

ФАКУЛЬТЕТ АВТОМАТИКИ, ТЕЛЕМЕХАНІКИ ТА ЗВ'ЯЗКУ

Кафедра електротехніки та електричних машин

РОЗРАХУНОК ТРАКТУ ПЕРЕДАЧІ СИГНАЛІВ

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до виконання курсової роботи

з дисципліни

«ЕЛЕКТРОТЕХНІКА ТА ЕЛЕКТРОМЕХАНІКА»

для студентів спеціальності

«Автоматика та автоматизація на транспорті»

всіх форм навчання

Харків - 2013

Методичні вказівки розглянуто і рекомендовано до друку на засіданні кафедри електротехніки і електричних машин 22 грудня 2011 р., протокол № 6.

Укладачі:

доценти М.Г. Давиденко,
О.М. Ананьєва

Рецензент

доц. В.П. Мороз

РОЗРАХУНОК ТРАКТУ ПЕРЕДАЧІ СИГНАЛІВ

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
до виконання курсової роботи
з дисципліни

«ЕЛЕКТРОТЕХНІКА ТА ЕЛЕКТРОМЕХАНІКА»

для студентів спеціальності
«Автоматика та автоматизація на транспорті»
всіх форм навчання

Відповідальний за випуск Давиденко М.Г.

Редактор Решетилова В.В.

Підписано до друку 20.02.12 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 і електричних машин

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до виконання курсової роботи на тему
«РОЗРАХУНОК ТРАКТУ ПЕРЕДАЧІ СИГНАЛІВ»
з дисципліни
«ЕЛЕКТРОТЕХНІКА ТА ЕЛЕКТРОМЕХАНІКА»

для студентів спеціальності
«Автоматика та автоматизація на транспорті»
всіх форм навчання

Харків 2012

Методичні вказівки розглянуто і рекомендовано до друку на засіданні кафедри
«Електротехніка і електричні машини» 22.12.2011 р., протокол № 6.

Укладачі:
доценти М.Г. Давиденко,
О.М. Ананьєва

Рецензент
доц. В.П. Мороз

ЗМІСТ

ВСТУП.....	4
1 ЗАГАЛЬНІ ВИМОГИ ДО ВИКОНАННЯ РОБОТИ.....	4
2 СТРУКТУРА ТРАКТУ ПЕРЕДАЧІ СИГНАЛІВ. ВИБІР ЧАСТОТ ДЛЯ ПОДАЛЬШИХ РОЗРАХУНКІВ.....	5
3 РОЗРАХУНОК ЧАСТОТНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЛІНІЇ ЗВ'ЯЗКУ.....	8
3.1 Визначення величин первинних параметрів лінії.....	8
3.2 Розрахунок хвильового опору і коефіцієнта поширення лінії.....	8
3.3 Розрахунок А-параметрів лінії.....	10
4 РОЗРАХУНОК ФІЛЬТРА.....	11
4.1 Розрахунок елементів фільтра.....	11
4.2 Розрахунок власних параметрів та А-параметрів фільтра.....	11
4.3 Розрахунок вхідного опору фільтра з урахуванням навантаження.....	13
5 РОЗРАХУНОК УЗГОДЖУЮЧИХ ТРАНСФОРМАТОРІВ.....	14
5.1 Методика розрахунку А-параметрів і згасання передачі трансформатора.....	14
5.2 Розрахунок вхідного узгоджувачого трансформатора.....	18
5.3 Розрахунок вихідного узгоджувачого трансформатора.....	19
6 РОЗРАХУНОК ЧАСТОТНОЇ ЗАЛЕЖНОСТІ РОБОЧОГО ЗГАСАННЯ ТРАКТУ ПЕРЕДАЧІ.....	19
6.1 Методика виконання розрахунку.....	19
6.2 Визначення величин параметрів узагальненого чотириполюсника.....	21
6.3 Розрахунок робочого згасання тракту.....	22
7 ВИЗНАЧЕННЯ ПОТУЖНОСТІ ГЕНЕРАТОРА.....	23
ЗАКІНЧЕННЯ.....	24
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ.....	25
ДОДАТОК А Величини первинних параметрів типових повітряних та кабельної лінії.....	26
ДОДАТОК Б Варіанти вихідних даних.....	27

ВСТУП

Метою виконання даної курсової роботи є:

а) закріпити теоретичні відомості з розділів «Довгі лінії», «Чотириполюсники», «Електричні фільтри», «Трансформатори» електротехніки та електромеханіки;

б) ознайомитися з методиками розрахунку як параметрів окремих вузлів тракту, так і параметрів тракту як єдиної системи;

в) навчитися аналізувати взаємодію вузлів, що складають тракт передачі сигналів, а також вплив параметрів окремих вузлів на параметри тракту у цілому;

г) навчитися застосуванню математичного та понятійного апаратів електротехніки та електромеханіки для розв'язання практичних задач.

У кожному з розділів 2–7 даних методичних вказівок наведено відомості, необхідні для виконання розрахунку відповідного вузла тракту передачі сигналів. Список літератури містить джерела, сукупність яких є мінімально необхідною та достатньою для виконання даної курсової роботи; більш детальний перелік наведено в підручнику [2].

