

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА ТЕ14

Дослідження частотних характеристик фільтрів

14.1. Мета роботи

Метою роботи є вивчення амплітудно-частотних та фазочастотних характеристик фільтрів верхніх частот, фільтрів нижніх частот, диференціатора, інтегратора, які представлені в вигляді чотирьохполосника. Метою роботи є також вивчення способів їх визначення й побудови. В результаті вивчення роботи студенти повинні оволодіти методологією оцінки амплітудно-частотних і фазочастотних характеристик розглянутих пристроїв.

14.2. Основні теоретичні положення

Для дослідження амплітудно-частотних і фазочастотних характеристик фільтрів, а також диференціаторів і інтеграторів, представимо їх в вигляді чотирьохполосників і будемо розглядати тільки вхідні і вихідні характеристики, залишаючи поза увагою струми і напруги в самому чотирьохполоснику.

Розглянемо частотні властивості чотирьохполосників як комплексних двополосників. Комплексний коефіцієнт передачі двополосника визначається відношенням:

$$K(j\omega) = \frac{X_{\text{вих}}(j\omega)}{X_{\text{вх}}(j\omega)},$$

де $X_{\text{вх}}$ – сигнал, що подається на вхід чотирьохполосника;

$X_{\text{вих}}$ – сигнал, що знімається з виходу чотирьохполосника;

$K(j\omega)$ – комплексне число, яке може бути записаним як в алгебраїчній так і в векторній формі:

$$K(j\omega) = A + jB = Ze^{j\varphi};$$

де
$$Z = \sqrt{A^2 + B^2}; \quad \varphi = \arctg \frac{B}{A}.$$

Основною характеристикою двополосників є частотні характеристики, які представляються у вигляді полінома:

$$Z(j\omega) = \frac{N(j\omega)}{M(j\omega)} = \frac{a_n(j\omega)^n + a_{n-1}(j\omega)^{n-1} + \dots + a_0}{b_m(j\omega)^m + b_{m-1}(j\omega)^{m-1} + \dots + b_0}.$$

В таблиці 14.1 приведені приклади найпростіших двополосників і їх комплексні опори, зображені в вигляді простих поліномів.

Таблиця 14.1.

| № | Зображення | $Z(j\omega)$ | № | Зображення | $Z(j\omega)$ |
|---|------------|--|---|------------|---|
| 1 | | $\frac{1/C}{j\omega}$ | 5 | | $\frac{j\omega + 1/RC}{j\omega \frac{1}{R}} = \frac{R(1 + j\omega RC)}{j\omega RC}$ |
| 2 | | $Lj\omega$ | 6 | | $R + j\omega L = R(1 + j\omega \frac{L}{R})$ |
| 3 | | $\frac{j\omega \frac{1}{L}}{(j\omega)^2 + \frac{1}{LC}}$ | 7 | | $\frac{R j\omega}{j\omega + \frac{L}{R}} = \frac{R j\omega \frac{L}{R}}{1 + j\omega \frac{L}{R}}$ |
| 4 | | $\frac{j\omega \frac{1}{C}}{(j\omega)^2 + \frac{1}{LC}}$ | 8 | | $\frac{1/C}{j\omega + \frac{1}{RC}} = \frac{R}{1 + j\omega RC}$ |

Електричними фільтрами називають чотирьохполосники, які складаються із котушок індуктивності та конденсаторів, або конденсаторів і резисторів (безіндукційні фільтри).

Різні комбінації котушок, конденсаторів та опорів дають різні типи фільтрів. Типи використовуваних фільтрів залежать від їх призначення, та вихідного сигналу, який необхідно обробляти фільтрами.

Фільтри нижніх частот (Рис.14.1) характерні тим, що індуктивність, що стоїть в продольній ланці має на нижніх частотах малий опір, а конденсатори, що встановлюються в поперечній ланці – великий.

