

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ КОЛЕДЖ
(ХДПК)

для студентів спеціальності 151
«Автоматизація та комп'ютерно-
інтегровані технології», спеціалізації 5.151.2
«Обслуговування пристроїв електрозв'язку»

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
до виконання практичних робіт з дисципліни
«Теорія передачі сигналів електрозв'язку»

ХДПК, 2018

Методичні вказівки до виконання практичних робіт з дисципліни
*«Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології», спеціалізації
5.151.2 «Обслуговування пристроїв електрозв'язку».*

Укладач: викладач вищої категорії Харківського державного
політехнічного коледжу Слобожанюк Р.І. – ХДПК, 2018. – 68 с.

Розглянуто цикловою комісією *«Транспорту та електрозв'язку (ТЕЗ)»*

Протокол № _____ від «___» _____ 2018 р.

Голова циклової комісії _____ (Руденко А.І.)
(підпис) (прізвище та ініціали)

Схвалено методичною радою Харківського державного політехнічного
коледжу

Протокол № _____ від “___” _____ 2018 р.

Голова методичної ради _____ (Величко В.О.)
(Підпис) (прізвище та ініціали)

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ КОЛЕДЖ
(ХДПК)

»

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
до виконання практичних робіт з дисципліни
«Теорія передачі сигналів електрозв'язку»

ХДПК, 2018

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

Навчальна програма з дисципліни «Теорія передачі сигналів електрозв'язку» передбачає проведення наступних практичних робіт:

Таблиця 1 - Теми практичних робіт

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
1	Практична робота 1. Розрахунок двополісників	2
2	Практична робота 2. Визначення первинних і вторинних параметрів симетричних кабелів	2
3	Практична робота 3. Розрахунок параметрів коаксіальних кабелів	2
4	Практична робота 4. Побудова діаграми рівнів передачі	2
5	Практична робота 5. Розрахунок електричного фільтру НЧ типу «к»	2
6	Практична робота 6. Розрахунок електричного фільтру ВЧ типу «к»	2
7	Практична робота 7. Розрахунок смугового фільтру типу «к»	2
8	Практична робота 8. Розрахунок параметрів оптичних кабелів	2
9	Практична робота 9. Складання схеми схрещування дротів телефонних кіл ПЛП	2
10	Практична робота №10. Симетрування кабелів методом схрещування жил і методом конденсаторного симетрування	2
	Разом	20

В результаті проведення практичних робіт, студенти повинні виконати розрахунок параметрів ланцюгів зв'язку, а також окремих елементів аналогової апаратури.

В процесі виконання практичних робіт студенти мають набути певного досвіду користування довідковою літературою та обчислювальною технікою.

ПРАКТИЧНА РОБОТА №1

РОЗРАХУНОК ДВОХПОЛЮСНИКІВ

Мета роботи: навчитись визначати елементи двоелементних двополіусників на різних частотах. Визначення графічно та за формулами резонансної частоти.

ТЕОРЕТИЧНА ЧАСТИНА

1 Двополіусники

Будь-яке електричне коло, яке розглядають відносно двох зажимів, називається *двополіусником*.

За характером елементів двополіусники поділяються на *реактивні*, які складаються з індуктивностей і ємностей, і двополіусники з втратами, які включають в себе активні опори.

Реактивні двополіусники представляють собою ідеалізовані електричні системи, які наближаються за своїми властивостями до фізично реалізуємих кіл з малими втратами. Вони широко використовуються в електричних колах із спеціальними частотними характеристиками, особливо в фільтрах і вирівнювачах.

Частотною характеристикою реактивного двополіусника називають залежність його опору чи провідності від частоти. Частотні характеристики різних двополіусників мають цілий ряд загальних властивостей:

1. Кількість резонансних і антирезонансних частот у реактивних двополіусників на одиницю менше кількості елементів (резонансною називається така частота, при якій опір реактивної схеми дорівнює нулю, антирезонансною – частота, при якій опір наближається до нескінченності).

2. Резонансні і антирезонансні частоти в реактивному двополіуснику чередуються.

3. З урахуванням знака реактивний опір двополіусника в діапазоні між найближчими антирезонансними частотами із збільшенням частоти збільшується.

4. При частоті, яка дорівнює нулю, опір реактивного двополіусника може наближатися до нуля (без урахування витрат) або до нескінченності, у залежності від характеру втрат при даній частоті; той же висновок дійсний і для частоти, яка наближається до нескінченності.

5. Якщо при $\omega = 0$; $Z(\omega) = 0$, то в даному реактивному двополюснику першою йде антирезонансна частота; якщо при $\omega = 0$, $Z(\omega) \rightarrow \infty$, то першою йде резонансна частота.

Наведені загальні властивості реактивних двополюсників дозволяють побудувати графіки частотних характеристик конкретних схем.

У даній роботі досліджуються двохелементні реактивні двополюсники – резонансний і антирезонансний контури, схема яких наведена на рис. 1.1

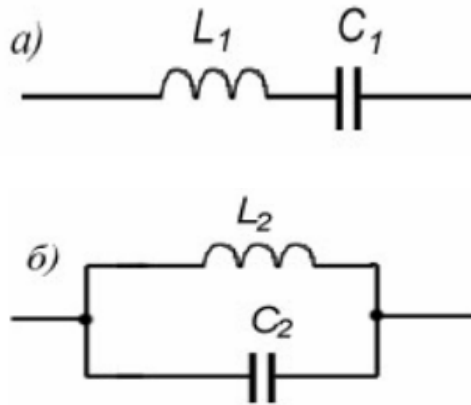


Рисунок 1.1

Резонанс – це такий режим пасивного електричного кола, що містить індуктивності та ємності, при якому реактивний опір або реактивна провідність кола дорівнює нулю. По відношенню до зовнішнього кола двополюсник виступає як чисто активний опір, а отже напруга та струм на вході двополюсника співпадають за фазою; відповідно дорівнює нулю **реактивна потужність** на затискувачах двополюсника.

Резонанс напруг спостерігається у електричному колі з послідовним з'єднанням індуктивностей та ємностей (послідовний коливальний **контур**).

Резонанс струмів спостерігається у колі з паралельним з'єднанням індуктивних та ємнісних елементів (паралельний коливальний контур).

Частоти, на яких спостерігається явище резонансу називають *резонансними частотами*.

2 Послідовний коливальний контур. Резонанс напруг

Послідовний коливальний контур (КК) – це електричне коло, що складається із послідовних з'єднання елементів L і C . Втрати в контурі ураховані через опір r . У реальному контурі його активний опір визначається активним опором індуктивної котушки (опором проводу, який на ній намотаний). У такому контурі постає *резонанс напруг* – явище, коли напруга на реактивних елементах КК значно перевищує вхідну напругу (ЕРС). Причина резонансу – реактивний опір послідовного КК стає рівним нулю:

$$x_0 = \omega_0 L - \frac{1}{\omega_0 C} = 0 \quad (1.1)$$

(1.1) є умовою резонансу напруг. Резонанс – це явище, за якого *опір КК стає чисто активним*. Резонансна частота розраховується з умови 1.1):

$$\omega_0 = 2\pi f_0 = \frac{2\pi}{T_0} = \frac{1}{\sqrt{LC}} \quad (1.2)$$

Резонансна частота повністю визначається параметрами L і C. Якщо частота сигналу $\omega = \omega_0$, то КК настроєний на частоту сигналу. Якщо ж $\omega \neq \omega_0$, то контур розстроєний, і його розстроювання тим більше, що більший реактивний опір x .

Опір індуктивності або ємності КК при резонансі називається хвильовим, або характеристичним:

$$\rho = \omega_0 L = \frac{1}{\omega_0 C}$$

Із урахуванням (1.2):

$$\rho = \sqrt{\frac{L}{C}} \quad (1.3)$$

Це один із важливих параметрів КК, не залежить від частоти і визначається виключно параметрами L і C. На практиці $\rho \approx 100 - 500 \text{ Ом}$.

Оскільки при резонансі опір послідовного КК мінімальний і дорівнює:

$$Z = r + jx_0 = r + j\left(\omega_0 L - \frac{1}{\omega_0 C}\right) = r, \quad (1.4)$$

то струм у контурі є максимальним:

$$I_m = \frac{\dot{E}_m}{Z} = \frac{\dot{E}_m}{r} \quad (1.5)$$

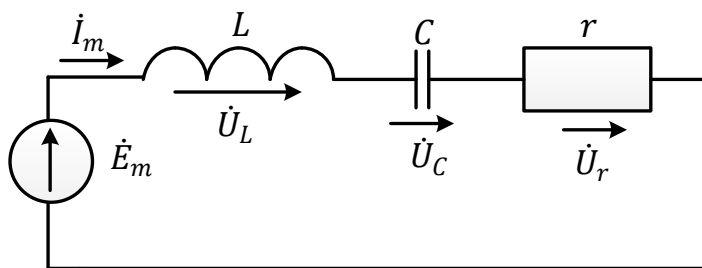


Рисунок 1.1

Натомість напруга на реактивних елементах КК при резонансі є рівними за амплітудою і протилежними за фазою (рис. 1.2):

$$\begin{aligned} \dot{U}_{mL0} &= j\omega_0 L \dot{I}_m = j\omega_0 \frac{L}{r} \dot{E}_m = \frac{\rho}{r} \dot{E}_m e^{j\frac{\pi}{2}} \\ \dot{U}_{mC0} &= \frac{1}{j\omega_0 C} \dot{I}_m = -j \frac{1}{\omega_0 r C} \dot{E}_m = \frac{\rho}{r} \dot{E}_m e^{-j\frac{\pi}{2}} \end{aligned}$$

З формул видно, що ці напруги збільшуються при збільшенні хвильового опору ρ .

Один із важливих параметрів контуру – це його добротність:

$$Q = \frac{U_{mL0}}{E_m} = \frac{U_{mC0}}{E_m} = \frac{\omega_0 L}{r} = \frac{1}{\omega_0 r C} = \frac{\rho}{r} \quad (1.6)$$

Величина, зворотна до добротності, називається затуханням:

$$\alpha = \frac{1}{Q} = \frac{r}{\rho} \quad (1.7)$$

Добротність контура, як це випливає з (1.6), обмежується активним опором індуктивної котушки і зазвичай складає $Q = 100 - 500$. Найзагальнішим визначенням добротності є визначення енергетичне. При резонансі сумарна енергія, накопичена у контурі, залишається незмінною:

$$w_L + w_C = W_{max},$$

відбувається лише непереривний періодичний перерозподіл (коливання) енергії, що накопичується в індуктивності w_L і ємності w_C (рис. 1.3). В момент, коли енергія магнітного поля індуктивності досягає максимуму, енергія електричного поля ємності дорівнює нулю, і навпаки; відбувається процес взаємного обміну енергією. Джерело енергії вхідного сигналу служить для компенсації втрат в активному опорі контуру. Воно є необхідним для збудження і підтримання коливань у контурі.

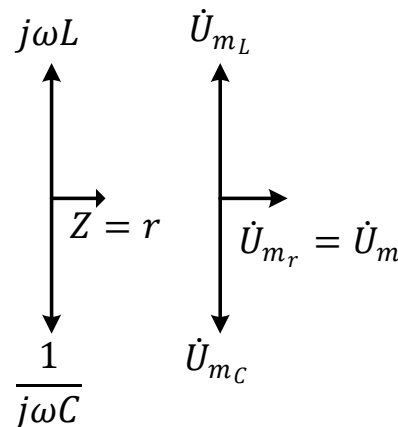


Рисунок 1.2

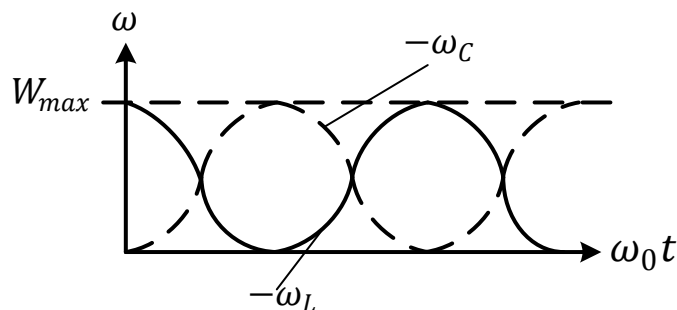


Рисунок 1.3

Звідси добротність контура:

$$Q = \frac{\omega_0 L I^2}{r I^2} = \omega_0 \frac{W_{max}}{p} = 2\pi \frac{W_{max}}{T_0 p} = 2\pi \frac{W_{max}}{W_r} \quad (1.8)$$

де $W_{max} = LI^2$ – максимальна енергія, накопичена в індуктивності; $\rho = rI^2$ – активна потужність у контурі; $T_0 = \frac{2\pi}{\omega_0}$ – період коливань при резонансі.

Відтак добротність Q – це відношення енергії, накопиченої у контурі при резонансі, до енергії втрат у ньому.

Резонанс у контурі досягається:

- а) зміною частоти вхідного сигналу при незмінних параметрах контура;
- б) настроюванням самого контура через зміну його індуктивності або ємності при незмінній частоті джерела вхідного сигналу.

Технічно більш зручним є регулювати ємність C контуру; за певної ємності контура C_0 резонансна частота контуру ω_0 стає рівною частоті сигналу, і постає резонанс. Залежність амплітуди струму у контурі від значення його ємності C (або індуктивності L) при заданій частоті джерела називається настроювальною характеристикою контуру (рис. 1.4). Біля резонансу ($\omega \approx \omega_0$) настроювальна характеристика практично збігається з резонансною.

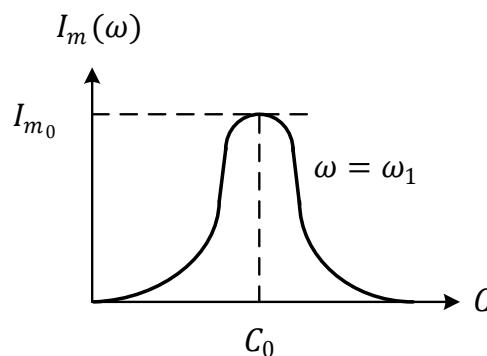


Рисунок 1.4

Смужою пропускання послідовного КК називається діапазон частот поблизу резонансу, на межах якого амплітуда струму в контурі зменшується до рівня $\frac{1}{\sqrt{2}} = 0,707$ від максимального значення (потужність, що виділяється в контурі, зменшується вдвічі).

Паралельний коливальний контур – це коло, що складається з паралельного з'єднання гілки з індуктивністю і гілки з ємністю (рис. 1.5). Втрати в гілках ураховуються за допомогою опорів r_1 і r_2 .

У паралельному КК може виникати резонанс струмів – явище, коли струми в реактивних елементах значно перевищують струм, споживаний контуром від джерела. Це відбувається внаслідок того, що при резонансі зсув фаз між струмами $\dot{I}_{m_1}$ та $\dot{I}_{m_2}$ в паралельних гілках контуру наближається до 180° (в ідеальних випадках при $r_1=r_2=0$ дорівнює 180°). Тому результуючий струм $\dot{I}_m$ стає за величиною дуже малим (рис. 1.6). Резонанс струмів настає тоді, коли

реактивні складові струмів гілок взаємно компенсуються, а струм $\dot{I}_m$, споживаний контуром, збігається за фазою з діючою на контурі напругою $\dot{U}_m$. Опір паралельний КК при резонансі стає активним.

