

**ФАКУЛЬТЕТ АВТОМАТИКИ, ТЕЛЕМЕХАНІКИ ТА ЗВ'ЯЗКУ**

**Кафедра електротехніки та електричних машин**

**РОЗРАХУНОК ВУЗЛІВ ТРАКТУ ПЕРЕДАЧІ  
СИГНАЛІВ**

**ЗАВДАННЯ ТА МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ**

**до виконання розрахункової роботи**

**з дисципліни**

***«ЕЛЕКТРОТЕХНІКА ТА ЕЛЕКТРОМЕХАНІКА»***

**для студентів спеціальності**

**«АВТОМАТИКА ТА АВТОМАТИЗАЦІЯ НА ТРАНСПОРТІ»**

**денної форми навчання**

**Харків - 2014**

Методичні вказівки розглянуто і рекомендовано до друку на засіданні кафедри електротехніки і електричних машин 21 листопада 2012 р., протокол № 7.

Рекомендовано для студентів спеціальності «Автоматика та автоматизація на транспорті» денної форми навчання.

Укладачі:

доценти О.М. Ананьєва,  
М.Г. Давиденко,  
О.Є. Зінченко

Рецензент

проф. С.В. Кошевий

## РОЗРАХУНОК ВУЗЛІВ ТРАКТУ ПЕРЕДАЧІ СИГНАЛІВ

### ЗАВДАННЯ ТА МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до виконання розрахункової роботи  
з дисципліни

«ЕЛЕКТРОТЕХНІКА ТА ЕЛЕКТРОМЕХАНІКА»

для студентів спеціальності

«АВТОМАТИКА ТА АВТОМАТИЗАЦІЯ НА ТРАНСПОРТІ»  
денної форми навчання

Відповідальний за випуск Давиденко М.Г.

Редактор Еткало О.О.

---

Підписано до друку 29.01.13 р.

Формат паперу 60x84 1/16. Папір писальний.

Умовн.-друк.арк. 0,75. Тираж 50. Замовлення №

Видавець та виготовлювач Українська державна академія залізничного транспорту,  
61050, Харків-50, майдан Фейєрбаха, 7.  
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 2874 від 12.06.2007 р.

**Українська державна академія залізничного транспорту**

**Кафедра електротехніки та електричних машин**

**ЗАВДАННЯ ТА МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ**

**до виконання розрахункової роботи**

**«Розрахунок вузлів тракту передачі сигналів»**

**з дисципліни**

**«ЕЛЕКТРОТЕХНІКА ТА ЕЛЕКТРОМЕХАНІКА»**

**для студентів спеціальності**

**«АВТОМАТИКА ТА АВТОМАТИЗАЦІЯ НА ТРАНСПОРТІ»**

**денної форми навчання**

Харків 2013

Методичні вказівки розглянуто і рекомендовано до друку на засіданні кафедри електротехніки і електричних машин 21 листопада 2012 р., протокол № 7.

Укладачі:

доценти О.М. Ананьєва,

М.Г. Давиденко,

О.Є. Зінченко

Рецензент:

доц. С.В. Кошевий

## ЗМІСТ

1	Загальні методичні вказівки .....	4
2	Лінія зв'язку та фільтр як елементи тракту передачі сигналів...	5
3	Вибір частот для подальших розрахунків .....	6
4	Розрахунок частотних характеристик лінії зв'язку.....	7
4.1	Визначення величин первинних параметрів лінії .....	7
4.2	Розрахунок хвильового опору і коефіцієнта поширення лінії .....	7
4.3	Розрахунок А-параметрів лінії.....	9
5	Розрахунок фільтра.....	9
5.1	Вибір типу і схеми фільтра.....	10
5.2	Розрахунок елементів фільтра.....	10
5.2.1	Загальні рекомендації.....	10
5.2.2	Розрахунок фільтра нижніх частот.....	10
5.2.3	Розрахунок фільтра верхніх частот.....	12
5.2.4	Розрахунок смугово-пропускаючого фільтра .....	14
5.3	Розрахунок А-параметрів фільтра.....	16
5.4	Розрахунок вхідного опору фільтра з урахуванням навантаження.....	17
	Список літератури .....	18
	Додаток А. Величини первинних параметрів типових повітряних та кабельної ліній.....	19
	Додаток Б. Варіанти вихідних даних для розрахунку елементів тракту на базі повітряної або кабельної лінії.....	21

## 1 ЗАГАЛЬНІ МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

Кожен студент виконує розрахункову роботу згідно з номером варіанта, отриманим від викладача, який проводить з його групою практичні заняття з дисципліни «Електротехніка та електромеханіка». Вихідні дані до розрахунку наведені в додатках А, Б.

Усі розрахунки необхідно супроводжувати пояснювальним текстом, проміжні обчислення слід опустити. Скорочення числових значень та їх перекреслення після підстановки у формулу неприпустимі.

Текст розрахунково-пояснювальної записки повинен з достатньою повнотою відображати зміст роботи, щоб у суті роботи можна було розібратися без участі автора. У той же час текст повинен бути досить лаконічним. Пояснення у записці слід подавати у безособовій формі (наприклад, «... у формулу треба підставити») або від першої особи множини (наприклад, «... підставляємо у формулу...»).

