчими точками перетину горизонтальної вісі (нульових значень) двох проміжків зростання синусоїд: напруги (синього кольору) та струму (червоного кольору). Кут **φ** має знак "плюс", якщо струм відстає (червона синусоїда праворуч від синьої) по фазі від напруги (див. рис. 8.4), або знаком "мінус", якщо струм випереджає напругу по фазі (червона синусоїда ліворуч від синьої).

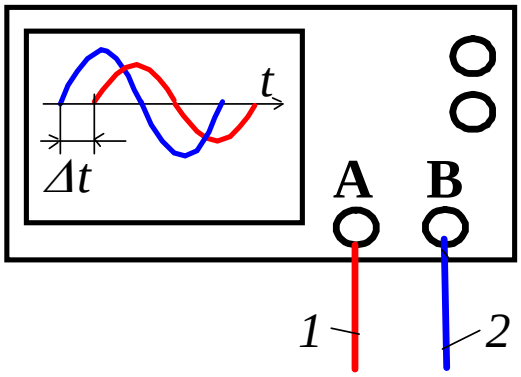


Рисунок 8.2 – Підключення до двоканального осцилографа

Під час вимірювання інтервалу часу Δt доцільно використовувати маркерні лінії (візири), розташовані ліворуч угорі екрану осцилографа (див. рис. 8.4). Якщо синій маркер осцилографа передвинути на перетин червоної синусоїди із горизонтальною віссю часу, а червоний маркер на перетин синьої синусоїди із горизонтальною віссю часу, тоді Δt=T2-T1. Де різницю T2-T1 беруть з нижнього лівого кута числових даних осцилографа, перевівши отримані значення у секунди.

У бібліотеці приладів Multisim є віртуальний ватметр XWM (див. рис. 8.3 та рис.8.4), який вимірює як активну потужність $P = UI\cos\varphi$, споживану приймачем, так і коефіцієнт потужності (**Power Factor**) $\cos\varphi = P/UI$, де U та I – діючі значення напруги і струму споживача енергії. Тоді **модуль** кута зсуву фаз між напругою та струмом

$$|\varphi| = \arccos(P/UI).$$

На практиці знак кута φ визначають непрямим методом, наприклад, приєднуючи паралельно до навантаження конденсатор: якщо при цьому коефіцієнт потужності cosφ збільшився (кут φ зменшився), то кут φ має знак "+", і навпаки.

8.2. Навчальні завдання та методичні вказівки до виконання

8.2.1. Розрахувати індуктивний опір X_L котушки та ємнісний опір X_C конденсатора на частотах, зазначених у табл. 8.2, і занести отримані значення опорів в табл. 8.2.

Значення індуктивності котушки та ємності конденсатора визначити за формулами: $L = 50 + 5N$, мГн, $C = 100 + 10N$, мкф, де N – номер запису прізвища студента у навчальному журналі групи.

Таблиця 8.2

Опір X		Частота f, Гц						
		30	40	50	60	80	100	120
Розраховано	X_L, Ом							
Виміряно	U, В							
	I, А							
Обчислено за вимірами	X_L, Ом							
Розраховано	X_C, Ом							
Виміряно	U, В							
	I, А							
Обчислено за вимірами	X_C, Ом							

Побудувати (на одному рисунку в одних осях) графіки $X_L(f)$ та $X_C(f)$. **Позначити** координати точки перетину графіків – можливого режиму резонансу напруги при послідовному з'єднанні котушки і конденсатора між собою та з джерелом синусоїдальної напруги.

8.2.2. Запустити Multisim та на набірному полі зібрати схему кола де встановити:

– червоний колір дроту, що підходить до каналу ***A*** осцилографа, і синій для дроту, що підходить до каналу ***B*** осцилографа;

– параметри пасивних елементів:

$R_0 = 1$ мОм; $R_1 = R_4 = R_5 = R_6 = 20 + 10N$, Ом;

$L_2 = L_4 = L_6 = 50 + 5N$, мГн; $C_3 = C_5 = C_6 = 100 + 10N$, мкФ;

– параметри ідеального джерела синусоїдальної напруги e_1: ЭДС $E = 10$ В (діюче значення), $f = 50$ Гц; $\psi_u = 0$;

– режим роботи **AC** амперметра A1 та вольтметра V1; опір амперметра 1 нОм; опір вольтметра 10 МОм;

– чутливість 2 мВ/діл (mV/div) каналу *A* осцилографа, в якому реєструється напруга, що знімається з резистора R_0;

– чутливість 5 В/діл (5 V/div) каналу B, в якому реєструється напруга гілки; тривалість розгортки (**TIME BASE**) в режимі **Y/T** – 2 мс/діл (2 ms/div);

– ключами (Place Basic/SWITCH/SPDT) A, B, C, D, E та F керують клавіші (у віконці SPDT/Value Key for toggle) **A, B, C, D, E** та **F** клавіатури.

