

ЧАСТОТНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЛАНОК ЕЛЕКТРИЧНИХ КІЛ

Мета роботи експериментальне дослідження частотних характеристик диференціальних та інтегровальних ланок, зібраних на базі RC і RL кіл.

20.1. Теоретичні відомості і розрахункові формули.

20.1.1. Частотні характеристики електричних кіл.

За впливу на вхід лінійного електричного кола гармонійного коливання з комплексною амплітудою \underline{X}_m і частотою ω на виході кола отримаємо теж гармонійне коливання тієї ж частоти, але з іншою комплексною амплітудою \underline{Y}_m . Відношення комплексної амплітуди вихідної величини (реакції) до комплексної амплітуди вхідної величини (впливу) визначає *комплексну передавальну функцію* (КПФ) електричного кола і позначається $K(j\omega)$:

$$K(j\omega) = \frac{\underline{Y}_m}{\underline{X}_m} = \frac{Y}{X} = \frac{Y}{X} \cdot e^{j(\psi_{\text{вих}} - \psi_{\text{вх}})}, \quad \underline{Y}_m = \underline{X}_m \cdot K(j\omega)$$

Зі зміною частоти КПФ в загальному випадку змінюється, тобто вона є функцією частоти.

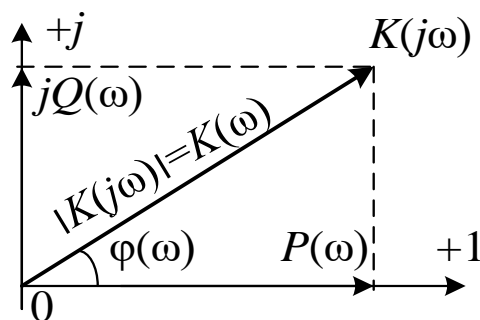


Рисунок 20.1 – КПФ в комплексній площині.

Зі зміною частоти ω амплітуда і фаза вектора $K(j\omega)$ будуть змінюватися, і кінець вектора буде описувати в площині комплексного змінного криву (годограф), що представляє собою амплітудно-фазову характеристику (АФХ). Разом з цим, зі зміною частоти будуть змінюватися так само і

величини $K(\omega)$, $\varphi(\omega)$, $P(\omega)$ та $Q(\omega)$, що дає можливість побудувати частотні характеристики:

$K(\omega) = |K(j\omega)|$ – амплітудно-частотну характеристику (АЧХ),

$\varphi(\omega) = \arg(K(j\omega))$ – фазо-частотну характеристику (ФЧХ),

$P(\omega) = \operatorname{Re}(K(j\omega))$ – дійсну частотну характеристику (ДЧХ),

$Q(\omega) = \operatorname{Im}(K(j\omega))$ – уявну частотну характеристику (УЧХ).

20.1.2. Аналітичне визначення частотних характеристик реальних диференціальних ланок.

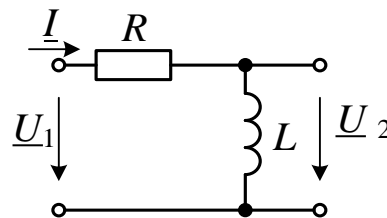


Рисунок 20.1 – схема реальної диференціувальної ланки на базі кола RL

Для схеми ланки на рис. 20.2, якщо вхідною величиною є напруга \underline{U}_1 , а вихідною є напруга \underline{U}_2

$$\underline{U}_2 = \underline{I} \cdot j\omega L = \frac{\underline{U}_1}{R + j\omega L} \cdot j\omega L = \underline{U}_1 \cdot \frac{j\omega L}{R + j\omega L}$$

вираз для КПФ має вигляд:

$$K(j\omega) = \frac{j\omega L}{R + j\omega L} = \frac{1}{1 + \frac{R}{j\omega L}} = \frac{1}{1 - j\frac{1}{\omega T}}$$

Тут $T = L/R$.

Амплітудно-частотна характеристика (АЧХ)

$$K(\omega) = \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{1}{\omega^2 T^2}}}$$

Фазо-частотна характеристика (ФЧХ)

$$\varphi(\omega) = 0 - \left(-\operatorname{arctg} \frac{1}{\omega T}\right) = \operatorname{arctg} \frac{1}{\omega T}$$

Дійсна частотна характеристика (ДЧХ)

$$P(\omega) = \frac{1}{1 + \frac{1}{\omega^2 T^2}},$$

Уявна частотна характеристика (УЧХ)

$$Q(\omega) = \frac{\frac{1}{\omega T}}{1 + \frac{1}{\omega^2 T^2}}.$$

Для ланки, схему якої наведено на рис. 20.3, частотні характеристики мають такий самий вигляд. Відрізняється лише стала часу $T = RC$.