Оформлення розрахункової роботи має відповідати вимогам ДСТУ 3008–95. Як методичний посібник з оформлення роботи рекомендуємо використовувати [1].

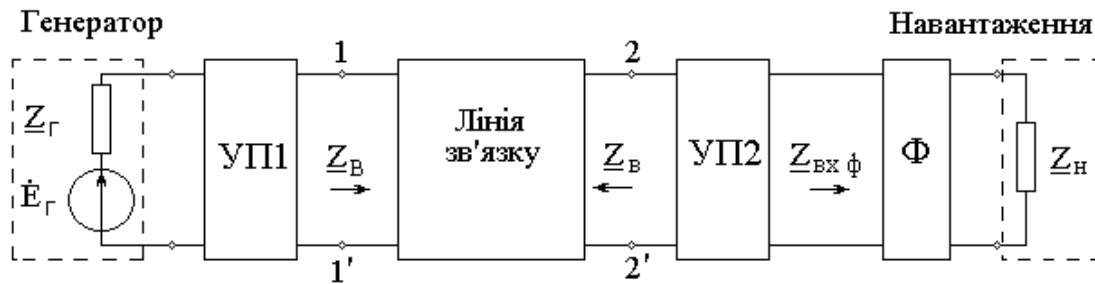
**Звертаємо вашу увагу на те, що розрахунково-пояснювальні записки, які повністю або частково є копіями вже існуючих літературних джерел або розрахунково-пояснювальних записок з даної роботи, виконаними будь-яким чином, розгляду за суттю та зарахуванню не підлягають.**

## 2 ЛІНІЯ ЗВ'ЯЗКУ ТА ФІЛЬТР ЯК ЕЛЕМЕНТИ ТРАКТУ ПЕРЕДАЧІ СИГНАЛІВ

Системи зв'язку дуже відрізняються одна від одної за структурою, схемами й технічним виконанням блоків та вузлів, що входять до їх складу. Те ж саме можна сказати й про системи автоматики й телемеханіки. Але обов'язковим компонентом цих систем або їх складових частин є тракт передачі сигналу — сукупність пристроїв, що забезпечують проходження електричного сигналу від передавача до приймача. Абстрагуючись від конкретних схем вищезгаданих систем указаний тракт майже завжди можна подати як каскадне (воно ж ланцюжкове) з'єднання кількох лінійних чотириполіусників (ЧП), які відображають собою типові вузли тракту. Це дає можливість використати для розрахунку тракту добре опрацьований апарат теорії лінійних ЧП.

Типовими вузлами тракту передачі є лінія зв'язку, якою сигнал поширюється з пункту передачі до пункту прийому, і електричний фільтр, який встановлюють у пункті прийому для відокремлення сигналів певного частотного діапазону у багатоканальних системах зв'язку, а також для приглушення електричних завад. До виходу фільтра підключають навантаження, яке у загальному випадку подають у вигляді еквівалентного опору навантаження  $Z_n$ . Здавалося б, для подачі сигналу у навантаження тепер досить підключити до входу лінії зв'язку передавач (генератор), а до її виходу — фільтр з навантаженням. Такий тракт, дійсно, буде працювати, але потужність сигналу у навантаженні буде, швидше за все, надто малою, бо досить імовірно, що хвильовий опір  $Z_v$  лінії зв'язку, з одного боку, не дорівнює внутрішньому опорі генератора  $Z_g$ , а з другого — не дорівнює вхідному опорі навантаженого фільтра  $Z_{вх\ \phi}$ . Тобто лінія як чотириполіусник може виявитися неузгодженою ані на вході, ані на виході, що, як відомо з теорії ЧП, призведе до неприйнятно великого робочого згасання тракту. Тому між генератором та лінією, а також між лінією та фільтром треба встановити спеціальні узгоджувальні пристрої. Звичайно (за винятком радіопристроїв) це узгоджувальні трансформатори.

Таким чином, структурна схема тракту передачі набуває вигляду, що показаний на рисунку 2.1.



УП1, УП2 – узгоджувальні пристрої; Ф – фільтр

Рисунок 2.1

Метою нашого подальшого розрахунку буде визначення низки частотних характеристик лінії зв'язку, а також розрахунок величин параметрів елементів фільтра і визначення його частотних характеристик.

### 3 ВИБІР ЧАСТОТ ДЛЯ ПОДАЛЬШИХ РОЗРАХУНКІВ

Кожна з частотних характеристик має бути розрахована на п'ятьох частотах, величини яких залежать від варіанта завдання (додаток Б). Рекомендуємо спочатку **ознайомитися з додатком Б**, після чого вибрати такі частоти для розрахунків:

- 1) якщо у тракт увімкнено фільтр верхніх частот, то  
 $f_1 = 0,1f_{cp1}; f_2 = 0,99f_{cp1}; f_3 = 1,1f_{cp1}; f_4 = 1,5f_{cp1}; f_5 = 2f_{cp1};$
- 2) якщо у тракт увімкнено фільтр нижніх частот, то  
 $f_1 = 0,1f_{cp2}; f_2 = 0,5f_{cp2}; f_3 = 0,99f_{cp2}; f_4 = 1,1f_{cp2}; f_5 = 2f_{cp2};$
- 3) якщо у тракт увімкнено смугово-пропускаючий фільтр, то  
 $f_1 = 0,1f_{cp1}; f_2 = 0,9f_{cp1} + 0,1f_{cp2}; f_3 = \sqrt{f_{cp1} \cdot f_{cp2}};$   
 $f_4 = 0,1f_{cp1} + 0,9f_{cp2}; f_5 = 2f_{cp2}.$