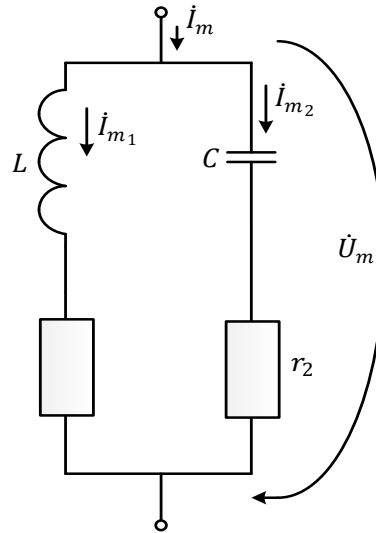


Рисунок 1.5

Оскільки реактивні складові струмів $\dot{I}_{m1}$ та $\dot{I}_{m2}$ прямо пропорційні реактивним провідностям гілок b_L і b_C , то умова резонансу струмів є:

$$b_P = b_{LP} + b_{CP} = 0 \quad (1.9)$$

де b_P, b_{LP}, b_{CP} – реактивні провідності при резонансі ($\omega = \omega_P$).

Виразивши b_L і b_C через реактивні опори, одержимо:

$$\frac{x_{LP}}{r_1^2 + x_{LP}^2} + \frac{x_{CP}}{r_2^2 + x_{CP}^2} = \frac{\omega_P L}{r_1^2 + (\omega_P L)^2} + \frac{1}{(\omega_P C)^2 [r_2^2 + (\frac{1}{\omega_P C})^2]} = 0$$

Звідси, враховуючи вирази (1.2) і (1.3), знаходимо резонансну частоту паралельного КК:

$$\omega_P = \omega_0 \sqrt{\frac{r_1^2 - \rho^2}{r_2^2 - \rho^2}} \quad (1.10)$$

Отже, резонансна частота паралельного КК у загальному випадку відрізняється від ω_0 - резонансної частоти послідовного КК.

Однак у високодобротних радіотехнічних контурах:

$$\omega_P \approx \omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}} \quad (1.11)$$

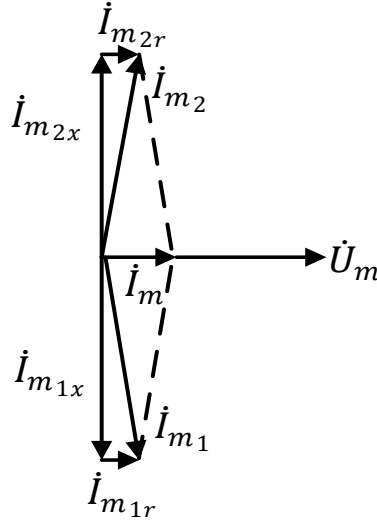


Рисунок 1.6

Комплексний вхідний опір. Це основна характеристика паралельного КК.

$$Z_{\text{екв}}(j\omega) = \frac{1}{Y_{\text{екв}}(j\omega)} = \frac{\dot{U}_m}{\dot{I}_m} = \frac{Z_1 Z_2}{Z_1 + Z_2} =$$

$$= \frac{(r_1 + j\omega L)(r_2 + \frac{1}{j\omega C})}{(r_1 + r_2) + j(\omega L - \frac{1}{\omega C})}$$

Оскільки $r_1 r_2 \rightarrow 0$ у чисельнику, то, позначивши повний активний опір контура $r = r_1 + r_2$, одержимо:

$$Z_{\text{екв}}(j\omega) = \frac{L}{rC} \frac{1}{1 + j(\omega L - \frac{1}{\omega C}) \frac{1}{r}} = \frac{\rho^2}{r} \frac{1}{1 + j\xi} = \frac{Q^2 r}{1 + j\xi} \quad (1.12)$$

де $Q = \frac{\rho}{r}$ – добротність контура; $\xi = \frac{x}{r}$ – його узагальнене розстроювання).

Для високودобротних паралельних КК значення Q, ξ, ρ, ω_0 , що збігаються з їх значенням для послідовного КК.

При резонансі $\xi = 0$, і еквівалентний опір контура має резистивний характер і в Q^2 разів більше активного опору r :

$$Z_{\text{екв}}(j\omega) = \frac{1}{rC} = \frac{\rho^2}{r} = Q^2 r = R_{\text{екв}0} \quad (1.13)$$

Відтак для комплексного вхідного опору одержуємо:

$$Z_{\text{екв}}(j\omega_0) = \frac{R_{\text{екв}0}}{1 + j\xi} = \frac{R_{\text{екв}0}}{\sqrt{1 + \xi^2}} e^{-j \arctg \xi} = Z_{\text{екв}}(\omega) e^{j\varphi_{\text{екв}}(\omega)} \quad (1.14)$$

Після нормування:

$$\frac{Z_{\text{екв}}(\omega)}{Z_{\text{екв}}(j\omega_0)} = \frac{1}{\sqrt{1 + \xi^2}} e^{-j \arctg \xi} = Z_{\text{екв}n}(\omega) e^{j\varphi_{\text{екв}}(\omega)} \quad (1.15)$$

$$\text{де } \frac{Z_{\text{екв}}(\omega)}{Z_{\text{екв}}(j\omega_0)} = \frac{1}{\sqrt{1+\xi^2}} = Z_{\text{еквн}}(\omega) - \text{це АЧХ паралельного КК.} \quad (1.16)$$

$$\varphi_{\text{екв}}(\omega) = -j \arctg \xi - \text{це ФЧХ контура.} \quad (1.17)$$

На рис. 1.7а наведені нормовані АЧХ паралельного КК. Ці АЧХ збігаються з АЧХ послідовного КК (див. рис. 1.4 а). На рис. 1.7 б наведена ФЧХ паралельного КК. Порівнявши її з ФЧХ рис. 1.4 б, зробимо висновок, що ФЧХ послідовного і паралельного контурів відрізняється лише знаком. Паралельний контур на частотах $\omega < \omega_0$ має індуктивний, а при $\omega > \omega_0$ - емнісний характер.

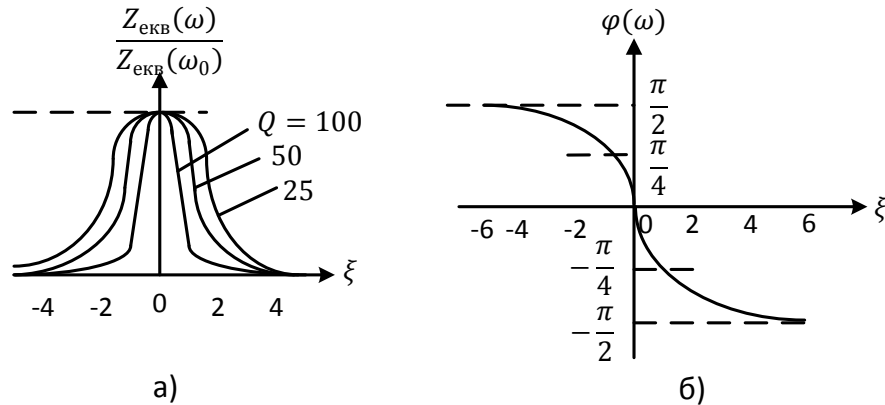


Рисунок 1.7

При резонансі ($\xi = 0$) струм, споживаний паралельним КК, дуже малий:

$$I_{m_0} = \frac{U_{m_0}}{R_{\text{екв}0}} = \frac{U_{m_0}}{Q^2 r} \quad (1.18)$$

у той час, як струми у гілках дорівнюють один одному:

$$I_{m_{L0}} = I_{m_{C0}} = \frac{U_{m_0}}{Qr} = I_{m_{K0}} \quad (1.19)$$

Ці струми при резонансі у Q разів перевищують струм, споживаний контуром від джерела:

$$I_{m_{K0}} = Q I_{m_0} \quad (1.20)$$

Для реальних паралельних контурів важливе застосування *резонансних характеристик за струмом і напругою*. Резонансна характеристика за струмом $I_m(\omega)$ – це залежність амплітуди струму, споживаного від джерела, від частоти. Резонансна характеристики за напругою $U_m(\omega)$ - це залежність амплітуди напруги, яка діє на контурі, від частоти. Оскільки джерело вхідної ЕРС паралельного КК є реальним, тобто має скінченний внутрішній опір R_i (рис. 1.8), то значення струму I_m , споживаного контуром, і напруги на ньому U_m зв'язані між собою взаємним впливом. Тому резонансні характеристики знаходяться з урахуванням опору R_i .

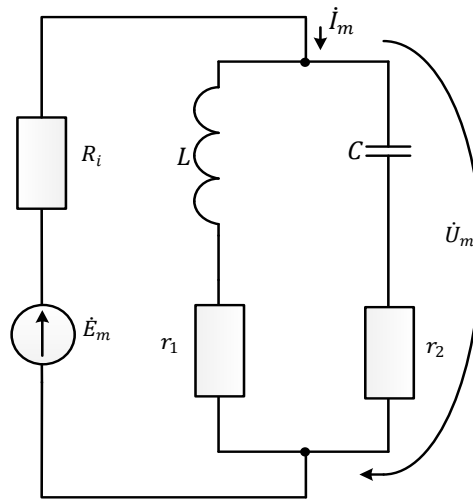


Рисунок 1.8

Приклади застосування паралельного коливального контуру.

1. *Смуговий фільтр*. Контур вмикається паралельно до джерела вихідного сигналу і навантаження (рис. 1.9). Він служить для виділення коливань напруги в певній смузі частот і є складовим елементом будь-яких резонансних підсилювачів, входних каскадів і змішувачів частоти радіоприймальних пристроїв, автогенераторів гармонічних коливань, тощо. Навантаження r_n і внутрішній опір R_i джерела здійснюють вплив на контур, зменшуючи добротність і розширюючи смугу пропускання останнього. Аби запобігти цьому негативному явищу, слід:

а) збільшувати величини R_i і r_n ;

б) у разі неможливості попереднього прийому потрібно для зниження ефекту шунтування з боку джерела і навантаження зменшувати еквівалентний опір контуру $Z_{екв}(j\omega)$ – наприклад, через застосування так званих складних коливальних контурів, у яких паралельні гілки містять у собі реактивності обох знаків (L і C).

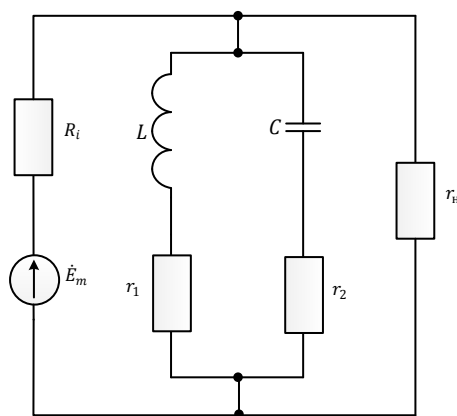


Рисунок 1.9

Загороджувальний фільтр. У такому застосування паралельний КК вмикається послідовно з джерелом і навантаженням. При цьому вихідний сигнал схеми (рис. 1.10) пропорційний до струму, що споживається контуром, а частотно-селективні властивості схеми описуються резонансними характеристиками за струмом. Контур в цьому режимі заглушує сигнали з частотами в межах смуги пропускання за струмом (інтервалу частот поблизу резонансу, на межах якого споживаний струм не перевищує величини $\sqrt{2} = 1,41$ рази від свого мінімального (резонансного) значення). Схема фільтра рис. 1.10 діє ефективно, якщо внутрішній опір джерела R_i і опір навантаження є невеликими. Еквівалентна добротність контура у такій схемі невеликою.

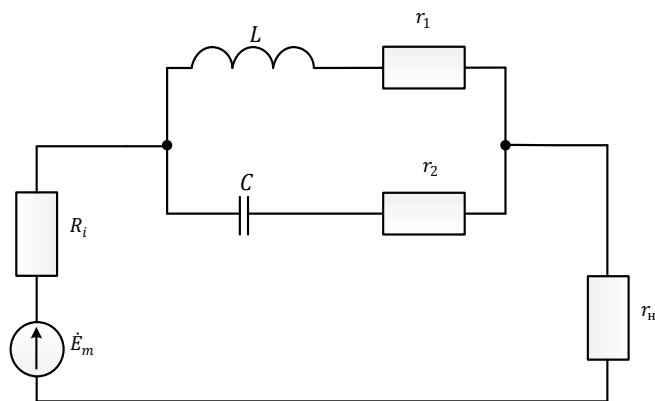


Рисунок 1.10

Практична частина

Вихідні дані зведені в таблиці 1.1

Таблиця 1.1

Параметр	Варіант							
	1		2		3		4	
L, Гн	$1,5 * 10^{-5}$		$1 * 10^{-4}$		$2 * 10^{-4}$		$2,5 * 10^{-5}$	
C, мкФ	0,025		0,02		0,03		0,014	
F, кГц	10	20	30	40	50	60	70	80

Завдання

1. Визначити Z_L , Z_C , Y_L , Y_C на різних частотах.
2. Побудуйте графіки частотної залежності опорів та провідностей двохполюсників.

3. Графічно визначити резонансні частоти двохполюсників при резонансі струмів та напруг.

4. Визначити резонансні частоти при резонансі струмів та напруг по формулі.

Результати порівняти з отриманими графічно у пункті 3.

Порядок виконання роботи:

1 Визначити Z_L , Z_C , Y_L , Y_C на різних частотах.

2 Побудувати графіки частотної залежності опорів та провідностей двополюсників

3 Графічно визначити резонансні частоти двополюсників при резонансі струмів та резонансі напруги.

4 Визначити резонансні частоти при резонансі струмів та напруги по формулі, результати порівняти.

Контрольні завдання

1 Побудувати частотні характеристики послідовного контуру.

2. Як довести, що максимальні значення напруг на котушці індуктивності і конденсаторі при зміні частоти більше значень напруг при резонансі.

3. Побудувати резонансні характеристики послідовного контуру при живленні його від джерела струму частоти, що змінюється.

4. Як залежить резонансна крива струму від добротності контуру?

5. Як визначити смугу пропускання дослідженого резонансного контуру.

6. Пояснити суть явища резонансу напруг. В якому електричному колі воно проявляється?

7. Пояснити суть явища резонансу струмів. В якому електричному колі воно проявляється?

Зміст звіту

1 Тема та мета роботи

2 Вихідні дані

3 Графіки частотної залежності опорів та провідностей двополюсників.

4 Розрахунки резонансних частоти при резонансі струмів та напруг за формулами

5 Контрольні запитання та відповіді на них (за вказівкою викладача)

6 Висновок

ПРАКТИЧНА РОБОТА № 2

Визначення первинних і вторинних параметрів симетричних кабелів

Мета роботи: Навчитись визначати первинні і вторинні параметри симетричних кабелів на різних частотах та при різній температурі

Теоретична частина

Струмopровiднi жили (звичайно круглої форми) кабелів зв'язку повинні мати високу електричну провідність, гнучкість і міцність. Найпоширенішими матеріалами для виготовлення кабельних жил є мідь і алюміній.

Мідь, як правило, застосовується відпалена, м'яка марки ММ з питомим опором $0,01754 \text{ Ом} \cdot \text{мм}^2/\text{м}$ і температурним коефіцієнтом опору постійному струму 0,004, міцністю на розрив – $260 \text{ Н}/\text{мм}^2$ з відносним видовженням 25% (для жил діаметром 1-1,5мм) та питомою вагою $8,89 \text{ г}/\text{см}^3$.

Мідна проволока використовується діаметром 0,32; 0,4; 0,5; 0,6; 0,7мм для кабелів міських телефонних мереж і 0,8; 0,9; 1,0; 1,1; 1,2; 1,3; 1,4мм для міжміських кабелів. На міських мережах найширше застосовуються кабелі з жилами діаметром 0,5мм, а для міжміського зв'язку – з жилами, діаметром 1,2мм.

