

Міністерство освіти і науки України
Сумський державний університет

4208 МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до курсової роботи

на тему «Кореляційно-спектральний аналіз проходження серії
прямокутних відеоімпульсів через лінійні кола»

з дисципліни «Теорії сигналів та розрахунку електричних кіл»
для студентів спеціальності

172 «Телекомунікації та радіотехніка»

Суми
Сумський державний університет
2017

Методичні вказівки до курсової роботи на тему «Кореляційно-спектральний аналіз проходження серії прямокутних відеоімпульсів через лінійні кола» з дисципліни «Теорії сигналів та розрахунку електричних кіл» / укладач О. М. Кобяков. – Суми : Сумський державний університет, 2017. – 27 с.

Кафедра електроніки і комп'ютерної техніки

ЗМІСТ

	С.
Завдання до курсової роботи.....	4
1 Визначення і побудова автокореляційної функції вхідного сигналу.....	7
2 Розрахунок і побудова амплітудно-частотного спектра вхідного сигналу.....	8
3 Розрахунок і побудова АЧХ лінійного пасивного кола.....	12
4 Визначення спектральної щільності вихідного сигналу.....	17
5 Визначення часової реакції лінійного кола $U_{\text{вих}}(t)$ на заданий вхідний сигнал.....	21
Список літератури.....	26

ЗАВДАННЯ ДО КУРСОВОЇ РОБОТИ

Завдання

Здійснити кореляційно-спектральний аналіз схеми, загальний вигляд якої наведений на рисунку 1, згідно зі своїм варіантом.

Із цією метою визначити та побудувати:

- автокореляційну функцію (АКФ) вхідного сигналу;
- амплітудно-частотний спектр (АЧС) вхідного сигналу

$U_{\text{вх}}(t)$;

- амплітудно-частотну характеристику (АЧХ) лінійного кола;
- АЧС вихідного сигналу;
- вираз і часову діаграму вихідного сигналу $U_{\text{вих}}(t)$.

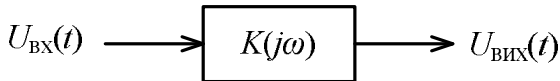


Рисунок 1

Вхідний сигнал $U_{\text{вх}}(t)$ (рисунок 2)– серія прямокутних відеоімпульсів (ПВІ) з параметрами:

- τ_u – тривалість імпульсу ;
- T – період;
- U_m – амплітуда імпульсу;
- n – число імпульсів у серії.

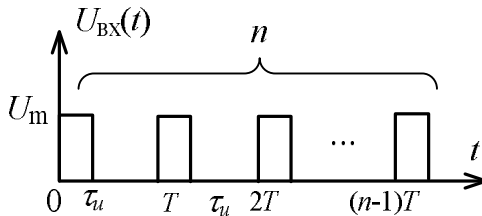


Рисунок 2

Вихідні дані наведені в таблиці 1, де вказані варіанти схем (рис. 3), їхні параметри R і C і параметри вхідного сигналу.

Номер варіанту відповідає номеру за списком навчальної групи.

Таблиця 1

Вар.	схема	R , кОм	C , нФ	n	U_m , В	τ_u , мкс	T , мкс
1	а)	5	200	4	2	2	10
2	б)	4	500	4	3	4	16
3	в)	10	200	4	4	5	25
4	г)	10	400	4	5	10	40
5	а)	2	500	5	2	2	12
6	б)	4	250	5	3	4	20
7	в)	10	200	5	4	5	30
8	г)	20	250	5	5	10	50
9	а)	5	200	6	2	2	14
10	б)	5	400	6	3	4	24
11	в)	10	250	6	4	5	20
12	г)	12	500	6	5	10	60
13	а)	5	100	7	2	2	10
14	б)	5	200	7	3	4	16
15	в)	5	400	7	4	5	15
16	г)	6	500	7	5	10	30

Схеми можуть бути змінені на розсуд викладача.

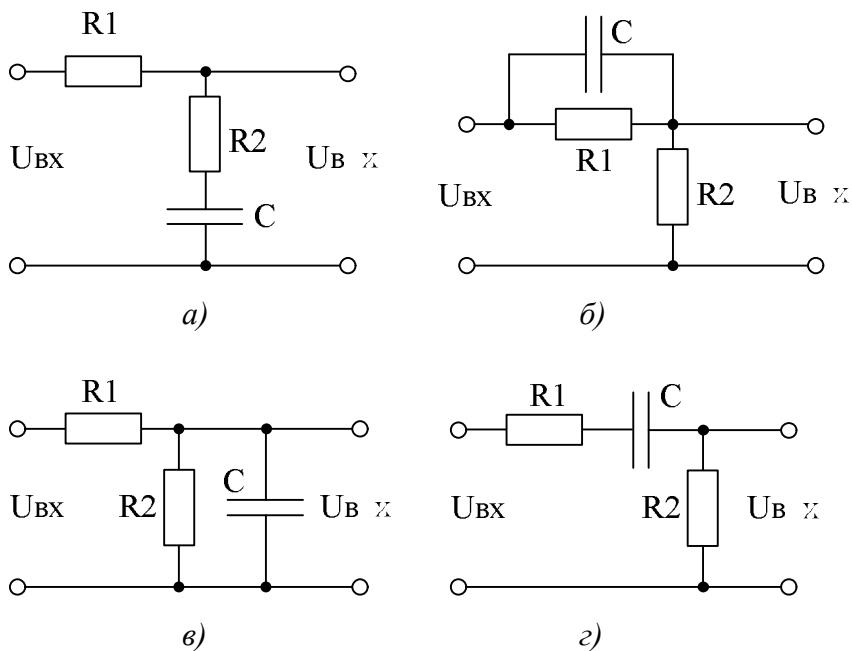


Рисунок 3

Примітка.