## 4 РОЗРАХУНОК ЧАСТОТНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЛІНІЇ ЗВ'ЯЗКУ

### 4.1 Визначення величин первинних параметрів лінії

У додатках А і Б наведені первинні параметри  $R_o, L_o, G_o, C_o$  ліній зв'язку деяких типів для декількох певних величин частот. Але частоти  $f_1, \dots, f_5$ , визначені у попередньому розділі, швидше за все не збігаються з цими величинами. Якщо частота, для якої визначаються первинні параметри, міститься **між двома частотами**, що задані у додатку А, то треба, строго кажучи, виконати інтерполяцію табличних даних, а якщо така частота міститься **поза діапазонами частот**, що задані у цих додатках, то треба виконати екстраполяцію табличних даних. Найпростіший (але не строгий) прийом інтерполяції - просто нанести табличні дані на графік, а потім з'єднати отримані точки плавною кривою, після чого дані для потрібних частот зчитуються з графіка. Для нестрокої екстраполяції достатньо плавно продовжити вказану криву до потрібної частоти і потім зчитати дані з графіка.

Графіки частотних залежностей первинних параметрів лінії (з урахуванням екстрапольованих точок) треба навести у розрахунково-пояснювальній записці.

### 4.2 Розрахунок хвильового опору і коефіцієнта поширення лінії

Для кожної частоти  $f_i$  ( $i$  – номер за чергою) з вибраних раніше частот треба обчислити величину хвильового опору лінії  $Z_{vi}$  за відомою формулою [2]

$$Z_{vi} = + \sqrt{\frac{R_{oi} + j2\pi f_i L_{oi}}{G_{oi} + j2\pi f_i C_{oi}}},$$

де  $R_{oi}, L_{oi}, G_{oi}, C_{oi}$  — величини первинних параметрів лінії на частоті  $f_i$ .

Обчислені комплексні величини  $\underline{Z}_{Vi}$  треба подати у експоненціальній формі як  $\underline{Z}_{Vi} = |\underline{Z}_{Vi}| \cdot e^{j\varphi_{Vi}}$ , де  $\varphi_{Vi}$  — аргумент комплексної величини  $\underline{Z}_{Vi}$ . За обчисленими точками треба побудувати графіки залежностей  $|\underline{Z}_B(f)|$  та  $\varphi_B(f)$ . Ці графіки мають бути включені до розрахунково-пояснювальної записки. Для контролю правильності розрахунків радимо зіставити побудовані графіки з типовими графіками, наведеними, наприклад, у [2].

Наступний крок — обчислення коефіцієнта поширення лінії на кожній з вибраних частот за відомою формулою [2]

$$\underline{\gamma}_i = \sqrt{R_{\omega} + j\omega L_{\omega} - G_{\omega} - j\omega C_{\omega}}$$

де  $\underline{\gamma}_i$  — величина коефіцієнта поширення на частоті  $f_i$ .

Обчислені комплексні величини  $\underline{\gamma}_i$  треба подати в алгебраїчній формі як

$$\underline{\gamma}_i = \alpha_i + j\beta_i,$$

де  $\alpha_i$  — кілометричний коефіцієнт згасання лінії у неперах на кілометр (Нп/км);  $\beta_i$  — кілометричний коефіцієнт фази лінії у радіанах на кілометр (рад/км). За обчисленими величинами треба побудувати графіки  $\alpha(f)$  та  $\beta(f)$ .

Ці графіки мають бути включені до розрахунково-пояснювальної записки. Для контролю правильності розрахунків радимо зіставити побудовані графіки з типовими графіками, наведеними, наприклад, у [2].

Обчислені величини  $|\underline{Z}_{Vi}|, \varphi_{Vi}, \alpha_i, \beta_i$  треба внести до розрахунково-пояснювальної записки у вигляді таблиці 4.1.

Таблиця 4.1

$f$ , кГц					
$ \underline{Z}_B $ , Ом					
$\Phi_B$ , рад					
$\alpha$ , Нп/км					
$\beta$ , рад/км					

### 4.3 Розрахунок А-параметрів лінії

Як відомо (див., наприклад [2]), лінію, що має певну довжину  $\ell$ , можна розглядати як чотирьополіусник, А-параметри якого залежать від хвильового опору  $\underline{Z}_B$  і коефіцієнта поширення  $\underline{\gamma}$  таким чином:

$$\left. \begin{aligned} \underline{A} &= \underline{D} = \text{ch } \underline{\gamma} \ell \\ \underline{B} &= \underline{Z}_B \cdot \text{sh } \underline{\gamma} \ell \\ \underline{C} &= (\text{sh } \underline{\gamma} \ell) / \underline{Z}_B \end{aligned} \right\} \quad (4.1)$$

Слід звернути увагу на те, що розрахунки згідно з формулами (4.1) потребують обчислення гіперболічних синуса та косинуса комплексного аргумента  $\underline{\gamma} \ell = \alpha \ell + j\beta \ell$ , тоді як інженерні калькулятори і більшість мов програмування мають як вбудовані функції лише гіперболічні синус та косинус дійсного аргументу. Тому раціонально використати формули:

$$\begin{aligned} \text{ch } \underline{\gamma} \ell &= \text{ch } \alpha \ell \cdot \cos \beta \ell + j \text{sh } \alpha \ell \cdot \sin \beta \ell; \\ \text{sh } \underline{\gamma} \ell &= \text{sh } \alpha \ell \cdot \cos \beta \ell + j \text{ch } \alpha \ell \cdot \sin \beta \ell, \end{aligned}$$

у яких добутки  $\alpha \ell$  та  $\beta \ell$  є дійсними числами.