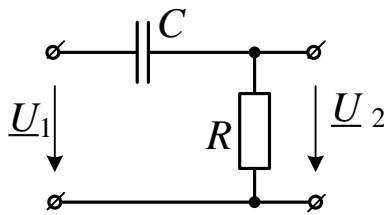


Рисунок 20.3 – Схема реальної диференціювальної ланки на базі RC кола.

Частотні характеристики диференціювальних ланок наведені на рис. 20.4.

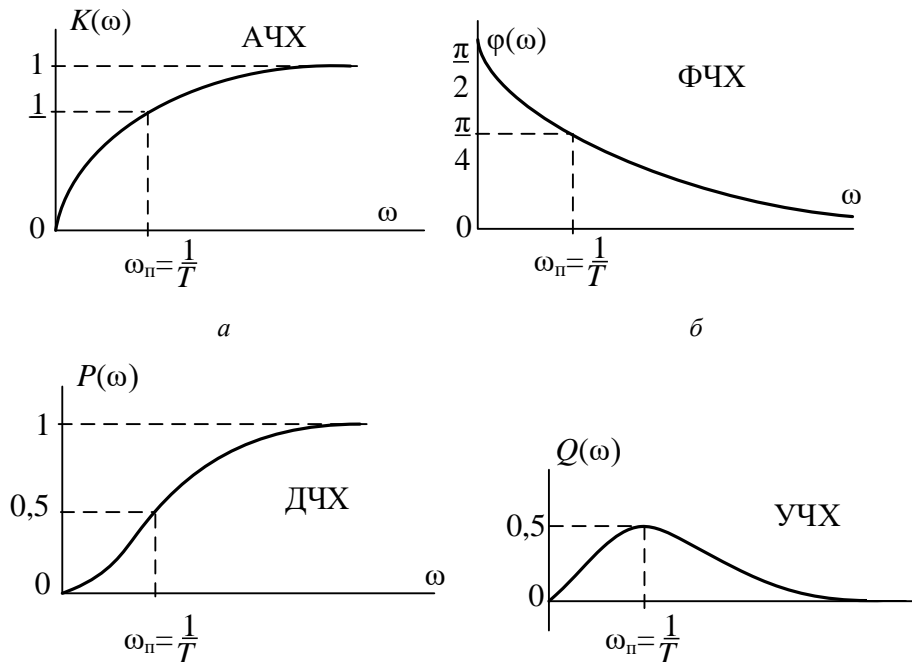


Рисунок 20.4 – Частотні характеристики реальної диференціювальної ланки.

20.1.3. Аналітичне визначення частотних характеристик реальних інерційних ланок.

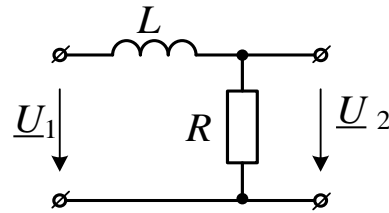


Рисунок 20.5 – схема реальної інерційної ланки на базі кола RL

Для схеми ланки на рис. 20.5, якщо входною величиною є напруга \underline{U}_1 , а вихідною є напруга \underline{U}_2 , вираз для КПФ має вигляд:

$$K(j\omega) = \frac{R}{R + j\omega L} = \frac{1}{1 + j\omega T},$$

де $T = L/R$.

Амплітудно-частотна характеристика (АЧХ)

$$K(\omega) = \frac{1}{\sqrt{1 + \omega^2 T^2}}.$$

Фазо-частотна характеристика (ФЧХ)

$$\varphi(\omega) = -\arctg \omega T.$$

Дійсна частотна характеристика (ДЧХ)

$$P(\omega) = \frac{1}{1 + \omega^2 T^2},$$

Уявна частотна характеристика (УЧХ)

$$Q(\omega) = -\frac{\omega T}{1 + \omega^2 T^2}.$$

Для ланки, схему якої наведено на рис. 20.7, частотні характеристики мають такий самий вигляд. Відрізняється лише стала часу $T = RC$.

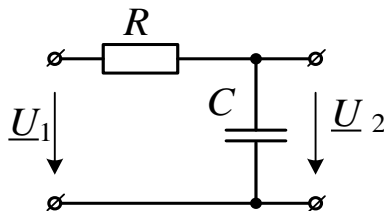


Рисунок 20.7 – Схема реальної інерційної ланки на базі RC кола.

Частотні характеристики реальних інерційних ланок наведені на рис.

20.8.

