

# ЛАБОРАТОРНА РОБОТА ТЕ16

## Вивчення часових характеристик чотирьохполюсника

### 16.1. Мета роботи

Метою роботи є вивчення часових характеристик найпростіших чотирьохполюсників та взаємозв'язку між їх часовими і частотними характеристиками. В результаті вивчення роботи студенти повинні оволодіти досвідом використання інтегруючих і диференціюючих ланок для зміни часових параметрів імпульсних сигналів.

### 16.2. Основні теоретичні положення

Велика кількість електронних пристроїв працюють в умовах перехідних процесів, які обумовлені накопиченням і віддачею енергії реактивними елементами схем.  $RC$  кола широко використовуються для організації часових затримок;  $LC$ - як кола, які забезпечують примусову комутацію силових ключів,  $R-L$  – як елементи для забезпечення необхідних траєкторій перемикавання, а також, як трансформаторні схеми.

В аналоговій схемотехніці здебільшого використовуються часові властивості інтегруючої та диференційної  $R-C$  ланок.

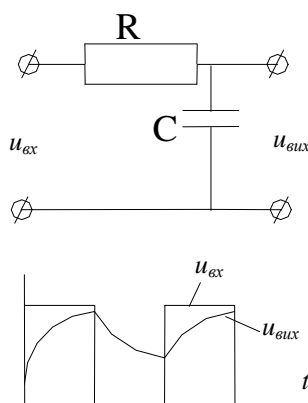


Рис. 16.1.

#### Використання інтегруючої ланки

Напряга на виході приведеної  $RC$  ланки при умові, що в початковий момент часу  $U_{вих}(0)=0$  описується

$$\text{рівнянням } U_{вих}(t) = \frac{1}{C} \int_0^t i dt = \frac{1}{RC} \int_0^t (U_{вх} - U_{вих}) dt$$

З приведеного рівняння легко зробити наступні висновки. Якщо конденсатор заряджається незмінним струмом, то  $U_{вих} = \frac{It}{C}$ , тобто напруга на конденсаторі наростає лінійно в часі.

Така особливість широко використовується в генераторах напруги, що лінійно змінюється, таймерах підвищеної точності, схемах часових затримок, схемах розширення імпульсів.

При виконанні умови  $|U_{вих}| \ll |U_{вх}|$ , маємо  $U_{вих}(t) = \frac{1}{RC} \int_0^t U_{вх} dt$ ,

тобто схема виконує функцію інтегратора. При живленні схеми постійною напругою  $U_{вх}=E$  з приведеної формули находимо приблизну формулу, що широко використовується:  $U_{вих}(t) \approx \frac{Et}{RC}$ .

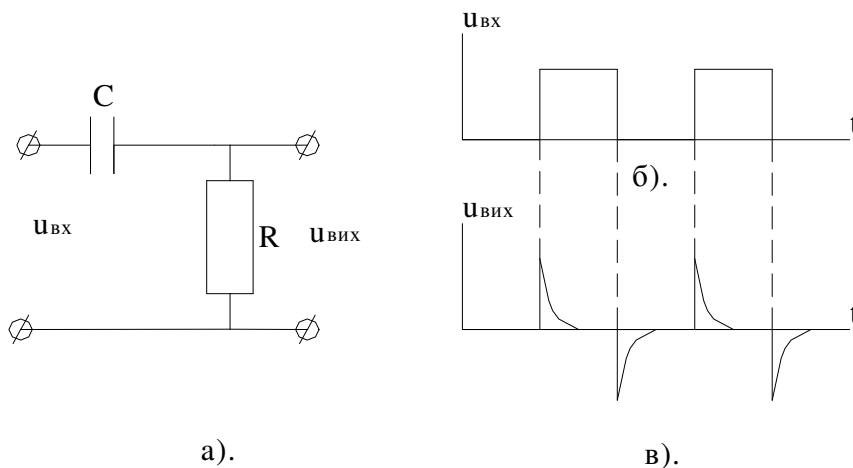
При подачі на  $RC$  ланку ідеального одиночного прямокутного імпульсу при нульових початкових умовах одержуємо залежність  $U_{вих}(t) = E(1 - e^{-\frac{t}{RC}})$ , (1) з якої легко можна одержати попередню формулу.