Обчислені комплексні величини А-параметрів треба подати у експоненціальній формі і внести до розрахунково-пояснювальної записки у вигляді таблиці 4.2.

Таблиця 4.2

$f$ , Гц					
$\underline{A} = \underline{D}$					
$\underline{B}$ , Ом					
$\underline{C}$ , См					

## 5 РОЗРАХУНОК ФІЛЬТРА

### 5.1 Вибір типу і схеми фільтра

У цій курсовій фільтр, який треба розрахувати, ввімкнено у кінці тракту безпосередньо перед навантаженням (рисунок 2.1.). Це LC-фільтр типу **К**.

Вид фільтра (фільтр нижніх частот – ФНЧ, фільтр верхніх частот – ФВЧ, або смугово-пропускаючий фільтр – СПФ), а також вид його схеми (Т-подібна чи П-подібна) залежать від номера варіанта завдання і вказані у додатку Б.

### 5.2 Розрахунок елементів фільтра

#### 5.2.1 Загальні рекомендації

У цій курсовій роботі треба обчислити величини ємностей та індуктивностей відповідно ідеальних конденсаторів та котушок, з яких складено фільтр. Ці величини визначимо за заданими опором навантаження та частотою зрізу.

Зміст даного підрозділу розрахунково-пояснювальної записки мають складати схема фільтра та детальний розрахунок параметрів його елементів.

#### 5.2.2 Розрахунок фільтра нижніх частот

На рисунку 5.1 наведено електричні принципи схеми фільтра нижніх частот (ФНЧ) типу **К** (*a* – Т-подібна, *б* – П-подібна).

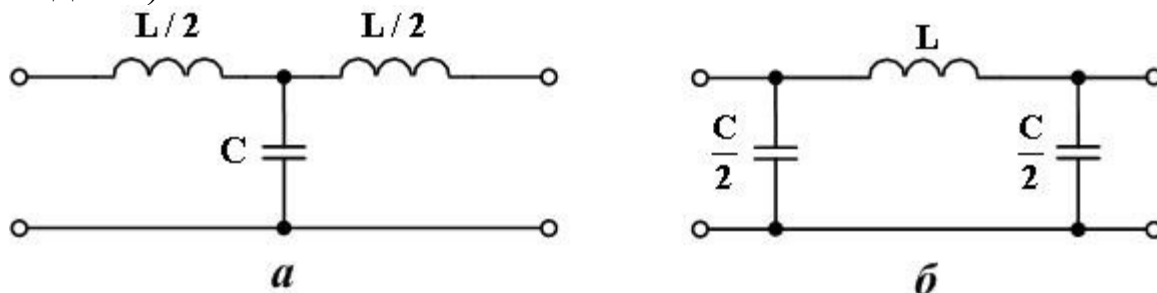


Рисунок 5.1

За заданими опором навантаження  $R_H$  та частотою зрізу  $f_{cp}$  величини параметрів  $L$  та  $C$  обчислюють за такими формулами [2]:

$$L = \frac{2R_H}{\omega_{cp}} ;$$

$$C = \frac{2}{\omega_{cp} R_H} ,$$

де  $\omega_{cp} = 2\pi f_{cp}$ .

Характеристичний опір фільтра з Т-подібною схемою обчислюють за формулою

$$\underline{Z}_{\text{хтк}} = \rho \cdot \sqrt{1 - \Omega^2} ,$$

де  $\rho = R_H$ ;

$\Omega = \omega / \omega_{cp}$  – нормована частота.

Характеристичний опір фільтра з П-подібною схемою обчислюють за формулою

$$\underline{Z}_{\text{хтк}} = \frac{\rho}{\sqrt{1 - \Omega^2}} .$$

Власне згасання в **смузі затримування** ФНЧ типу К незалежно від вигляду схеми обчислюють за формулою

$$a_c = \text{arch}|1 - 2\Omega^2|$$

(одиницею вимірювання результату буде непер).

У **смузі пропускання** власне згасання тотожно дорівнює нулю.

Власний коефіцієнт фази ФНЧ типу К незалежно від вигляду схеми обчислюють за формулами:

$$e_c(\omega) = \begin{cases} \text{arc cos}(1 - 2\Omega^2), & \text{якщо } 0 \leq \Omega \leq 1 \text{ (смуга пропускання)}; \\ \pi, & \text{якщо } \Omega > 1 \text{ (смуга затримування)}. \end{cases}$$

Результати обчислення власних параметрів фільтра слід занести до таблиці, накресленої за зразком таблиці 5.1. Для всіх включених у цю таблицю величин слід побудувати графіки частотних залежностей (для  $Z_x$  будують частотну залежність його модуля).