1. У варіантах 1, 2, 5, 6, 9, 10, 13, 14

$$R = R_1 + R_2,$$

$$R_1 = 4R_2.$$

2. У варіантах 4, 8, 12, 16

$$R = R_1 + R_2,$$

$$R_1 = R_2.$$

1 ВИЗНАЧЕННЯ І ПОБУДОВА АВТОКОРЕЛЯЦІЙНОЇ ФУНКЦІЇ ВХІДНОГО СИГНАЛУ

1.1 Автокореляційна функція імпульсних сигналів

У даному розділі перед основними розрахунками необхідно конспективно викласти такі теоретичні питання:

- поняття автокореляційної функції (АКФ);
- визначення і основна формула АКФ;
- властивості АКФ;
- АКФ прямокутного відеоімпульсу;
- АКФ прямокутного радіоімпульсу.

1.2 Визначення автокореляційної функції серії із n прямокутних відеоімпульсів

Основна формула для розрахунку АКФ у випадку серії прямокутних відеоімпульсів (ПВІ)

$$K_u(\tau) = \int_{-\infty}^{\infty} u(t)u(t - \tau)dt$$

дозволяє графічно побудувати АКФ, не одержуючи аналітичний вираз останньої.

На рисунку 1.2.1 представлений сигнал – серія з n однакових імпульсів, що зсунуті один щодо одного на період T , а на рисунку 1.2.2. – графік відповідної до цього сигналу АКФ.

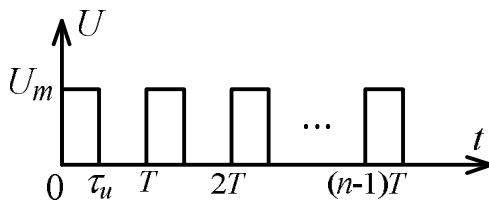


Рисунок 1.2.1

Поблизу значень τ , що дорівнюють 0 , $\pm T$, $\pm 2T$, ..., $\pm (n - 1) T$, ця функція має вид АКФ поодинокого ПВІ.

Максимальне значення АКФ при $\tau = 0$ дорівнює збільшеній в n разів енергії одного імпульса:

$$K_{(0)} = \int_{-\infty}^{\infty} u^2(t) dt = E,$$

$$E = Um^2\tau_u.$$

Застосовуючи загальний вид АКФ сигналу (рис. 1.2.2.), слід розрахувати параметри АКФ відповідно до свого варіанту і побудувати її.

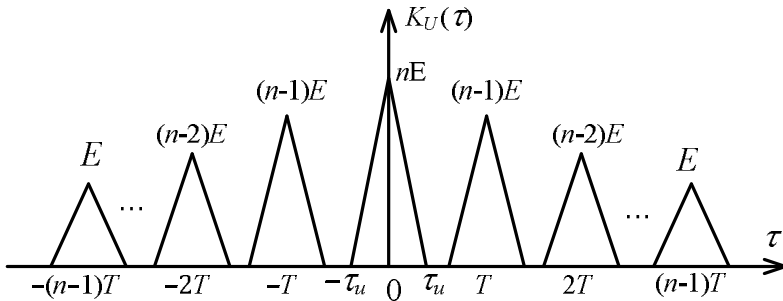


Рисунок 1.2.2

2 РОЗРАХУНОК І ПОБУДОВА АМПЛІТУДНО-ЧАСТОТНОГО СПЕКТРА ВХІДНОГО СИГНАЛУ

2.1 Амплітудно-частотний спектр серії імпульсів

Конспективно викласти наступне:

- спектральна щільність серії з n прямокутних імпульсів;
- модуль спектральної щільності серії імпульсів;
- нормований вираз для спектральної щільності

$$S_{cH}(\omega) = S_H(\omega)B(\omega), \quad (2.1.1)$$

де $S_H(\omega)$ – модуль нормованої спектральної щільності одного імпульса а серії;

$B(\omega)$ – функція частоти, що не залежить від форми імпульсів і визначається лише їх числом n в серії і періодом слідування T ;

- вид функції $B(\omega)$ для різних значень n , великі і малі пелюстки, їх висоти;
- побудова амплітудно-частотного спектра (АЧС) серії імпульсів за формулою (2.1.1) при відомих параметрах τ_u , T , n ;
- розкриття характеру зміни АЧС серії імпульсів при зростанні n : від спектра поодинокого імпульса до спектра періодичної послідовності ПВІ.

2.2 Побудова амплітудно-частотного спектра заданого вхідного сигналу (на прикладі серії з трьох імпульсів)

Нехай дана серія ПВІ з параметрами (рис. 2.2.1):
 $n = 3$; $\tau_u =$; $T =$; $U_m =$.

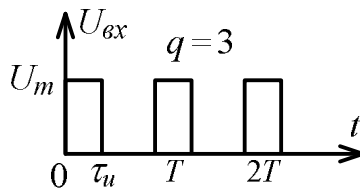


Рисунок 2.2.1

Протягом всієї роботи всі розрахунки і графіки мають ґрунтуватись на конкретних числових параметрах, а не залишатись в загальному вигляді, як у прикладах, що розглядаються на сторінках даних методичних вказівок.