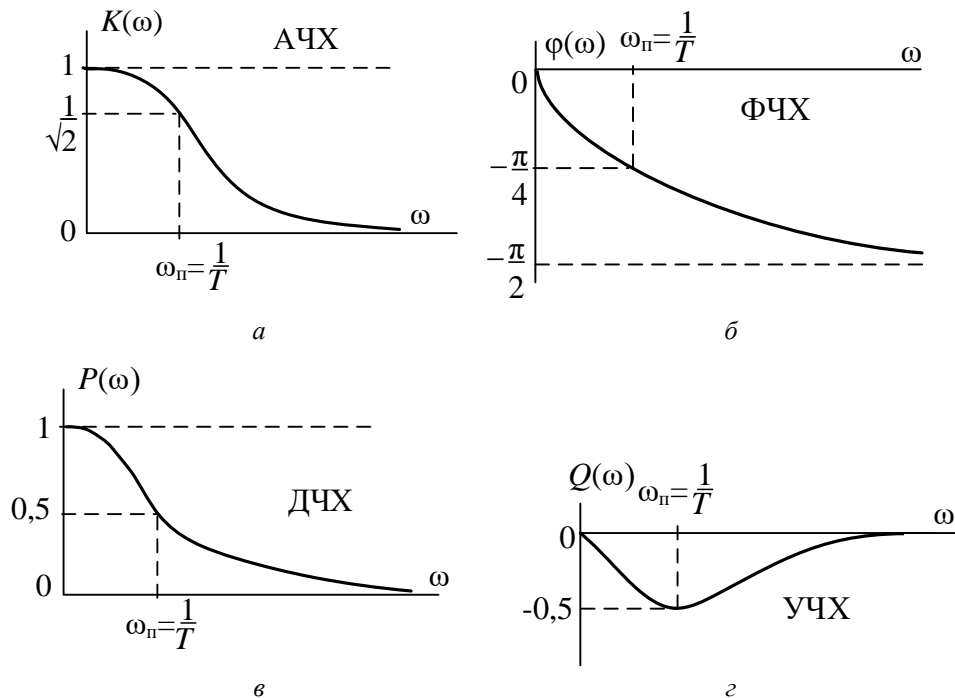


Рисунок 20.8 – Частотні характеристики реальної інерційної ланки.

20.1.3. Експериментальне визначення частотних характеристик реальних диференціювальних та інерційних ланок.

Для отримання частотних характеристик реальних аперіодичних ланок на базі кіл RC , RL необхідно виміряти вхідну напругу U_1 , напругу на резисторі U_R та напруги на реактивних елементах U_L та U_C на заданому діапазоні частот.

Частотні характеристики реальної диференціювальної ланки можна обчислити за формулами, наведеними в таблиці 20.1.

Таблиця 20.1.

Частотні характеристики	Коло RL	Коло RC
АЧХ	$K_L(\omega) = \frac{U_L}{U}$	$K_R(\omega) = \frac{U_R}{U_1}$
ФЧХ	$\varphi(\omega) = 90^\circ - \left(\arctg \frac{U_L}{U_R} \right)$	$\varphi(\omega) = 0^\circ - \left(-\arctg \frac{U_C}{U_R} \right)$
ДЧХ	$P_L(\omega) = K_L(\omega) \cdot \cos \varphi$	$P_R(\omega) = K_R(\omega) \cdot \cos \varphi$
УЧХ	$Q_L(\omega) = K_L(\omega) \cdot \sin \varphi$	$Q_R(\omega) = K_R(\omega) \cdot \sin \varphi$

Частотні характеристики реальної інерційної ланки можна обчислити за формулами, наведеними в таблиці 20.2.

Таблиця 20.2.

Частотні характеристики	Коло RL	Коло RC
АЧХ	$K_R(\omega) = \frac{U_R}{U}$	$K_C(\omega) = \frac{U_C}{U}$
ФЧХ	$\varphi(\omega) = 0^\circ - \left(\operatorname{arctg} \frac{U_L}{U_R} \right)$	$\varphi(\omega) = -90^\circ - \left(- \operatorname{arctg} \frac{U_C}{U_R} \right)$
ДЧХ	$P_R(\omega) = K_R(\omega) \cdot \cos \varphi$	$P_C(\omega) = K_C(\omega) \cdot \cos \varphi$
УЧХ	$Q_R(\omega) = K_R(\omega) \cdot \sin \varphi$	$Q_C(\omega) = K_C(\omega) \cdot \sin \varphi$

20.2. Навчальні завдання та методичні вказівки до виконання.

20.2.1. Значення індуктивності котушки та опору резистора визначити за формулами:

$$L = 50 + N, \text{ мГн}, R = 820 + 20N \text{ Ом},$$

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

Значення ємності конденсатора для всіх варіантів $C = 0,1 \text{ мкФ}$.

20.2.2. Дослід 1. Зняття частотних характеристик кола RL , що включається за схемою диференціувальної ланки (рис. 20.9, а) та інерційної ланки (рис. 20.9, б).

Запустити Multisim та на набірному полі зібрати схему кола RL (рис. 20.9), де встановити:

– параметри ідеального джерела синусоїдальної напруги e : ЕРС $E = 10 \text{ В}$ (діюче значення), $f = 20 \text{ Гц}$; $\psi_e = 0$.

– параметри пасивних елементів: згідно з результатами обчислень в п. 20.2.1.