Якщо схема живиться від джерела напруги, то при відсутності імпульсу конденсатор буде розряджатися через джерело на резисторі. Напруга на конденсаторі при цьому зменшується від початкової на цьому інтервалі часу  $U_0$  до нуля відповідно до формули

$$U_{вих}(t) = U_0 e^{-\frac{t}{RC}}. \quad (2)$$

Формули (1) і (2) описують зміну напруги на конденсаторі і при дії періодичної послідовності імпульсів. При цьому форма вихідної напруги буде в значній мірі залежати від співвідношення між періодом імпульсів  $T$  і постійною часу  $RC$ . Від цього ж залежить і характер використання властивостей ланки, що розглядається. При  $RC \gg T$  вона здебільшого використовується як фільтр. При  $RC \approx T$  – ланка використовується як інтегруюча.

### Використання диференціюючої ланки



**Рис. 16.2.**

Напруга на виході такої схеми описується формулою

$$U_{вих}(t) = RC \frac{dU_c}{dt} + RC \left( \frac{dU_{вх}}{dt} - \frac{dU_{вих}}{dt} \right), \quad \text{де } U_c = U_{вх} - U_{вих}.$$

Якщо  $\frac{dU_{вих}}{dt} \ll \frac{dU_{вх}}{dt}$ , то маємо  $dU_{вих}(t) \approx RC \frac{dU_{вх}}{dt}$ ,

тобто RC ланка може використовуватись як диференціююча.

Найбільш широко вона використовується для скорочення тривалості вхідних імпульсів. При появі імпульсу конденсатор заряджається, величина струму зменшується і напруга на виході зменшується. Після заряду конденсатора його напруга дорівнює амплітуді імпульсу, а напруга на виході рівна нулю. Після закінчення імпульсу напруга конденсатора через джерело живлення прикладається до вихідного резистора, після чого конденсатор розряджається до нуля. При наявності фронту імпульсу умови диференціювання погіршуються, тому необхідно зменшувати постійну часу RC. Для виділення фронтів  $t_{фр}$  (тобто виконання умови, щоб тривалість

імпульсу на виході схеми приблизно дорівнювала тривалості фронту) необхідне виконання умови

$$RC \approx 0, t_{\text{фр}}$$

З ростом постійної часу умови диференціювання погіршуються і реально має місце лише спотворення вершини імпульсу.

На рис.16.2 приводиться ілюстрація дослідження часових характеристик диференціюючої ланки.

Якщо постійна часу буде набагато перевищувати період слідування імпульсів, то така ланка буде повністю передавати вхідні імпульси, але без постійної складової. Цю особливість легко побачити за допомогою осцилографа шляхом перемикання режиму прийому сигналу з постійного струму на змінний.

### 16.3. Використання віртуальної лабораторії EWB для виконання роботи

Для вивчення часових властивостей пасивних чотирьохполюсників за допомогою EWB, можна використовувати два різні способи.

Перший з них полягає у використанні меню **Analysis**, з якого вибирається опція **Transient Analysis**.