Скопіювати схему електричного кола синусоїдального струму (рис. 8.3) на сторінку звіту.

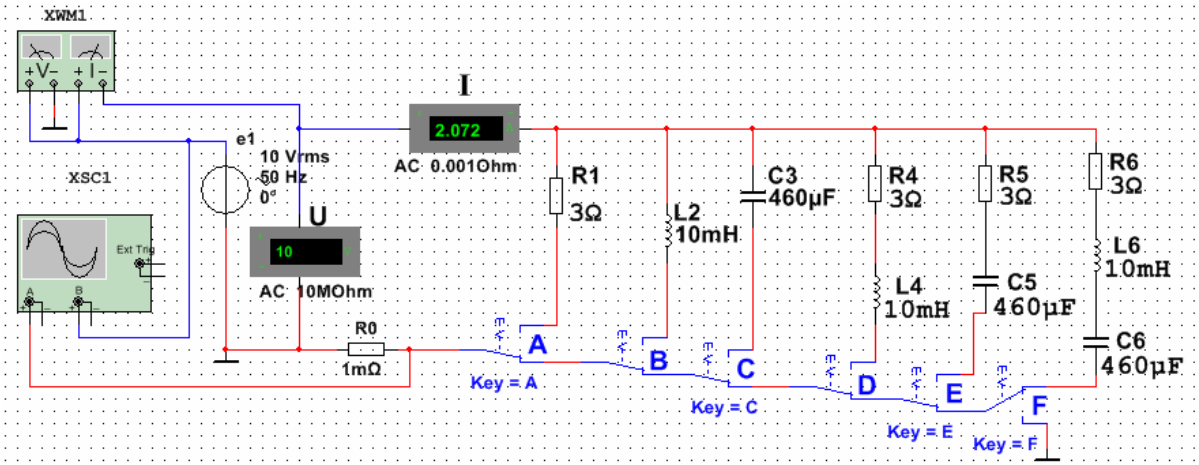


Рисунок 8.3 – Модель кола в Multisim для дослідження нерозгалужених кіл синусоїдального струму

8.2.3. Провести вимірювання струмів, напруг та кутів зсуву фаз між ними у гілках, що містять відповідно резистивний R_1, індуктивний L_2 та ємнісний C_3 елементи.

З цією метою:

– підключити резистор R_1 (натиснути клавішу **A** клавіатури) до джерела синусоїдальної напруги e_1, запустити моделювання в Multisim (натиснути кнопку «Run») і переконатися (аналізуючи осцилограми на екрані осцилографа), що кут зсуву фаз $\varphi = 0$. Струм $I_1 = U/R_1$;

– вимкнути резистор R_1 (натиснути клавішу **A** клавіатури) та підключити котушку L_2 (натиснути клавішу **B**) до джерела e_1. Показання вольтметра V1 та амперметра A1 для f = 50 Гц занести до табл. 8.2. Змінюючи ступенево частоту напруги (30, 40, 50, 60, 80, 100, 120 Гц), заносити показання вольтметра та амперметра в табл. 8.2. Розрахувати опір $X_{L2}(f) = U_L/I_L$ та порівняти отримані значення зі значеннями, знайденими під час виконання пункту 8.2.1 Переконатися (аналізуючи осцилограми), що струм i_L відстає по фазі від напруги u_L на кут $\varphi = 90°$. Скопіювати (або замалювати) у звіт осцилограми $u_L(t)$ та $i_L(t)$ при f = 50 Гц;

– повторити попереднє завдання з конденсатором C_3, попередньо відключивши від джерела (за допомогою клавіші **B**) гілку з елементом L_2 і підключивши за допомогою клавіші **C** до джерела e_1 гілку з конденсатором C_3. Показання приладів заносити до табл. 8.2. Розрахувати опір конденсатора $X_{C3}(f) = U_C/I_C$ (див. табл. 8.2) та порівняти отримані значення зі значеннями, знайденими при виконанні пункту 8.2.1 Переконатися (аналізуючи осцилограми), що струм i_C випереджає по фазі напругу u_C з кутом $\varphi = –90°$.