– режим роботи АС вольтметрів $V1$ та $V2$; опір вольтметрів 10 МОм .

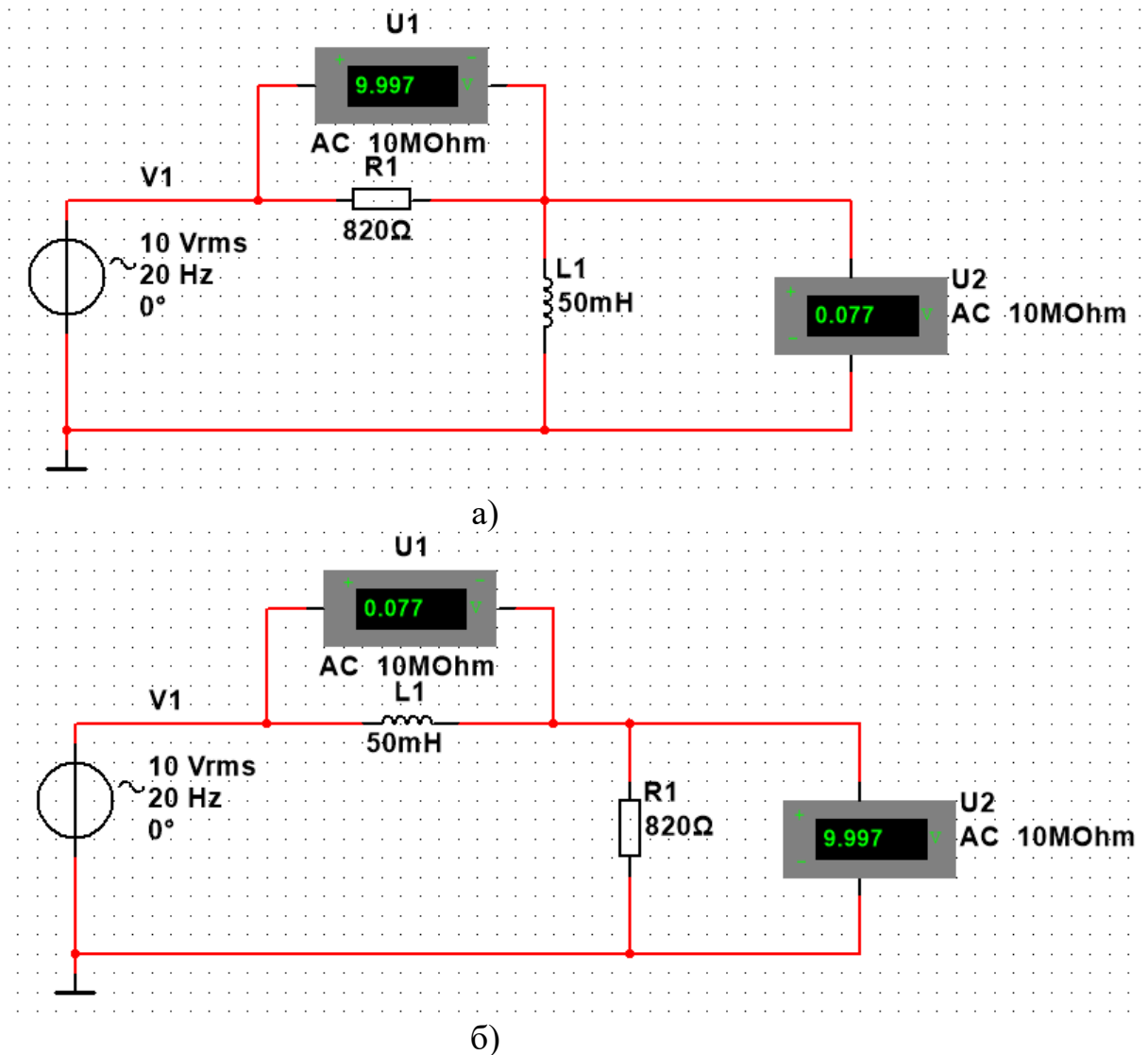


Рисунок 20.9 – Модель кола RL , *а* – диференціувальна ланка, *б* – інерційна ланка.

Скопіювати схему електричного кола синусоїдального струму (рис. 20.9) на сторінку звіту.

За незмінного діючого значення вхідної напруги $U_1 = 10$ В виміряти на вказаних в таблиці 20.3 частотах напруги на резисторі U_R і на котушці U_L .

Для диференціувальної ланки $U_2 = U_L$, для інерційної ланки $U_2 = U_R$.

Результати вимірів занести в таблицю 20.3.

Таблиця 20.3 – Результати вимірювань напруг для кола RL .

№ дос-лідку	На-пруга	Частота, Гц								
		20	10^3	$2 \cdot 10^3$	$3 \cdot 10^3$	$4 \cdot 10^3$	$5 \cdot 10^3$	$6 \cdot 10^3$	$7 \cdot 10^3$	$8 \cdot 10^3$
1	U_R									
	U_L									

Дослід 2. Зняття частотних характеристик кола RC , що включається за схемою диференціувальної ланки (рис. 20.10, а) та інерційної ланки (рис. 20.10, б).