АЧС поодинокого імпульса

$$S(\omega) = U_m \left| \frac{\sin \frac{\omega \tau_u}{2}}{\frac{\omega \tau_u}{2}} \right|. \quad (2.2.1)$$

Нормована АЧС поодинокого імпульса

$$S_H(\omega) = \frac{S(\omega)}{S(0)} \left| \frac{\sin \frac{\omega \tau_u}{2}}{\frac{\omega \tau_u}{2}} \right|. \quad (2.2.2)$$

Побудуємо графік нормованої АЧС поодинокого імпульса для фізично реальних частот $\omega \geq 0$ (рис. 2.2.2).

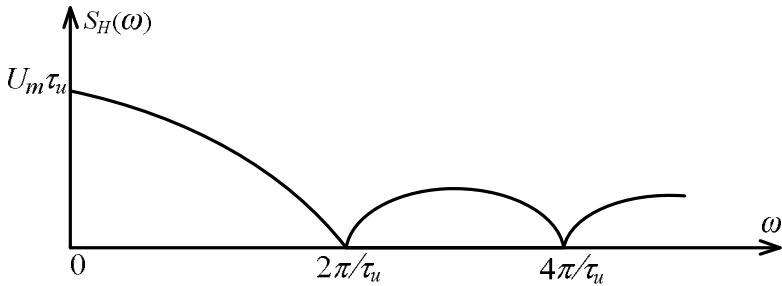


Рисунок 2.2.2

Побудуємо графік функції $B(\omega)$, яка є співмножником у виразі (2.1.1), при $n = 3$ за методикою, описану у п. 2.1 даних методичних вказівок

$$B(\omega) = \frac{1}{n} \left| \frac{\sin \frac{n\omega T}{2}}{\frac{\omega T}{2}} \right| = \frac{1}{3} \left| \frac{\sin \frac{3}{2}\omega T}{\frac{1}{2}\omega T} \right|.$$

Висота великих пелюсток для $n = 3$ дорівнює 1, малих – 0,33 (рис. 2.2.3).

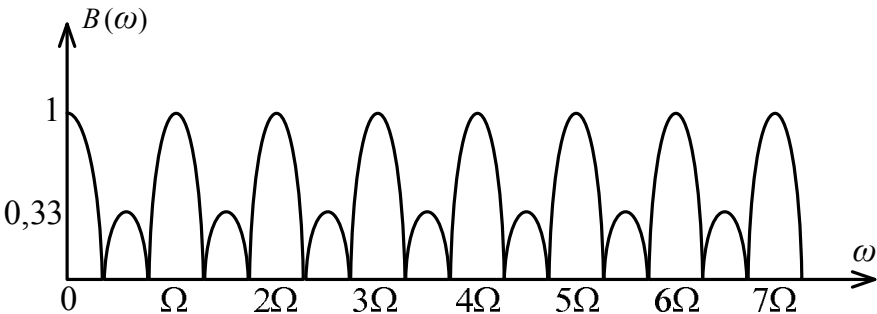


Рисунок 2.2.3

Підставивши знайдені значення АЧС $S_H(\omega)$ і функції $B(\omega)$ у формулу (2.1.1), знаходимо АЧС серії імпульсів

$$S_{c_H}(\omega) = S_H(\omega)B(\omega) = \frac{2}{3} \frac{\sin \frac{\omega \tau_u}{2}}{\omega \tau_u} \frac{\sin \frac{3}{2} \omega T}{\sin \frac{1}{2} \omega T}. \quad (2.2.3)$$

Розрахуємо значення функцій при різних значеннях частоти ω . Результати розрахунків для наочності зводимо до таблиці 2.

Таблиця 2

ω									
$S_H(\omega)$									
$B(\omega)$									
S_{c_H}									

Графік АЧС серії імпульсів може бути також одержаний перемноженням ординат графіків рис. 2.2.2 і 2.2.3.

На рисунку 2.2.4 наведений графік результуючого АЧС серії 3-х імпульсів.

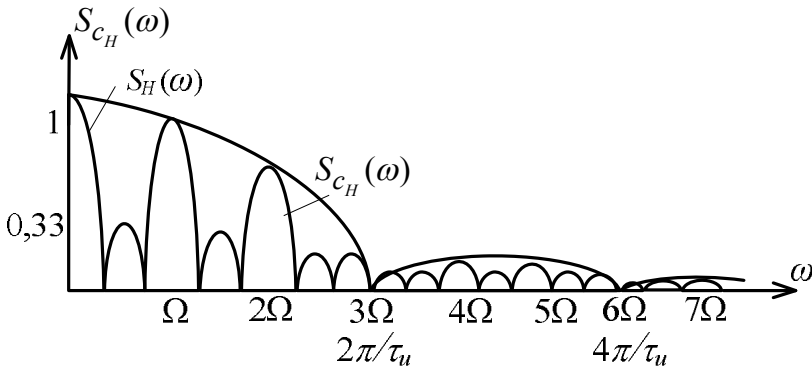


Рисунок 2.2.4

3 РОЗРАХУНОК І ПОБУДОВА АЧХ ЛІНІЙНОГО ПАСИВНОГО КОЛА

3.1 Поняття частотної характеристики лінійного кола. Приклади розрахунку АЧХ найпростіших RC -кіл

Частотні характеристики описують властивості електричних кіл при дії синусоїдних сигналів. Вони однозначно детерміновані схемою кола і його параметрами (R , C , L тощо). Це означає, що схема і параметри лінійного кола зумовлюють той чи інший характер частотної залежності комплексної функції кола, яка породжена присутністю реактивних елементів у колі.