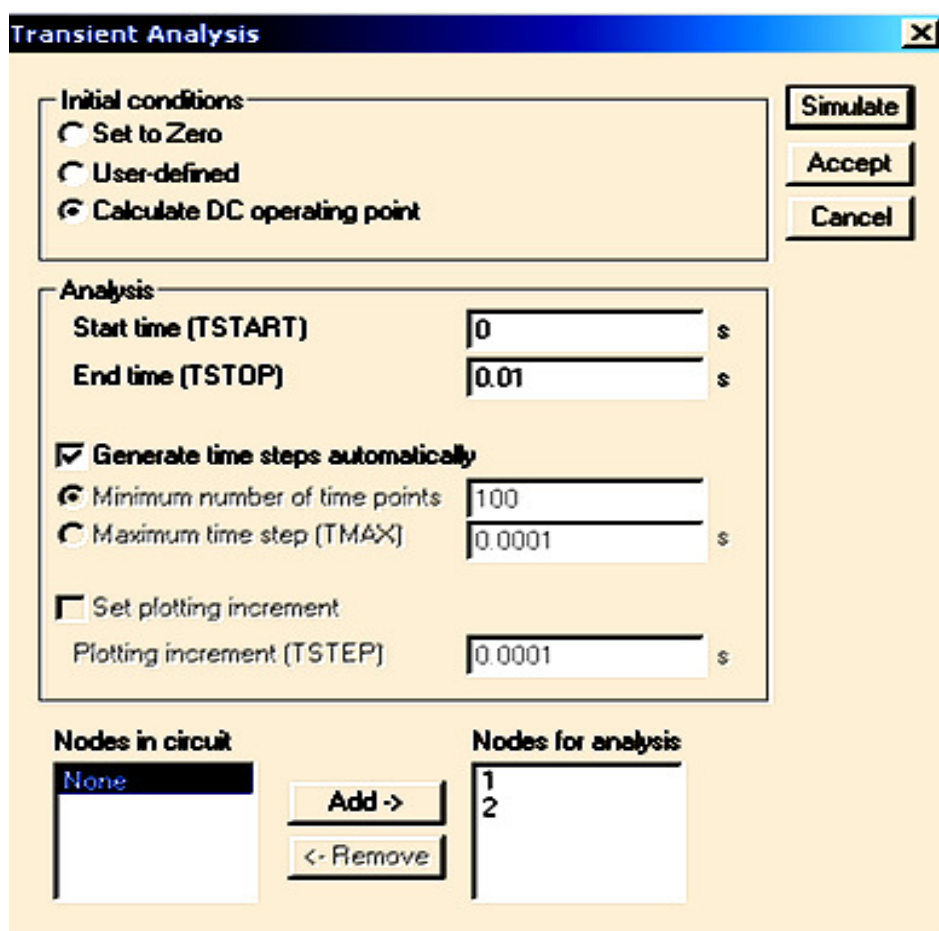


Рис. 16.3.

Після її вибору з'являється вікно установки параметрів перехідних процесів, які досліджуються (Рис.16.3.). Для виконання лабораторних досліджень у вікні **Initial conditions** установки виконуються так, як зображено на рисунку. В вікні **Analysis** – параметр **Start time** (час початку перехідного процесу) встановлюється в нуль, а параметр **End time** (кінець перехідного процесу) встановлюється у відповідності до часу, який планується, перехідного процесу. Рекомендації по вибору цього параметра можуть бути такими: якщо на вхід чотирьохполюсника діє періодичний імпульсний сигнал, або сигнал іншої складної форми, то в установленому режимі необхідно оцінювати процеси на періоді вхідного сигналу. Установлення інших параметрів слід віддати самій програмі.