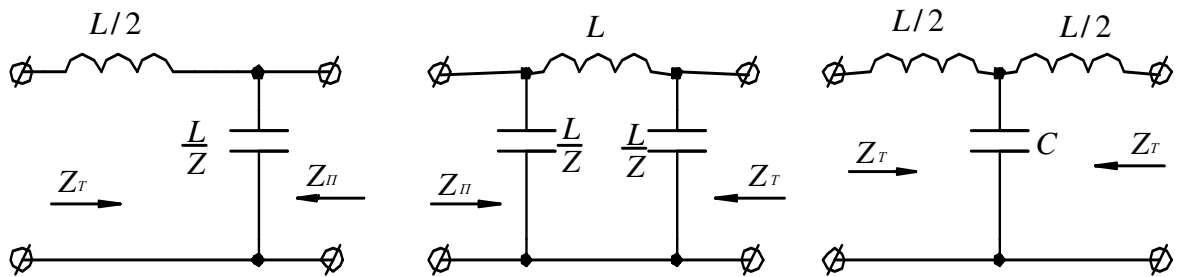


Рис. 14.1.

Фільтри верхніх частот (Рис.14.2), навпаки, в повздовжній гілці мають конденсатор, що на верхніх частотах має низький опір, а індуктивність поперечної гілки на верхніх частотах має високий опір.

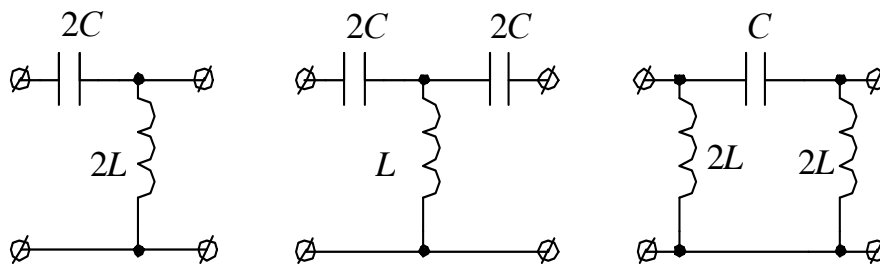


Рис. 14.2.

Смугові фільтри (Рис.14.3) в повздовжній гілці мають послідовний резонансний опір, що на резонансній частоті має нульовий реактивний опір, а в поперечній – паралельний резонансний контур з нескінченно великим опором.

Загороджуючі фільтри мають зворотнє включення резонансних кіл (Рис.14.4).

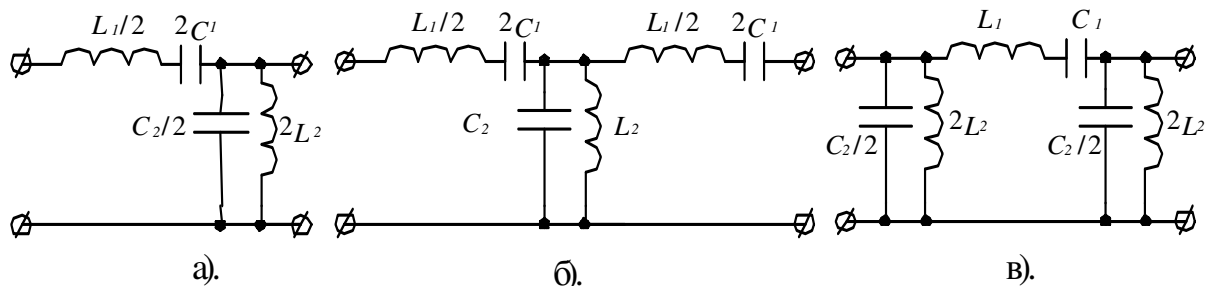


Рис. 14.3.

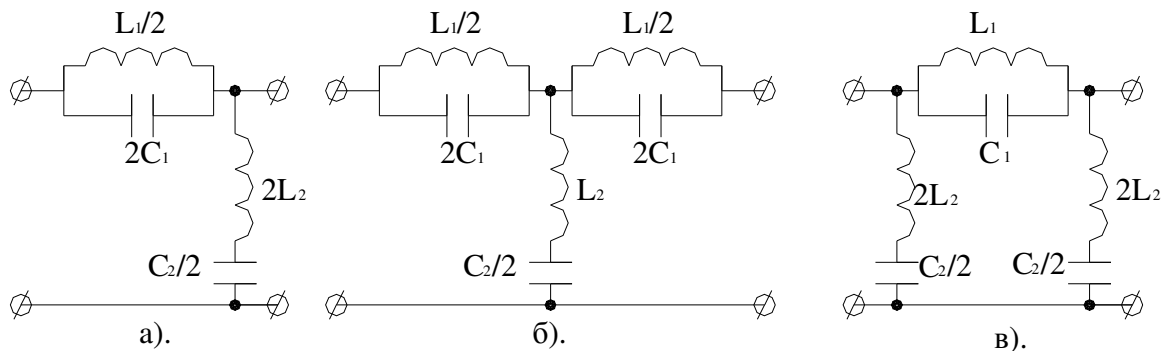


Рис. 14.4.