За допомогою частотних характеристик можна визначити реакцію кола на задану дію будь-якої частоти, а також аналізувати важливі особливості застосування кола. Наприклад, АЧХ на рис. 3.1.1 характеризує лінійне коло, що має властивість пропускати без послаблення вхідний сигнал тільки в діапазоні частот від $\omega_{з1}$ до $\omega_{з2}$ (частоти зрізу).

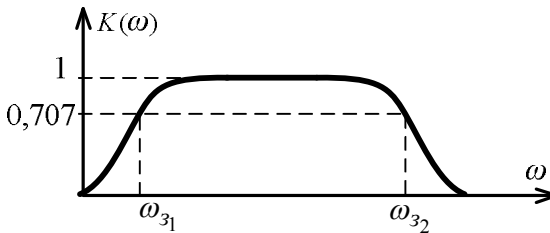


Рисунок 3.1.1

Таке коло може застосовуватись як смуговий фільтр. Характер графіка АЧХ дозволяє оцінити такі якісні показники кола, як рівномірність характеристики у межах смуги пропускання (діапазоні частот між частотами зрізу), затухання поза смугою пропускання, крутизну характеристики на границях смуги пропускання, а також розрахувати граничні частоти (частоти зрізу) $\omega_{з1}$ і $\omega_{з2}$ і ширину смуги пропускання $\Pi = \omega_{з2} - \omega_{з1}$.

Розглянемо приклади розрахунку АЧХ для найпростіших RC-кіл.

Для RC-кола (рис. 3.1.2) комплексна функція визначається за формулою:

$$K(j\omega) = \frac{\dot{U}_{вих}}{\dot{U}_{вх}} = \frac{Z_{вих}\dot{I}}{Z_{вх}\dot{I}},$$

де $Z_{вх} = Z_1 + Z_2 = \frac{1}{j\omega C} + R$ – вхідний імпеданс кола;

$Z_{вих} = R$ – вихідний імпеданс кола.

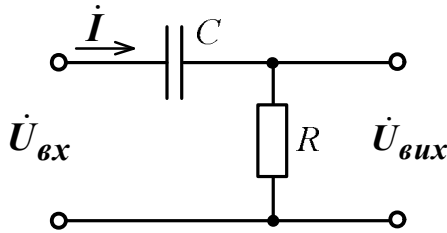


Рисунок 3.1.2

Відтак,

$$K(j\omega) = \frac{Z_{вих}}{Z_{вх}} = \frac{R}{R + \frac{1}{j\omega C}} = \frac{j\omega RC}{j\omega RC + 1} = \frac{j\omega\tau}{j\omega\tau + 1},$$

де $\tau = RC$ – стала часу кола.

Модуль останнього виразу – це АЧХ RC-кола рис. 3.1.2

$$K(\omega) = \frac{\omega\tau}{\sqrt{1 + \omega^2\tau^2}}. \quad (3.1.1)$$

Графік цієї АЧХ показаний на рисунку 3.1.3.

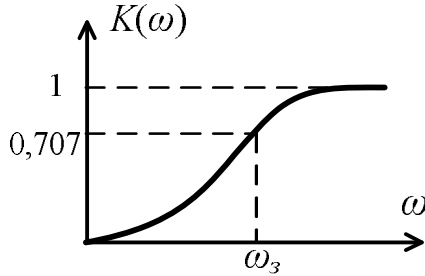


Рисунок 3.1.3

Частота зрізу ω_3 , позначена на цьому рисунку, визначається із рівняння (3.1.1):

$$\frac{\omega_3 \tau}{\sqrt{1 + \omega_3^2 \tau^2}} = \frac{1}{\sqrt{2}},$$

$$\omega_3 \tau = 1,$$

$$\omega_3 = \frac{1}{\tau} = \frac{1}{RC}.$$

Із побудованої АЧХ випливає, що RC -коло (рис. 3.1.2) є по суті *фільтром верхніх частот* (ФВЧ).

У подібний спосіб розрахуємо АЧХ для кола, наведеного на рисунку 3.1.4.

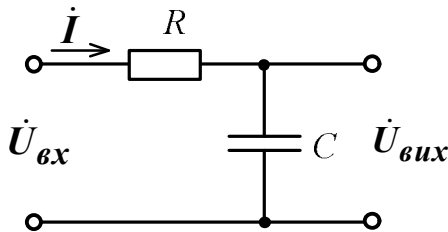


Рисунок 3.1.4

Комплексна функція для даного випадку

$$K(j\omega) = \frac{\dot{U}_{вих}}{\dot{U}_{вх}} = \frac{Z_{вих}}{Z_{вх}},$$
$$K(j\omega) = \frac{\frac{1}{j\omega C}}{\frac{1}{j\omega C} + R} = \frac{1}{1 + j\omega RC} = \frac{1}{1 + j\omega\tau},$$

де $Z_{вх} = R + \frac{1}{j\omega C}$ – вхідний імпеданс кола;

$Z_{вих} = \frac{1}{j\omega C}$ – вихідний імпеданс кола.

АЧХ кола

$$K(\omega) = \frac{1}{\sqrt{1 + \omega^2\tau^2}}. \quad (3.1.2)$$

Графік цієї АЧХ показаний на рисунку 3.1.5.