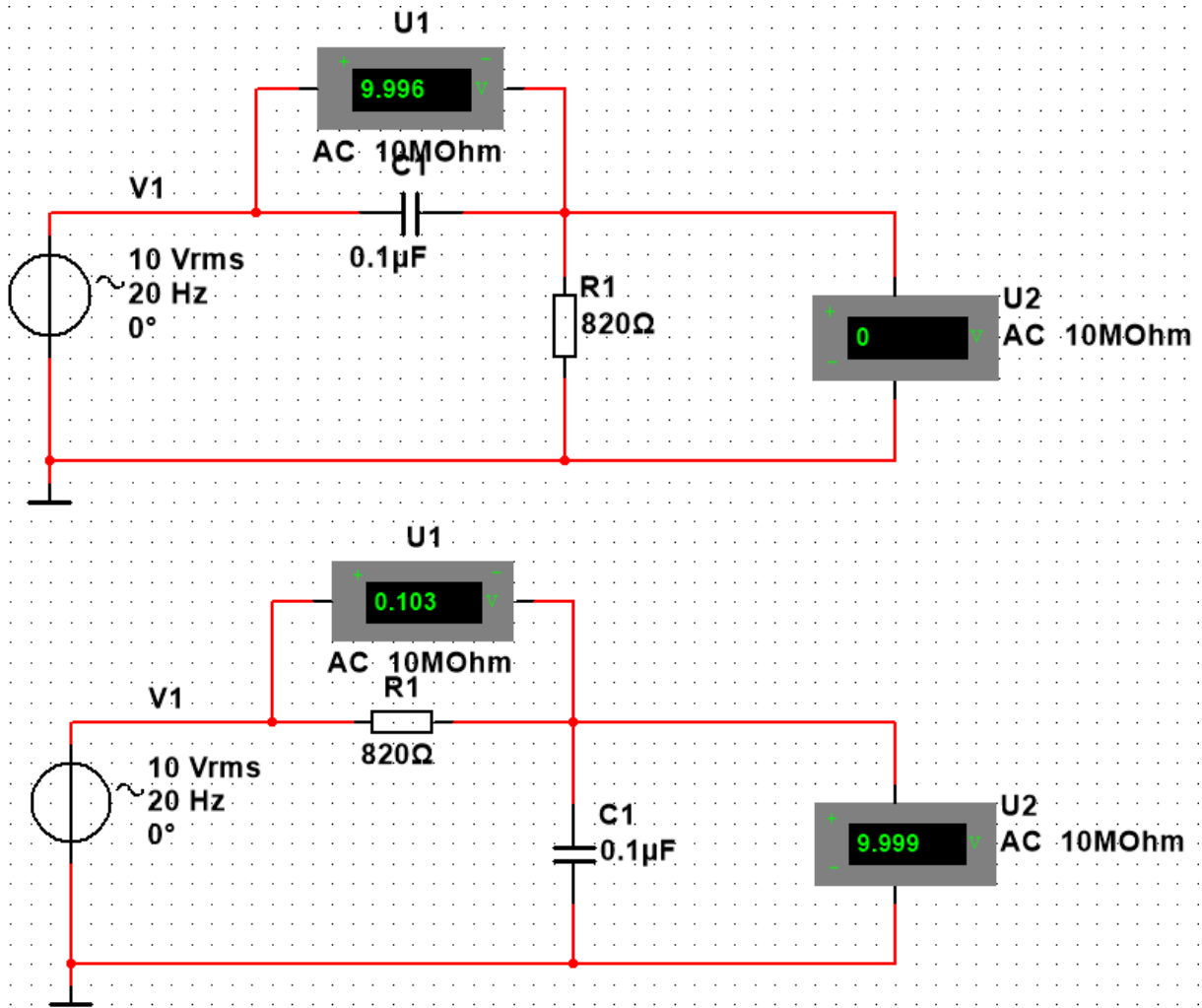


Рисунок 20.10 – Модель кола RC , а – диференціювальна ланка, б – інерційна ланка.

За незмінного діючого значення входної напруги $U_1 = 10$ В виміряти на вказаних в таблиці 20.4 частотах напруги на конденсаторі U_C і на резисторі U_R . Результати вимірів занести в таблицю 20.4.

Для диференціювальної ланки $U_2 = U_R$, для інерційної ланки $U_2 = U_C$.
Таблиця 20.4 – Результати вимірювань напруг для кола RC .

№ досліду	Напруга	Частота, Гц								
		20	10^3	$2 \cdot 10^3$	$3 \cdot 10^3$	$4 \cdot 10^3$	$5 \cdot 10^3$	$6 \cdot 10^3$	$7 \cdot 10^3$	$8 \cdot 10^3$
2	U_R									
	U_C									

20.3. Обробка результатів експериментів.