Фільтри пропускають струми в визначеній смузі частот. Смугою пропускання фільтра є область частот, при яких затухання фільтра $a=0$, а смугою затухання – діапазон частот, при яких коефіцієнт $a \neq 0$. Частоти, які відділяють смугу пропускання від смуги затухання, називаються частотами зрізу. Частоти зрізу можуть бути обчислені аналітично, якщо відомі функціональні залежності характеристичних опорів Z_1 і Z_2 від частоти або графічно, якщо приводяться їх графічні залежності.

14.3. Використання віртуальної лабораторії EWB для виконання роботи

Для дослідження частотних властивостей пасивних або активних чотирирохполіусників у EWB передбачено декілька різних способів.

В будь-якому випадку необхідно, щоб досліджувана схема була підготовлена і до її входу було приєднане джерело змінної напруги, а загальна шина заземлена.

Перший спосіб дослідження. Він полягає в тому, що до виходу чотирирохполіусника приєднується осцилограф, або інший вимірювальний

прилад і задається ряд частот вхідного сигналу. Для кожної частоти записується діюче або амплітудне значення напруги на вході і, відповідно, на виході чотирьохполюсника. Після цього обчислюються для кожної з частот модуль і фаза комплексного коефіцієнта передачі, які потім використовуються для побудови амплітудно-частотної й фазочастотної логарифмічних характеристик (ЛАЧХ і ЛФЧХ). Всі обчислення можна виконати, наприклад, в пакеті **Excel**.

Другий спосіб полягає у використанні обчислень за допомогою підпрограм, які вмонтовані в пакет EWB. Послідовність обчислення й побудови ЛАЧХ і ЛФЧХ полягає в тому, що в меню **Analysis** вибирається опція **Frequency Analysis**. Результатом вибору є поява вікна, вигляд якого приводиться на рис.14.5. В вікні **Analysis** встановлюються діапазони виконуваних вимірювань:

Start frequency – початкова частота ЛАЧХ і ЛФЧХ.

End frequency – кінцева частота проведення аналізу.

Sweep type – тип горизонтальної шкали, що використовується, (шкали частот).

Number of points – кількість точок дослідження у вибраному частотному діапазоні.

Vertical scale – тип вертикальної шкали (лінійна, логарифмічна).

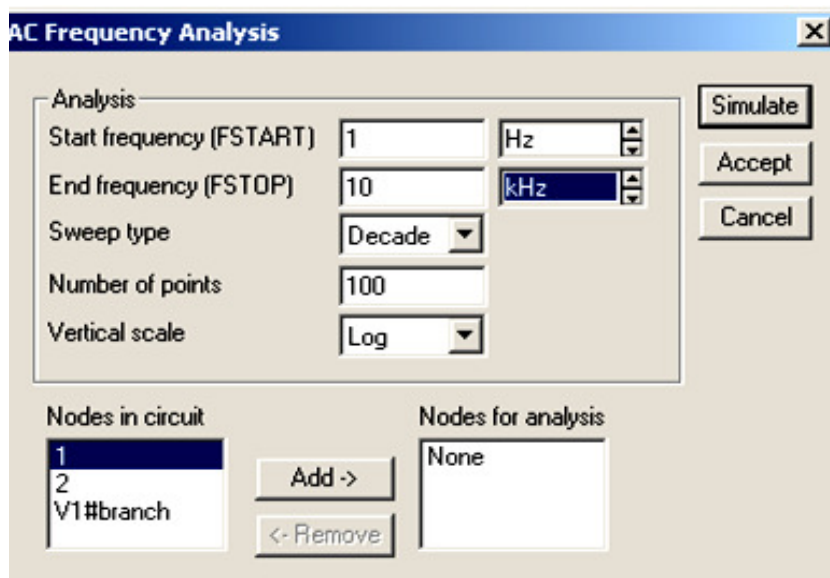


Рис. 14.5.