1 ЗАГАЛЬНІ ВИМОГИ ДО ВИКОНАННЯ РОБОТИ

За результатами виконання курсової роботи необхідно оформити розрахунково-пояснювальну записку, яка повинна містити:

а) завдання з вихідними даними;

б) зміст;

в) короткий опис тракту передачі, що підлягає розрахунку, його призначення, структури, вузлів;

г) основний пояснювальний текст з рисунками, таблицями, поділений на озаглавлені розділи та підрозділи;

д) закінчення з висновками по результатах роботи;

е) (при необхідності) додаток з текстами комп'ютерних програм, використаних для виконання розрахунків;

ж) список літератури.

Основна частина розрахунково-пояснювальної записки повинна містити необхідні для розрахунку теоретичні відомості, обґрунтування прийнятих рішень, необхідні формули з поясненням усіх літер, що у них входять, та з вказанням розмірностей результатів. Основна частина записки повинна також містити результати розрахунків у вигляді окремих чисел, таблиць, рисунків. При поданні результатів для кількох числових значень деякої змінної (наприклад, частоти) слід навести розрахункову формулу та результат підстановки до неї вихідних даних для першого значення змінної, після цього навести числове значення результату. Наводити в тексті розрахунки для інших значень цієї змінної не слід, необхідно лише вказати, до якої таблиці занесені кінцеві результати цих розрахунків.

Кожен розрахунок необхідно супроводжувати пояснювальним текстом, проміжні обчислення слід опустити, однак 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 курсової роботи має відповідати вимогам ГОСТ 2.105–95 та ДСТУ 3008–95. Як довідник з оформлення роботи рекомендуємо використовувати навчальний посібник [1].

2 СТРУКТУРА ТРАКТУ ПЕРЕДАЧІ СИГНАЛІВ. ВИБІР ЧАСТОТ ДЛЯ ПОДАЛЬШИХ РОЗРАХУНКІВ

Системи зв'язку дуже відрізняються одна від одної за структурою, схемами та технічним виконанням блоків та вузлів, що входять до їх складу. Те ж саме можна сказати й про системи автоматики та 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, вказаний 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 підмикають навантаження, яке у загальному випадку подають у вигляді еквівалентного опору навантаження $Z_{\text{н}}$. Здавалося б, для подачі сигналу у навантаження тепер досить підімкнути 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, скоріш за усе, надто малою, бо досить ймовірно, що хвильовий опір $Z_{\text{в}}$ лінії зв'язку, з одного боку, не дорівнює внутрішньому опорі генератора $Z_{\text{г}}$, а з другого боку — не дорівнює вхідному опорі навантаженого фільтра $Z_{\text{вх ф}}$. Тобто лінія як чотириполіусник (ЧП) 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 узгоджуючі пристрої. Звичайно (за винятком радіопристроїв) це узгоджуючі трансформатори.

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

Подальший розрахунок полягатиме, переважно, у визначенні А-параметрів ЧП, що складають тракт передачі, і у наступному обчисленні А-параметрів тракту у цілому як узагальненого ЧП, що утворений внаслідок каскадного з'єднання ЧП, які показані на рисунку 2.1. Після цього можна оцінити здатність тракту до передачі сигналу, обчисливши робоче згасання узагальненого ЧП. Паралельно з цим основним розрахунком ми також будемо розраховувати частотні

характеристики усіх каскадів тракту, щоб наприкінці зіставити їх частотні властивості із частотними властивостями тракту у цілому.

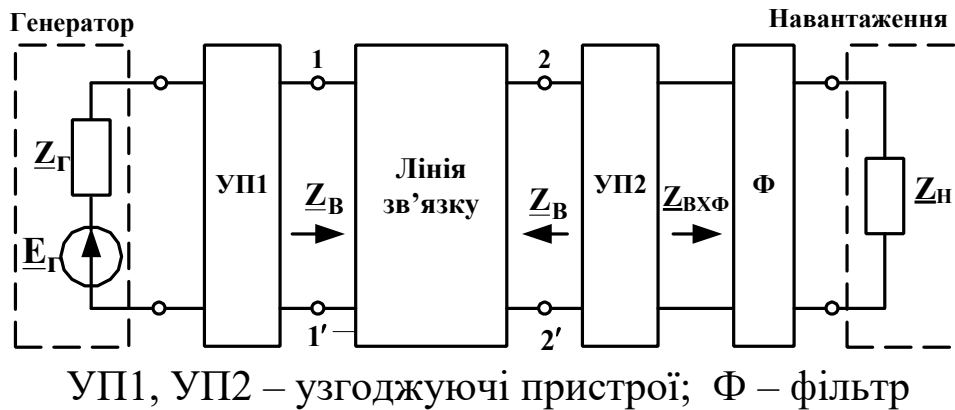


Рисунок 2.1

Кожна з частотних характеристик має бути розрахована щонайменше на п'ятьох частотах, величини яких залежать від варіанта завдання (додаток Б). Кількість частот визначає керівник курсової роботи. Якщо цих частот п'ять, то за даними додатка Б рекомендуємо вибрати їх такими:

1) якщо у тракт включено 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 включено 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 включено смугово-пропускаючий фільтр, то

$$f_1 = 0,1f_{cp1}; f_2 = 0,9f_{cp1} + 0,1f_{cp2}; f_3 = \sqrt{f_{cp1} \cdot f_{cp2}};$$

$$f_4 = 0,1f_{cp1} + 0,9f_{cp2}; f_5 = 2f_{cp2}.$$

Якщо частот більше ніж п'ять, то рекомендуємо перші п'ять вибрати так, як вказано вище, а інші рівномірно розташувати у проміжках між ними так, щоб жодна з них не сбігалася з f_{cp1} або f_{cp2} .