Таблиця 5.1

$f$ , Гц					
$a_c$ , Нп					
$\nu_c$ , рад					
$Z_x$ , Ом					

### 5.2.3 Розрахунок фільтра верхніх частот

На рисунку 5.2 наведено електричні принципові схеми фільтра верхніх частот (ФВЧ) типу  $K$  ( $a$  – Т-подібна,  $b$  – П-подібна).

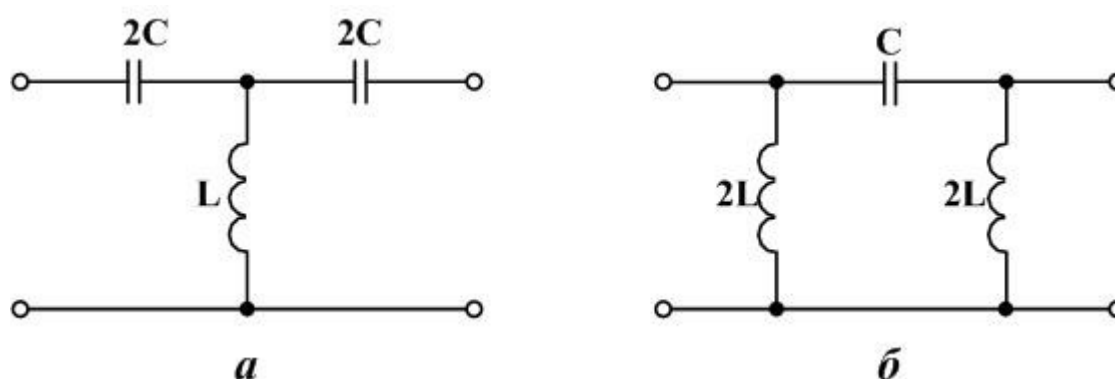


Рисунок 5.2

За заданими опором навантаження  $R_H$  та частотою зрізу  $f_{cp}$  величини параметрів  $L$  та  $C$  обчислюють за такими формулами [2]:

$$L = \frac{R_H}{2\omega_{cp}} \quad ;$$

$$C = \frac{1}{2\omega_{cp} \cdot R_H} \quad ,$$

де  $\omega_{cp} = 2\pi f_{cp}$ .

Характеристичний опір фільтра з Т-подібною схемою обчислюють за формулою

$$\underline{Z}_{\text{ХТК}} = \rho \cdot \sqrt{1 - \frac{1}{\Omega^2}},$$

де  $\rho = R_H$ ;

$\Omega = \omega / \omega_{\text{ср}}$  – нормована частота.

Характеристичний опір фільтра з П-подібною схемою обчислюють за формулою

$$\underline{Z}_{\text{ХПК}} = \frac{\rho}{\sqrt{1 - \frac{1}{\Omega^2}}}.$$

Власне згасання в **смузі затримування** ФВЧ типу **K** незалежно від вигляду схеми обчислюють за формулою

$$a_c = \text{arch} \left| 1 - \frac{2}{\Omega^2} \right|$$

(одиницею вимірювання буде непер).

У **смузі пропускання** власне згасання тотожно дорівнює нулю.

Власний коефіцієнт фази ФВЧ типу **K** незалежно від вигляду схеми обчислюють за формулами

$$a_c(\Omega) = \begin{cases} -\pi, & \text{якщо } 0 \leq \Omega < 1 \text{ (смуга затримування);} \\ \text{arccos} \left( 1 - \frac{2}{\Omega^2} \right), & \text{якщо } \Omega \geq 1 \text{ (смуга пропускання).} \end{cases}$$

Результати обчислення власних параметрів фільтра слід занести до таблиці, накресленої за зразком таблиці 5.1. Для всіх включених у цю таблицю величин слід побудувати графіки частотних залежностей (для  $\underline{Z}_x$  будують частотну залежність його модуля).

#### 5.2.4 Розрахунок смугово-пропускаючого фільтра

На рисунку 5.3 наведено електричні принципові схеми фільтра верхніх частот (СПФ) типу **K** (**a** – Т-подібна, **б** – П-подібна).

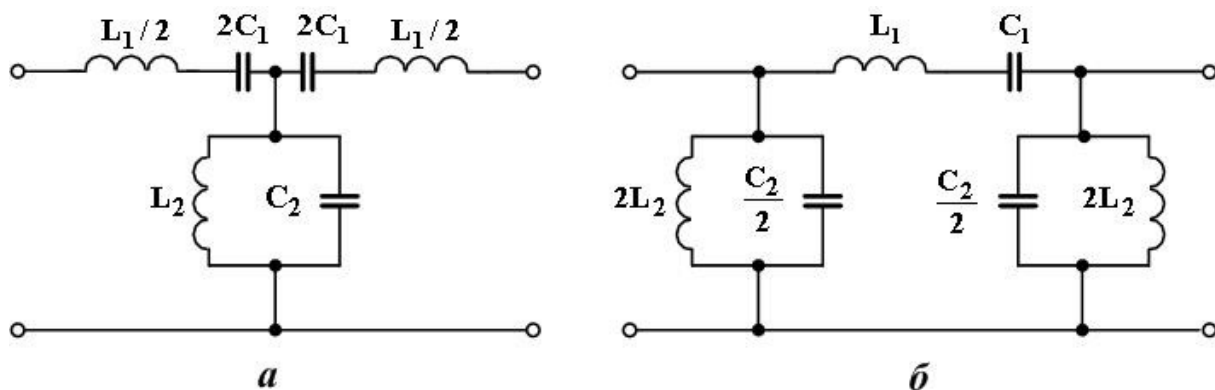


Рисунок 5.3

За заданими опором навантаження  $R_H$  і частотами зрізу  $f_{cp1}$  та  $f_{cp2}$  величини параметрів  $L_1$ ,  $L_2$  та  $C_1$ ,  $C_2$  обчислюють за такими формулами [2]:

$$L_1 = \frac{2R_H}{\omega_{cp2} - \omega_{cp1}};$$

$$C_1 = \frac{\omega_{cp2} - \omega_{cp1}}{2R_H \cdot \omega_{cp1} \cdot \omega_{cp2}};$$

$$C_2 = \frac{2}{R_H \cdot (\omega_{cp2} - \omega_{cp1})};$$

$$L_2 = L_1 C_1 / C_2 ,$$

де  $\omega_{cp1} = 2\pi f_{cp1}$  ;

$\omega_{cp2} = 2\pi f_{cp2}$  .

Характеристичний опір фільтра з Т-подібною схемою обчислюють за формулою

$$Z_{xmk} = \rho \cdot \sqrt{1 - d^2 \left( \Omega - \frac{1}{\Omega} \right)^2} ,$$

де  $\rho = R_H$  ;

$$d = \omega_0 / (\omega_{cp2} - \omega_{cp1}) ;$$

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{L_1 C_1}} = \frac{1}{\sqrt{L_2 C_2}} ;$$



$\Omega = \omega / \omega_0$  – нормована частота.

Характеристичний опір фільтра з П-подібною схемою обчислюють за формулою

$$\underline{Z}_{\text{хнк}} = \rho / \sqrt{1 - d^2 \left( \Omega - \frac{1}{\Omega} \right)^2} .$$

Власне згасання СПФ типу **K** незалежно від вигляду схеми обчислюють за формулами:

$$\alpha_c(\omega) = \begin{cases} 0, & \text{якщо } \omega_{\text{ср1}} \leq \omega \leq \omega_{\text{ср2}}, \\ \arcsin \left| 1 - 2d^2 \cdot \left( \frac{\omega}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega} \right)^2 \right|, & \text{для всіх інших частот.} \end{cases}$$

Власний коефіцієнт фази СПФ типу **K** незалежно від вигляду схеми обчислюють за формулами:

$$\theta_c(\omega) = \begin{cases} -\pi & , \text{якщо } \omega < \omega_{\text{ср1}}, \\ 2 \arcsin \left[ d \left( \frac{\omega}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega} \right) \right] & , \text{якщо } \omega_{\text{ср1}} \leq \omega \leq \omega_{\text{ср2}}, \\ \pi & , \text{якщо } \omega > \omega_{\text{ср2}}. \end{cases}$$

Результати обчислення власних параметрів фільтра слід занести до таблиці, накресленої за зразком таблиці 5.1. Для всіх включених у цю таблицю величин слід побудувати графіки частотних залежностей (для  $\underline{Z}_x$  будують частотну залежність його модуля).

### 5.3 Розрахунок А-параметрів фільтра

Після обчислення параметрів елементів фільтра стає можливим обчислити також його А-параметри на будь-якій частоті. Величини цих параметрів стануть у нагоді при розрахунку вхідного опору фільтра з урахуванням навантаження. Розглянемо узагальнені схеми симетричних Т- та П-подібного чотириполісників (відповідно рисунки 5.4 та 5.5).



Рисунок 5.4

Рисунок 5.5

Як відомо з теорії чотириполюсників, величини А-параметрів симетричного Т-подібного ЧП можна обчислити за такими формулами:

$$\underline{\mathbf{A}} = \underline{\mathbf{D}} = \mathbf{1} + \frac{\underline{\mathbf{Z}}_e}{\underline{\mathbf{Z}}_a};$$

$$\underline{\mathbf{B}} = 2\underline{\mathbf{Z}}_e + \frac{\underline{\mathbf{Z}}_e^2}{\underline{\mathbf{Z}}_a};$$

$$\underline{\mathbf{C}} = \frac{\mathbf{1}}{\underline{\mathbf{Z}}_a}.$$

Величини А-параметрів симетричного П-подібного ЧП можна обчислити за такими формулами:

$$\underline{\mathbf{A}} = \underline{\mathbf{D}} = \mathbf{1} + \frac{\underline{\mathbf{Z}}_e}{\underline{\mathbf{Z}}_a};$$

$$\underline{\mathbf{B}} = \underline{\mathbf{Z}}_e;$$

$$\underline{\mathbf{C}} = \frac{\mathbf{2}}{\underline{\mathbf{Z}}_a} + \frac{\underline{\mathbf{Z}}_e}{\underline{\mathbf{Z}}_a^2}.$$

Потрібні для розрахунку А-параметрів опори  $\underline{\mathbf{Z}}_a$  і  $\underline{\mathbf{Z}}_e$  визначаються побудовою вертикальних та горизонтальних віток схеми фільтра і величинами параметрів елементів цих віток. Результати розрахунку А-параметрів фільтра для всіх визначених у розділі 3 частот треба звести у таблицю, форма якої повністю повторює форму таблиці 4.2, при цьому величини А-параметрів як комплексні числа мають бути подані в експоненціальній формі.