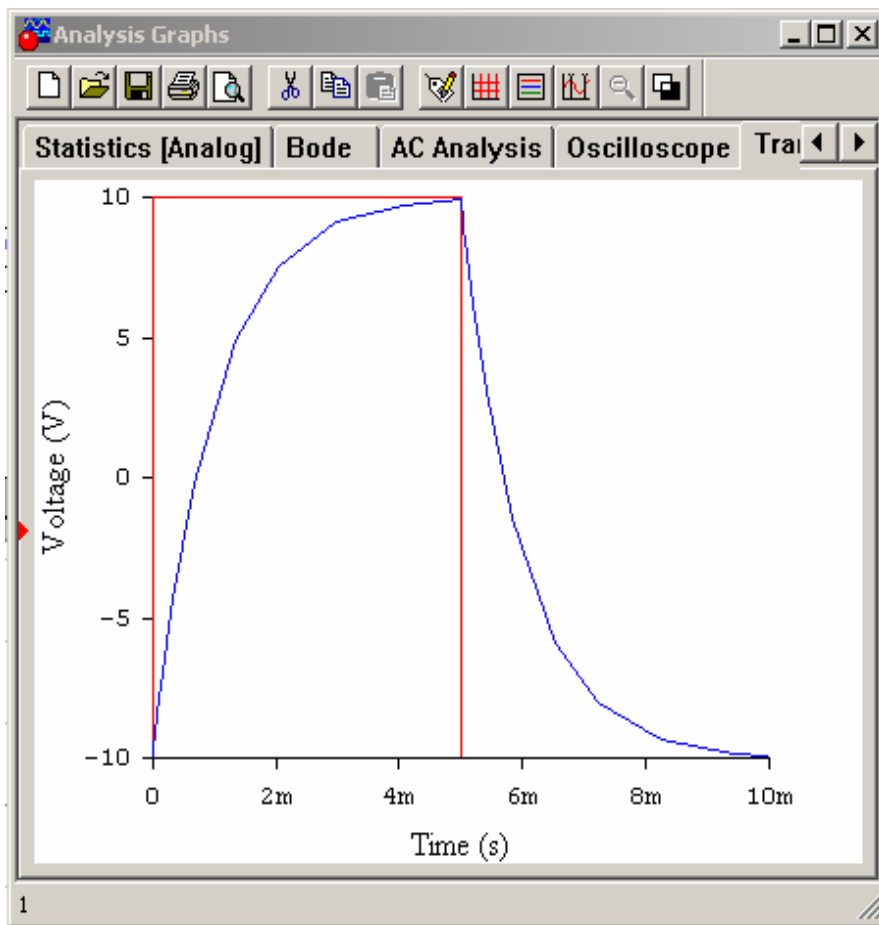


Рис. 16.4.

Після встановлення параметрів натискається кнопка **Simulate**, внаслідок чого з'являється вікно з осцилограмою перехідного процесу (Рис.16.4). На осцилограмі по горизонтальній осі відкладається час перехідного процесу, а по вертикальній, відповідно, величини вхідної і вихідної напруг

Другий спосіб уже відомий виконавцям цього циклу лабораторних робіт і полягає в тому, що для визначення часових діаграм використовується осцилограф, один із входів якого приєднується до джерела вхідного сигналу, а другий – до виходу чотирьохполюсника.

В якості джерела вхідного сигналу можна використовувати функціональний генератор напруги, який знаходиться в меню **Instruments**.

Вигляд його і схема підключення до чотирьохполосника, який досліджується, приведені на рис. 16.5а,б. Функціональний генератор забезпечує генерування сигналів синусоїдальної, пиловидної форм та прямокутних імпульсів. Опцією **Frequency** забезпечується зміна частоти в широких межах. Двом останнім формам сигналів прилад забезпечує зміну відношення тривалості одного напівперіода відносно другого. Для прямокутних імпульсів – це відношення тривалості імпульсу до паузи.

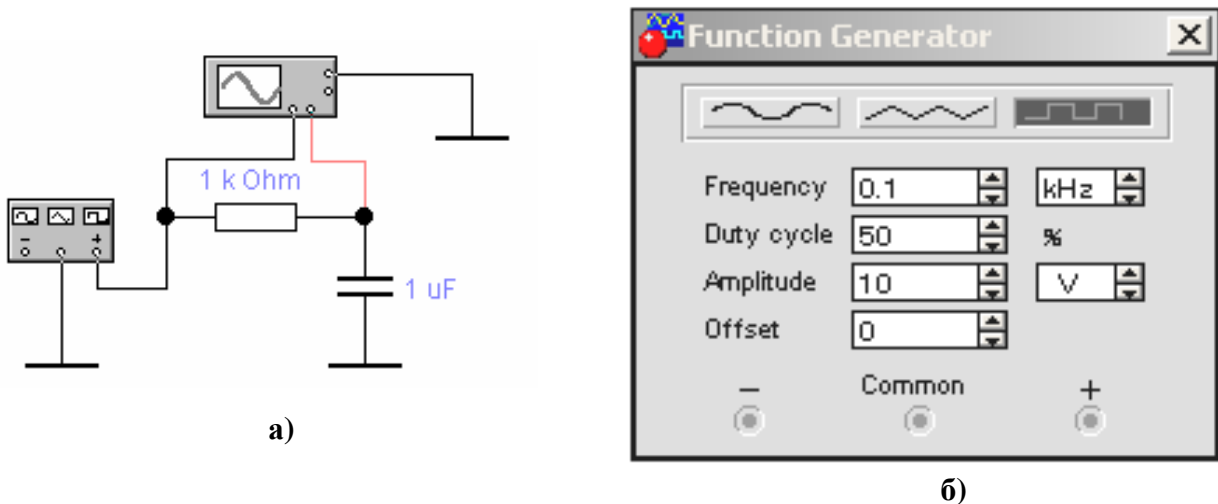


Рис. 16.5.