3 РОЗРАХУНОК ЧАСТОТНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЛІНІЇ ЗВ'ЯЗКУ

3.1 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, скоріше за все, не збігаються з цими величинами. Якщо частота, для якої визначаються первинні параметри, знаходиться **між двома частотами**, що задані у додатку А, то треба, строго кажучи, виконати інтерполяцію табличних даних, а якщо така частота знаходиться **поза діапазоном 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 нестрогої 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.

3.2 Розрахунок хвильового опору і коефіцієнта поширення лінії

Для кожної з вибраних f_i частот треба обчислити величину хвильового опору лінії Z_{vi} за відомою формулою

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

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 φ_{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 розрахунків радимо зіставити побудовані графіки з типовими графіками, наведеними, наприклад, у підручнику [2].

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

$$\underline{\gamma}_i = \sqrt{(R_w + j\omega L_w) \cdot (G_w + j\omega C_w)}$$

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 α_i — кілометричний коефіцієнт згасання лінії у неперах на кілометр (Нп/км); β_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 розрахунків радимо зіставити побудовані графіки з типовими графіками, наведеними, наприклад, в підручнику [2].

Обчислені величини $|\underline{Z}_{Vi}|, \varphi_{Vi}, \alpha_i, \beta_i$ треба внести до розрахунково-пояснювальної записки у вигляді таблиці 3.1.

Таблиця 3.1

f , кГц					
$ \underline{Z}_B $,					

Ом					
$\Phi_{\mathbf{B}}$, рад					
α , Нп/км					
β , рад/км					

3.3 Розрахунок А-параметрів лінії

Як відомо, лінію, що має певну довжину l , можна розглядати як чотирьохполюсник, А-параметри якого залежать від хвильового опору $\underline{Z}_{\mathbf{B}}$ і коефіцієнта поширення $\underline{\gamma}$ таким чином:

$$\left. \begin{aligned} \underline{A} &= \underline{D} = \text{ch } \underline{\gamma} l \\ \underline{B} &= \underline{Z}_{\mathbf{B}} \cdot \text{sh } \underline{\gamma} l \\ \underline{C} &= (\text{sh } \underline{\gamma} l) / \underline{Z}_{\mathbf{B}} \end{aligned} \right\} \quad (3.1)$$

Слід звернути увагу на те, що розрахунки згідно з формулами (3.1) потребують обчислення гіперболічних синуса та косинуса комплексного аргументу $\underline{\gamma} l = \alpha l + j\beta l$, тоді як інженерні калькулятори і більшість мов програмування мають як вбудовані функції лише гіперболічні синус та косинус дійсного аргументу. В такому випадку зручно використати формули

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

в яких добутки αl та βl є дійсними числами.

Обчислені комплексні величини А-параметрів треба подати в експоненціальній формі і внести до розрахунково-пояснювальної записки у вигляді таблиці 3.2.

Таблиця 3.2

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

4 РОЗРАХУНОК ФІЛЬТРА

4.1 Розрахунок елементів фільтра

У даній курсовій роботі треба обчислити величини ємностей та індуктивностей відповідно ідеальних конденсаторів та котушок, з яких складено фільтр, що ви його маєте розрахувати. Усі необхідні схеми фільтрів та формули для їх розрахунку містяться в підручнику [2].

Зміст даного підрозділу розрахунково-пояснювальної записки мають складати схема фільтра та детальний розрахунок параметрів (індуктивностей і ємностей) його елементів.

4.2 Розрахунок власних параметрів та А-параметрів фільтра

Після обчислення параметрів елементів фільтра стає можливим розрахувати частотні залежності його власних (вони ж характеристичні) параметрів — власного згасання $a_{сф}$, власного коефіцієнта фази $\beta_{сф}$ і характеристичних опорів Z_{x1} та Z_{x2} . Оскільки у даній роботі розглядаються лише фільтри із симетричними схемами (Т- та П-подібною), то, як відомо з теорії чотириполюсників [2], слід вважати, що $Z_{x1} = Z_{x2} = Z_x$.

Потрібні для розрахунку $a_{сф}$, $\beta_{сф}$ та Z_x формули наведені в підручнику [2]. Кожен з власних параметрів має бути обчислений на частотах f_1, \dots, f_5 , що вибрані у розділі 2, або на інших частотах, що вибрані згідно з вимогами розділу 2 даних методичних вказівок. Результати розрахунку треба звести у таблицю 4.1, при цьому величини Z_x як комплексні числа мають бути подані в експоненціальній формі. За даними таблиці 4.1 треба побудувати графіки залежностей $a_{сф}(f)$ та $\beta_{сф}(f)$.

Таблиця 4.1

f, Γ, Ω					

$a_{сф}, \text{Нп}$					
$\mathbf{B}_{сф}, \text{рад}$					
$\underline{Z}_x, \text{Ом}$					

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. Розрахований Вами фільтр побудовано за схемою Т-подібного або П-подібного чотирьохполюсника (показані відповідно на рисунках 4.1 та 4.2).