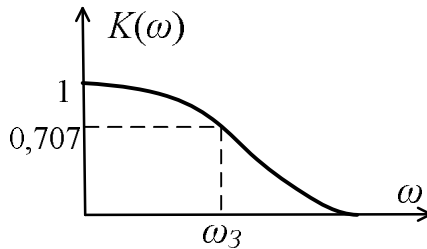


Рисунок 3.1.5

Відтак, схема (рис. 3.1.4) є фільтром нижніх частот (ФНЧ). Його частота зрізу

$$\omega_3 = \frac{1}{\tau} = \frac{1}{RC}.$$

3.2. Розрахунок АЧХ лінійного RC-фільтра (на прикладі фільтра Віна)

Схема фільтра Віна представлена на рисунку 3.2.1.

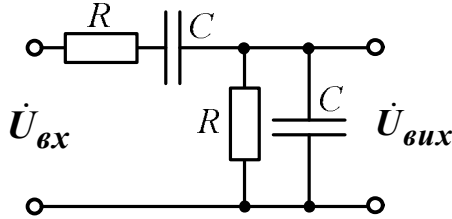


Рисунок 3.2.1

Вхідний імпеданс кола:

$$Z_{вх} = Z_1 + Z_2 = R + \frac{1}{j\omega C} + \frac{R \frac{1}{j\omega C}}{R + \frac{1}{j\omega C}}.$$

Вихідний імпеданс:

$$Z_{вих} = \frac{R \frac{1}{j\omega C}}{R + \frac{1}{j\omega C}}.$$

Комплексна функція кола:

$$K(j\omega) = \frac{Z_2}{Z_1 + Z_2} = \frac{1}{3 + j\left(\omega RC - \frac{1}{\omega RC}\right)}.$$

Її модуль, тобто АЧХ кола

$$K(\omega) = \frac{1}{\sqrt{9 + \left(\omega RC - \frac{1}{\omega RC}\right)^2}}. \quad (3.2.1)$$

Графік даної функції $K(\omega)$ наведений на рисунку 3.2.2.

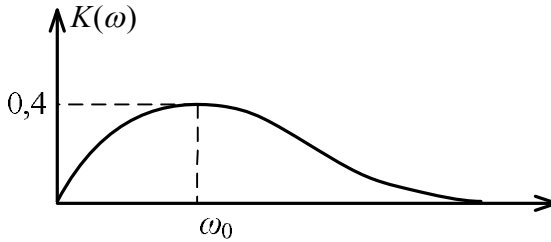


Рисунок 3.2.2

Із одержаної АЧХ робимо висновок, що фільтр Віна має малі значення модуля комплексної функції як в області НЧ, так і в області ВЧ. Максимум на рівні 0,33 досягається при $\omega RC = 1$, або $\omega_0 = \frac{1}{RC}$.

Таке коло є по суті *смуговим фільтром*, як і коло з АЧХ рис. 3.1.1.

Порядок розрахунку заданого у завданні кола має відповідати описаному у даному пункті.

4 ВИЗНАЧЕННЯ СПЕКТРАЛЬНОЇ ЩІЛЬНОСТІ ВИХІДНОГО СИГНАЛУ

4.1 Розрахунок проходження сигналів із суцільним спектром через лінійні кола

Досліджуваний у роботі сигнал – серія ПВІ є сигналом неперіодичним. Простий і зручний у інженерному відношенні метод аналізу проходження неперіодичних сигналів через лінійні кола – це *спектральний метод*. Він передбачає застосування прямого і зворотного перетворення Фур'є. Подання неперіодичної функції у вигляді інтегралу Фур'є полягає у підсумуванні нескінченного числа незатухаючих і нескінченно близьких за частотою синусоїдних коливань із нескінченно малими амплітудами. Це уможливило застосування принципу суперпозиції для знаходження вихідних реакцій лінійного кола на будь-які вхідні сигнали.

Нехай на вхід кола з комплексною функцією $K(j\omega)$ надходить сигнал $u_{\text{вх}}(t)$. Інтеграл Фур'є дозволяє представити цей сигнал як суму (накладення) нескінченного числа гармонік із комплексними амплітудами $\frac{1}{\pi} S_{\text{вх}}(j\omega)d\omega$

$$u_{\text{вх}}(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} S_{\text{вх}}(j\omega) e^{j\omega t} d\omega. \quad (4.1.1)$$

Тоді амплітуди відповідних гармонік вихідного сигналу

$$\frac{1}{\pi} S_{\text{вх}}(j\omega) K(j\omega) d\omega = \frac{1}{\pi} S_{\text{вих}}(j\omega) d\omega,$$

а спектральна щільність вихідного сигналу дорівнює добутковій спектральній щільності вхідного сигналу на комплексну функцію кола

$$S_{\text{вих}}(j\omega) = S_{\text{вх}}(j\omega) K(j\omega). \quad (4.1.2)$$

Таким чином, за функцією кола $K(j\omega)$ і спектральною щільністю вхідного сигналу $S_{\text{вх}}(j\omega)$ можна знайти спектральну щільність вихідного сигналу $S_{\text{вих}}(j\omega)$.

Після цього за допомогою зворотного перетворення Фур'є можна розраховувати реакцію кола на будь-яку задану дію:

$$\begin{aligned} U_{\text{вих}}(t) &= \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} S_{\text{вих}}(j\omega) e^{j\omega t} d\omega = \\ &= \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} S_{\text{вх}}(j\omega) K(j\omega) e^{j\omega t} d\omega. \end{aligned} \quad (4.1.3)$$

Таким чином, знайдена спектральна щільність вхідного сигналу $S_{\text{вх}}(j\omega)$ і визначена комплексна передавальна функція кола $K(j\omega)$.