Обов'язковими установками при частотному аналізі є вибір точок, відносно яких проводяться дослідження. Тому точки, які необхідно аналізувати, нумеруються або їм приписуються відповідні назви і потім вони встановлюються в вікні **Nodes in circuit**, за допомогою якого точки, необхідні для дослідження, вибираються і кнопкою **Add**, встановлюються у вікні **Nodes for Analysis**. Після натиснення кнопки **Accept**, натискається кнопка **Simulate** і з'являється вікно з графіками ЛАЧХ і ЛФЧХ (Рис.14.6).

Третій спосіб полягає в використанні **Bode plotter**.

Вибір того, чи іншого способу визначення амплітудно-, та фазочастотних характеристик визначається викладачем, в залежності від рівня підготовки студентів, або в залежності від вимог до вивчення розділу, що розглядається.

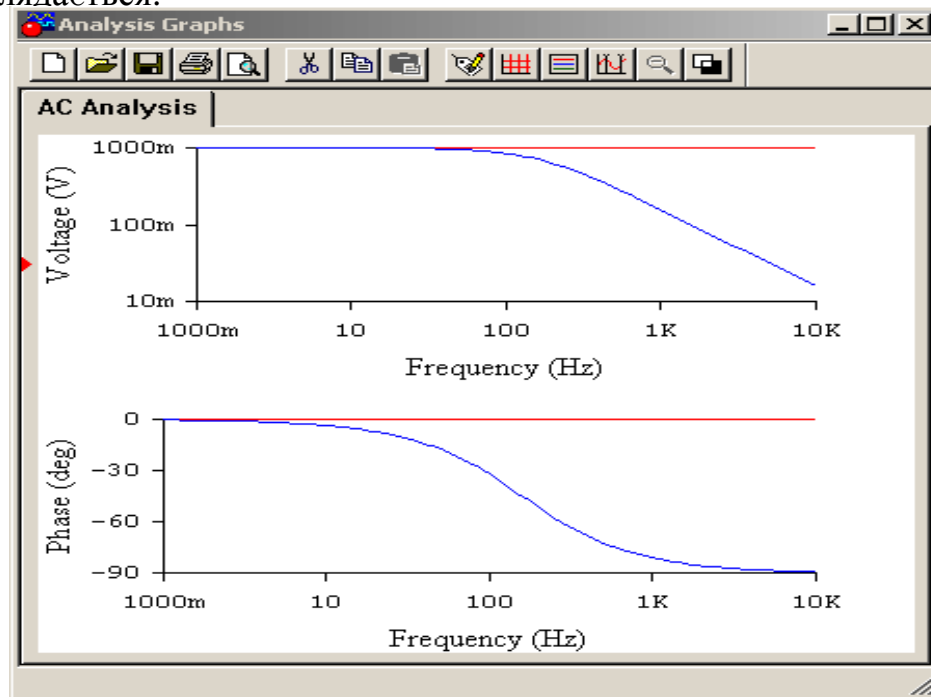


Рис. 14.6.

14.4. Порядок виконання роботи

EWB має ряд чотирьохполюсників, які можна знайти в опції **Controls**: інтегратор, диференціатор.

14.4.1. Дослідження частотних характеристик інтегратора напруги.

Вибрати інтегруючий блок (Рис. 14.7б) і зібрати схему за рис. 14.7в. Включити схему і зняти АЧХ і ФЧХ блоку.

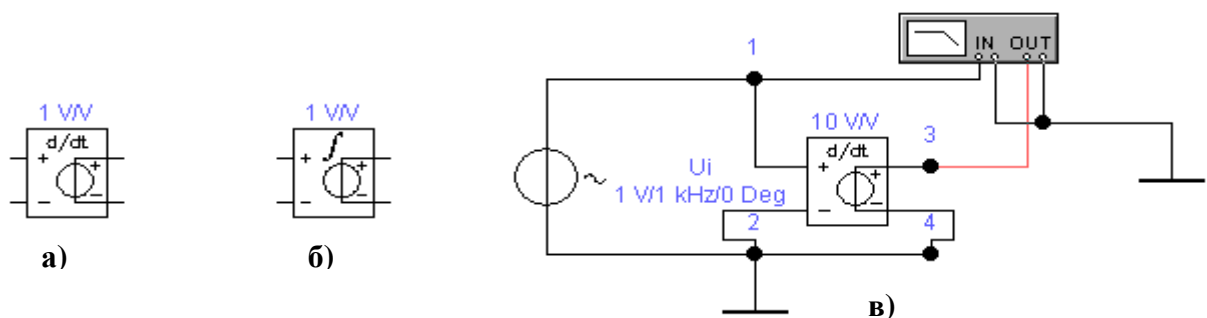


Рис. 14.7.