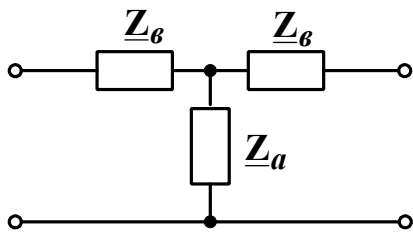


Рисунок 4.1

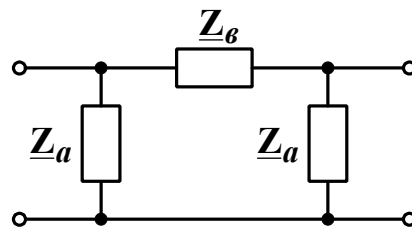


Рисунок 4.2

Величини А-параметрів симетричного Т-подібного чотирьохполюсника можна обчислити за такими формулами:

$$\underline{\mathbf{A}} = \underline{\mathbf{D}} = \mathbf{1} + \frac{\underline{\mathbf{Z}}_б}{\underline{\mathbf{Z}}_а};$$

$$\underline{\mathbf{B}} = 2\underline{\mathbf{Z}}_б + \frac{\underline{\mathbf{Z}}_б^2}{\underline{\mathbf{Z}}_а};$$

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

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

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

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

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

Потрібні для розрахунку А-параметрів опори $\underline{\mathbf{Z}}_a$ і $\underline{\mathbf{Z}}_b$ визначаються схемою і величинами параметрів елементів фільтра, який Ви розраховуєте. Результати розрахунку А-параметрів фільтра для усіх визначених у розділі 2 частот треба звести у таблицю, форма якої повністю повторює форму таблиці 3.1, при цьому величини А-параметрів як комплексні числа мають бути подані в **експоненціальній формі**.

4.3 Розрахунок вхідного опору фільтра з урахуванням навантаження

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

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

У даній курсовій роботі опір навантаження $\mathbf{R}_{\text{н}}$ суто активний, тому в останній формулі слід вважати, що $\underline{\mathbf{Z}}_{\text{н}} = \mathbf{R}_{\text{н}}$. Величину $\underline{\mathbf{Z}}_{\text{вх } \phi}$ треба обчислити на кожній з частот, визначених в розділі 2. Результати розрахунку слід звести в таблицю 4.2, при цьому величини $\underline{\mathbf{Z}}_{\text{вх } \phi}$ як комплексні числа мають бути подані в **експоненціальній формі**.

Таблиця 4.2

$f, \text{ Гц}$					
-----------------	--	--	--	--	--

За даними таблиць 4.1 та 4.2 треба побудувати в одних координатних осях графіки залежностей $|Z_x(f)|$ та $|Z_{вх\phi}(f)|$ і включити їх до розрахунково-пояснювальної записки. **Звертаємо Вашу увагу на те, що, як відомо з теорії фільтрів типу К, величина Z_x на частоті (частотах) зрізу або дорівнює нулю, або спрямовується до нескінченності, в залежності від того, чи виконаний фільтр за Т- або за П-подібною схемою.**

У розрахунково-пояснювальній записці слід також пояснити причини розбіжностей між частотними залежностями вхідного опору фільтра з урахуванням навантаження та характеристичного опору цього фільтра.

5 РОЗРАХУНОК УЗГОДЖУЮЧИХ ТРАНСФОРМАТОРІВ

5.1 Методика розрахунку А-параметрів і згасання передачі трансформатора

Узгоджуючі трансформатори вмикають у тракт передачі з метою зрівняти, наскільки це можливо, характеристичний опір лінії зв'язку як чотириполюсника (цей опір дорівнює хвильовому опору лінії Z_B) з внутрішнім опором генератора Z_G з одного боку і з вхідним опором фільтра $Z_{вх\phi}$ з другого боку. Тобто трансформатор УП1 повинен бути сконструйований так, щоб вхідний опір двополюсника, яким є частина схеми тракту, розташована лівіше точок 1–1' підімкнення лінії (рисунок 2.1), по можливості дорівнював Z_B . Аналогічно трансформатор УП2 повинен бути сконструйований так, щоб вхідний опір частини тракту, розташованої правіше точок 2–2' підімкнення лінії (рисунок 2.1), по можливості теж дорівнював Z_B .

Реальний трансформатор не забезпечує точного узгодження опорів джерела сигналу і навантаження, не забезпечує він і постійного згасання передачі у робочому діапазоні частот. Однак ці відхилення від ідеалу можна обмежити припустимими

величинами, які стануть одними з вихідних даних для розрахунку трансформатора.

Отже, розглянемо схему узгоджуючого трансформатора, ввімкненого між джерелом сигналу (генератором) з внутрішнім опором R_A та навантаженням з опором R_B (рисунок 5.1).

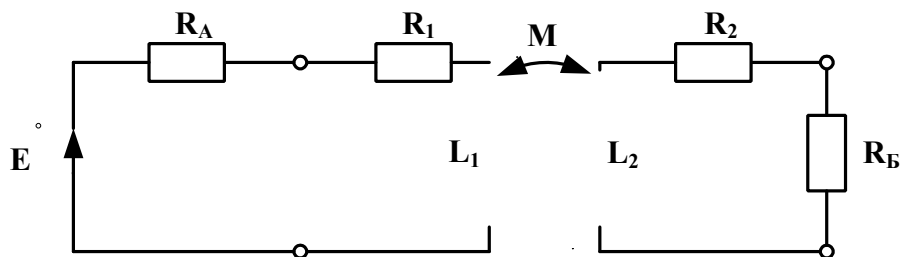


Рисунок 5.1

На цій схемі R_1 і L_1 — відповідно активний опір та індуктивність первинної обмотки трансформатора; R_2 і L_2 — відповідно активний опір та індуктивність його вторинної обмотки; M — взаємна індуктивність обмоток. Залежність робочого згасання трансформатора $a_{р\tau\phi}$ від частоти має вигляд, поданий на рисунку 5.2, де f_H та f_B — відповідно нижня та верхня границі робочого діапазону частот; $f_0 = 0,5 (f_H + f_B)$ — середня частота цього діапазону; a_0 — робоче згасання на частоті f_0 ; Δa — приріст згасання на границях робочого діапазону частот.