Для спрощення розрахунків за формулою (4.1.2) застосуємо модуль спектральної щільності $|S_{\text{вх}}(j\omega)| = S_{\text{вх}}(\omega)$, тобто АЧС вхідного сигналу, а також модуль функції $K(j\omega)$, тобто АЧХ лінійного кола. Це дозволяє відійти від громіздких виразів та отримати більш компактну формулу

$$S_{\text{вих}}(\omega) = S_{\text{вх}}(\omega) K(\omega). \quad (4.1.4)$$

Така форма запису зручна для побудови графіків і дозволяє застосувати графо-аналітичний спосіб розрахунку вихідного спектра сигналу.

4.2 Розрахунок спектра вихідного сигналу лінійного кола (на прикладі фільтра Віна)

Для знаходження модуля спектральної щільності вихідного сигналу фільтра (схема рис. 3.2.1), скористаємося формулою (4.1.4).

У п. 2.2 одержана формула модуля спектральної щільності заданого вхідного сигналу (2.2.3) – для прикладу серії з трьох імпульсів. У п. 3.2 одержана формула (3.2.1) – АЧХ лінійного кола на прикладі фільтра Віна. Виконуючи перемноження прямих частин (2.2.3) і (3.2.1), одержимо

$$\begin{aligned}
 S_{\text{вих}}(\omega) &= S_{\text{вх}}(\omega) K(\omega) = \frac{1}{3} \frac{\sin \frac{\omega \tau u}{2}}{\frac{\omega \tau u}{2}} \cdot \frac{\sin \frac{3}{2} \omega T}{\sin \frac{1}{2} \omega T} \cdot \frac{1}{\sqrt{9 + (\omega \tau - \frac{1}{\omega \tau})^2}} = \\
 &= \frac{2}{3} \frac{\sin \frac{\omega \tau u}{2}}{\omega \tau u} \cdot \frac{\sin \frac{3}{2} \omega T}{\sin \frac{\omega T}{2} \sqrt{9 + (\omega \tau - \frac{1}{\omega \tau})^2}}. \tag{4.2.1}
 \end{aligned}$$

Змінюючи частоту ω в межах досліджуваних частот, можна кількісно визначити спектр $S_{\text{вих}}(\omega)$ і побудувати відповідний графік. Для зручності всі дані розрахунку доцільно занести до наступної таблиці 3.

Таблиця 3

ω				...	
$S_{\text{вх}}(\omega)$...	
$K(\omega)$...	
$S_{\text{вих}}(\omega)$...	

При цьому кількість точок, що відповідають аргументові ω , має бути саме такою, аби відтворити пелюстковий характер

вихідного АЧС $S_{\text{вих}}(\omega)$ у межах смуги пропускання фільтра Віна. Проаналізувати, як впливає стала часу фільтра $\tau = RC$ на ширину смуги пропускання кола, тобто на точність відтворення сигналу на його виході.

Окремо побудувати спектр вихідного сигналу графоаналітичним способом – шляхом перемноження ординат графіків $S_{c_H}(\omega)$ (рис. 2.2.4) і $K(\omega)$ (рис. 3.2.2). З цією метою будемо на координатній площині обидва графіки і здійснюємо перемноження відповідних ординат. Це краще здійснювати в точках ω , які відповідають вершинам великих і малих пелюсток функції $S_{c_H}(\omega) = S_{\text{вх}}(\omega)$.

Результуючий графік доцільно нарисувати окремо.

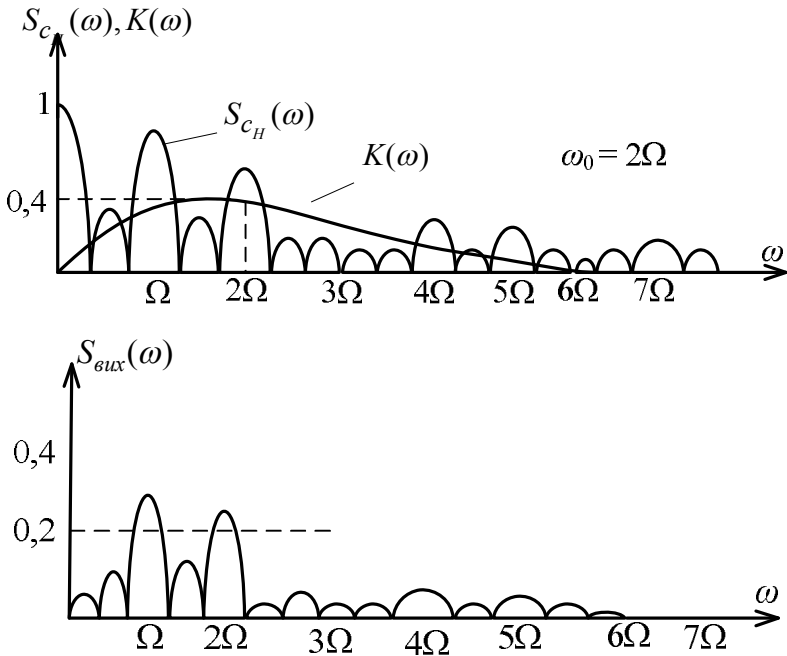


Рисунок 4.2.1

Таким чином, результатом цього розрахунку має бути два графіки вихідного АЧС. Порівняти їх і оцінити похибку, яка залежить від:

- точності розрахунку АЧС за формулою (4.2.1) безпосередньо;
- якості графо-аналітичного способу побудови спектра вихідного сигналу фільтра.