Така особливість забезпечується опцією **Duty cycle**. Опцією **Amplitude** задається амплітуда вихідного сигналу, а опція **Offset** задає зміщення періодичного сигналу відносно горизонтальної осі на постійну величину. Генератор дає можливість подавати на вхід схеми, яка досліджується, як імпульси позитивної полярності, так і негативної, по відношенню до загальної шини.

Другим генератором, який може використовуватись для дослідження часових характеристик – є генератор синхросигналів **Clock** в меню **Sources**.

#### 16.4. Порядок виконання роботи

16.4.1. Дослідження часових властивостей фільтра низьких частот. Проведення досліджень часових характеристик пасивних чотирьохполосників необхідно виконувати в тісному взаємозв'язку з результатами попередньої роботи по дослідженню частотних характеристик чотирьохполосників. Перш за все, використовуйте ті ж самі схеми фільтрів низьких і високих частот, що і в лабораторній роботі 14. З роботи, що була виконана, необхідно знати частоту зрізу і постійну часу **RC** фільтра, що досліджується. Дослідження проводяться в наступній послідовності:

- Установити частоту функціонального генератора рівною частоті зрізу фільтра низьких частот і зафіксувати осцилограму вихідної напруги.
- Установити частоту функціонального генератора на декаду нижче частоти зрізу фільтра і зафіксувати осцилограму вихідної напруги.
- Установити частоту функціонального генератора на декаду вище частоти зрізу і зафіксувати осцилограму вихідної напруги.

16.4.2. Дослідження часових властивостей фільтра верхніх частот виконується в тій самій послідовності, як і фільтра нижніх частот.

16.4.3. Обчислити постійну часу для фільтра верхніх частот (на частоті зрізу, на декаду вище частоти зрізу, на декаду нижче частоти зрізу) і для фільтра нижніх частот (по тій же схемі).

### 16.5. Вимоги до звіту

16.5.1. Привести осцилограми для кожного дослідження по вивченню часових характеристик фільтрів.

16.5.2. Зробити висновки й обґрунтувати отримані результати з точки зору фізичних явищ, які мають місце в схемах фільтрів.

16.5.3. Привести результати обчислень постійної часу, зробити висновки.

16.5.4. Зробити висновки по взаємозв'язку між частотними і часовими властивостями фільтрів, які досліджувались.

### 16.6. Питання до атестації

16.6.1. Пояснити суть явищ інтегрування і диференціювання схемами фільтрів нижніх і верхніх частот.

16.6.2. Привести часові діаграми сигналу на виході фільтра верхніх частот при подачі на його вхід послідовності імпульсів, якщо їх частота набагато перевищує частоту зрізу фільтра.

16.6.3. Як зміниться форма імпульсу на виході фільтра верхніх частот, якщо частоту зрізу останнього, яка була рівною частоті імпульсної послідовності, збільшити в десять раз.

16.6.4. Як зміниться форма імпульсу на виході фільтра нижніх частот, якщо його частоту зрізу, яка була рівною частоті імпульсної послідовності, зменшити в десять раз.

### 16.7. Задачі

16.7.1. Для електричного кола на рис.16.6 задано:  $i=10\sin(314t-45^\circ)$ А,  $R=4$  Ом,  $X_L=8$  Ом,  $X_C=5$  Ом. Визначити миттєве значення прикладеної напруги. Побудувати часові діаграми напруг та струмів на елементах схеми.

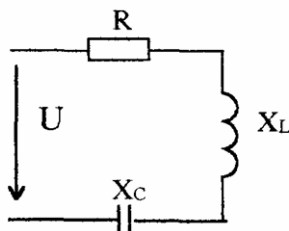


Рис. 16.6.

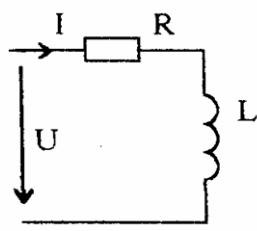


Рис. 16.7.