#### **5.4 Розрахунок вхідного опору фільтра з урахуванням навантаження**

Вхідний опір фільтра  $\underline{Z}_{\text{вх } \phi}$ , до вторинних затискачів якого підключено навантаження з еквівалентним опором  $\underline{Z}_{\text{н}}$ , розраховують за відомою з теорії лінійних чотириполосників формулою

$$\underline{Z}_{\text{вх } \phi} = \frac{\underline{A} \underline{Z}_{\text{н}} + \underline{B}}{\underline{C} \underline{Z}_{\text{н}} + \underline{D}}$$

У даній розрахунковій роботі опір навантаження  $\mathbf{R}_{\text{н}}$  суто активний, тому у останній формулі слід покласти  $\underline{Z}_{\text{н}} = \mathbf{R}_{\text{н}}$ . Величину  $\underline{Z}_{\text{вх } \phi}$  треба обчислити на кожній з частот, визначених у розділі 3; результати розрахунку слід звести у таблицю 5.2, при цьому величини  $\underline{Z}_{\text{вх } \phi}$  як комплексні числа мають бути подані в експоненціальній формі.

Таблиця 5.2

$f, \text{ Гц}$					
$\underline{Z}_{\text{вх } \phi}, \text{ Ом}$					

За даними таблиць 5.1 та 5.2 треба побудувати в одних координатних осях графіки залежностей  $|\underline{Z}_{\text{х}}(f)|$  та  $|\underline{Z}_{\text{вх } \phi}(f)|$  і включити їх до розрахунково-пояснювальної записки. Звертаємо вашу увагу на те, що, як відомо з теорії фільтрів типу  $K$ , величина  $\underline{Z}_{\text{х}}$  на частоті (частотах) зрізу або дорівнює нулю, або спрямовується до нескінченості, відповідно до того, чи виконаний фільтр за Т- або за П-подібною схемою.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1 Коновалов, Є.В. Студентська навчальна звітність. Текстова частина (пояснювальна записка). Загальні вимоги до побудови, викладення та оформлення [Текст] / Є.В.Коновалов, Л.М. Козар. – Харків: УкрДАЗТ, 2005. – 38 с.

2 Електротехніка та електромеханіка систем залізничної автоматики [Текст] / М.М.Бабаєв, М.Г.Давиденко, Г.І.Загарій [та ін.]. – Харків: УкрДАЗТ, 2011. – 608 с.

## ДОДАТОК А

### Величини первинних параметрів типових повітряних та кабельної ліній

Таблиця А.1.

Вид лінії та погонні параметри		Частота, кГц				
		2	5	10	20	40
Активний опір $R_0$ , Ом/км	Кабельна лінія	32,1	33,25	34,55	37,7	44,9
	Повітряна сталева	68,4	96,4	134,2	187,7	255
	Повітряна мідяна	3,02	3,72	4,98	6,74	9,1
Індуктивність, $L_0$ , мГн/км	Кабельна лінія	0,824	0,824	0,823	0,821	0,815
	Повітряна сталева	6,5	5,0	3,86	3,2	2,8
	Повітряна мідяна	1,936	1,934	1,920	1,881	1,868
Провідність ізоляції $G_0$ , мкСм/км	Кабельна лінія	1,5	4,1	9,0	20,8	51,5
	Повітряна сталева	1,0	1,75	3,0	5,5	11,5
	Повітряна мідяна	1,0	1,75	3,0	5,5	11,5
Ємність $C_0$ , нФ/км	Кабельна лінія	26,5				
	Повітряна сталева	6				
	Повітряна мідяна	6				

## ДОДАТОК Б

Варіанти вихідних даних для розрахунку елементів тракту на базі повітряної або кабельної лінії\*)

Таблиця Б.1

Варі - ант	Вид лінії	Довжина лінії, км	Вид фільтра	Опір навантаження, Ом	$f_{cp1}$ , кГц	$f_{cp2}$ , кГц	Опір генератора, Ом
1	2	3	4	5	6	7	8
1	ст	50	НЧ,П	380	-	2	250
2	мд	270	НЧ,Т	390	-	3	255
3	кб	2,5	НЧ,П	400	-	4	260
4	ст	49	ВЧ,Т	410	5	-	265
5	мд	280	ВЧ,П	420	6	-	270
6	кб	2,6	ВЧ,Т	430	7	-	275
7	ст	49	СПФ,П	440	2	5	280
8	мд	290	СПФ,Т	450	3	6	290
9	кб	2,7	СПФ,П	460	4	7	295
10	ст	48	НЧ,Т	470	-	8	300
11	мд	300	НЧ,П	480	-	9	305
12	кб	2,6	НЧ,Т	490	-	10	310
13	ст	47	ВЧ,П	500	8	-	315
14	мд	310	ВЧ,Т	510	9	-	320
15	кб	2,5	ВЧ,П	520	10	-	325
16	ст	46	СПФ,Т	530	6	8	330
17	мд	320	СПФ,П	540	7	9	335
18	кб	2,4	СПФ,Т	550	8	10	340
19	ст	45	НЧ,П	560	-	11	345
20	мд	330	НЧ,Т	570	-	12	350
21	кб	2,3	НЧ,П	580	-	13	355
22	ст	44	ВЧ,Т	590	14	-	360
23	мд	340	ВЧ,П	600	15	-	365
24	кб	2,2	ВЧ,Т	610	16	-	370
25	ст	43	СПФ,П	620	11	14	375
26	мд	350	СПФ,Т	630	12	15	380
27	кб	2,1	СПФ,П	640	13	16	385
28	ст	42	НЧ,Т	650	-	17	390
29	мд	360	НЧ,П	660	-	18	400
30	кб	2,0	НЧ,Т	670	-	19	405
31	ст	41	ВЧ,П	680	17	-	410