Скопіювати (або замалювати) на сторінку звіту осцилограми $u_C(t)$ та $i_C(t)$ при f = 50 Гц.

8.2.4. Провести вимірювання струмів, напруг та кутів зсуву фаз між ними у гілках, що містять відповідно *RL*-, *RC*- та *RLC*-елементи. З цією метою:

– встановити частоту f = 50 Гц джерела напруги e_1 та підключити до нього гілку $\boldsymbol{R_4L_4}$, попередньо відключивши гілку з конденсатором C_3. Показання приладів занести до табл. 8.3. Кут φ визначити непрямим методом, скориставшись осцилограмами напруги та струму гілки, або з показань ватметра **XWM1**. Для зручності вимірювань змінюйте чутливість каналів та тривалість розгортки осцилографа.

Розрахувати повний опір Z_4, активний R_4 і реактивний X_{L4} опори гілки $\boldsymbol{R_4L_4}$ і занести їх значення в табл. 8.3. Переконатися, що струм i в *RL*-гілці відстає по фазі від напруги u на кут $\varphi_4 = \operatorname{arctg}(X_{L4}/R_4)$; скопіювати (або замалювати) на сторінку звіту осцилограми напруги та струму *RL*-гілки;

Таблиця 8.3

Гілка	Виміряно			Розраховано		
	U, В	I, А	φ, град	$Z = U/I$, Ом	$R = Z\cos\varphi$, Ом	$X = Z\sin\varphi$, Ом
R_4L_4						
R_5C_5						
$R_6L_6C_6$						

– **повторити** попереднє завдання для гілки $\boldsymbol{R_5C_5}$, попередньо відключивши від джерела e_1 четверту гілку. Переконатися, що струм $\boldsymbol{i}$ в *RC*-гілці випереджає за фазою напругу u на кут $\varphi_5 = \operatorname{arctg}(-X_C/R_5)$;

– скопіювати (або замалювати) осцилограми напруги та струму *RC*-гілки;

– **повторити** попереднє завдання для гілки з елементами $\boldsymbol{R_6}$, $\boldsymbol{L_6}$ і $\boldsymbol{C_6}$ попередньо відключивши від джерела e_1 п’яту гілку. Переконатися, що в *RLC*-гілці кут зсуву фаз φ_6 між напругою і струмом залежить від величини реактивного опору

$$X_6 = X_{L6} - X_{C6}.$$

Якщо на частоті f = 50 Гц, кут $\varphi_6 = \operatorname{arctg}(X_{L6} - X_{C6})/R_6 > 0$, то, зменшивши частоту до 20-30 Гц, кут φ_6 змінить свій знак, і навпаки, якщо за f = 50 Гц, кут $\varphi_6 < 0$, то, збільшивши частоту f до 100…120 Гц , струм буде відставати по фазі від напруги, при цьому кут $\varphi_6 > 0$.

Для прикладу на рис. 8.4 представлені осцилограми напруги та струму $\boldsymbol{R_6L_6C_6}$-гілки та показання ватметра XWM1 для вказаних на рис. 8.3 параметрів елементів схеми. Аналіз осцилограм показує, що струм i_6 випереджає по фазі напругу u_6 на кут

$$\varphi_6 = 360°\Delta t/T \approx 360\cdot(-2{,}846)/20 \approx -51{,}3°.$$

Скориставшись показанням ватметра XWM1, знаходимо модуль кута:

$$|\varphi_6| = \arccos(0{,}622) = 51{,}5°.$$

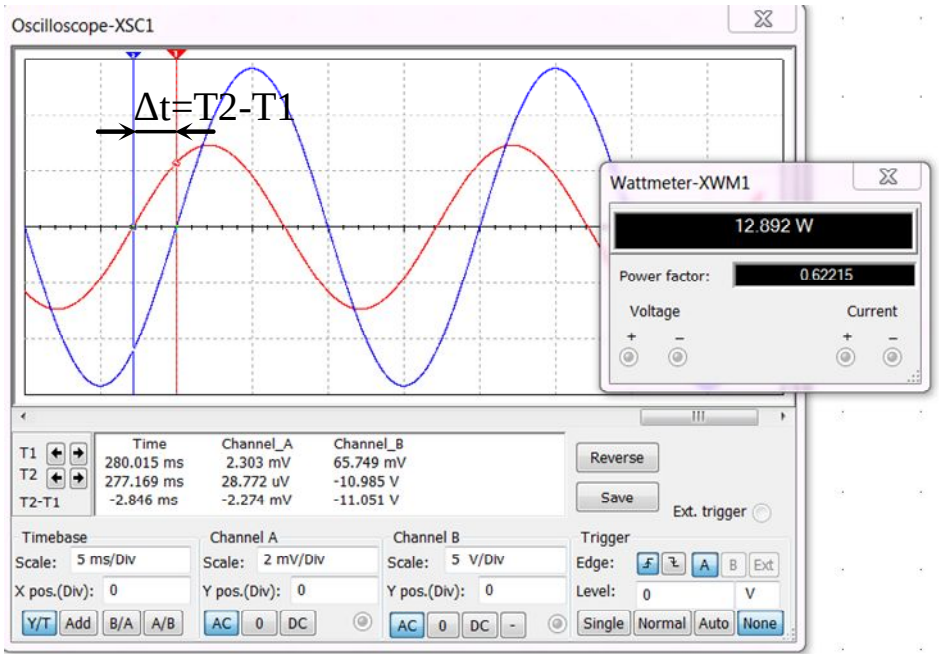


Рисунок 8.4 – Вікно осцилографа Multisim з синусоїдами напруги і струму

ЗМІСТ ЗВІТУ

1. Найменування та мета роботи.
2. Копія схеми кола, зібраного на набірному полі Multisim.
3. Розрахункові формули, векторні та часові діаграми напруг і струмів гілок кола.
4. Таблиці з розрахунковими та експериментальними даними.
5. Графіки $X_L(f)$ та $X_C(f)$.
6. Висновки по роботі.

Контрольні запитання

1. Закон Ома для амплітудних і діючих значень.
2. Запишіть в загальному вигляді вираз для комплексного опору кола RC в алгебраїчній і показовій формі.
3. Запишіть в загальному вигляді вираз для комплексного опору кола RL в алгебраїчній і показовій формі.
4. Від яких величин залежить кут зсуву фаз між струмом і напругою в колі змінного струму.
5. Запишіть в загальному вигляді вираз для розрахунку кута зсуву фаз між струмом і напругою в колі *RL*.
6. Запишіть в загальному вигляді вираз для розрахунку кута зсуву фаз між струмом і напругою в колі *RC*.
7. В якому колі кут зсуву фаз між струмом і напругою буде максимальним: *RR*, *RL*, *L*?

8. В якому колі напруга випереджає струм за фазою на кут $0<\alpha<90^{o}$?
9. В якому колі струм випереджає напругу по фазі на кут $0<\alpha<90^{o}$?
10. В якому колі напруга і струм збігаються по фазі?