Головним чином у кабелях зв'язку використовуються такі типи ізоляції кабелів зв'язку:

трубчаста – виконується у вигляді паперової або пластмасової стрічки, накладеної у вигляді трубки;

кордельна – складається з нитки корделя, розташованої відкритою спіраллю на провіднику, та стрічки, яка накладається на кордель;

суцільна – виконується з суцільного шару пластмаси;

пориста – виконується з шару пінопласту;

балонна – тонкостінна пластмасова трубка, всередині якої вільно розташовується провідник;

шайбова – виконується у вигляді шайб з твердого діелектрика, що насаджені на провідник через певні проміжки;

спіральна – являє собою рівномірно розподілену по довжині провідника пластмасову спіраль, що має прямокутний перетин;

ковпачкова – виконується з циліндричних пластмасових або керамічних ковпачків, щільно насаджених на провідник

Первинні та вторинні параметри

Всі параметри направляючих систем поділяють на первинні та вторинні.

До первинних належить: електричний опір проводів R , індуктивність L , міжпроводова ємність C , провідність ізоляції G .

Ці параметри є розподіленими вздовж всієї лінії. Зміст їх легко уявити, розглянувши схему двопроводового кола, на якій вони зображуються згуртованими.

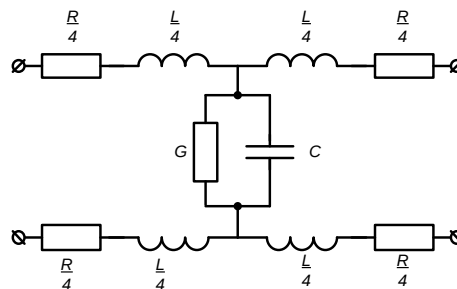


Рисунок 2.1 - Еквівалентна схема двопровідної лінії

R_a та R_b — електричний опір проводів a та b у симетричному колі $R_a = R_b$.

Індуктивність L характеризує здатність системи накопичувати енергію магнітного поля.

Між проводами завжди існує ємність C та провідність ізоляції G .

Міжпроводова або робоча ємність C відображує процеси в ізоляції проводів, визначає здатність системи накопичувати енергію електричного поля.

Провідність ізоляції G викликає втрати в ізоляції та має дві складові — постійну G_0 та змінну G_f :

$$G = G_0 + G_f.$$

Постійна складова зумовлена протіканням струму внаслідок недосконалості ізоляції.

Змінна складова провідності ізоляції визначається втратами у діелектрику конденсатора, ємність якого еквівалентна ємності двопроводової лінії. При змінному струмі $G_f \gg G_0$, тому $G = G_f$.

Кабелі зв'язку найчастіше мають складну комбіновану ізоляцію, яка містить повітря та інші діелектрики (поліетилен, стірофлекс). У розрахунках користуються еквівалентним значенням ε_r , яке усереднюють за об'ємом.

У симетричних лініях окрім поверхневого ефекту діють також ефект близькості та оточуючих мас, які викликаються взаємодією

електромагнітних полей. Ці ефекти підвищуються зі зростанням частоти та при зменшенні відстані між проводами та зменшенні провідності. Вони також призводять до зростання опору провідників зі зростанням частоти.

Усі первинні параметри є погонними, вони розраховуються на довжину лінії 1 км. На таку саме довжину приводяться норми цих параметрів.

Вторинні параметри передачі симетричних кабелів характеризують якість зв'язку.

Вторинні параметри передачі такі: загасання – α , коефіцієнт фази – β , хвильовий опір – $Z_{\text{хв}}$; швидкість розповсюдження – γ . Ці параметри пов'язані з первинними параметрами.

Загасання кабелю визначає поступові втрати при розповсюдженні енергії.

Практична частина

Завдання:

Таблиця 2.1 - Вихідні дані

Номер варіанту	1	2	3	4
Тип кабелю	МКБАБ	МКСАП	МКПАБ	ТЗБ
Діаметр жили, мм	1,2	1,2	1,05	1,2
Температура t , °C	0	2	-2	4
Частота f , в кГц	5	20	30	150
Відстань між жилами a , мм	3,6	4,34	3,0	4,0
Коефіцієнт λскрутки	1,03	1,04	1,04	1,03

На підставі вихідних даних, поданих в таблиці 2.1, необхідно:

- 1 Визначити величину первинних параметрів кабельного ланцюга
- 2 Визначити величину вторинних параметрів кабельного ланцюга

Порядок виконання роботи

Значення ϵ_r і $\text{tg}\sigma$ основних типів ізоляції симетричних кабелів

Таблиця 2.2

Тип ізоляції	ϵ_r	$\text{tg}\sigma \cdot 10^{-4}$ при частоті f , кГц										
		0,8	5	20	30	50	100	150	200	250	300	500
Поліетилен суцільний	1,9	2	2	3	3	4	6	7	8	8	9	14
Кордильно-бумажна	1,3	45	49	62	70	85	113	130	150	160	170	280
Кордильно-	1,2	2	2	3	3,5	4	7	9	11	12	13	19

стирофлексна												
Поліетилен пористий	1,45	2	2	3	4	4	6	7	7	8	9	20

Таблиця 2.3 - Електричні характеристики проводів зв'язку [4]

Матеріал	Питомий опір при 20 С, Ом*мм ² /м	Температурний коефіцієнт	Примітка
Мідь м'яка	0,0175	0,004	Використовується для кабельних жил
Мідь твердо тягнута	0,01785	0,004	Використовується для повітряних ліній
Алюміній	0,029	0,0043	Використовується для повітряних ліній
Сталь звичайна	0,138	0,0046	Використовується для повітряних ліній
Сталь медиста	0,146	0,0046	Для протидії корозії додано близько 0,3% міді

Таблиця 2.4 - Величини коефіцієнта K1 для різних значень X [4]

X	K1	X	K1	X	K1	X	K1
0,25	1,000	3	1,318	9	3,446	20	7,328
0,5	1,000	3,5	1,492	9,5	3,63	25	9,094
1	1,005	4	1,678	10	3,8	30	10,86
1,2	1,011	4,5	1,863	11	4,151	35	12,63
1,4	1,02	5	2,043	12	4,504	40	14,39
1,6	1,033	5,5	2,22	13	4,856	45	16,16
1,8	1,052	6	2,394	14	5,209	50	17,93
2	1,078	6,5	2,58	15	5,562	60	20,46
2,2	1,111	7	2,743	16	5,915	70	25,00
2,4	1,152	7,5	2,92	17	6,268	80	28,54
2,6	1,2	8	3,094	18	6,621	90	32,07
2,8	1,256	8,5	3,28	19	6,974	100	35,61

Таблиця 2.5 - Величини коефіцієнта K2 для різних значень X[4]

X	K2	X	K2	X	K2	X	K2
0,25	1	3	0,845	9	0,313	20	0,141
0,5	1	3,5	0,766	9,5	0,296	25	0,113
1	0,997	4	0,688	10	0,282	30	0,094
1,2	0,995	4,5	0,616	11	0,256	35	0,081
1,4	0,990	5	0,556	12	0,235	40	0,071

1,6	0,983	5,5	0,500	13	0,217	45	0,063
1,8	0,974	6	0,465	14	0,202	50	0,057
2	0,961	6,5	0,430	15	0,195	60	0,047
2,2	0,945	7	0,400	16	0,176	70	0,040
2,4	0,925	7,5	0,375	17	0,166	80	0,035
2,6	0,901	8	0,351	18	0,157	90	0,031
2,8	0,874	8,5	0,332	19	0,149	100	0,028

Таблиця 2.6 – Питомий активний опір внаслідок ефекту близькості для кабельного ланцюга [4]

f , кГц	0,8	5	10	20	40	60	100	150
$R_{бл}$, Ом/км	0,0101	0,161	0,908	1,735	3,95	5,44	7,9	10,0

Таблиця 2.7 – Величина опору R_m [4]

f , кГц	0,8	5	10	20	40	60	100	150
R_m , Ом	0,17	1,36	2,00	2,55	3,81	4,6	6,0	7,5

Скориставшись вихідними даними виконати розрахунки первинних та вторинних параметрів кабельної лінії зв'язку в порядку, визначеному нижче:

Визначення первинних параметрів:

1 Формула для опору 1 км проводів двопровідного кабельного ланцюга при постійному струмі R_0 одержимо, якщо підставимо $\ell = 2000$ м і

$$S = \frac{\pi \cdot d^2}{4} :$$

$$R_0 = \rho \cdot \frac{8000}{\pi \cdot d^2}, \text{ Ом/км}, \quad (2.1)$$

де ρ – становить $\rho = 0,0175$ – для м'якої міді (таблиця 2.3) ;

d – діаметр жил КЛЗ (таблиця 2.1 вихідних даних) .

Так як температура відрізняється від 20°C , то опір проводів при температурі t° визначається по наближеній формулі:

$$R_{t^\circ} = R_{20^\circ} \cdot [1 + \alpha \cdot (t^\circ - 20^\circ)], \quad (2.2)$$

де α – температурний коефіцієнт матеріалу проводів (таблиця 2.3). Цей коефіцієнт показує відносну зміну опору при зміні температури на 1°C . Для м'якої міді $\alpha = 0,004$.

Опір км жил кабельного ланцюга буде більше табличної величини R й визначається по формулі:

$$R_\lambda = \lambda \cdot R, \quad (2.3)$$

де λ – коефіцієнт спіральності, що залежить від типу кабелю. Звичайно λ перебуває в межах від 1,01 до 1,07, причому, чим менше діаметр кабелю, тим менше коефіцієнт спіральності.

Активний опір кабельного ланцюга залежить від матеріалу проводів і збільшується з ростом частоти внаслідок впливу поверхневого ефекту й визначається по формулі

$$R_{\text{ПЕ}} = K_1 R_o, \text{ Ом/км}, \quad (2.4)$$

де K_1 — коефіцієнт, що враховує вплив поверхневого ефекту. Його знаходять по таблиці 2.4 [4] залежно від значення допоміжної величини X .

Для мідних кабельних ланцюгів X визначається по формулі:

$$X = 0,0106 \cdot d \cdot \sqrt{f}, \quad (2.5)$$

У симетричних кабелях через незначну відстань між жилами доводиться враховувати дію ефекту близькості. Прояв ефекту близькості веде до порушення симетричності магнітного поля щодо осі провідника. У результаті з ростом частоти збільшується щільність струму у звернених одна до одної ділянках поперечного перерізу пари проводів одного й того ж ланцюга, що призводить до збільшення їхнього активного опору.

Вплив ефекту близькості на опір визначається по таблиці 2.6 [4].

Ефект близькості, як і поверхневий ефект, проявляється тим сильніше, чим вище частота струму, чим більше діаметр проводів, магнітна проникність і провідність матеріалу, і сильно залежить від відстані між проводами.

Оточення металевими масами – навколишні металеві маси за рахунок відбиття від них електромагнітного поля, впливає на параметри ланцюгів, змінюючи їх (таблиця 2.7) [4].

Загальний опір КЛЗ визначається наступними складовими:

$$R_{\text{заг}} = R_{\text{ПЕ}} + R_{\text{БЛ}} + R_{\text{М}}, \text{ Ом/км.} \quad (2.6)$$

2 Індуктивність симетричної кабельної лінії зв'язку

При визначенні індуктивності двопровідного кабельного ланцюга використовуємо формулу

$$L = \lambda \cdot \left(4 \ln \frac{a-r}{r} + K_2 \cdot \mu_r \right) \cdot 10^{-4}, \text{ Гн/км,} \quad (2.7)$$

де λ – коефіцієнт спіральності, з огляду на складність визначення цього коефіцієнта прийняти в курсовому проекті для кабелів далекого зв'язку $\lambda=1,04$; для кабелів місцевого зв'язку $\lambda=1,02$

K_2 – коефіцієнт, що характеризує вплив поверхневого ефекту на індуктивність ланцюга й обумовлений по допоміжній величині X по таблиці 2.5 [4].

3 При визначенні ємності двопровідного ланцюга для кабельних ланцюгів скористатись наступною формулою:

$$C = \frac{\lambda \cdot \epsilon_s \cdot 10^{-6}}{36 \ln \left(\frac{a}{r} \cdot \psi \right)}, \text{ Ф/км} \quad (2.8)$$

де ψ – поправочний коефіцієнт, для кабелів далекого зв'язку прийняти $\psi=0,619$; для кабелів місцевого зв'язку прийняти $\psi = 0,665$ [4];

ϵ_s – еквівалентна відносна діелектрична проникність складеного діелектрика (таблиця 2.2) [4] .

При визначенні провідності ізоляції для кабельних ланцюгів зв'язку скористаємося формулами:

$$G = \omega \cdot C \cdot \operatorname{tg} \delta, \text{ СМ/км} \quad (2.9)$$

де $\omega = 2\pi f$ – кутова частота змінного струму;

C – ємність ланцюга;

$\operatorname{tg} \delta$ – коефіцієнт діелектричних втрат (з таблиці 2.2) [4] .

Визначення вторинних параметрів

1 Хвильовий опір кабельного ланцюга розраховуємо по формулі:

$$Z_{\text{хв}} = \sqrt{\frac{R + i\omega L}{G + i\omega C}}, \text{ Ом.} \quad (2.10)$$

2 Коефіцієнт поширення знаходиться по формулі:

$$\gamma = \sqrt{(R + i\omega \cdot L) \cdot (G + i\omega \cdot C)}, \quad (2.11)$$

або

$$\gamma = \alpha + i\beta \quad (2.12)$$

де α – коефіцієнт загасання, дБ/км;

β – коефіцієнт фази, рад/км.

Коефіцієнт ослаблення α характеризує зменшення напруги, токи або потужності при поширенні електромагнітної енергії уздовж однорідного ланцюга протягом 1 км.

Фазове зрушення, β , рад/км, характеризує зміну фази сигналу при поширенні електромагнітної хвилі по ланцюгу довжиною 1 км.

Зміст звіту:

1 Тема та мета практичної роботи

2 Вихідні дані

3 Розрахунки первинних параметрів кабельного ланцюга

4 Розрахунки вторинних параметрів кабельного ланцюга

5 Висновок

ПРАКТИЧНА РОБОТА № 3

Визначення первинних і вторинних параметрів коаксіальних кабелів

Мета роботи: Навчитись визначати первинні і вторинні параметри коаксіальних кабелів на різних частотах.

Теоретична частина

Коаксіальний кабель являє собою електричний кабель, що складається із центрального мідного провідника (1) і металевого обплетення – екрана (3), розділених між собою шаром діелектрика - внутрішньої ізоляції (2) і поміщених у загальну зовнішню оболонку (4) (мал. 3.1).



Рис. 3.1 - Коаксіальний кабель

Коаксіальний кабель донедавна був дуже популярний, що пов'язано з його високою перешкодозахищеністю (завдяки металевому обплетенню), більш широкими, чим у випадку крученої пари, смугами пропускання (понад 1 ГГц), а також більшими припустимими відстанями передачі (до кілометра).

Коаксіальна пара є основою коаксіальних кабелів.

Поле у коаксіальній парі зконцентровано в проміжку між внутрішніми та зовнішніми провідниками, воно відсутнє за межами зовнішнього провідника.