20.3.1. За даними таблиць 20.3 та 20.4 виконати розрахунки частотних характеристик для диференціювальних ланок, зібраних на базі кіл RL та RC .

Розрахункові формули наведені в табл. 20.1. Результати розрахунків занести в таблицю 20.5.

Таблиця 20.5 – Частотні характеристики реальних диференціювальних ланок.

Тип ланки	ЧХ	Частота, Гц								
		20	10^3	$2 \cdot 10^3$	$3 \cdot 10^3$	$4 \cdot 10^3$	$5 \cdot 10^3$	$6 \cdot 10^3$	$7 \cdot 10^3$	$8 \cdot 10^3$
диф. <i>RC</i>	$K_R(\omega)$									
	$\varphi(\omega)$									
	$P_R(\omega)$									
	$Q_R(\omega)$									
диф. <i>RL</i>	$K_L(\omega)$									
	$\varphi(\omega)$									
	$P_L(\omega)$									
	$Q_L(\omega)$									

За даними таблиць 20.3 та 20.4 виконати розрахунки частотних характеристик для диференціювальних ланок, зібраних на базі кіл *RL* та *RC*. Розрахункові формули наведені в табл. 20.2. Результати розрахунків занести в таблицю 20.6.

Таблиця 20.6 – Частотні характеристики реальних диференціювальних ланок.

Тип ланки	ЧХ	Частота, Гц								
		20	20	20	20	20	20	20	20	20
інт. <i>RC</i>	$K_C(\omega)$									
	$\varphi(\omega)$									
	$P_C(\omega)$									
	$Q_C(\omega)$									
інт. <i>RL</i>	$K_R(\omega)$									
	$\varphi(\omega)$									
	$P_R(\omega)$									
	$Q_R(\omega)$									

20.3.2. За результатами розрахунків, наведених в табл. 20.5 та 20.6 побудувати графіки частотних характеристик.

Порівняти отримані графіки з наведеними в п. 20.1.2 та 20.1.3.

20.3.3. Для визначених в п. 20.2.1 визначити сталу часу T кожного кола та величину АЧХ і ФЧХ на частотах 20 Гц та 8кГц за формулами, наведеними в п. 20.1.2 та 20.1.3. Порівняти результати аналітичного розрахунку з результатами експериментів.

20.3.4. Визначити характер впливу сталих часу кіл ($T=RC$, $T=L/R$) на їхні частотні характеристики (смугу пропускання), а також функціональні властивості (ступінь близькості частотних характеристик кіл до характеристик ідеального інтегрування і диференціювання).

ЗМІСТ ЗВІТУ

1. Найменування та мета роботи.
2. Копії схем кіл, зібраних на набірному полі Multisim.
3. Розрахункові формули.
4. Таблиці з експериментальними та розрахунковими даними.
5. Графіки $K(\omega)$, $\varphi(\omega)$, $P(\omega)$, $Q(\omega)$ для чотирьох досліджених ланок.
6. Висновки по роботі.

Контрольні запитання

Питання для контролю

1. Що характеризують АЧХ і ФЧХ кіл?
2. Що таке «годограф»?
3. Від чого залежить та як визначається стала часу в диференціальній ланці RC ?
4. Від чого залежить та як визначається стала часу в інтегральній ланці RL ?
5. Чому дорівнює АЧХ на нульовій частоті в реальній диференціальній ланці?
6. Чому дорівнює АЧХ на нескінченній частоті в диференціальній ланці?
7. Чому дорівнює АЧХ на нульовій частоті в інтегральній ланці?
8. Чому дорівнює АЧХ на нескінченній частоті в інтегральній ланці?
9. Чому дорівнює гранична частота смуги пропускання для в інтегральній ланці?
10. Від чого залежить та як визначається гранична частота смуги пропускання для диференціальної ланки?
11. Чому дорівнює ФЧХ на нульовій частоті в диференціальній ланці?
12. Чому дорівнює ФЧХ на нескінченній частоті в диференціальній ланці?
13. Чому дорівнює ФЧХ на нульовій частоті в інтегральній ланці?
14. Чому дорівнює ФЧХ на нескінченній частоті в інтегральній ланці?

Група _____

Студент _____

П.І.пБ.