Частоти f_H та f_B вибирають так: якщо тракт включає в себе фільтр **верхніх** частот, то $f_H = f_{ср1}$, $f_B = 2 f_{ср1}$; якщо тракт включає в себе фільтр **нижніх** частот, то $f_H = 0,1 f_{ср2}$, $f_B = f_{ср2}$; якщо тракт включає в себе **смугово-пропускаючий** фільтр, то $f_H = f_{ср1}$, $f_B = f_{ср2}$.

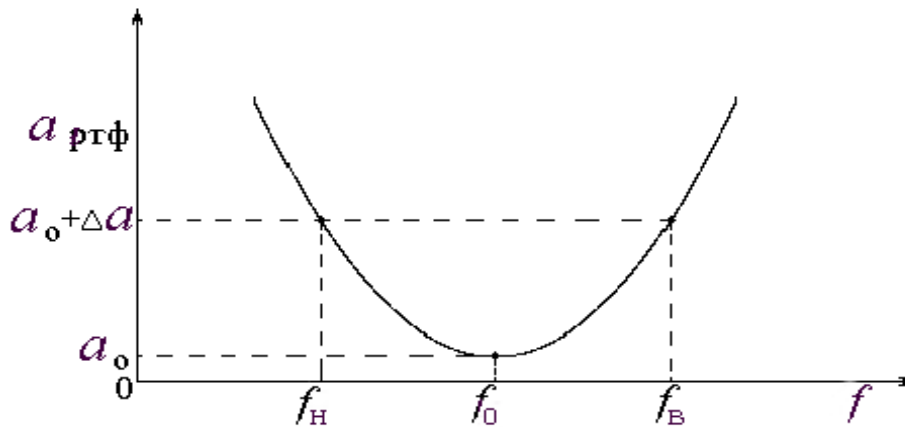


Рисунок 5.2

Вихідні положення, за яких наведена нижче методика забезпечує отримання досить точних результатів, такі: величина $a_0 = 0,001$ Нп; величина $\Delta a = 0,001$ Нп, якщо $f_H / f_B > 0,5$ або величина $\Delta a = 0,002$ Нп, якщо $f_H / f_B \leq 0,5$.

Розрахунок трансформатора виконується у такій послідовності:

а) обчислюємо коефіцієнт трансформації

$$n = \sqrt{R_B / R_A};$$

б) знаходимо активні опори обмоток

$$R_1 = R_A \left(e^{a_0} - 1 \right);$$

$$R_2 = n^2 R_1;$$

в) розраховуємо коефіцієнт розсіювання трансформатора (він показує, яка частина магнітного потоку, створеного котушкою L_1 , розсіюється у навколишній простір)

$$\sigma = 4 \frac{f_H}{f_B} \left(e^{2\Delta a} - 1 \right);$$

г) знаходимо індуктивності обмоток трансформатора

$$L_1 = \frac{R_A}{2\pi \sqrt{f_H f_B} \sigma}; \quad L_2 = n^2 L_1;$$

д) розраховуємо взаємну індуктивність обмоток

$$M = \sqrt{L_1 L_2 \cdot (1 - \sigma)}.$$

За дотримання умов $|2R_1 + j\omega L_1 \sigma| \ll R_A$ та $R_A \ll \omega L_1$ робоче згасання трансформатора можна розрахувати за такою наближеною формулою:

$$a_{\text{ртф}}(f) \approx \frac{1}{4} \ln \left[1 + \frac{R_A^2}{(2\pi f L_1)^2} \right] + \frac{1}{2} \ln \left(1 + \frac{2R_1}{R_A} \right) + \frac{1}{4} \ln \left[1 + \frac{(2\pi f L_1 \sigma)^2}{R_A^2} \right], \text{Нп.}$$

Нарешті, для розрахунку А-параметрів трансформатора слід використати такі формули:

$$\underline{A} = \frac{\underline{Z}_1}{\underline{Z}_{12}}; \quad \underline{B} = \frac{\underline{Z}_1 \underline{Z}_2 - \underline{Z}_{12}^2}{\underline{Z}_{12}};$$

$$\underline{C} = \frac{1}{\underline{Z}_{12}};$$

$$\underline{D} = \frac{\underline{Z}_2}{\underline{Z}_{12}};$$

де $\underline{Z}_1 = R_1 + j2\pi f L_1$; $\underline{Z}_2 = R_2 + j2\pi f L_2$;

$$\underline{Z}_{12} = j\omega M;$$

Викладена у цьому підрозділі методика наближеного розрахунку узгоджуючого трансформатора є універсальною і легко розповсюджуваною на конкретні випадки, для яких різняться лише смисл опорів R_A та R_B .