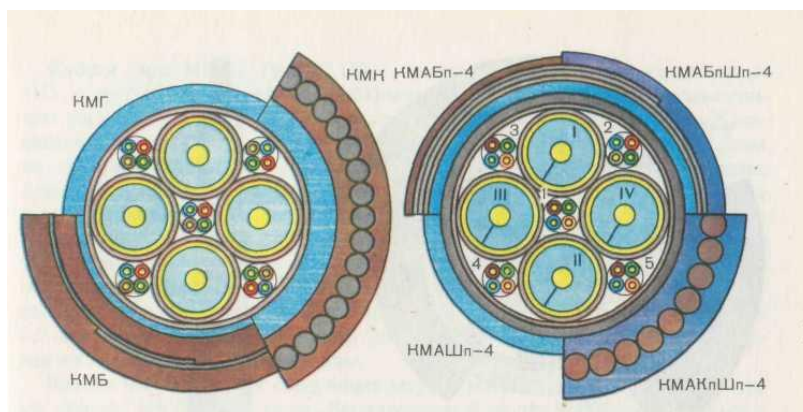


Рисунок 3.2

Кабель типу КМ-4 – коаксіальний (К), магістральний (М) кабель, який складається із чотирьох стандартних коаксіальних пар типу 1,2/5,3 і п'яти симетричних четвірок. Внутрішній провідник коаксіальної пари діаметром 1,2 мм ізолюваний поліетиленовими шайбами від зовнішнього провідника, виготовлено у вигляді трубки із мідної стрічки товщиною 0,25–0,30 мм з одним подовжнім швом. Внутрішній діаметр зовнішнього провідника 5,3 мм. Поверх зовнішнього провідника наложено екран із двох сталевих стрічок та ізоляції із паперу. Симетричні четвірки зіркової скрутки складаються із мідних жил діаметром 0,9 мм з повітряно-паперовою чи повітряно-поліетиленовою ізоляцією різного кольору. Центральна четвірка виготовлена із емалірованої проволочи.

Практична частина:

Вихідні дані для розрахунку приведені у таблиці 3. 1, 3.2

Таблиця 3.1 - Вихідні дані

Номер варіанту	1	2	2
Тип кабелю d/D	2,6/9,4	0,9/3,2	1,2/4,6
Частота, f МГц	10	5	1
Тип ізоляції	Шайби поліет.	Балона поліет.	Балона поліет.

Таблиця 3.2 - Вихідні дані

Номер варіанту	1	2	3
Тип кабелю	КМБ-4	МКТАШ	КМГ-4
Матеріал провідників	мідь	мідь	мідь
Частота, в МГц	2	5	10
Тип ізоляції	Шайбова поліетиленова	Балонна поліетиленова	Шайбова поліетиленова

Таблиця 3.3

Тип коаксіальної пари	Тип ізоляції	ϵ_r
1,2/4,6	Балонна	1,22
2,6/9,4	Шайбова	1,13
2,1/9,7	Пористо-поліетиленова	1,50

Таблиця 3.4 - Значення ϵ_3 і $\operatorname{tg}\sigma$ для коаксіальних кабелів.

Тип кабелю	Діелектрик	Тип ізоляції	ϵ_3	$\operatorname{tg}\sigma \cdot 10^{-4}$ при f , МГц				
				1	5	10	100	500
5/18	Кераміка	Шайби	1,19	1,1	1,0	0,9	-	-
	Полістирол	Шайби	1,09	0,35	0,35	0,35	0,5	1,6
	Стирофлекс	Спіраль	1,19	0,75	0,8	1,0	1,2	1,35
2,6/9,4	Поліетилен	Шайби	1,1	0,5	0,5	-	-	-
	Полістирол	Шайби	1,08	0,6	0,6	-	-	-
	Поліетилен	Кордель	1,09	0,4	0,4	0,5	-	-
1,2/4,4	Поліетилен	Балонна	1,25	0,5	0,6	0,6	-	-
1,2/5,3	Поліетилен	Пористий	1,45	3	4	5	6	-

Завдання:

На підставі вихідних даних, поданих в таблиці 3.1 та 3.2 необхідно:

1 Визначити величину первинних параметрів коаксіального ланцюга

2 Визначити величину вторинних параметрів коаксіального ланцюга

Скориставшись вихідними даними виконати розрахунки первинних та вторинних параметрів коаксіального кабелю в порядку, визначеному нижче:

Первинні параметри коаксіального кабелю:

1 Активний опір коаксіального кабелю визначаємо по формулі [4]

$$R = 0,0835 \cdot \sqrt{f} \cdot \left(\frac{1}{d} + \frac{1}{D} \right), \text{ Ом/км} \quad (3.1)$$

де d, D – внутрішній та зовнішній діаметр відповідно коаксіального кабелю;

2 Індуктивність

$$L = 2 \cdot \ln \left(\frac{D}{d} \right) \cdot 10^{-4}, \text{ Гн/км.} \quad (3.2)$$

3 Ємність

$$C = \frac{\epsilon_3}{18 \ln \frac{D}{d}} \cdot 10^{-6}, \text{ Ф/км.} \quad (3.3)$$

4 Провідність

$$G = \omega \cdot C \cdot \operatorname{tg} \delta_3, \text{ См/км} \quad (3.4)$$

Вторинні параметри коаксіального кабелю:

1 Хвильовий опір – це опір, який зустрічає електромагнітна хвиля при розповсюдженні вздовж кабельного однорідного ланцюга:

$$Z_{XB} = \sqrt{\frac{L}{C}}, \text{ Ом.} \quad (3.5)$$

Хвильовий опір Z_B , Ом, коаксіального ланцюга визначається по формулі

У кабелях із суцільною ізоляцією ($\epsilon=2,3$) $Z_{XB}=50$ Ом, а в кабелях з комбінованою ізоляцією ($\epsilon=1,1$) хвильовий опір складає приблизно 75 Ом.

Частотна залежність хвильового опору в спектрі від 60 кГц і вище дуже незначна, і хвильовий опір можна вважати постійною величиною.

2 Коефіцієнт затухання враховує степінь зменшення сигналу по амплітуді:

$$\alpha = \frac{R_0}{2 \cdot Z_B} + \frac{G \cdot Z_B}{2}, \text{ неп/км} \quad (3.6)$$

3 Поряд із загасанням кабелю відбувається також зміна фази струму і напруги, так званий здвиг фази, який виражається через коефіцієнт фази. Для струмів високої частоти ($f \geq 40$ кГц)

$$\beta = \omega \cdot \sqrt{L \cdot C}, \text{ рад/км} \quad (3.7)$$

Чим більше еквівалентна відносна діелектрична проникність матеріалу для діелектрика, тим менше фазова швидкість поширення електромагнітних хвиль по ланцюгу.

4 До вторинних параметрів передачі відноситься також величина, що характеризує швидкість розповсюдження електромагнітної енергії по кабельній лінії:

$$\vartheta = \frac{\omega}{\beta}. \quad (3.8)$$

Зі збільшенням частоти швидкість збільшується.

5 Довжина хвилі в коаксіальній ланцюга визначається за формулою:

$$\lambda = \frac{2 \cdot \pi}{\beta}.$$

Коефіцієнт фази зі збільшенням частоти зростає прямолінійно. Це обумовлює майже повну сталість швидкості передачі енергії по коаксіальному кабелі у всьому розглянутому спектрі частот. Швидкість передачі зменшується зі збільшенням діелектричної проникності ϵ . Так, у кабелі із суцільною ізоляцією ($\epsilon=2,3$) і $v=200\,000$ км/с, а в кабелі з комбінованою ізоляцією ($\epsilon=1,1$) і $v=280\,000$ км/с.

Швидкість передачі енергії по коаксіальних кабелях вище, ніж по кабелях інших типів, і наближається до швидкості поширення електромагнітних хвиль у повітрі, тобто до швидкості світла.

Зміст звіту:

- 1 Тема та мета практичної роботи
- 2 Вихідні дані
- 3 Розрахунки первинних параметрів коаксіального ланцюга
- 4 Розрахунки вторинних параметрів коаксіального ланцюга
- 5 Висновок

ПРАКТИЧНА РОБОТА № 4

Побудова діаграми рівнів передачі

Мета роботи: Навчитись будувати діаграму рівнів передачі. Визначити параметри сигналу по відомим значенням рівнів передачі.

Теоретична частина

При проектуванні систем багатоканального зв'язку на кабельних лініях симетричного кабелю будується графік зміни рівня передачі уздовж магістралі зв'язку – *діаграма рівнів*.

Цей графік дозволяє перевірити раціональність здійсненого попереднього розташування підсилювальних пунктів з огляду використання підсилювальної здатності станції.

Додатково до діаграми рівнів проводиться розрахунок очікуваної напруги шумів у каналах зв'язку, який дозволяє перевірити, чи будуть проєктовані канали відповідати електричним нормам.

Діаграма рівнів є графіком зміни відносного рівня вимірюваного гармонічного сигналу по довжині каналу. Вона будується при проектуванні каналу і періодично контролюється під час експлуатації.

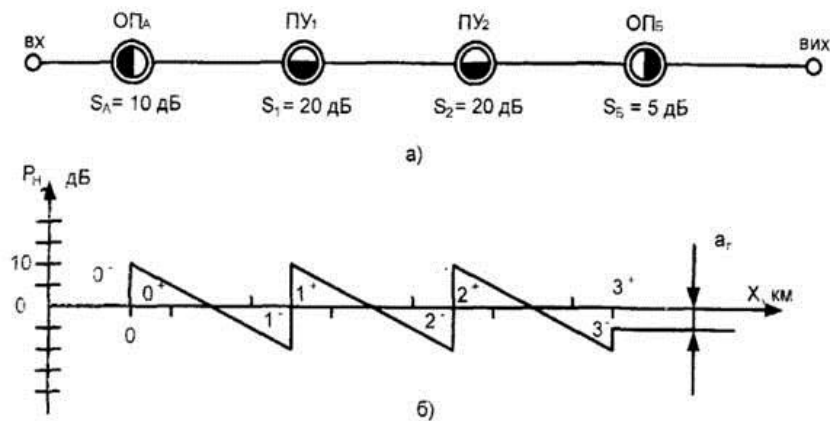


Рисунок 4.1

Приклад діаграми рівнів для телефонного каналу зображений на рисунку 4.1, а. Діаграма рівнів передачі для одностороннього напрямку передачі зображена на рисунку 4.1, б.

Для побудови діаграми рівнів передачі для кожної підсилювальної ділянки повинні бути визначені затухання і необхідне підсилення проміжних підсилювачів.

Вихідні дані для цих розрахунків: коефіцієнт затухання кабельних ланцюгів на розрахунковій частоті, температурні зміни затухання, межа зміни температури ґрунту, довжини підсилювальних ділянок, межі регулювання АРУ застосовуваної апаратури.

У випадку багатоканальних систем передачі по ланцюгах симетричних кабелів необхідно враховувати режим роботи каналів: чи будуть канали поставлені в режим однакових рівнів чи передача буде вестись в режимі з різними рівнями.

Практична частина

Порядок виконання роботи:

- 1 Побудувати діаграму рівнів передачі на підсилювальній ділянці А-Б
- 2 Визначити значення потужності напруги і струму в указаних точках ділянки А-Б.

Таблиця 4.1 - Вихідні дані

Параметри	Варіант			
	1	2	3	4
a, дБ				
стА-НУП1	52,3	52,2	52	52,1
НУП1-НУП2	54,7	54,5	54,3	54,6
НУП2-НУП3	49,8	49,6	49,5	49,7
НУП3-НУП4	51,1	51	51,2	51,3
НУП-НУП5	51,8	51,6	51,7	51,5
s, дБ				
НУП-1	52,6	52,5	52,5	52,7
НУП-2	54,6	54,7	54,7	54,5
НУП-3	49,6	49,4	49,7	49,5
НУП-4	49	49,2	49,1	49,3
НУП-5	51,8	52	51,9	51,7
U; I; P	НУП-1,3	НУП-3,2	НУП-4,5	НУП-2,3
$P_{n\text{cp}}$, дБ				

Контрольні запитання:

- 1 Що представляє собою діаграма рівнів?
- 2 Які вихідні дані необхідні для побудови діаграми рівнів
- 3 Які висновки можна зробити з побудованої діаграми рівнів?

Зміст звіту:

- 1 Тема та мета практичної роботи
- 2 Вихідні дані
- 3 Побудова діаграми рівнів
- 4 Відповіді на контрольні запитання
- 5 Висновок

ПРАКТИЧНА РОБОТА № 5**Розрахунок електричного фільтру НЧ типу «к»**

Мета роботи: Навчитись визначати елементи схем фільтрів згасання на різних частотах, смугу пропускання фільтрів.

Теоретична частина

Розглянемо найпростіші реалізації ФНЧ за схемами рис. 11.2.

Такими реалізаціями є Т – подібна і П – подібна схема ФНЧ (рис. 5.2).

Опори поздовжніх і поперечних плечей в обох схемах дорівнюють:

$$Z_1 = j\omega L \text{ і } Z_2 = \frac{1}{j\omega C}$$

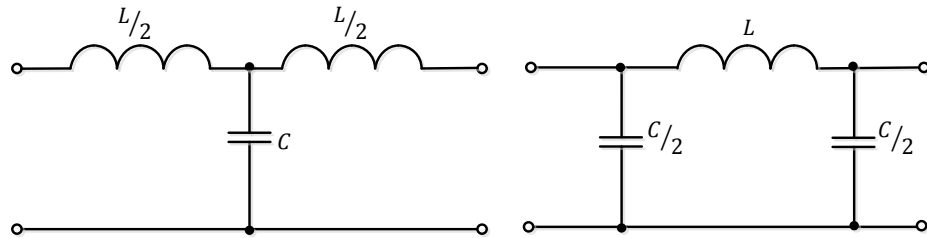


Рисунок 5.2

Роботу даних фільтрів можна фізично пояснити так. Опір поздовжніх плечей, які складаються з індуктивностей, на НЧ малий, а на ВЧ великий, а опір поперечних плечей, які складаються з ємностей, навпаки, на НЧ великий, а на ВЧ – малий.

Тому коливання НЧ порівняно легко проходять на вихід фільтра через поздовжні індуктивні плечі з малим опором і майже не шунтуються поперечними ємнісними плечами з великим опором. Коливання ВЧ ледве проходять через поздовжні індуктивні плечі з великим для цих частот опором. Крім того, на цих частотах вони сильно шунтуються поперечними ємнісними плечима, які мають малий опір.

Розглянемо характеристичні параметри ФНЧ.

СП і СЗ, а також частоту, що залежить на їх границі – частоту зрізу ω_3 , знайдемо з умови (5.1):

$$-1 \leq \frac{j\omega L}{4/j\omega C} \leq 0 \text{ або } -4 \leq -\omega^2 LC \leq 0; 0 \leq \omega \leq \frac{2}{\sqrt{LC}} \quad (5.1)$$

Із останньої нерівності видно, що частота зрізу ФНЧ

$$\omega_3 = \frac{2}{\sqrt{LC}}, \quad (5.2)$$

а смуга пропускання лежить у межах $0 \leq \omega \leq \omega_3$:

У межах СП коефіцієнта затухання $\alpha_c = 0$, а коефіцієнт фази $\beta_c = 2\arcsin \frac{\omega}{\omega_3}$.

У межах СЗ параметри дорівнюють $\alpha_c = 2\operatorname{arch} \frac{\omega}{\omega_3}$; $\beta_c = +\pi$.

Графіки залежності характеристичних затухання α_c і фази β_c від частоти наведені на рис. 5.1.