## Продовження таблиці Б.1

1	2	3	4	5	6	7	8
32	мд	370	ВЧ,Т	690	18	-	415
33	кб	1,9	ВЧ,П	700	19	-	420
34	ст	40	СПФ,Т	710	17	20	425
35	мд	380	СПФ,П	720	18	21	430
36	кб	1,8	СПФ,Т	730	19	22	435
37	ст	39	НЧ,П	740	-	20	440
38	мд	390	НЧ,Т	750	-	21	445
39	кб	1,7	НЧ,П	760	-	22	450
40	ст	38	ВЧ,Т	770	20	-	455
41	мд	400	ВЧ,П	780	21	-	460
42	кб	1,8	ВЧ,Т	790	22	-	465
43	ст	37	СПФ,П	800	20	23	470
44	мд	410	СПФ,Т	810	21	24	475
45	кб	1,6	СПФ,П	820	22	25	480
46	ст	36	НЧ,Т	830	-	23	485
47	мд	420	НЧ,П	840	-	24	490
48	кб	1,5	НЧ,Т	850	-	25	495
49	ст	35	ВЧ,П	860	23	-	500
50	мд	430	ВЧ,Т	870	24	-	505
51	кб	2,6	ВЧ,П	380	25	-	510
52	ст	34	СПФ,Т	390	23	26	515
53	мд	260	СПФ,П	400	24	27	520
54	кб	2,7	СПФ,Т	410	25	28	525
55	ст	33	НЧ,П	420	-	26	530
56	мд	250	НЧ,Т	430	-	27	535
57	кб	2,8	НЧ,П	440	-	28	540
58	ст	32	ВЧ,Т	450	26	-	545
59	мд	240	ВЧ,П	460	27	-	550
60	кб	2,9	ВЧ,Т	470	28	-	555
61	ст	31	СПФ,П	480	26	29	560
62	мд	230	СПФ,Т	490	27	30	565
63	кб	3,0	СПФ,П	500	28	31	570
64	ст	30	НЧ,Т	510	-	29	575
65	мд	220	НЧ,П	520	-	30	580
66	кб	3,1	НЧ,Т	530	-	31	585
67	ст	29	ВЧ,П	540	29	-	590
68	мд	210	ВЧ,Т	550	30	-	595
69	кб	3,2	ВЧ,П	560	31	-	600

Продовження таблиці Б.1

1	2	3	4	5	6	7	8
70	ст	28	СПФ,Т	570	29	32	605
71	мд	200	СПФ,П	580	30	33	610
72	кб	3,3	СПФ,Т	590	31	34	615
73	ст	27	НЧ,П	600	-	32	620
74	мд	190	НЧ,Т	610	-	33	625
75	кб	3,4	НЧ,П	620	-	34	630
76	ст	26	ВЧ,Т	630	32	-	635
77	мд	180	ВЧ,П	640	33	-	640
78	кб	3,5	ВЧ,Т	650	34	-	645
79	ст	25	СПФ,П	660	33	35	650
80	мд	170	СПФ,Т	670	34	36	655
81	кб	3,6	СПФ,П	680	35	37	660
82	ст	24	НЧ,Т	690	-	35	665
83	мд	160	НЧ,П	700	-	36	670
84	кб	3,7	НЧ,Т	710	-	37	675
85	ст	23	ВЧ,П	720	35	-	680
86	мд	150	ВЧ,Т	730	36	-	685
87	кб	3,8	ВЧ,П	740	37	-	690
88	ст	22	СПФ,Т	750	35	38	695
89	мд	140	СПФ,П	760	36	39	700
90	кб	3,9	СПФ,Т	770	37	40	705
91	ст	21	НЧ,П	780	-	38	710
92	мд	130	НЧ,Т	790	-	39	715
93	кб	4,0	НЧ,П	800	-	40	720
94	ст	20	ВЧ,Т	810	38	-	725
95	мд	120	ВЧ,П	820	39	-	730
96	кб	4,1	ВЧ,Т	830	40	-	735
97	ст	19	СПФ,П	840	35	39	740
98	мд	110	СПФ,Т	850	36	40	745
99	кб	4,2	СПФ,П	860	38	40	750
100	ст	18	НЧ,Т	870	-	25	755

\*) Прийняті скорочення: **ст** – повітряна лінія зі сталевими проводами; **мд** – повітряна лінія з біметалевими проводами; **кб** – кабельна лінія.

Позначки “**П**” та “**Т**” у графі “Вид фільтра” означають необхідність розрахунку фільтра відповідно з П- або Т-подібною схемою.