5.2 Розрахунок вхідного узгоджуючого трансформатора

Вхідний узгоджуючий трансформатор включають до тракту передачі сигналу з метою узгодити величини внутрішнього опору генератора $\underline{Z}_Г$ та хвильового опору лінії $\underline{Z}_В$. У тракті, який розраховується в даній роботі, величина $\underline{Z}_Г$ суто активна і на усіх частотах дорівнює $\mathbf{R}_Г$, тобто не залежить від частоти, однак величина $\underline{Z}_В$ від частоти залежить суттєво і до того ж є комплексною величиною. Тому логічно забезпечити узгодження цих опорів, по-перше, за абсолютними величинами і, по-друге, у найважливішій точці робочого діапазону частот — на середній частоті цього діапазону $f_0 = 0,5 (f_H + f_B)$, де частоти f_H та f_B визначені у підрозділі 5.1. Таким чином, перед початком розрахунку вхідного узгоджуючого трансформатора треба вважати, що $\mathbf{R}_A = \mathbf{R}_Г$ та $\mathbf{R}_B = |\underline{Z}_В(f_0)|$ (цю останню величину визначте за раніше побудованим графіком $|\underline{Z}_В(f_0)|$).

За результатами розрахунку цього трансформатора до розрахунково-пояснювальної записки мають бути включені:

- а) схема підключення трансформатора УП1 до тракту;
- б) розрахунок параметрів трансформатора УП1;

в) графік залежності $a_{рт\phi}(f)$, побудований за результатами обчислень $a_{рт\phi}$ на усіх частотах, визначених у розділі 2;

г) результати обчислень А-параметрів трансформатора УП1 на тих самих частотах, зведені у таблицю, форма якої повністю повторює форму таблиці 3.1, при цьому величини А-параметрів як комплексні числа мають бути подані у експоненціальній формі.

5.3 Розрахунок вихідного узгоджуючого трансформатора

Вихідний узгоджуючий трансформатор включають до тракту передачі сигналу з метою узгодження величин хвильового опору $\underline{Z}_В$ лінії зв'язку та вхідного опору $\underline{Z}_{вх\phi}$ фільтра. Оскільки обидва ці опори є комплексними числами і, до того ж, залежать

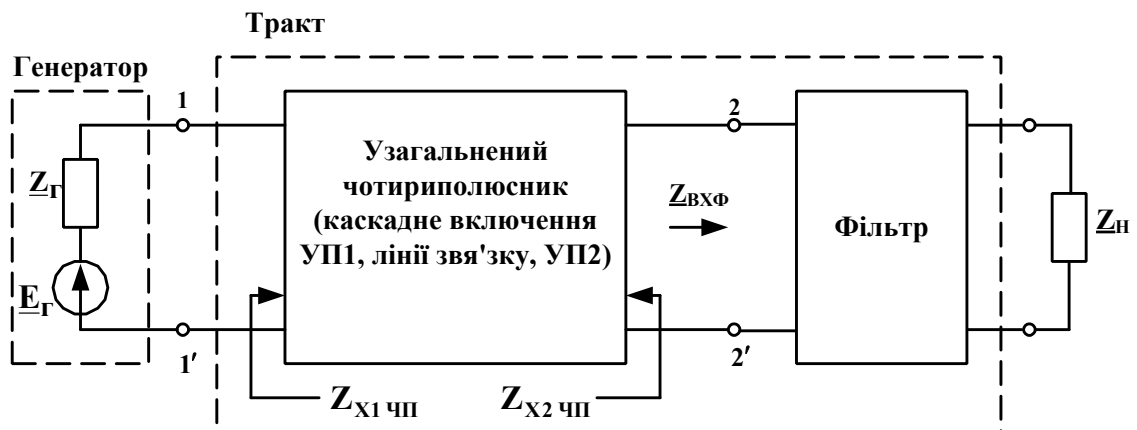
від частоти, то їх теж узгоджують за абсолютними величинами на частоті f_0 (див. підрозділ 5.2). Таким чином, перед початком розрахунку узгоджувачого трансформатора УП2 треба вважати, що $R_A = |Z_B(f_0)|$ та $R_B = |Z_{ВХФ}(f_0)|$ (обидві ці величини визначте за раніше побудованими графіками).

За результатами розрахунку трансформатора УП2 до розрахунково-пояснювальної записки мають бути включені такі ж відомості, що й перелічені для трансформатора УП1.

6 РОЗРАХУНОК ЧАСТОТНОЇ ЗАЛЕЖНОСТІ РОБОЧОГО ЗГАСАННЯ ТРАКТУ ПЕРЕДАЧІ

6.1 Методика виконання розрахунку

Зобразимо структурну схему тракту передачі, подану на рисунку 2.1, у дещо іншому, але еквівалентному вигляді (рисунок 6.1).



Z_{X1} чп, Z_{X2} чп, – характеристичні опори узагальненого чотириполюсника

Рисунок 6.1

Якщо припустити, що фільтр навантажений узгоджено, тобто Z_H дорівнює характеристичному опору фільтра Z_X , то легко показати, що робоче згасання тракту a_p можна обчислити