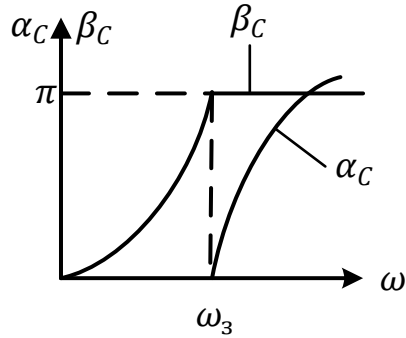


Рисунок 5.1

Характеристичні опори Т- і П-подібних ФНЧ знаходимо за (5.3) і (5.4).

$$Z_{CT} = \sqrt{\frac{L}{C}} \sqrt{1 - \frac{\omega^2}{\omega_3^2}} = \rho \sqrt{1 - \frac{\omega^2}{\omega_3^2}} \quad (5.3)$$

$$Z_{C\Pi} = \sqrt{\frac{L}{C}} / \sqrt{1 - \frac{\omega^2}{\omega_3^2}} = \rho / \sqrt{1 - \frac{\omega^2}{\omega_3^2}} \quad (5.4)$$

де $\rho = \sqrt{\frac{L}{C}}$ - номінальний характеристичний опір.

Графік $Z_{CT} = f(\omega)$ і $Z_{C\Pi} = f(\omega)$ наведені на рис. 5.2. У СП ці опори дійсні і додатні. У СЗ вони уявні, тобто чисто реактивні, причому Z_{CT} - індуктивний, а $Z_{C\Pi}$ - ємнісний ($\sqrt{-a} = j\sqrt{a}$, $\frac{1}{\sqrt{-a}} = \frac{1}{j\sqrt{a}} = -j\frac{1}{\sqrt{a}}$).

Для елементарного розрахунку ФНЧ приймають $\rho = r_H = \sqrt{\frac{L}{C}}$; $\omega_3 = \frac{2}{\sqrt{LC}}$ і те, що фільтр узгоджений на частоті $\omega = 0$. Тоді величини L і C розраховується за формулою: $L = \frac{2r_H}{\omega_3}$; $C = \frac{2}{\omega_3 r_H}$.

Таблиця 5.1 - Формули для розрахунку ФНЧ

$f_c = \frac{1}{\pi\sqrt{4C}}$	$L = \frac{R}{\pi f_c}$	$C = \frac{1}{\pi f_c R}$
$ch \frac{q}{2} = \frac{f}{f_c}$	$n = \frac{a}{a_{зв}}$	$R = \sqrt{\frac{L}{C}}$

Практична частина

Порядок виконання роботи

1) Побудувати графік залежності $a = F(f)$, частотну залежність ланки фільтру.

Вихідні дані зведено в таблицю 5. 2

Таблиця 5. 2

f,кГц	10,0	10,5	11,0	12,0	15,0	20,0	30,0	40,0	50,0
a, дБ	0	5,5	7,7	10,9	16,7	22,9	30,6	35,9	39,2

2) Визначити величину індуктивності, ємності, характеристичний опір, загасання на різних частотах

Вихідні дані зведено в таблицю 5.3

Таблиця 5.3

Параметри	Варіант		
	1	2	3
Тип фільтру	Т-обр	П-обр	Г-обр
Rн, Ом	600	75	100
f, кГц	25	35	45

3) Визначити кількість ланок у ФНЧ необхідне для отримання на частоті вказаній в таблиці 2 згасання 90 дБ.

4) Скласти схему ланки фільтру нижніх частот згідно таблиці 5.3.

Контрольні запитання

- 1 Що називається фільтром нижніх частот?
- 2 Назвіть основні характеристики фільтра нижніх частот.
- 3 Що таке частота зрізу та як вона визначається?
- 4 Як визначити тривалість частоти зрізу та частоту зрізу при послідовному з'єднанні декількох фільтрів нижніх частот?
- 5 Як впливає метод апроксимації частотної характеристики фільтра на його параметри та схему?
- 6 Якими параметрами визначається конструкція фільтра та технологія його використання?
- 7 Наведіть типові схеми електричних фільтрів?

Зміст звіту

1. Тема та мета практичної роботи
2. Вихідні дані
3. Графік залежності $\alpha = F(f)$, частотну залежність ланки фільтру
4. Визначення кількості ланок у ФНЧ, необхідних для отримання на частоті вказаній в таблиці 5.2 (затухання) 100 дБ.
5. Скласти схему ланки фільтру нижніх частот згідно таблиці 5.2
6. Контрольні питання та відповіді на них (за вказівкою викладача)
7. Висновок

ПРАКТИЧНА РОБОТА № 6

Розрахунок електричного фільтру ВЧ типу «к»

Мета роботи: Навчитись визначати елементи схем фільтрів згасання на різних частотах, смугу пропускання фільтрів.

Теоретична частина

Фільтр верхніх частот (ФВЧ) — це електричний фільтр, що пропускає високочастотні сигнали, але послаблює (зменшує амплітуду) сигналів з частотами нижче частоти зрізу.

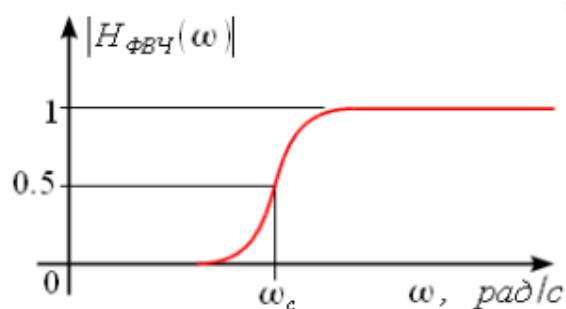


Рисунок 6.1

Фактична величина ослаблення для кожної частоти варіюється у різних фільтрів.

Таблиця 6.1 - Формули для розрахунку ФВЧ

$f_c = \frac{1}{4\pi\sqrt{LC}}$	$L = \frac{R}{4\pi f_c}$	$C = \frac{1}{4\pi f_c R}$
$ch \frac{q}{2} = \frac{f_c}{f}$	$n = \frac{a}{a_{зв}}$	$R = \sqrt{\frac{L}{C}}$

Практична частина

Порядок виконання роботи

1) Побудувати графік залежності $a=F(f)$, частотну залежність ланки фільтру.

Вихідні дані зведено в таблицю 6.2.

Таблиця 6.2

f, кГц	133	266	339	532	662	798	931	1064	1197	1330
a,дБ	52	40	32	27	23	19	16	12	8	0

2) Визначити величину індуктивності, ємності, характеристичний опір,(затухання) на різних частотах

Вихідні дані зведено в таблицю 6.3.

Таблиця 6.3

Параметри	варіант		
	1	2	3
Тип фільтру	Т-подібна	П-подібна	Г-подібна
R, ом	500	600	700

F, кГц	520	710	1200
--------	-----	-----	------

3) Визначити кількість ланок у ФВЧ, необхідних для отримання на частоті вказаній в таблиці 6.3 (затухання) 100 дБ.

4) Скласти схему ланки фільтру верхніх частот згідно таблиці 6.3

Контрольні запитання

1 Що називається фільтром верхніх частот?

2 Назвіть основні характеристики фільтра верхніх частот.

3 Що таке частота зрізу та як вона визначається?

4 Як впливає метод апроксимації частотної характеристики фільтра на його параметри та схему?

5 Якими параметрами визначається конструкція фільтра та технологія його використання?

6 Наведіть типові схеми електричних фільтрів?

Зміст звіту

1 Тема та мета роботи

2 Вихідні дані

3 Графік залежності $a=F(f)$, частотну залежність ланки фільтру

4 Визначення кількості ланок у ФВЧ, необхідних для отримання на частоті вказаній в таблиці 6.3 (затухання) 100 дБ.

5 Назвіть основні характеристики фільтра верхніх частот.

6 Що таке частота зрізу та як вона визначається?

7 Скласти схему ланки фільтру верхніх частот згідно таблиці 6.3

8 Контрольні питання та відповіді на них (за вказівкою викладача)

9 Висновок

ПРАКТИЧНА РОБОТА № 7

Розрахунок смугового електричного фільтру (ПФ) типу «к»

Мета роботи: Навчитись визначати елементи схем фільтрів, згасання на різних частотах, смугу пропускання фільтрів.

Теоретична частина

Смуговий фільтр (СФ) — електричний фільтр, що пропускає сигнали в певному (діапазоні) (*смузі*) частот, і послаблює (вирізає) сигнали частот за межами цієї смуги.

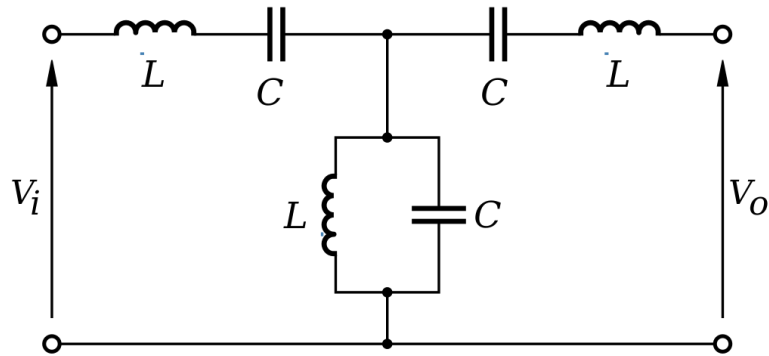


Рисунок 7.1

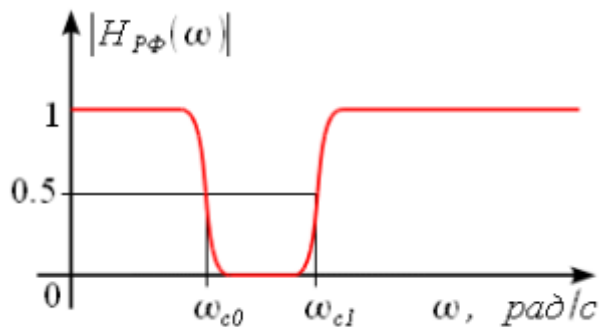
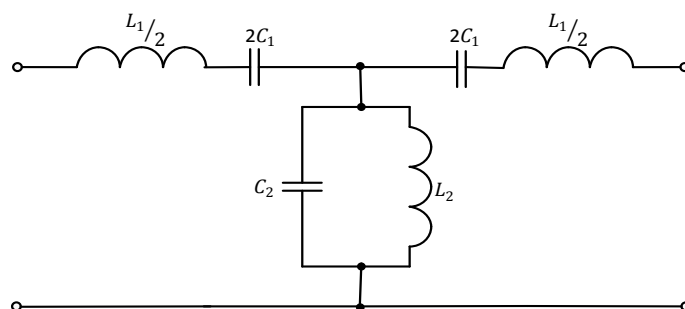


Рисунок 7.2

Наприклад, смуговий фільтр на 1800—1900 МГц пропускає тільки сигнали, частота яких лежить в інтервалі 1800 ÷ 1900 МГц. При цьому частота 1800 МГц називається нижньою частотою зрізу, а 1900 МГц — верхньою частотою зрізу. На цих частотах придушення сигналу повинно складати 3 дБ (0.707 від сигналу на центральній частоті).

На рис. 7.3 показані Т – і П – подібні схеми СФ.



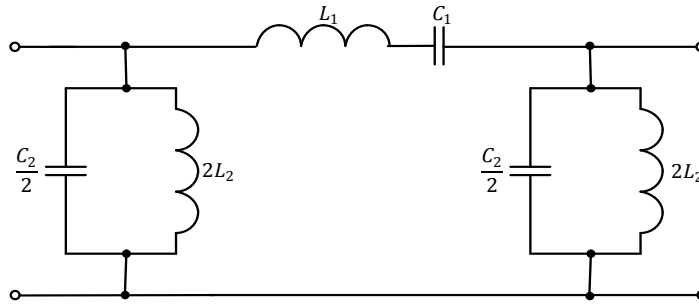


Рисунок 7.3

Таблиця 7.1 - Формули для розрахунку СФ

$f_p = \sqrt{f_1 * f_2} = \sqrt{w_1 * w_2} * \frac{1}{2\pi}$	$w_1 = \sqrt{\frac{1}{L_1 C_1} + \frac{1}{L_1 C_2}} - \frac{1}{\sqrt{L_1 C_2}}$	$w_2 = \sqrt{\frac{1}{L_1 C_1} + \frac{1}{L_1 C_2}} + \frac{1}{\sqrt{L_1 C_2}}$
$L_1 = \frac{R}{\pi(f_2 - f_1)}$	$L_2 = \frac{R(f_2 - f_1)}{4\pi f_1 f_2}$	$ch \frac{q}{2} = \frac{f^2 - f_p^2}{f(f_2 - f_1)}$
$C_1 = \frac{f_2 - f_1}{4\pi R f_1 f_2}$	$C_2 = \frac{1}{\pi R(f_2 - f_1)}$	$R = \sqrt{\frac{L_2}{C_1}} = \sqrt{\frac{L_1}{C_2}}$

Практична частина

Порядок виконання роботи

1) Побудувати графік залежності $a=F(f)$, частотну залежність ланки фільтру.

Вихідні дані зведено в таблицю 7.1.

Таблиця 7.1

f, кГц	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24
a, дБ	67	53,3	44,5	38,5	25,6	0	0	0	21,0	28,1	32,3	35,8

2) Визначити величину індуктивності, ємності, згаснення на різних частотах.

Вихідні дані наведені в таблиці 7.2.

Таблиця 7.2

Вихідні дані	Варіант			
	1	2	3	4
Тип СФ	Т-обр	П-обр	Г-обр	Т-обр
R, Ом	200	220	300	150

f,кГц	3	7	9	7
	19	17	19	21

Контрольні запитання:

- 1 Назвіть основні характеристики смугового фільтра.
- 2 Що таке частота зрізу та як вона визначається?
- 3 Де застосовується смуговий фільтр?

Зміст звіту

1. Тема та мета роботи
2. Вихідні дані
3. Графік залежності $a=F(f)$, частотну залежність смугового фільтра
4. Скласти схему СФ згідно таблиці 7.2
5. Контрольні питання та відповіді на них (за вказівкою викладача)
6. Висновок

ПРАКТИЧНА РОБОТА № 8

Розрахунок параметрів оптичних кабелів

Мета роботи: Навчитись визначати параметри оптичних кабелів

Теоретична частина

Перевагами використання оптичних кабелів (ОК) порівняно з кабелями з металевими струмопровідними жилами є: менше використання дефіцитних кольорових металів (мідь, алюміній, свинець), звідси менші габарити, маса, менша вартість, більша пропускна здатність, менше загасання хвиль та більша дальність передачі, вища завадостійкість, більша надійність техніки безпеки за рахунок відсутності дистанційного живлення (ДЖ), що у електричних кабелях може сягати 2000В, менші витрати на будівництво та експлуатацію 1 канал.км при достатньо високій кількості каналів.

Волоконні світловоди мають унікальні властивості, які відрізняють їх від інших провідних систем.

Основні властивості волоконних світоводів такі:

- малі поперечні розміри;

- малий коефіцієнт загасання, який не залежить від діаметра волоконного світловода та частоти модулюючого електричного сигналу;
- високу швидкість передачі інформації (або широку смугу пропускання);
- на волоконний світловод не діють зовнішні ЕМП;
- відсутність взаємних впливів;
- гальванічна розв'язка трактів прийому та передачі у волоконно-оптичних системах;
- відсутність коротких замикань;
- можливість використання оптичних кабелів у агресивних середовищах та середовищах з високою вологістю.

Волоконні світловоди є основою волоконно-оптичних кабелів, мають двошарову циліндричну структуру та складаються з осердя та оболонки (рис. 8.1)

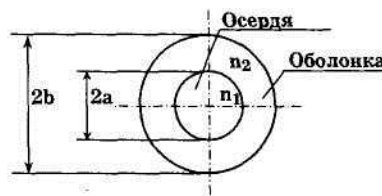


Рисунок 8.1 - Структура волоконного світловода

Принцип дії ВС оснований на явищі повного внутрішнього відбиття, при переході світлового променя з середовища з більшою оптичною щільністю у середовище з меншою оптичною щільністю.