14.4.2. Дослідження фільтра нижніх частот.

Приготувати схему фільтра нижніх частот на основі **R-C**, або **R-L** елементів, в залежності від варіанта. Параметри **R** і **C(L)** вибрати з таблиці завдань (Додаток 1). Необхідно пам'ятати, що для проведення дослідів вхід повинен бути приєднаним до джерела змінної напруги, а загальна шина заземлена. Результати обчислення АЧХ і ФЧХ повинні бути зображені в логарифмічному масштабі, як зображено на рис. 14.8. За результатами

проведення досліду обчислити частоту зрізу частотної характеристики і постійну часу фільтра. Результати обчислень порівняти з постійною часу, обчисленою за установленими даними компонентів.

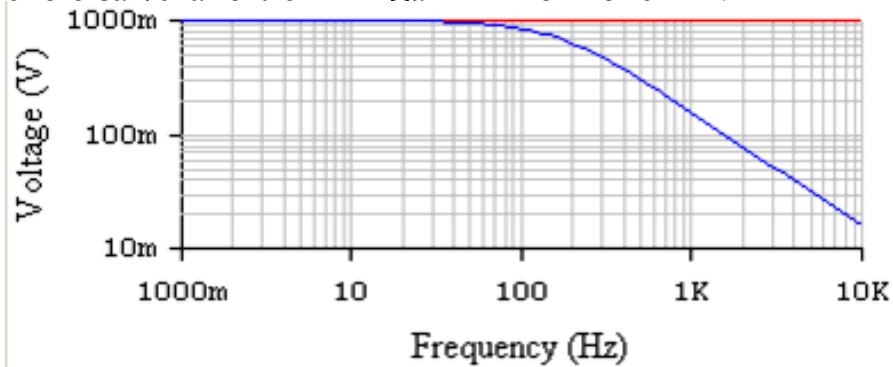


Рис. 14.8.

14.4.3. Змінити постійну часу на порядок в сторону збільшення і в сторону зменшення частоти зрізу, виконати обчислення аналогічні п.14.4.2 і порівняти результати обчислень.

14.4.4. Вибрати з меню **Controls** бібліотеки компонентів диференціюючий блок (Рис. 14.7.а) і зібрати схему за рис. 14.7в. Включити схему і зняти АЧХ і ФЧХ блоку.

14.4.5. Провести досліди аналогічні п.14.4.3 для фільтра верхніх частот і виконати відповідні обчислення.

14.4.6. Провести досліди аналогічні п.14.4.2 для **R-C** смугового фільтра і виконати відповідні обчислення (Додаток 2, варіант 9).

14.4.7. Провести досліди по визначенню АЧХ і ФЧХ для кіл з **L-C** елементами, що забезпечують резонанс напруг і резонанс струмів. Обчислити резонансну частоту по параметрах, які задані відповідно до варіанту роботи, що виконується і за результатами експериментальних досліджень. (Радимо для проведення цього досліду встановити лінійний масштаб по осі частот).

14.5. Вимоги до звіту

14.5.1. Привести результати експериментальних досліджень.

14.5.2. Привести результати виконаних розрахунків.

14.5.3. Порівняти отримані результати.

14.5.4. Для **R-C**, а також для **R-L** кіл, побудувати дуальні електричні кола й обґрунтувати їх відповідність.

14.5.5. Зробити висновки.

14.6. Питання до атестації

14.6.1. Обґрунтувати практичну цінність використання логарифмічного масштабу.

14.6.2. Навести приклади практичного використання частотних властивостей пасивних чотирьохполосників.

14.6.3. На конкретних прикладах продемонструвати уміння оцінити амплітудно-частотні властивості чотирьохполосників.