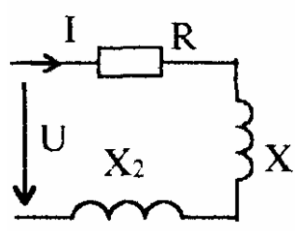


Рис. 16.8.

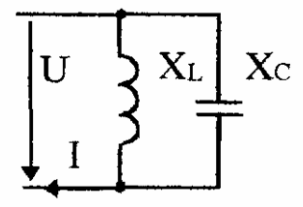


Рис. 16.9.

16.7.2. Знайти струм кола, що зображено на рис.16.7, якщо  $u=28,2\sin(\omega t+30^\circ)$ ,  $X=4$  Ом,  $R=3$  Ом. Побудувати часові діаграми напруг та струмів.

16.7.3. Знайти струм кола, що зображено на рис.16.8, якщо  $u=14,1\sin(\omega t-20^\circ)$ ,  $X_1=4$  Ом,  $X_2=2$  Ом,  $R=8$  Ом. Побудувати часові діаграми напруг і струмів на елементах схеми.

16.7.4. Для схеми, що зображена на рис.16.9, обчислити загальний струм  $I$ , якщо  $u=141\sin\omega t$ , а  $X_L=X_C$ . Побудувати часові діаграми напруг і струмів на елементах схеми та в гілках.

16.7.5. Розрахувати струми в гілках схеми, що на рис.16.10 та напруги на опорах при:  $R_1=10$  Ом,  $R_2=6$  Ом,  $X_C=1$  Ом,  $e(t)=100\sin(\omega_0 t+30^\circ)$ . Побудувати часові діаграми напруг і струмів на елементах схеми та в гілках.

16.7.6. Розрахувати струми в гілках схеми на рис.16.10 та напруги на опорах при:  $R_1=10$  Ом,  $R_2=6$  Ом,  $X_C=1$  Ом,  $e(t)=100\sin(\omega_0 t-60^\circ)$ . Побудувати часові діаграми напруг та струмів на елементах схеми та в гілках.

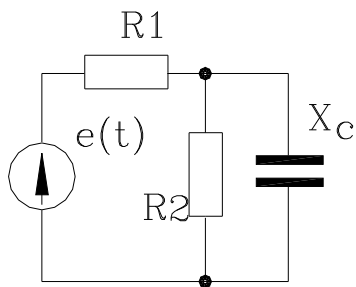


Рис. 16.10.

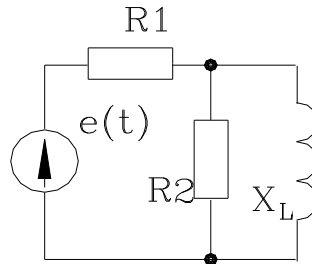


Рис. 16.11.

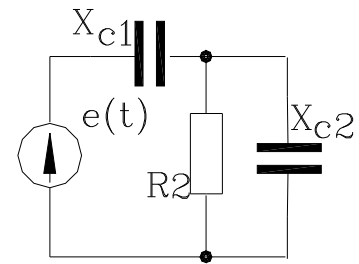


Рис. 16.12.

16.7.7. Розрахувати струми в гілках схеми на рис.16.10 та напруги на опорах при:  $R_1=10$  Ом,  $R_2=8$  Ом,  $X_C=6$  Ом,  $e(t)=100\sin(\omega_0 t+60^\circ)$ . Побудувати часові діаграми напруг і струмів на елементах схеми та в гілках.

16.7.8. Розрахувати струми в гілках схеми на рис.16.11 та напруги на опорах при:  $R_1=10$  Ом,  $R_2=8$  Ом,  $X_L=6$  Ом,  $e(t)=10\sin(\omega_0 t-30^\circ)$ . Побудувати часові діаграми напруг та струмів на елементах схеми та в гілках.

16.7.9. Розрахувати струми в гілках схеми на рис.16.11 та напруги на опорах при:  $R_1=10$  Ом,  $R_2=6$  Ом,  $X_L=10$  Ом,  $e(t)=10\sin(\omega_0 t-60^\circ)$ . Побудувати часові діаграми напруг та струмів на елементах схеми та в гілках.