До параметрів оптичного кабелю відносяться наступні:

1 Числова апертура

$$NA = \sqrt{n_1^2 - n_2^2},$$

де n_1 – показник переломлення сердечника,

n_2 – показник переломлення оболонки.

Числова апертура визначає ефективність введення випромінювання у ОВ, втрати на вигинах, дисперсію, число мод, що поширюються. Збільшення різниці показників переломлення збільшує апертурний кут, що збільшує ефективність введення випромінювання у волокно, але при цьому збільшується дисперсія.

2 Нормована частота

$$V = \frac{2\pi a}{\lambda} \cdot \sqrt{n_1^2 - n_2^2}$$

Значення параметра V визначає умови поширення променів у світловоді.

Якщо $V < 2,405$, то поширюється одна мода (промінь), якщо $V > 2,405$, то це відповідає багатомодовому режиму роботи ОВ.

3 Число мод, що поширюються по світловоду

$$N = \frac{V^2}{2}.$$

4 Критична частота

$$f_0 = \frac{P_{nm} c}{\pi \cdot d \cdot \sqrt{n_1^2 - n_2^2}}, \text{ Гц}$$

де P_{nm} – параметр, що характеризує тип хвилі, $P_{nm} = 2,405$;

c – швидкість світла, $3 \cdot 10^8$ м/сек.;

d – діаметр осердя.

При частотах вище критичної f_0 вся енергія поля ефективно поширюється уздовж світловода, а нижче f_0 не передається по світловоду, а розсіюється в навколишньому просторі.

5 Критична довжина хвилі

$$\lambda_0 = \frac{\pi \cdot d}{P_{nm} n_1} \sqrt{n_1^2 - n_2^2}, \text{ мкм.}$$

6 Загальні утрати волоконних світловодів

$$\alpha = \alpha_n + \alpha_p$$

де α_n – втрати енергії на поглинання, $\alpha_n = \frac{\pi \cdot n}{\lambda} \cdot \text{tg } \delta$ неп/м;

$tg\delta=10^{-10}$ – тангенс кута діелектричних втрат у світловоді.

α_p - втрати енергії на розсіювання,

$$\alpha_p = K_p \cdot \lambda^{-4}$$

$K_p=1,5$ мкм дБ/км.

7 Дисперсія (розширення імпульсів).

Дисперсія розраховується для багатомодових ОК, тому що в одномодових ОК вона дуже мала.

Для градієнтного світловода:

$$\tau = \frac{n_1 \cdot l}{2c} \cdot \Delta^2, \text{ нс.}$$

де l – довжина лінії, км;

$\Delta = \frac{n_1 - n_2}{n_1}$ – співвідношення коефіцієнтів переломлення.

8 Границі зміни фазової швидкості

$$\frac{c}{n_1}, \text{ км/с,}$$

$$\frac{c}{n_2}, \text{ км/с,}$$

9 Границі зміни хвильового опору

$$\frac{Z_0}{n_1} \text{ Ом; } \frac{Z_0}{n_2}, \text{ Ом}$$

$$Z_0 = 376,7 \text{ Ом}$$

Практична частина

Порядок виконання роботи

1 Визначити параметри ОК на основі вихідних даних:

Таблиця 8.1 – Вихідні дані

№ вар	L, км	2а, мкм	2в, мкм	тип волокна	n ₁	n ₂	λ, мкм
1	10	50	125	Градiєнтне	1,46	1,45	0,85

2	12	62,5	125	Градiєнтне	1,47	1,46	0,85
3	16	85	125	Ст	1,47	1,465	1,55
4	18	50	125	Градiєнтне	1,52	1,49	1,31
5	20	62,5	125	Градiєнтне	1,5	1,47	1,31
6	22	8	125	Ст	1,48	1,475	1,31
7	24	50	125	Градiєнтне	1,51	1,48	1,55
8	26	62,5	125	Градiєнтне	1,48	1,475	1,55
9	14	8	125	Ст	1,59	1,585	1,55
10	8	50	125	Градiєнтне	1,49	1,393	0,85

Контрольні запитання:

- 1 В чому полягає принцип роботи світловоду, які існують різновиди світловодів?
- 2 Якими параметрами характеризують світловоди?
- 3 Які особливості має передача оптичних сигналів по світловодам?
- 4 Яка конструкція світловодів та волоконно-оптичних кабелів?
- 5 Поясніть принцип передачі енергії по світловоду?
- 6 З чого складається оптоволокно та який профіль його коефіцієнта заломлення?
- 7 Перерахуйте клас мод в світловоді та вкажіть їх характеристики.
- 8 Чим відрізняються одна від одної направлені, витікаючі та випомінювані хвилі?
- 9 Чим визначаються втрати енергії в світловоді?
- 10 Сформулюйте основні переваги світловодів перед іншими видами ліній передачі.

Зміст звіту

1. Тема та мета роботи
2. Вихідні дані
3. Розрахунок первинних та вторинних параметрів оптичного кабелю
4. Контрольні питання та відповіді на них (за вказівкою викладача)
5. Висновок

ПРАКТИЧНА РОБОТА № 9

Складання схеми схрещування проводів телефонних кіл ПЛП

Мета роботи: Скласти схему схрещування ПЛЗ за типовою схемою схрещування

Таблиця 9.1 - Вихідні дані для складання схеми схрещування ПЛЗ

№вар.	Секція схрещування	Число ланцюгів зв'язку
1	16- елементна	14
2	8-елементна	14
3	16-елементна	20
4	8-елементна	20
5	16-елементна	16
6	8-елементна	16
7	16-елементна	10

№ 1

2-4	1	1/2	1/2-1-2
1/2-1-4	2-8	1-4	1/2-1-8
1/2-1	1/2-1-4-8	1-2-4	2

2-4-8	
	2

16–елементна секція схрещування

№ 2

2-4	1	1/2	1/2-1-2
1/2-1-4	2	1-4	1/2-1
1/2-1	1/2-1-4	1-2-4	4

2-4	
	2

8–елементна секція схрещування

№ 3

1/2-1-2	2-4	1	1/2
1/2-1-8	1/2-1-4	2-8	1-4
1/2-1	1/2-1-4-8	1/2	2
4	2-4-8	2	8
2-8	1-2	4-8	4

16-елементна секція схрещування

№4

2-4	1	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$ -1-2
$\frac{1}{2}$ -1-4	2	1-4	$\frac{1}{2}$ -4
$\frac{1}{2}$ -1	$\frac{1}{2}$ -1-4	1-2-4	2
4	2-4	2	1-4
1-2	4		$\frac{1}{2}$ -1-2

8-елементна секція схрещування

№ 5

2-4	1	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$ -1-2
$\frac{1}{2}$ -1-4	2-8	1-4	$\frac{1}{2}$ -1-8
$\frac{1}{2}$ -1	$\frac{1}{2}$ -1-4-8	1-2-4	2
4	2-4-8	2	8

16-елементная секція схрещування

№ 6

2-4	1	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$ -1-2
$\frac{1}{2}$ -1-4	2	1-4	$\frac{1}{2}$ -1
$\frac{1}{2}$ -1	$\frac{1}{2}$ -1-4	1-2-4	2
4	2-4		1-4

8-элементная секция схрещування

№ 7

2-4	1	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$ -1-2
$\frac{1}{2}$ -1-4	2-8	1-4	$\frac{1}{2}$ -1-8

16-елементна секція схрещування

1-4-16
2

Теоретична частина

Основні правила складання схем схрещування

При складанні схем схрещування лінію розбивають на парне число ділянок, тому що тільки в цьому випадку відбувається взаємна компенсація струмів перешкод із сусідніх ділянок.

При непарному числі ділянок з'являються перешкоди.

Нескомпенсована ділянка лінії називається *неврівноваженою довжиною*.

Так, якщо лінія розбита на п'ять рівних ділянок, те перші чотири будуть по двох взаємно скомпенсовані, а п'ята ділянка є джерелом перешкод між ланцюгами, тобто неуврівноваженою довжиною.

Сукупність схрещувань ланцюгів, що забезпечує відсутність неуврівноваженої довжини, називається *закінченим циклом схрещування*.

Ділянка лінії, протягом якої укладається закінчений цикл схрещування для всіх ланцюгів, що підвішуються на даній лінії, називається *секцією схрещування*.

Елементарні відрізки рівної довжини, на які розбивається секція, називається *елементами схрещування*.

Схемою схрещування називається закономірність розподілу окремих схрещувань на кожному ланцюзі уздовж лінії.

Схема схрещування складається в такий спосіб.

Ділянка лінії, рівна секції схрещування, розбивається на 2^n - елементів схрещування. Чим більше ціле позитивне число n , тим більше число різних схем схрещування може бути складено. Протягом секції можна одержати $(2^n - 1)$ різних схем схрещування.

Наприклад, при $n=3$ (восьмиелементна секція) одержуємо $2^3-1=7$ різних схем схрещування, а при $n=7$ (128-елементна секція) відповідно маємо $2^7-1=127$ різних схем схрещування.

Для умовного зображення різних схем схрещування служать *індекси схрещування*.

Практично знаходять застосування наступні основні індекси схрещування: 1, 2, 4, 8, 16, 32, 64 і 128.

На рисунку 9.1 зображена 16-елементна секція, двухпроводная лінія позначена однією суцільною рисою, а місця схрещування на цьому ланцюзі відзначені хрестами.

Перший ланцюг схрещений рівномірно через один елемент. Такий порядок розподілу схрещування умовно позначається індексом 1.

На другому ланцюзі схрещування виконані рівномірно через два елементи, що відповідає індексу 2.

Треті і четверті ланцюги схрещені відповідно по індексах 4 і 8.

Таким чином, перші чотири ланцюги схрещені по основних індексах.

Основний індекс відповідає числу елементів, через яке виробляється рівномірне схрещування ланцюга.

Крім схем схрещування, що відповідають основним індексам, шляхом накладення основних схем можна одержати ще стільки похідних схем схрещування, скільки виходить сполучень з основних індексів.

Вторинне схрещування ланцюга в тій же самій точці означає усунення попереднього схрещування, тому якщо в ланцюзі, схрещеної по індексу 1, зробити вторинне схрещування по індексу 2, то в точках збігу двох схрещувань хрести знищуються і вийде схема схрещування для п'ятого ланцюга.

Якщо схема схрещування одного ланцюга відрізняється від іншої, то розглянуті ланцюги взаємно захищені, причому ступінь взаємної захищеності визначається тими хрестами, що не збігаються на обох ланцюгах. Таким чином, *взаємна захищеність* між ланцюгами визначається незбіжними схрещуваннями, чи незбіжними індексами схрещувань.

Як приклад визначимо індекс взаємної захищеності між другим і третім ланцюгами (див. рисунок 9.2), схрещеними відповідно по індексах 2 і 4.

Для наочності схеми схрещування цих ланцюгів зображені окремо на рисунок 9.2, а. Схема взаємної захищеності, зображена на рис. 9.2, б, відповідає індексам взаємної захищеності 2—4.

№ п.п.	Индексы скрещивания	Номера элементов																Число скрещи- ваний
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	
1	1	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	15
2	2		*		*		*		*		*		*		*			7
3	4				*				*				*					3
4	8								*									1
5	1-2	*		*		*		*		*		*		*		*		8
6	1-4	*	*	*		*	*	*		*	*	*		*	*	*	*	12
7	1-8	*	*	*	*	*	*	*		*	*	*	*	*	*	*	*	14
8	2-4		*				*				*				*			4
9	2-8		*		*		*				*		*		*			6
10	4-8				*								*					2
11	1-2-4	*		*	*	*		*	*	*		*	*	*		*		11
12	1-2-8	*		*		*		*	*	*		*		*		*		9
13	1-4-8	*	*	*		*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	13
14	2-4-8		*				*		*		*				*			5
15	1-2-4-8	*		*	*	*		*		*		*	*	*		*		10

Рисунок 9.1 - Шіснадцятиелементна схема скрещування

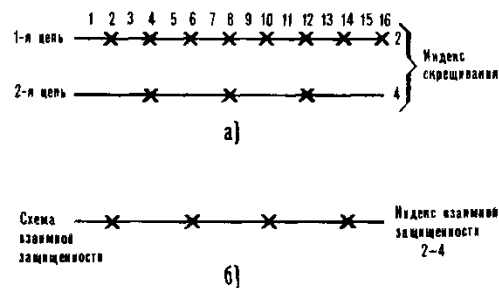


Рисунок 9.2 - До визначення схеми взаємної захищеності ланцюгів:

а) індекси скрещування; б) індекси взаємної захищеності

За довжину елемента скрещування приймають два прольоти.

За основну секцію скрещування приймається 128-елементна секція. Лінія на секції розбивається по підсилювальних ділянках.

Підсилювальну ділянку розбивають на основні 128-елементні секції. Якщо на довжині підсилювальної ділянки не укладається ціле число основних секцій, то застосовують укорочені (8-, 16-, 32-, 64-елементні) секції.

Підходи і відгалуження ланцюгів необхідно робити наприкінці секції схрещування, інакше з'являється неврівноважена довжина.

Конструктивне виконання схрещування ланцюгів.

Розрізняють схрещування в прольоті і точкове схрещування. Схрещування в прольоті здійснюється впродовж двох прольотів. Точкове схрещування по довжині лінії займає всього 18—25 см.

Залежно від того, які підвішені дроти

- на крюках або траверсах,
- прольотне і точкове схрещування конструктивно виконується по-різному.

При профілі, крюка, схрещування ланцюгів в прольотах проводиться на Г-подібних кронштейнах (рис. 9.3), а точкове — за допомогою дугоподібних кронштейнів (рис. 9.4).

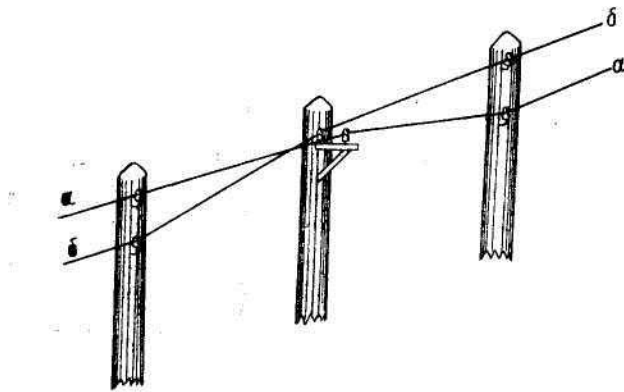


Рисунок 9.3 - Пролітне схрещування при профілі, крюка

При профілі, траверсу, схрещування в прольотах здійснюється за допомогою підвісних крюків (рис. 9.5), а точкове схрещування — на накладках (рис. 9.6).

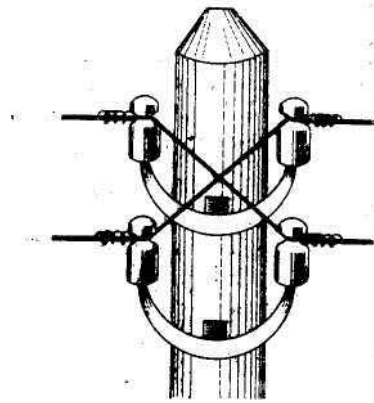


Рисунок 9.4 - Точкове схрещування при профілі, крюка

Точкове схрещування дає найменші конструктивні неоднорідності.

Для того, щоб середня відстань між дротами впливає і схильної до впливу ланцюгів було вирівняне у вертикальній і горизонтальній площинах, напрям обертання дротів при схрещуванні в прольоті повинен проводитися на довжині секції в одну і тугіше сторону.