5 ВИЗНАЧЕННЯ ЧАСОВОЇ РЕАКЦІЇ ЛІНІЙНОГО КОЛА $u_{\text{вих}}(t)$ НА ЗАДАНИЙ ВХІДНИЙ СИГНАЛ

5.1 Оцінка прийомів розрахунку вихідного сигналу фільтра

У попередньому розділі визначений аналітичний вираз для спектральної щільності вихідного сигналу лінійного кола (4.2.1). Втім його пряме застосування у формулі зворотного перетворення Фур'є для визначення часового відгуку $u_{\text{вих}}(t)$ (4.1.3) зв'язане з труднощами і громіздкістю операції інтегрування. Відтак з огляду на обмежений обсяг даної роботи точне визначення $u_{\text{вих}}(t)$ недоцільне.

Вихід із цього ускладнення можна шукати в наступних міркуваннях.

1 Вхідний сигнал досліджуваного кола – це серія з n прямокутних відеоімпульсів. Якщо період імпульсів у серії досить великий порівняно зі сталою часу ($T \gg \tau$), то режим кола можна вважати стаціонарним, тобто перехідна реакція пристрою на попередній імпульс закінчується раніш, ніж на його вхід надійде наступний. Лінійне коло відновиться, і на кожний імпульс у серії реагуватиме як на перший. Це дозволяє замість нормованої спектральної щільності серії імпульсів $S_{CH}(\omega)$ застосувати нормовану спектральну щільність поодинокого імпульса за формулою (2.2.2), і тоді вихідна спектральна щільність:

$$S_{\text{вих}}(\omega) = S_{\text{вх}}(\omega) K(\omega) = \frac{2 \sin \frac{\omega \tau_u}{2}}{\omega \tau_u \sqrt{9 + (\omega \tau - \frac{1}{\omega \tau})^2}}. \quad (5.1.1)$$

Отже, даний вираз є очевидним спрощенням виразу (4.2.1). У цьому випадку справджується засада суперпозиції для лінійного стаціонарного кола: реакція кола на складну вхідну дію у формі серії імпульсів дорівнює сумі реакцій на кожен елементарну дію у виді окремого імпульса серії.

2 Однак застосування навіть спрощеного виразу $S_{\text{вих}}(\omega)$ (5.1.1), як показують подальші дослідження, не дає суттєвого скорочення обсягу обчислень вихідного сигналу $u_{\text{вих}}(t)$. Тому задані схеми RC -кіл слід спростити, зводячи їх до інтегруючого і диференціюючого кіл.

І дійсно, нехай в межах ефективної ширини спектра вхідного сигналу $\Delta\omega = q\Omega = \frac{2\pi}{\tau_u}$ співвідношення величин реактивного опору ємності і активного опору наступні:

– для схеми на рис. 3 а

$$\frac{1}{\omega C} \gg R_2;$$

– для схеми на рис. 3 б

$$\frac{1}{\omega C} \ll R_1.$$

Тоді схема на рисунке 3 а може наближено визнаватися за інтегруюче RC -коло (рис. 3.1.4), а схема на рисунке 3 б – за диференціююче RC -коло (рис. 3.1.2).

Аналогічний підхід рекомендується застосувати до варіантів в) і з) заданих схем (рис. 3).

Переходимо до визначення вихідного сигналу $u_{\text{вих}}(t)$.

5.2 Розрахунок і побудова вихідної серії імпульсів лінійного кола

Подальші розрахунки, як і в попередньому прикладі, проводяться для схеми фільтра Віна рис. 3.2.1. Припустимо, що в робочому діапазоні частот для цієї схеми $1/\omega C \ll R$.

Тоді вхідний імпеданс кола $Z_{\text{вх}} = Z_1 + Z_2 \approx R + \frac{1}{j\omega C}$, а вихідний імпеданс $Z_{\text{вих}} = \frac{1}{j\omega C}$.

Комплексна передавальна функція кола

$$K(j\omega) = \frac{Z_2}{Z_1 + Z_2} = \frac{1}{j\omega C(R + \frac{1}{j\omega C})} = \frac{1}{1 + j\omega CR}$$

Даний вираз свідчить, що схеми на рисунку 3.2.1 зводяться до простого інтегруючого RC -кола.

Зауважимо, що внаслідок своєї лінійності дана схема може працювати як у режимі інтегрування, так і в режимі диференціювання вхідного сигналу. Адже у схемі рис. 3.1.4

$$\ddot{U}_{\text{вх}} = \dot{U}_R + \dot{U}_C.$$

$$\text{А відтак } \dot{U}_R = \dot{U}_{\text{вх}} - \dot{U}_C; \quad \dot{U}_C = \dot{U}_{\text{вх}} - \dot{U}_R.$$

Тому якщо виходом схеми є ємність C , то маємо інтегруюче коло, а якщо виходом схеми є опір R , то маємо диференціююче коло з комплексною функцією

$$K(j\omega) = \frac{j\omega RC}{1 + j\omega RC}.$$

Ці міркування дозволяють спростити розрахунок $u_{\text{вих}}(t)$ при застосуванні зворотного перетворення Фур'є: спочатку знаходимо вихідний сигнал диференціюючого кола $u_{\text{вих}_R}(t)$, застосовуючи більш просту операцію інтегрування, а потім визначаємо вихідний сигнал інтегруючого кола

$$u_{\text{вих}_C}(t) = u_{\text{вх}}(t) - u_{\text{вих}_R}(t).$$

Примітка. Для диференціюючого кола (при аналізі варіанту схеми рис.3 б остання дія є зайвою).