через робоче згасання $a_{p \text{ чп}}$ узагальненого чотириполюсника (УЧП) та власне згасання $a_{c \text{ ф}}$ фільтра як

$$a_p = a_{p \text{ чп}} + a_{c \text{ ф}} \quad (6.1)$$

У даній курсовій роботі $Z_H = R_H$, причому, як відомо, фільтр розраховують саме так, щоб у смузі пропускання якомога точніше виконувалася рівність $Z_X \approx R_H$. Тому можна вважати, що у більшій частині цієї смуги вищевказане припущення є реалістичним. Щодо смуги затримування та залишку смуги пропускання можна сказати, що там рівність (6.1) стає вельми наближеною, але характер обчислюваної за цією рівністю залежності $a_p(f)$ збігається з реальним. Тому, спираючись на рівність (6.1) і на відому формулу для обчислення робочого згасання чотириполюсника на базі його власних параметрів, можна отримати таку формулу для розрахунку робочого згасання тракту передачі:

$$a_p = a_{c \text{ чп}} + a_{c \text{ ф}} + \ln \left| \frac{Z_{\Gamma} + Z_{X1 \text{ чп}}}{2\sqrt{Z_{\Gamma} \cdot Z_{X1 \text{ чп}}}} \right| + \ln \left| \frac{Z_{BX}}{2\sqrt{Z_{\Gamma}}} \right| + \ln \left| 1 - p_1 \cdot p_2 \cdot e^{-2g_{c \text{ чп}}} \right|. \quad (6.2)$$

У цій формулі

$a_{c \text{ чп}}$ — власне згасання УЧП;

$Z_{X1 \text{ чп}}$ — характеристичний опір УЧП з боку затискачів 1-1' (рисунок 6.1);

$Z_{X2 \text{ чп}}$ — характеристичний опір УЧП з боку затискачів 2-2' (рисунок 6.1);

$$\underline{p}_1 = \frac{\underline{Z}_\Gamma - \underline{Z}_{X1\ 4\Pi}}{\underline{Z}_\Gamma + \underline{Z}_{X1\ 4\Pi}} \quad \text{— вхідний коефіцієнт відбиття УЧП};$$

$$\underline{p}_2 = \frac{\underline{Z}_{ВХ\ \Phi} - \underline{Z}_{X2\ 4\Pi}}{\underline{Z}_{ВХ\ \Phi} + \underline{Z}_{X2\ 4\Pi}} \quad \text{— вихідний коефіцієнт відбиття}$$

УЧП;

$\underline{g}_{c\ 4\Pi}$ — власна стала передачі УЧП.

6.2 Визначення величин параметрів узагальненого чотириполюсника

Для обчислення деяких з величин, що входять до формули (6.2), стануть у нагоді А-параметри лінії зв'язку та узгоджуючих трансформаторів. Дійсно, узагальнений чотириполюсник (УЧП) є каскадним включенням (див. рисунок 2.1) “УП1 – лінія зв'язку (ЛЗ) – УП2”. Кожний з цих трьох чотириполюсників описується своєю матрицею А-параметрів

$$(\mathbf{A}) = \begin{pmatrix} \underline{\mathbf{A}} & \underline{\mathbf{B}} \\ \underline{\mathbf{C}} & \underline{\mathbf{D}} \end{pmatrix}.$$

Як відомо з теорії чотириполюсників, матрицю А-параметрів УЧП, утвореного вищевказаним чином, можна знайти, як

$$(\mathbf{A})_{y\ 4\Pi} = (\mathbf{A})_{y\Pi1} \cdot (\mathbf{A})_{ЛЗ} \cdot (\mathbf{A})_{y\Pi2} = \begin{pmatrix} \underline{\mathbf{A}}_{y\ 4\Pi} & \underline{\mathbf{B}}_{y\ 4\Pi} \\ \underline{\mathbf{C}}_{y\ 4\Pi} & \underline{\mathbf{D}}_{y\ 4\Pi} \end{pmatrix},$$

тобто перемноженням матриць А-параметрів вузлів, що складають УЧП, причому ці матриці повинні бути розташовані у тому порядку, у якому розташовані між генератором та фільтром вказані вузли.

Тоді маємо

$$\underline{Z}_{X1\ 4\Pi} = + \sqrt{\frac{\underline{\mathbf{A}}_{y\ 4\Pi} \cdot \underline{\mathbf{B}}_{y\ 4\Pi}}{\underline{\mathbf{C}}_{y\ 4\Pi} \cdot \underline{\mathbf{D}}_{y\ 4\Pi}}};$$

$$\underline{Z}_{X2\ 4\Pi} = + \sqrt{\frac{\underline{D}_{y\ 4\Pi} \cdot \underline{B}_{y\ 4\Pi}}{\underline{C}_{y\ 4\Pi} \cdot \underline{A}_{y\ 4\Pi}}};$$

$$\underline{g}_{c\ 4\Pi} = \operatorname{en}(\sqrt{\underline{A}_{y\ 4\Pi} \cdot \underline{D}_{y\ 4\Pi}} + \sqrt{\underline{B}_{y\ 4\Pi} \cdot \underline{C}_{y\ 4\Pi}})$$

$$= a_{c\ 4\Pi} + j b_{c\ 4\Pi}$$

де $b_{c\ 4\Pi}$ — власний коефіцієнт фази УЧП.