16.7.10. Розрахувати струми в гілках схеми на рис.16.11 та напруги на опорах при:  $R_1=10$  Ом,  $R_2=6$  Ом,  $X_L=6$  Ом,  $e(t)=10\sin(\omega_0 t+60^\circ)$ . Побудувати часові діаграми напруг та струмів на елементах схеми та в гілках.

16.7.11. Розрахувати струми в гілках схеми на рис.16.12 та напруги на опорах при:  $R=10$  Ом,  $X_{C1}=10$  Ом,  $X_{C2}=4$  Ом,  $e(t)=100\sin(\omega_0 t+30^\circ)$ . Побудувати часові діаграми напруг та струмів на елементах схеми та в гілках.

16.7.12. Розрахувати струми в гілках схеми на рис.16.12 та напруги на опорах при:  $R=6$  Ом,  $X_{C1}=10$  Ом,  $X_{C2}=4$  Ом,  $e(t)=100\sin(\omega_0 t-60^\circ)$ . Побудувати часові діаграми напруг та струмів на елементах схеми та в гілках.

16.7.13. Розрахувати струми в гілках схеми на рис.16.12 та напруги на опорах при:  $R=10$  Ом,  $X_{C1}=10$  Ом,  $X_{C2}=4$  Ом,  $e(t)=10\sin(\omega_0 t-30^\circ)$ . Побудувати часові діаграми напруг та струмів на елементах схеми та в гілках.

16.7.14. Розрахувати струми в гілках схеми на рис.16.12 та напруги на опорах при:  $R=6$  Ом,  $X_{C1}=10$  Ом,  $X_{C2}=4$  Ом,  $e(t)=10\sin(\omega_0 t-60^\circ)$ . Побудувати часові діаграми напруг та струмів на елементах схеми та в гілках.

16.7.15. Розрахувати струми в гілках схеми на рис.16.10 та напруги на опорах при:  $R_1=10$  Ом,  $R_2=4$  Ом,  $X_{C1}=3$  Ом,  $e(t)=100\sin(\omega_0 t+60^\circ)$ . Побудувати часові діаграми напруг і струмів на елементах схеми та в гілках.

16.7.16. Розрахувати струми в гілках схеми на рис.16.11 та напруги на опорах при:  $R_1=10$  Ом,  $R_2=6$  Ом,  $X_L=10$  Ом,  $e(t)=10\sin(\omega_0 t+30^\circ)$ . Побудувати часові діаграми напруг та струмів на елементах схеми та в гілках.

16.7.17. Розрахувати струми в гілках схеми, що на рис.16.13 та напруги на опорах при:  $R_1=6$  Ом,  $R_2=10$  Ом,  $X_C=10$  Ом,  $X_L=6$  Ом,  $e(t)=10\sin(\omega_0 t-60^\circ)$ . Побудувати часові діаграми напруг та струмів.

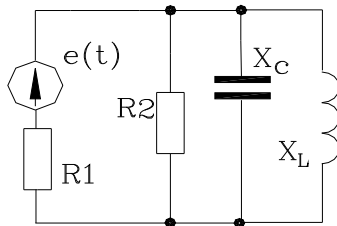


Рис. 16.13.

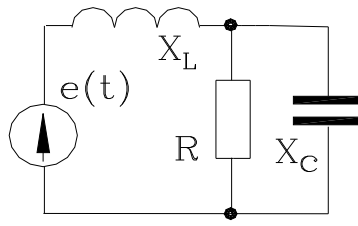


Рис. 16.14.

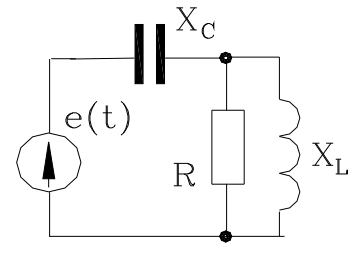


Рис. 16.15.

16.7.18. Розрахувати струми в гілках схеми, що на рис.16.13 та напруги на опорах при:  $R_1=6$  Ом,  $R_2=10$  Ом,  $X_C=4$  Ом,  $X_L=10$  Ом,  $e(t)=100\sin(\omega_0 t+60^\circ)$ . Побудувати часові діаграми напруг та струмів.