14.6.4. Пояснити, що таке колоса пропускання фільтра і для чого вона використовується.

14.6.5. Пояснити, що таке частота зрізу фільтра і для чого вона використовується.

14.4.6. Дати пояснення фазочастотних характеристик та привести їхні графіки для найпростіших чотирьохполюсників.

14.6.7. Дати порівняльні характеристики фільтра нижніх частот та інтегратора; фільтра верхніх частот і диференціатора.

14.6.8. Дати пояснення, що таке ідеальний диференціатор (інтегратор); реальний диференціатор (інтегратор). Навести графіки.

14.7. Задачі

14.7.1. Зобразити та обґрунтувати вигляд частотної характеристики пасивного чотирьохполюсника за варіантом 1 (Додаток 2).

14.7.2. Зобразити та обґрунтувати вигляд частотної характеристики пасивного чотирьохполюсника за варіантом 2 (Додаток 2).

14.7.3. Зобразити та обґрунтувати вигляд частотної характеристики пасивного чотирьохполюсника за варіантом 3 (Додаток 2).

14.7.4. Зобразити та обґрунтувати вигляд частотної характеристики пасивного чотирьохполюсника за варіантом 4 (Додаток 2).

14.7.5. Зобразити та обґрунтувати вигляд частотної характеристики пасивного чотирьохполюсника за варіантом 5 (Додаток 2).

14.7.6. Зобразити та обґрунтувати вигляд частотної характеристики пасивного чотирьохполюсника за варіантом 6 (Додаток 2).

14.7.7. Зобразити та обґрунтувати вигляд частотної характеристики пасивного чотирьохполюсника за варіантом 7 (Додаток 2).

14.7.8. Зобразити та обґрунтувати вигляд частотної характеристики пасивного чотирьохполюсника за варіантом 8 (Додаток 2).

14.7.9. Зобразити та обґрунтувати вигляд частотної характеристики пасивного чотирьохполюсника за варіантом 9 (Додаток 2).

14.7.10. Зобразити та обґрунтувати вигляд частотної характеристики пасивного чотирьохполюсника за варіантом 10 (Додаток 2).

14.7.11. Зобразити та обґрунтувати вигляд частотної характеристики пасивного чотирьохполюсника за варіантом 11 (Додаток 2).

14.7.12. Зобразити та обґрунтувати вигляд частотної характеристики пасивного чотирьохполюсника за варіантом 12 (Додаток 2).

14.7.13. Зобразити та обґрунтувати вигляд частотної характеристики пасивного чотирьохполюсника за варіантом 13 (Додаток 2).

14.7.14. Зобразити та обґрунтувати вигляд частотної характеристики пасивного чотирьохполюсника за варіантом 14 (Додаток 2).

14.7.15. Зобразити та обґрунтувати вигляд частотної характеристики пасивного чотирьохполюсника за варіантом 16 (Додаток 2).

14.7.16. Зобразити та обґрунтувати вигляд частотної характеристики пасивного чотирьохполюсника за варіантом 17 (Додаток 2).

- 14.7.17. Зобразити та обґрунтувати вигляд частотної характеристики пасивного чотирьохполюсника за варіантом 18 (Додаток 2).
- 14.7.18. Зобразити та обґрунтувати вигляд частотної характеристики пасивного чотирьохполюсника за варіантом 19 (Додаток 2).
- 14.7.19. Зобразити та обґрунтувати вигляд частотної характеристики пасивного чотирьохполюсника за варіантом 20 (Додаток 2).
- 14.7.20. Зобразити та обґрунтувати вигляд частотної характеристики пасивного чотирьохполюсника за варіантом 21 (Додаток 2).
- 14.7.21. Зобразити та обґрунтувати вигляд частотної характеристики пасивного чотирьохполюсника за варіантом 22 (Додаток 2).

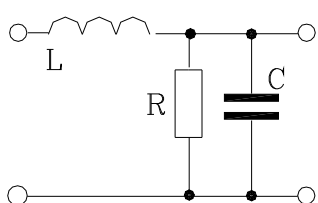


Рис. 14.9.