Знаходження $u_{\text{вих}_R}(t)$ у диференціюючому колі

Нехай на вхід кола рис. 3.1.2 надходить поодинокий ПВІ з тривалістю τ_u і амплітудою U_m . Знайти вихідний сигнал кола.

Спектральна щільність вихідного сигналу:

$$S_{\text{вих}}(j\omega) = S_{\text{вх}}(j\omega) K(j\omega) = U_m \tau_u \frac{\sin \frac{\omega \tau_u}{2}}{\frac{\omega \tau_u}{2}} \cdot \frac{\omega}{\omega - j \frac{1}{RC}} = 2U_m \frac{\sin \frac{\omega \tau_u}{2}}{\omega - j \frac{1}{RC}}.$$

Сигнал на виході кола:

$$\begin{aligned} u_{\text{вих}R}(t) &= \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} S_{\text{вих}}(j\omega) e^{j\omega t} d\omega = \frac{U_m}{\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{\sin \frac{\omega \tau_u}{2}}{\omega - j \frac{1}{RC}} e^{j\omega t} d\omega = \\ &= \frac{U_m}{\pi} 2\pi j \sin(j \frac{1}{RC} \cdot \frac{\tau_u}{2}) e^{-\frac{t}{RC}} = U_m \left[e^{-\frac{1}{RC}(t + \frac{\tau_u}{2})} - e^{-\frac{1}{RC}(t - \frac{\tau_u}{2})} \right], \end{aligned}$$

де $2j \sin jx = e^{-x} - e^x$.

Форма імпульса на виході кола показана на рис. 5.2.1

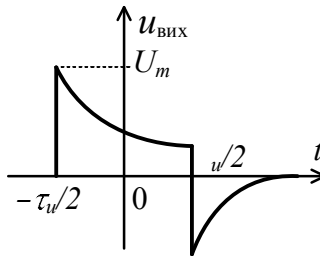


Рисунок 5.2.1

Знаходження $U_{\text{вих}c}(t)$ в інтегруючому колі

Нехай на коло рис. 3.1.4 надходить поодинокий ПВІ з такими самими параметрами (τ_u , U_m), як і в попередньому випадку. Знайти вихідний сигнал кола, якщо його параметри не відрізняються від параметрів кола рис. 3.1.2.

Оскільки

$$u_{\text{вих}c}(t) = u_{\text{вх}} - u_{\text{вих}R}(t), \text{ то}$$

при $-\frac{\tau_u}{2} \leq t \leq \frac{\tau_u}{2}$

$$u_{\text{вихс}}(t) = U_m - U_m e^{\frac{-t + \frac{\tau_u}{2}}{RC}} = U_m \left(1 - e^{\frac{-t + \frac{\tau_u}{2}}{RC}} \right);$$

при $t \geq \frac{\tau_u}{2}$

$$u_{\text{вихс}}(t) = U_m e^{\frac{-t - \frac{\tau_u}{2}}{RC}}.$$

Форма імпульса на виході кола показана на рис. 5.2.2.

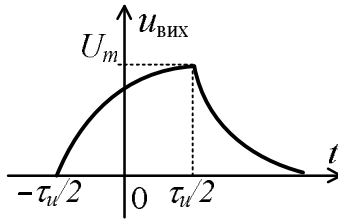


Рисунок 5.2.2

На рисунку 5.2.3 наведена часова діаграма вихідного сигналу при надходженні на вхід фільтра Віна серії трьох ПВІ при $\tau < \tau_u$.

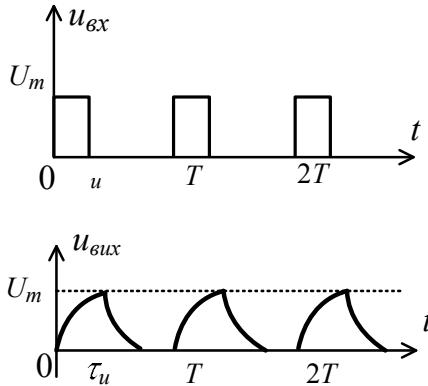


Рисунок 5.2.3

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Карташов Р. П. Теория электрорадиоцепей / Р. П. Карташов, А. П. Медведев. – Москва : Военное издательство МО СССР, 1980. – 496 с.
2. Баскаков С. И. Радиотехнические цепи и сигналы : учебник / С. И. Баскаков. – Москва : Высшая школа, 2000. – 462 с.
3. Гоноровский И. С. Радиотехнические цепи и сигналы : учебное пособие для вузов / И. С. Гоноровский. – Москва : Дрофа, 2006. – 719 с.
4. Баскаков С. И. Лекции по теории цепей : учебное пособие / С. И. Баскаков. – Москва : КомКнига, 2005. – 280 с.
5. Иванов М. М. Радиотехнические цепи и сигналы / М. М. Иванов, А. Б. Сергиенко, В. Н. Ушаков. – Санкт-Петербург : Питер, 2014. – 336 с.

Навчальне видання

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до курсової роботи

на тему «Кореляційно-спектральний аналіз проходження серії
прямокутних відеоімпульсів через лінійні кола»
з дисципліни «Теорії сигналів та розрахунку електричних кіл»
для студентів спеціальності
172 «Телекомунікації та радіотехніка»

Відповідальний за випуск А. С. Опанасюк
Редактор Н. З. Ключко
Комп'ютерне верстання В. С. Мішаткіна

Формат 60x84/16. Ум. друк. арк. 1,63. Обл.-вид. арк. 1,49.

Видавець і виготовлювач
Сумський державний університет,
вул. Римського-Корсакова, 2, м. Суми, 40007
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 3062 від 17.12.2007.