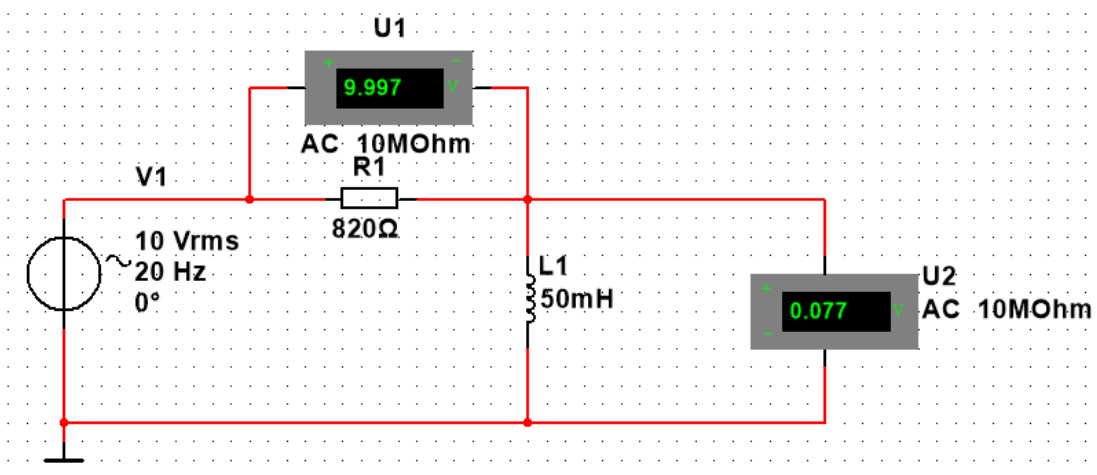
Викладач _____

П.І.пБ.

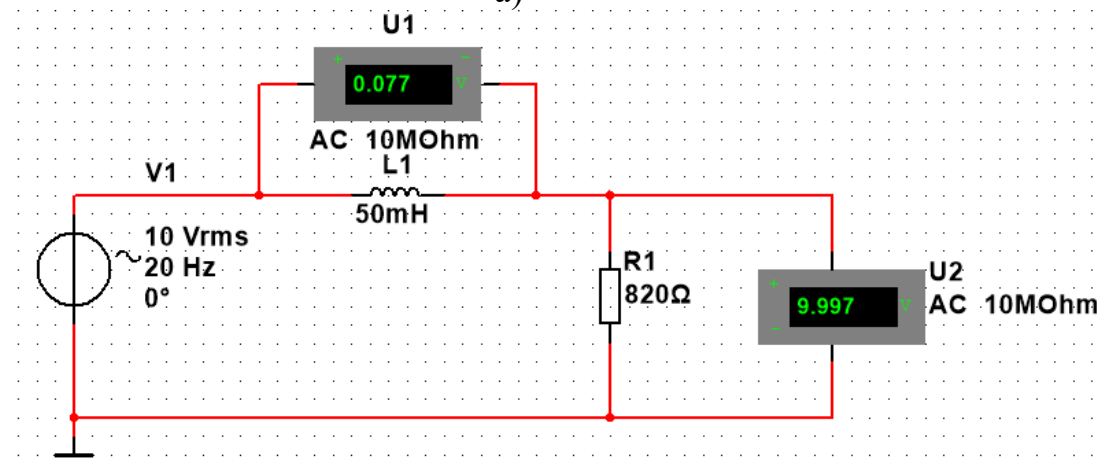
ПРОТОКОЛ
виконання лабораторної роботи №20

ЧАСТОТНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЛАНОК ЕЛЕКТРИЧНИХ КІЛ

Мета роботи – експериментальне дослідження частотних характеристик диференціувальних і інтегрувальних ланок, зібраних на базі R - C і R - L кіл.



а)



б)

(приклад)

Рисунок 20.9 – Модель кола RL , а – диференціувальна ланка, б – інерційна ланка.

Таблиця 20.4 – Результати вимірювань напруг для кола RC .

№ досліду	Напруга	Частота, Гц								
		20	10^3	$2 \cdot 10^3$	$3 \cdot 10^3$	$4 \cdot 10^3$	$5 \cdot 10^3$	$6 \cdot 10^3$	$7 \cdot 10^3$	$8 \cdot 10^3$
2	U_R									
	U_C									

Таблиця 20.5 – Частотні характеристики реальних диференціювальних ланок.

Тип ланки	ЧХ	Частота, Гц								
		20	10^3	$2 \cdot 10^3$	$3 \cdot 10^3$	$4 \cdot 10^3$	$5 \cdot 10^3$	$6 \cdot 10^3$	$7 \cdot 10^3$	$8 \cdot 10^3$
диф. RC	$K_R(\omega)$									
	$\varphi(\omega)$									
	$P_R(\omega)$									
	$Q_R(\omega)$									
диф. RL	$K_L(\omega)$									
	$\varphi(\omega)$									
	$P_L(\omega)$									
	$Q_L(\omega)$									