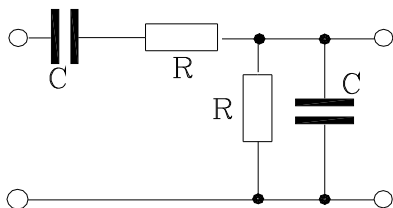


Рис. 14.10.

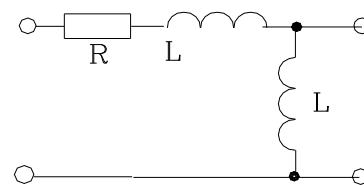


Рис. 14.11.

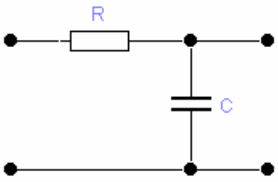
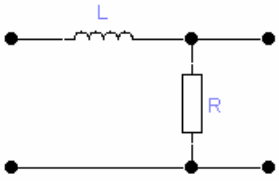
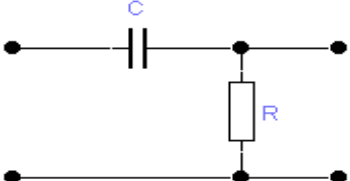
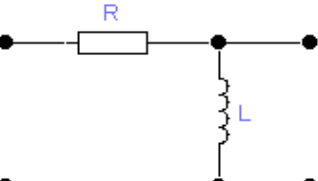
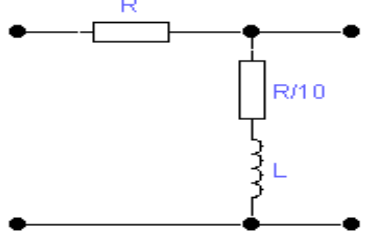
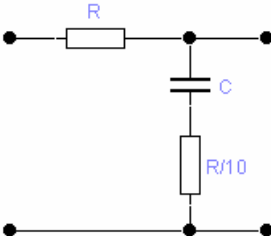
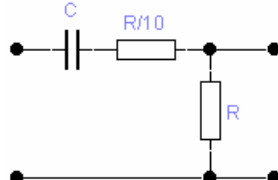
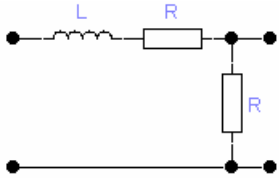
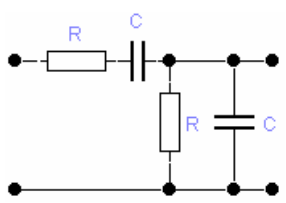
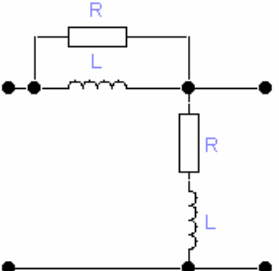
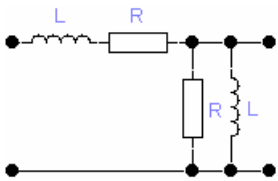
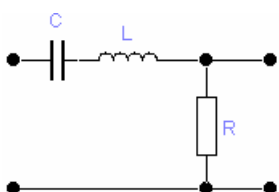
- 14.7.22. Зобразити та обґрунтувати вигляд частотної характеристики пасивного чотирьохполюсника на рис.14.9.
- 14.7.23. Зобразити та обґрунтувати вигляд частотної характеристики пасивного чотирьохполюсника на рис.14.10.
- 14.7.24. Зобразити та обґрунтувати вигляд частотної характеристики пасивного чотирьохполюсника на рис.14.11.

14.8. Додатки

Додаток 1. Таблиця варіантів до лабораторної роботи.

| № 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 | + | | 1000 | 15 | 70 |

Додаток 2. Варіанти пасивних чотирьохполюсників.

| Номер варіанту | Схема пасивного чотирьохполюсника | Номер варіанту | Схема пасивного чотирьохполюсника |
|-------------------|---|-------------------|--|
| 1 |  | 2 |  |
| 3 |  | 4 |  |
| 5 |  | 6 |  |
| 7 |  | 8 |  |
| 9 |  | 10 |  |
| 11 |  | 12 |  |

| | | | |
|----|--|----|--|
| 13 | | 14 | |
| 15 | | 16 | |
| 17 | | 18 | |
| 19 | | 20 | |
| 21 | | 22 | |