16.7.19. Розрахувати струми в гілках схеми, що на рис.16.13 та напруги на опорах при:  $R_1=6$  Ом,  $R_2=10$  Ом,  $X_C=10$  Ом,  $X_L=6$  Ом,  $e(t)=100\sin(\omega_0 t-30^\circ)$ . Побудувати часові діаграми напруг та струмів.

16.7.18. Розрахувати струми в гілках схеми, що на рис.16.13 та напруги на опорах при:  $R_1=6$  Ом,  $R_2=10$  Ом,  $X_C=4$  Ом,  $X_L=10$  Ом,  $e(t)=10\sin(\omega_0 t+60^\circ)$ . Побудувати часові діаграми напруг та струмів. ++++++

16.7.19. Розрахувати струми в гілках схеми, що на рис.6.14 та напруги на опорах при:  $R=6$  Ом,  $X_C=10$  Ом,  $X_L=6$  Ом,  $e(t)=100\sin(\omega_0 t-60^\circ)$ . Побудувати часові діаграми напруг та струмів.

16.7.20. Розрахувати струми в гілках схеми, що на рис.6.14 та напруги на опорах при:  $R=10$  Ом,  $X_C=10$  Ом,  $X_L=10$  Ом,  $e(t)=10\sin(\omega_0 t-60^\circ)$ . Побудувати часові діаграми напруг та струмів.

16.7.21. Розрахувати струми в гілках схеми, що на рис.6.14 та напруги на опорах при:  $R=6$  Ом,  $X_C=10$  Ом,  $X_L=6$  Ом,  $e(t)=100\sin(\omega_0 t+60^\circ)$ . Побудувати часові діаграми напруг та струмів.

16.7.22. Розрахувати струми в гілках схеми, що на рис.16.15 та напруги на опорах при:  $R=6$  Ом,  $X_c=10$  Ом,  $X_L=10$  Ом,  $e(t)=100\sin(\omega_0 t-30^\circ)$ . Побудувати часові діаграми напруг та струмів.

16.7.23. Розрахувати струми в гілках схеми, що на рис.16.15 та напруги на опорах при:  $R=10$  Ом,  $X_c=4$  Ом,  $X_L=6$  Ом,  $e(t)=100\sin(\omega_0 t+60^\circ)$ . Побудувати часові діаграми напруг та струмів.

16.7.22. Розрахувати струми в гілках схеми, що на рис.16.15 та напруги на опорах при:  $R=10$  Ом,  $X_c=4$  Ом,  $X_L=6$  Ом,  $e(t)=10\sin(\omega_0 t-60^\circ)$ . Побудувати часові діаграми напруг та струмів.



16.7.22. Розрахувати струми в гілках схеми, що на рис.16.15 та напруги на опорах при:  $R = 6 \text{ Ом}$ ,  $X_C = 10 \text{ Ом}$ ,  $X_L = 10 \text{ Ом}$ ,  $e(t) = 100 \sin(\omega_0 t - 30^\circ)$ . Побудувати часові діаграми напруг та струмів.

16.7.18. Розрахувати струми в гілках схеми, що на рис.16.13 та напруги на опорах при:  $R_1 = 10 \text{ Ом}$ ,  $R_2 = 6 \text{ Ом}$ ,  $X_C = 4 \text{ Ом}$ ,  $X_L = 6 \text{ Ом}$ ,  $e(t) = 100 \sin(\omega_0 t + 60^\circ)$ . Побудувати часові діаграми напруг та струмів.

### 16.8. Додаток

Таблиця варіантів до лабораторної роботи.

Номер варіанту	R-L	R-C	R, Ом	C, мкФ	L, мГ
1	+		500	1	29
2		+	600	2	45
3	+		700	3	24
4		+	800	4	78
5	+		900	5	25
6		+	1000	6	35
7	+		2000	7	49
8		+	3000	8	82
9	+		4000	9	47
10		+	5000	10	19
11	+		6000	11	84
12		+	7000	12	46
13	+		8000	13	28
14		+	9000	14	67
15	+		10000	15	70