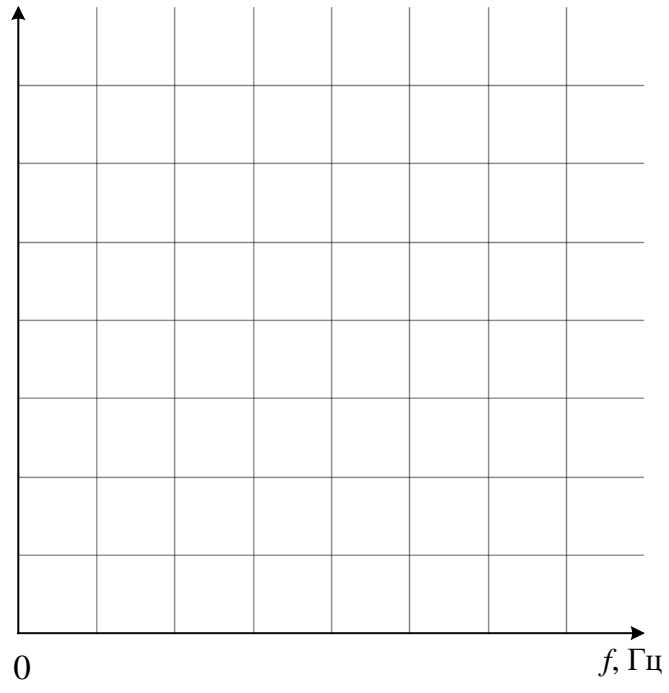
Таблиця 20.6 – Частотні характеристики реальних диференціювальних ланок.

Тип ланки	ЧХ	Частота, Гц								
		20	20	20	20	20	20	20	20	20
інт. RC	$K_C(\omega)$									
	$\varphi(\omega)$									
	$P_C(\omega)$									
	$Q_C(\omega)$									
інт. RL	$K_R(\omega)$									
	$\varphi(\omega)$									
	$P_R(\omega)$									
	$Q_R(\omega)$									

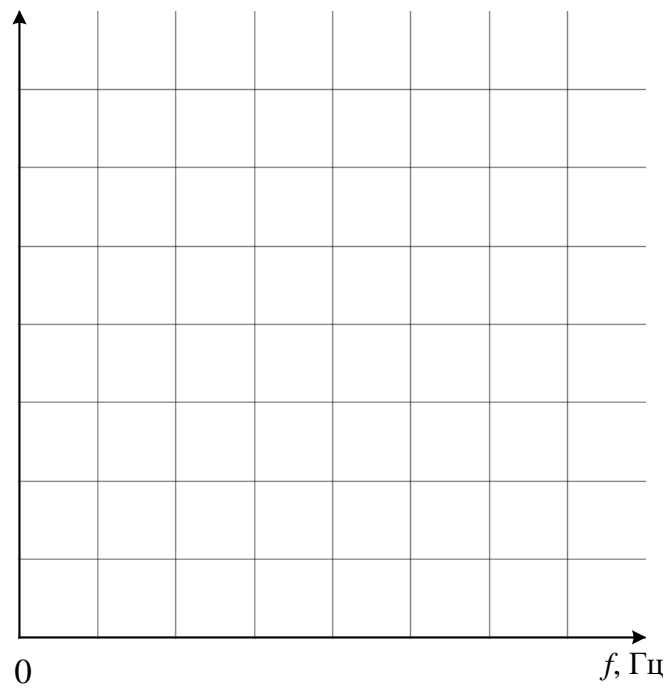
Побудувати графіки $K(\omega)$, $\varphi(\omega)$, $P(\omega)$, $Q(\omega)$ для чотирьох досліджених ланок.

Висновки по роботі.

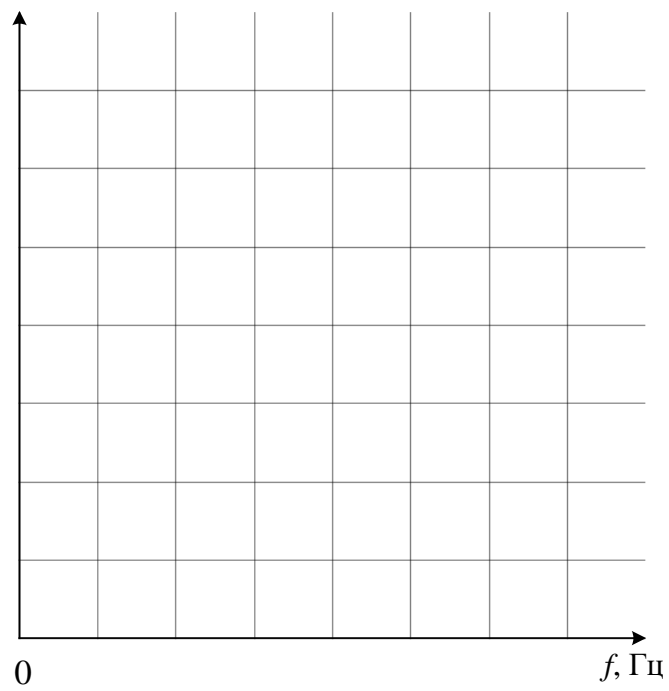
$K(f)$



$\varphi(f)$



$P(f)$



$Q(f)$