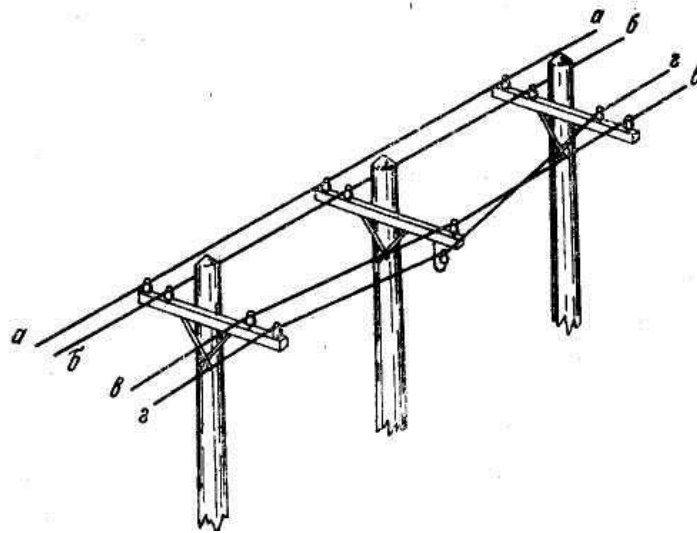


Рисунок 9.5 - Прольотне схрещування при профілі, траверсу

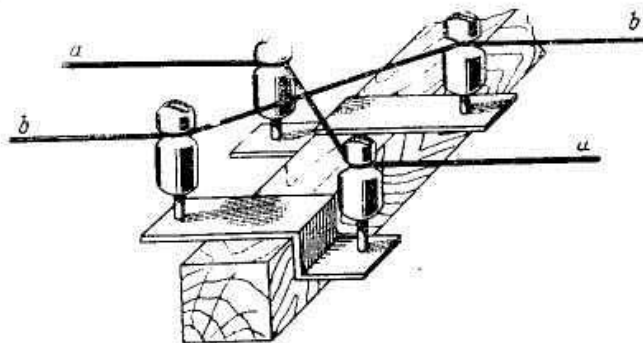


Рисунок 9.6 - Точкове схрещування при профілі, траверсу

Порядок виконання

1) Розробити схему схрещування.

Розробити схему схрещування згідно з таблицею 9.2

Таблиця 9.2

№ ланцюга	Індекс схрещування	Номер елементів							
		1	2	3					n

Контрольні запитання:

- 1 Яка арматура застосовується при схрещуванні телефонних кіл.
- 2 У чому полягає ефект схрещування повітряних ліній передачі.

Зміст звіту:

- 1 Тема та мета роботи
- 2 Таблиця з розробленою схемою схрещування проводів ПЛЗ
- 3 Контрольні запитання та відповіді на них
- 4 Висновок

ПРАКТИЧНА РОБОТА № 10

Симетрування кабелів методом схрещування жил і методом конденсаторного симетрування

Мета: Навчитися вибирати найбільш оптимальний оператор схрещування при симетруванні кабелів зв'язку методом схрещування жил кабелів, розрахувати величину додаткових конденсаторів для компенсації ємнісних зв'язків і асиметрії при симетруванні кабелів.

ТЕОРЕТИЧНА ЧАСТИНА

У кабельних лініях зв'язку розрізняють такі впливи:

безпосередні (прямі), коли перешкоди індукуються безпосередньо полем кола, що впливає;

непрямі впливи, зумовлені відбиттями від кінцевих, стикових і внутрішніх неоднорідностей у колах 1 і 2;

впливи через треті кола, викликані вторинними електромагнітними полями, які виникають під впливом поля кола, що впливає, у третіх фізичних колах лінії. Третіми колами є сусідні пари, металеві оболонки кабелю, сусідні кабелі.

Абсолютні значення потужностей, напруг і струмів завад у пасивних лініях не характеризують взаємні впливи в лінії, вони залежать від величини потужностей, струмів і напруг у колі, що впливає. Взаємні впливи між колами визначаються у відносних логарифмічних одиницях. Такі параметри не залежать від абсолютних значень сигналів у колах внаслідок лінійності системи.

В наслідок нерівномірності ізоляції на жилах, неточності кроків скручування і по іншим причинам, залежним від неоднорідності матеріалів і випадкових деформацій, в симетричних кабелях між ланцюгами виникають електрична і магнітна взаємодія.

Еквівалентну схему електричного та магнітного впливів подано на рис. 10.1.

Взаємні впливи залежать від частоти сигналу, довжини лінії. На ближньому кінці взаємні впливи більші, ніж на дальньому, оскільки струми завад у цьому разі складаються, а на дальньому — віднімаються (рис. 10.2). Характер струмів завад з різних ділянок лінії наведено на рис. 10.3.

На рис. 10.3 наведено залежності перехідних впливів від довжини лінії та частоти. Взаємні впливи на ближньому кінці спочатку зменшуються, а потім стабілізуються, оскільки струми завад з віддалених ділянок лінії загасають та діє власне загасання лінії (див. рис. 10.3, а). Із зростанням частоти в лінії

зростає випромінювання електромагнітної енергії, що веде до зростання електромагнітних зв'язків, а отже, і впливів.

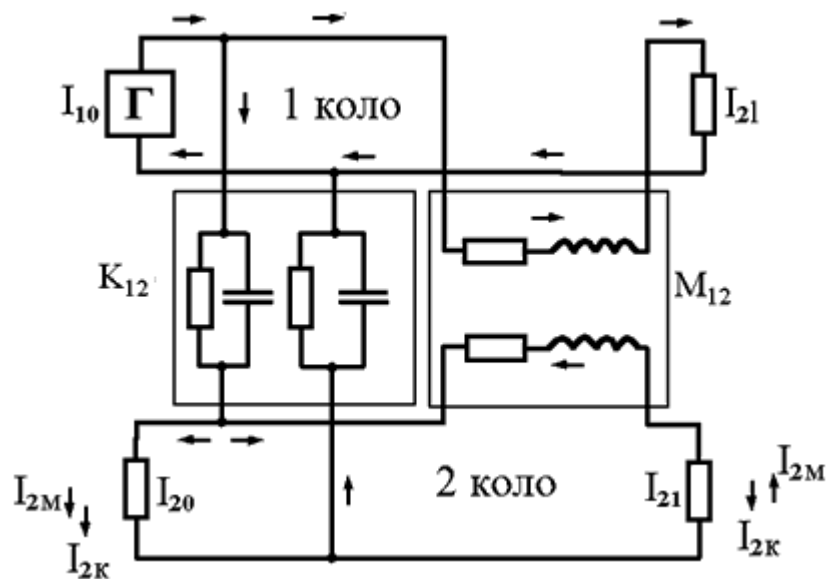


Рисунок 10.2 - Еквівалентна схема електричного та магнітного впливів:

I_{2K} — струм, викликаний електричними зв'язками; I_{2M} — струм, викликаний магнітними зв'язками; K_{12} — електричний зв'язок; M_{12} — магнітний зв'язок

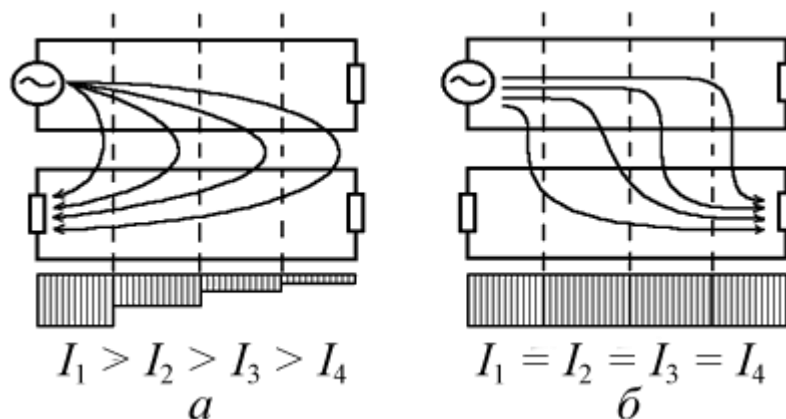


Рисунок 10.2 - Характер струмів завад з різних ділянок лінії:

a — на ближньому кінці; $б$ — на дальньому кінці

У коаксіальних кабелях зі зростанням частоти підвищується ефект самоекранування, електромагнітне поле за межі зовнішнього провідника не проникає, взаємні впливи зменшуються.

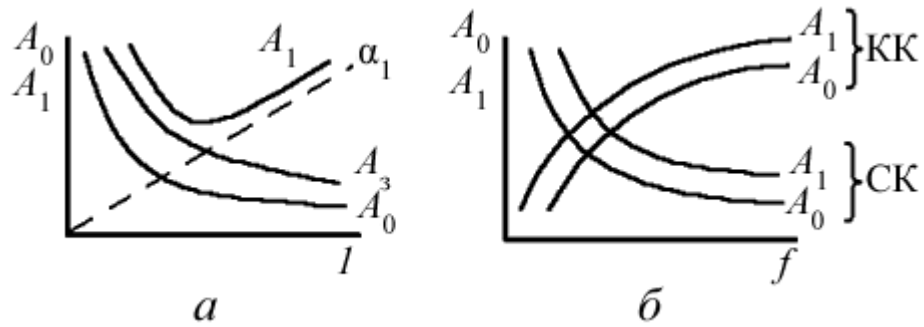


Рисунок 10.3 - Залежність параметрів взаємних впливів:

a — від довжини лінії; b — від частоти

В теорії взаємних впливів прийняті такі основні визначення (рис. 10.4):

коло, що впливає, — активне коло, що створює електромагнітне поле, яке впливає;

коло, на яке діє вплив, пасивне, на нього впливає електромагнітне поле, в ньому виникають завади;

ближній кінець (БК) — кінець лінії, на якому включений генератор кола, що впливає;

дальній кінець (ДК) — кінець лінії, до якого підключене навантаження.

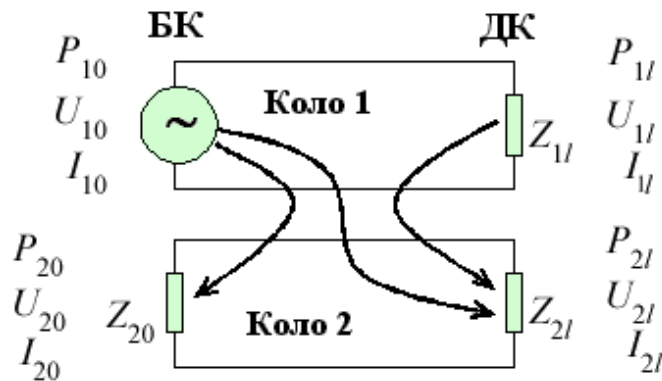


Рисунок 10.4 - Схема до визначення взаємних впливів

На ближньому кінці активної лінії діють потужність P_{10} , напруга U_{10} , струм I_{10} ; на дальньому кінці — P_{1l} , U_{1l} , I_{1l} .

На пасивну лінію впливає поле активної лінії, внаслідок чого в ній виникають: на ближньому кінці P_{20} , U_{20} , I_{20} і на дальньому кінці P_{2l} , U_{2l} , I_{2l} .

Лінії навантажені на опори Z_{1l} , Z_{20} , Z_{2l} .

Абсолютні значення потужностей, напруг і струмів завад у пасивних лініях не характеризують взаємні впливи в лінії, вони залежать від величини потужностей, струмів і напруг у колі, що впливає. Взаємні впливи між колами визначаються у відносних логарифмічних одиницях. Такі параметри не залежать від абсолютних значень сигналів у колах внаслідок лінійності системи.

Основні параметри взаємних впливів між колами ліній зв'язку.

Перехідне загасання на частоті ω на ближньому кінці лінії, дБ

$$A_0(\omega) = 10 \lg \left| \frac{P_{10}(\omega)}{P_{20}(\omega)} \right|. \quad (10.1)$$

Перехідне загасання на частоті ω на дальньому кінці лінії, дБ

$$A_l(\omega) = 10 \lg \left| \frac{P_{10}(\omega)}{P_{2l}(\omega)} \right|. \quad (10.2)$$

Захищеність на дальньому кінці лінії, дБ

$$A_s = 10 \lg \left| \frac{P_{20}(\omega)}{P_{2l}(\omega)} \right|, \quad A_l = A_s + \alpha l, \quad (10.3)$$

де α — погонне загасання лінії; l — довжина лінії.

Захист кіл і трактів ліній зв'язку від взаємних впливів

Для зменшення взаємних впливів кіл і трактів ліній застосовують низку заходів.

1. Використання систем передачі та ліній зв'язку, що забезпечують малі взаємні впливи: цифрових систем передачі, коаксіальних кабелів, підвищення однорідності ліній. Застосування оптичних кабелів повністю знімає проблему взаємних впливів.

2. Скручування жил в елементарних групах і груп між собою на стадії виробництва кабелів та їх екранування.

3. Симетрування кабелів зв'язку — комплекс заходів, що здійснюється у процесі будівництва чи реконструкції лінії. Розрізняють симетрування схрещуванням і концентроване.

Для зменшення взаємного впливу проводиться симетрування ланцюгів в процесі монтажу кабелю. Завдання симетрування полягає у тому, щоб за допомогою протизв'язку усунути зв'язки, обумовлені недосконалістю способу виготовлення кабелю.

Труднощі симетрування полягають в тому, що зв'язки між ланцюгами носять розподілений і випадковий характер, тоді як їх компенсація шляхом створення протизв'язків може бути практично виконана тільки в обмеженому числі місць.

Слід зазначити, що взаємні впливи між ланцюгами збільшуються із зростанням частоти, тому методи симетрування низькочастотних (НЧ) і високочастотних (ВЧ) кабелів різні.

У низькочастотному діапазоні домінують зв'язки, місткостей (електричні), а у області високих частот — комплексні електромагнітні зв'язки. Виходячи з цього, в НЧ кабелях досить проводити симетрування зв'язків, ємностей, у ВЧ кабелях необхідно симетризувати всі складові (активні і реактивні) електричних і магнітних зв'язків.

Для симетрування НЧ кабелів застосовуються метод схрещування жил і конденсаторний метод.

Симетрування ВЧ кабелів проводиться шляхом схрещування жил і концентрованого симетрування.

Розрізняють вплив між ланцюгами усередині четвірок і між ланцюгами різних четвірок.

Найбільший вплив виявляється між ланцюгами усередині четвірок. Враховуючи, що між електричними (ємностями) і магнітними (індуктивними) зв'язками є повна відповідність, досить оперувати лише з одним зв'язком. Простіше вимірювати зв'язок, ємності (між провідниками) і асиметрію, ємності (між провідниками і оболонкою) (рис.10.5).

Для зменшення взаємних впливів між ланцюгами застосовують симетрування КЛЗ:

- методом схрещування жил;
- методом конденсаторного симетрування.

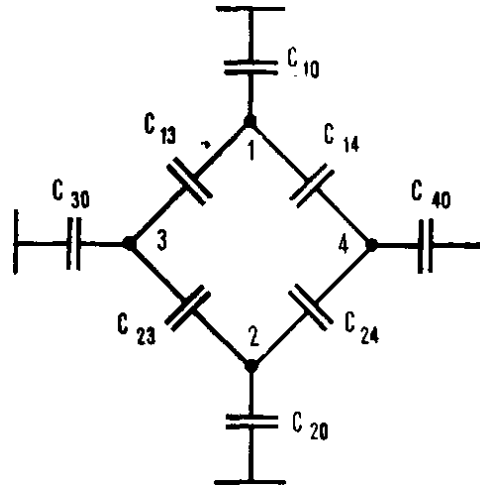


Рисунок 10.5 - Зв'язки ємностей, між провідниками та між провідниками і оболонкою

Зв'язки:

$\kappa_1 = (C_{13} + C_{24}) - (C_{14} + C_{23})$ — між основними ланцюгами в четвірці;

$\kappa_2 = (C_{13} + C_{14}) - (C_{23} + C_{24})$ — між першим основним ланцюгом і фантомним;

$\kappa_3 = (C_{13} + C_{23}) - (C_{14} + C_{24})$ — між другим основним ланцюгом і фантомним.