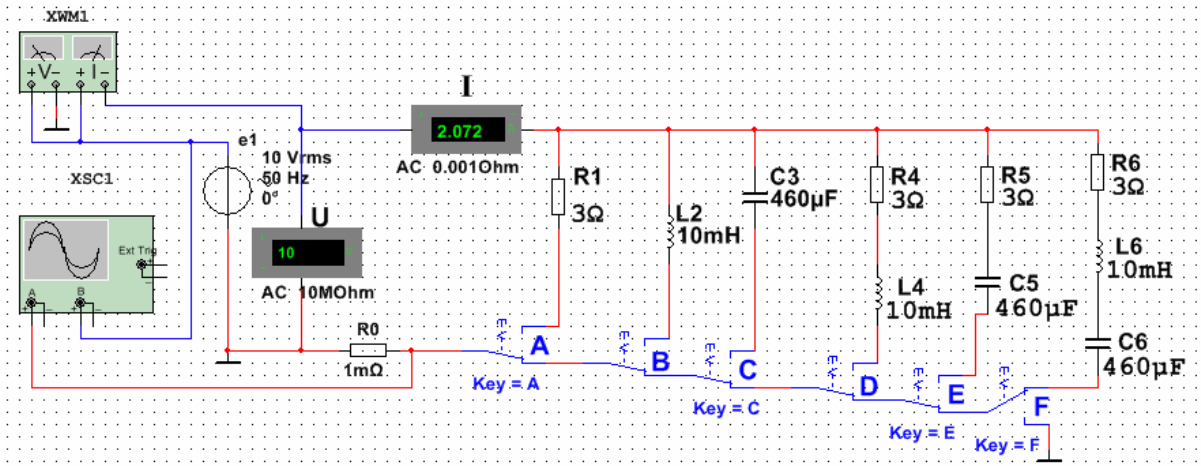
ДОДАТОК 8

Група _____
Студент _____
П.І.пБ.
Викладач_____
П.І.пБ

ПРОТОКОЛ
виконання лабораторної роботи №8

НЕРОЗГАЛУЖЕНІ КОЛА СИНУСОЇДАЛЬНОГО СТРУМУ

Мета роботи Практичне ознайомлення з встановленими режимами в послідовних *RL*-, *RC*-і *RLC*-колах синусоїдального струму.



(приклад)

Рисунок 8.3 – Модель кола в Multisim для дослідження нерозгалужених кіл синусоїдального струму

Розрахувати параметри за формулами:

$L = 50 + 5N =$, мГн,

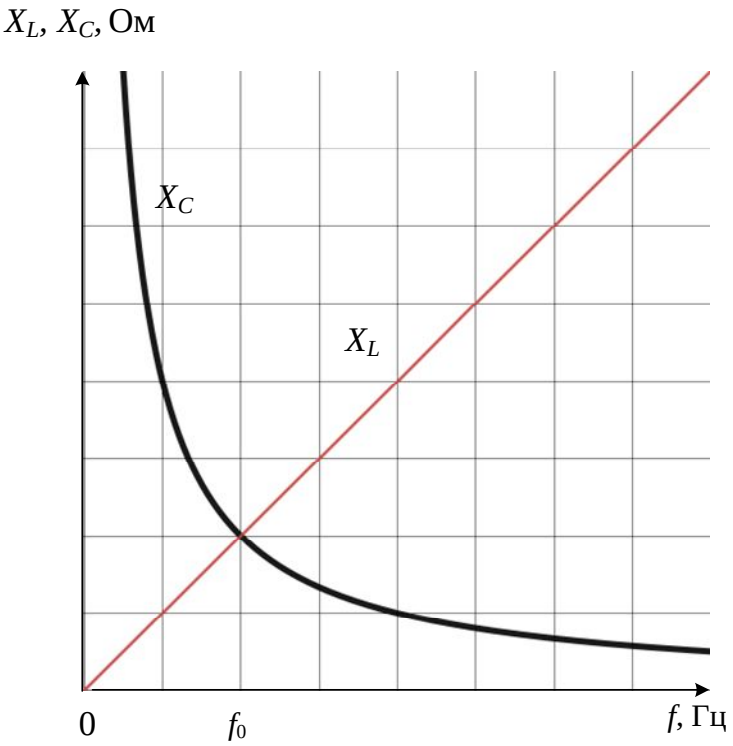
$C = 100 + 10N =$, мкФ,

де N – номер запису прізвища студента у навчальному журналі групи.

Таблиця 8.2

Опір X		Частота f, Гц						
		30	40	50	60	80	100	120
Розраховано	X_L, Ом							
Виміряно	U, В							
	I, А							
Обчислено за вимірами	X_L, Ом							
Розраховано	X_C, Ом							
Виміряно	U, В							
	I, А							
Обчислено за вимірами	X_C, Ом							

Побудувати (в одних осях на одному рисунку) графіки $X_L(f)$ та $X_C(f)$. **Позначити** координати точки перетину графіків – можливого режиму резонансу напруги при послідовному з'єднанні котушки і конденсатора між собою та з джерелом синусоїдальної напруги.



(приклад)

Таблиця 8.3

Гілка	Виміряно			Розраховано		
	U, В	I, А	φ, град	$Z = U/I$, Ом	$R = Z\cos\varphi$, Ом	$X = Z\sin\varphi$, Ом
R_4L_4						
R_5C_5						
$R_6L_6C_6$						

Висновки по роботі.