Асиметрії:

$e_1 = (C_{10} - C_{20})$ — між першою парою і оболонкою;

$e_2 = (C_{30} - C_{40})$ — між другою парою і оболонкою;

$e_3 = (C_{10} + C_{20}) - (C_{30} - C_{40})$ між фантомним ланцюгом і оболонкою.

Схрещування у кабелях. Принцип схрещування полягає в тому, що струми завад з однієї ділянки лінії компенсуються струмами завад з другої ділянки лінії (рис. 10.6).

Проводи у кабельній четвірці при схрещуванні можна з'єднати за різними схемами, кожній схемі відповідає своє позначення — оператор схрещування.

Проводи у кабельній четвірці при схрещуванні можна з'єднати за різними схемами, кожній схемі відповідає своє позначення — оператор схрещування (табл. 10. 1). Оператор містить три позиції. Знак першої позиції вказує схему з'єднання жил першої пари, другої — з'єднання жил другої пари.

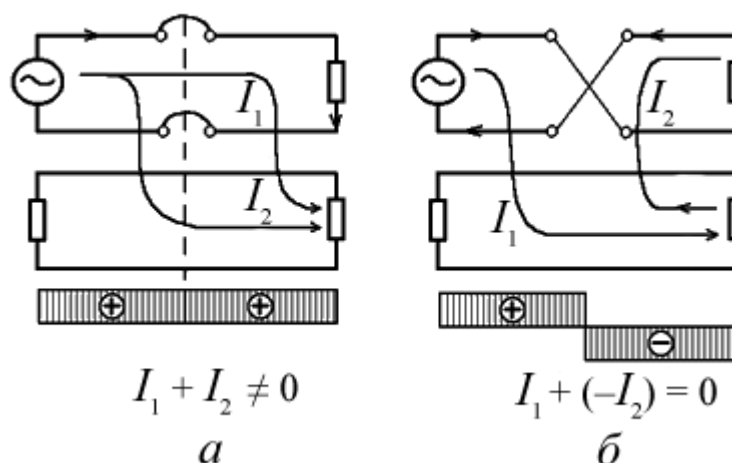


Рисунок 10.6 - З'єднання двох ділянок кабелю зі зв'язками однакових знаків:
а — без схрещування; *б* — зі схрещуванням

Концентроване симетрування поділяється на конденсаторне та із застосуванням контурів протизв'язку.

Таблиця 10.1 - Оператори та схеми схрещування

№ схеми	1	2	3	4
Оператор схрещування	...	X..	.X.	XX.
Схема схрещування				

На першому етапі при з'єднанні будівельних довжин кабелів проводиться схрещування ланцюгів, залишкові зв'язки мінімізуються вмиканням конденсаторів. Ємнісні зв'язки і ємнісна асиметрія для різних схем схрещування складаються або віднімаються відповідно до табл.10.2.

Таблиця 10.2

№	Оператор схрещування	Ємнісні зв'язки			Ємнісна асиметрія		
		K_1	K_2	K_3	e_1	e_2	e_3
1	$\cdot \cdot \cdot$	$K_1 + K_1'$	$K_2 + K_2'$	$K_3 + K_3'$	$e_1 + e_1'$	$e_2 + e_2'$	$e_3 + e_3'$
2	$X \cdot \cdot$	$K_1 - K_1'$	$K_2 - K_2'$	$K_3 + K_3'$	$e_1 - e_1'$	$e_2 + e_2'$	$e_3 + e_3'$
3	$\cdot X \cdot$	$K_1 - K_1'$	$K_2 + K_2'$	$K_3 - K_3'$	$e_1 + e_1'$	$e_2 - e_2'$	$e_3 + e_3'$
4	$X X \cdot$	$K_1 + K_1'$	$K_2 - K_2'$	$K_3 - K_3'$	$e_1 - e_1'$	$e_2 - e_2'$	$e_3 + e_3'$
5	$\cdot \cdot X$	$K_1 + K_1'$	$K_2 + K_2'$	$K_3 + K_3'$	$e_1 + e_1'$	$e_2 + e_2'$	$e_3 - e_3'$
6	$X \cdot X$	$K_1 - K_1'$	$K_2 - K_2'$	$K_3 + K_3'$	$e_1 - e_1'$	$e_2 + e_2'$	$e_3 - e_3'$
7	$\cdot X X$	$K_1 - K_1'$	$K_2 + K_2'$	$K_3 - K_3'$	$e_1 + e_1'$	$e_2 - e_2'$	$e_3 - e_3'$
8	$X X X$	$K_1 - K_1'$	$K_2 - K_2'$	$K_3 - K_3'$	$e_1 - e_1'$	$e_2 - e_2'$	$e_3 - e_3'$

Примітка: стороні А відповідає коефіцієнт без штриха, стороні Б – зі штрихом ('). Вибір оператора схрещування визначається досягненням мінімальних значень ємнісного зв'язку й асиметрії. Розташовуючи приведені в завданні результати вимірів коефіцієнтів ємнісного зв'язку й асиметрії симетрування кабелів А и Б роблять вибір оператора в такий спосіб. Підраховуються результуючі зв'язки при всіх операторах і заносяться без указівки знака в табл.3.2.1

Результуючі зв'язки визначаються за допомогою таблиці операторів, у якій зазначене, чи слід зв'язок й асиметрію складати або віднімати. У результаті вибирається оператор, при якому максимальне значення залишкового зв'язку має менше значення.

Конденсаторне симетрування. Після схрещування залишаються залишкові зв'язки, які компенсуються включенням конденсаторів паралельно частковим магнітопроводовим ємностям таким чином, щоб мінімізувати ємнісні зв'язки.

При конденсаторному симетруванні ємнісні зв'язки й асиметрії вирівнюються за допомогою конденсаторів.

При конденсаторному симетруванні ємнісні зв'язки (K_1, K_2, K_3) і асиметрії (e_1, e_2, e_3) вирівнюються за допомогою симетруючих конденсаторів. У цьому випадку вимірюють зв'язки й асиметрію кабельної четвірки і підключають у сполучних муфтах між жилами кабелю і жилами і

землею (свинцевою оболонкою) з меншими частковими ємностями симетруючі конденсатори відповідної ємності.

Приклад симетрування ємнісних зв'язків кабельної четвірки за результатами вимірів $\kappa_1, \kappa_2, \kappa_3$ приведений у табл. 10.4.

На рис. 10.7 показане включення додаткових конденсаторів у четвірку. Підбір симетруючих конденсаторів виконується в такий спосіб.

З вимірів відомо, що $\kappa_1 = -30$ пф. Це означає, що сума часткових ємностей ($C_{13} + C_{24}$) менше ($C_{14} + C_{23}$) на 30 пф.

Увімкнувши між жилами 1—3 чи 2—4 конденсатора ємністю 30 пф, доведемо значення κ_1 до нуля. Якщо конденсатор підключити лише до однієї пари жил (1—3) чи (2—4), то при цьому змінюються величини κ_2 і κ_3 . Тому при симетруванні до обох пар жил (з меншою сумарною ємністю) підключається конденсатор ємності якого дорівнює половині значення симетруючого зв'язку. Так, у розглянутому прикладі до пліч 1—3 і 2—4 необхідно підключити конденсатори ємністю 15 пф.

Асиметрія четвірки не зміниться, якщо ємності симетруючих конденсаторів зменшити на однакову найменшу величину (10 пф, див. табл. 10.3).

Т а б л и ц я 10.3

Виміри значень ємнісних зв'язків, пФ	Ємності симетруючих конденсаторів, пф, які необхідно включити між жилами			
	1—3	1-4	2-3	2-4
$\kappa_1 = -30$	15		—	15
$\kappa_2 = +20$	—	—	10	10
$\kappa_3 = +30$	—	15	—	15
Сумарне значення	15	15	10	40
Найменша величина різниці ємності	10			
Величина ємності конденсаторів, що вмикаються	5	5	0	30

Таке зменшення необхідно для того, щоб не включати зайвих конденсаторів.

Для симетрування застосовують спеціальні вологостійкі і теплостійкі малогабаритні конденсатори типів КТИ-1 і КТИ-2.

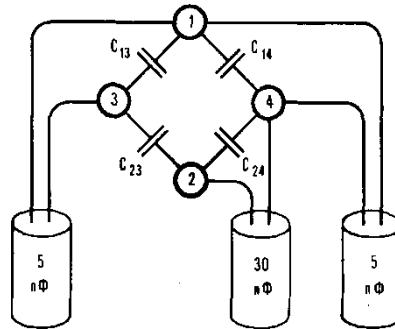


Рисунок 10.7 - Включення симетруючих конденсаторів у кабельну четвірку

Загальний вигляд муфти з покладеними конденсаторами приведень на рисунку 10.8. Конденсатори виготовляють ємністю від 10 до 500 пф із градацією через 10 пф на іспитову напругу 1800 В.

Конденсаторне симетрування застосовується як при симетруванні ланцюгів усередині четвірок, так і між четвірками (для кабелів малої ємності до чотирьох четвірок включно).

Включення контурів проти зв'язку. Цей засіб засновано на принципі компенсації струму завад струмом, що відгалужується з лінії та має протилежну фазу. Такі контури містять пасивні елементи, схема з'єднання цих елементів та їх номінали визначаються частотною характеристикою електромагнітних зв'язків. Принцип дії контуру проти зв'язку наведено на рис. 10.8. У цьому разі $I_{зв} = - (I_{прзв})$, тому сумарний струм завади, що протікає навантаженням, буде відсутній.

Нормування взаємних впливів. Взаємні впливи нормуються на довжині підсилювальної ділянки, вони визначаються типом кабелю та системи передачі.

Для симетричних кабелів впливи нормуються на вищій частоті лінійного спектра, для коаксіальних — на нижчій (табл. 10.4).

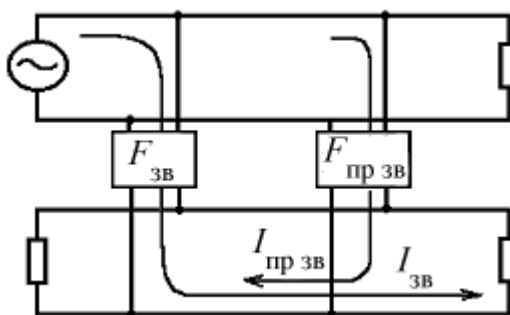


Рисунок 10.8 - Схема дії контуру протизв'язку

У цифрових системах передачі взаємні впливи нормуються на напівтактовій частоті. Ці норми визначаються

$$A_l \geq 26 + 10 \cdot \lg (N - 1), \quad (10.4)$$

де N — кількість цифрових ліній у кабелі.

Таблиця 10.4- Норми взаємних впливів

Тип лінії	Двопровідна	Чотирипровідна
Низькочастотні симетричні кабелі A_0 A_l	$60,8 + \alpha l$ $60,8 + \alpha l$	$65,1 + \alpha l$ $65,1 + \alpha l$
Низькочастотні симетричні кабелі A_0 A_l	$60,8$ $73,8$ для 90 % $71,0$ для 100 %	$73,8 + \alpha l$ $73,8$ для 90 % $71,0$ для 100 %
Коаксіальні кабелі A_0, A_l КМ-4 A_0, A_l МКТ-4 A_0, A_l	— —	140 108,6

В аналогових системах взаємні впливи нормуються на довжині переприймальної секції, в цифрових системах — на довжині регенераційної ділянки.

Проблема зменшення взаємних впливів є актуальною в НЧ абонентських лініях зв'язку, якими передаються високошвидкісні сигнали від локальних комп'ютерних мереж.

Практична частина

Таблиця 10.5 - Вихідні дані для вибору оператора схрещування

№ варіанта	Коефіцієнти ємкісного зв'язку та асиметрії											
	K_1^A	K_2^A	K_3^A	K_1^B	K_2^B	K_3^B	e_1^A	e_2^A	e_3^A	e_1^B	e_2^B	e_3^B
1	-30	20	30	30	29	20	20	30	22	19	24	17
2	-29	19	29	31	30	19	17	28	21	17	25	19
3	-31	18	31	29	32	22	18	31	17	24	19	23
4	-29	21	32	28	31	21	22	32	24	25	18	21
5	-28	22	28	27	28	18	24	24	25	18	17	20
6	-32	23	33	31	33	23	21	26	28	19	23	22
7	-33	17	34	32	27	18	25	28	30	20	28	24
8	-27	24	28	33	33	19	26	27	26	23	18	25
9	-30	18	27	26	30	20	17	25	23	22	19	26
10	-34	16	30	34	35	24	18	19	22	18	20	20

Таблиця 10.6 - Вихідні дані для визначення ємності симетруючих конденсаторів та місце їх включення

№ варіанта	Коефіцієнти ємкісного зв'язку та асиметрії, пФ					
	K_1	K_2	K_3	e_1	e_2	e_3
1	-29	30	-35	24	30	28
2	-28	29	-34	25	28	27
3	-27	28	-33	23	28	29
4	-26	27	-29	19	27	30
5	-30	30	-28	20	31	31
6	-31	31	30	26	29	30
7	-32	26	31	23	28	26
8	-28	25	32	20	27	25
9	-30	28	26	27	31	27
10	-33	29	28	28	32	28

Контрольні запитання:

- 1 Правило вибору операторів схрещування.
- 2 Як проводиться обчислення коефіцієнтів зв'язку та ємнісної асиметрії при симетруванні схрещуванням.

Зміст звіту:

- 1 Тема та мета роботи
- 2 Вибір оператору схрещування (скласти таблицю)
- 3 Визначення ємності симетруючих конденсаторів та місце їх включення (скласти таблицю)
- 4 Контрольні запитання та відповіді на них (за вказівкою викладача)
- 5 Висновок

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

- 1 Гроднев Н. И. Линейные сооружения связи.- М.: Радио и связь, 1969.
- 2 Марков М.В., Михайлов А.Ф. Сети электросвязи на железнодорожном транспорте. М.: Транспорт, 1986.– 303 с.
- 4 Полехин С.И. Теория связи по проводам.- М.: Связь, 1969.
- 5 Шинаков Ю.С., Колодяжный Ю.Н. Теория передачи сигналов электросвязи.- М.: Радио и связь, 1989.

ЗМІСТ

- 1 Практична робота 1. Розрахунок двополісників
- 2 Практична робота 2. Визначення первинних і вторинних параметрів симетричних кабелів
- 3 Практична робота 3. Розрахунок параметрів коаксіальних кабелів
- 4 Практична робота 4. Побудова діаграми рівнів передачі
- 5 Практична робота 5. Розрахунок електричного фільтру НЧ типу «k»
- 6 Практична робота 6. Розрахунок електричного фільтру ВЧ типу «k»
- 7 Практична робота 7. Розрахунок смугового фільтру типу «k»
- 8 Практична робота 8. Розрахунок параметрів оптичних кабелів
- 9 Практична робота 9. Складання схеми схрещування дротів телефонних кіл ПЛП
- 10 Практична робота №10. Симетрування кабелів методом схрещування жил і методом конденсаторного симетрування