Елементи матриці $(\underline{A})_{y\ 4\Pi}$, а також величини $\underline{Z}_{X1\ 4\Pi}$, $\underline{Z}_{X2\ 4\Pi}$, та $\underline{g}_{c\ 4\Pi}$ слід обчислити для усіх частот, визначених у розділі 2. Після цього елементи матриці $(\underline{A})_{y\ 4\Pi}$ у експоненціальній формі треба внести до розрахунково-пояснювальної записки, звівши їх у таблицю, форма якої повністю повторює форму таблиці 3.1. Величини власних опорів УЧП у експоненціальній формі, а також власне згасання УЧП $a_{c\ 4\Pi} = \operatorname{Re}\{\underline{g}_{c\ 4\Pi}\}$ теж треба внести до розрахунково-пояснювальної записки, звівши їх у таблицю 6.1

Таблиця 6.1

$f, \Gamma\ \text{ц}$					
$\underline{Z}_{X1\ 4\Pi}, \text{Ом}$					
$\underline{Z}_{X2\ 4\Pi}, \text{Ом}$					
$a_{c\ 4\Pi}, \text{Нп}$					

6.3 Розрахунок робочого згасання тракту

Для розрахунку робочого згасання тракту слід користуватися формулою (6.2), попередньо обчисливши коефіцієнти відбиття \underline{p}_1 та \underline{p}_2 . Розрахунок треба виконати для усіх частот, визначених у розділі 2, після чого треба побудувати графік залежності $a_p(f)$ і включити його до розрахунково-пояснювальної записки.

7 ВИЗНАЧЕННЯ ПОТУЖНОСТІ ГЕНЕРАТОРА

Для забезпечення потрібної якості роботи кінцевих пристроїв, які на рисунку 2.1 подані у вигляді еквівалентного опору навантаження \underline{Z}_H , треба забезпечити виділення у цьому навантаженні певної активної потужності, не меншої мінімальної величини P_{\min} . Розглянемо найпростіший випадок, коли сигнал являє собою синусоїдне коливання постійної частоти. Тоді логічно поставити вимогу, щоб потужність P_{\min} виділялася у навантаженні на тій частоті робочого діапазону, на якій робоче згасання тракту a_p є найбільшим (розрахунок «на найгірший випадок»). Візьмемо до уваги те, що у даній курсовій роботі опір навантаження суто активний, тобто $\underline{Z}_H = R_H$. Тоді вимога забезпечити активну потужність P_{\min} у навантаженні рівносильна вимозі забезпечити у цьому ж навантаженні повну потужність S_{\min} , що числово дорівнює P_{\min} . Згадаємо, що згідно з визначенням

$$a_p = \frac{1}{2} \ln \frac{S_0}{S_2}, \text{ нп}, \quad (7.1)$$

де S_0 — повна потужність, яка виділяється у опорі навантаження, підімкненому безпосередньо до генератора, при умові, що цей опір дорівнює внутрішньому опору генератора;

S_2 — повна потужність, яка виділяється у реальному опорі навантаження \underline{Z}_H , який розглядають у даній задачі, і який підімкнений до генератора через чотиріполюсник (у даному випадку – через тракт).

Потужність S_r генератора, яку треба обчислити, дорівнює $2S_0$. Тому, поклавши у формулі (7.1) $a_p = a_{p \max}$ (максимальна величина робочого згасання тракту у смузі

пропускання фільтра), а також $S_2 = S_{\min}$, отримаємо

$$S_{\Gamma} = 2S_{\min} \cdot e^{2a_{\text{pmax}}}.$$

За типову величину S_{\min} рекомендуємо прийняти 1 мВ·А для тракту, який побудований на базі провідної або кабельної лінії зв'язку, та 1 ВА для тракту, який побудований на базі рейкового кола.

Надмірна величина S_{Γ} (орієнтовно більш ніж 100 В·А) буде підставою для висновку про необхідність включення до тракту проміжних підсилювачів.

ЗАКІНЧЕННЯ

Отже, розрахунки закінчено. Ще раз уважно передивіться текст розрахунково-пояснювальної записки, поставивши собі такі питання:

а) чи усі одержані результати збігаються з тими, яких можна очікувати, спираючись на загальнотеоретичні міркування?

б) чи «стикуються» результати між собою?

в) чи відповідає оформлення записки діючим стандартам (зокрема, у відношенні розмірностей величин, нумерації розділів, рисунків, формул, літератури)?

Якщо Ви не отримали відповіді «так» на **усі ці запитання** – Ваша робота вимагає доопрацювання. Такий **самоконтроль** сприятиме значному скороченню строків остаточного подання розрахунково-пояснювальної записки до захисту. Повірте, «сира» записка буде досить довго знаходитися в обороті між Вами і викладачем.

Якщо і коли Ви відповісте собі «так» на **усі три вищевказані запитання**, то майже напевне Ваша робота не містить суттєвих помилок і до того ж є «читабельною», а відтак - в неї є дуже багато шансів бути одразу рекомендованою до захисту. Тож сміливо здавайте її керівнику, і – **БАЖАЄМО УСПІХУ!**

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, 2004.

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

ДОДАТОК А

Величини первинних параметрів типових повітряних та кабельної лінії

Таблиця А.1

Вид лінії та 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 стальна	68.4	96.4	134.2	187.7	255
	Повітряна мідна	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 стальна	6.5	5.0	3.86	3.2	2.8
	Повітряна мідна	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 стальна	1.0	1.75	3.0	5.5	11.5
	Повітряна мідна	1.0	1.75	3.0	5.5	11.5
Ємність C_0 , нФ/км	Кабельна лінія	26.5				
	Повітряна стальна	6				
	Повітряна мідна	6				

ДОДАТОК Б

Варіанти вихідних даних *

Таблиця Б.1

№ вар.	Вид лінії	Довжина лінії, км	Вид фільтра	Опір навантаження, Ом	ƒ _{ср1} , кГц	ƒ _{ср2} , 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

* Прийняті скорочення: **ст** – повітряна лінія з стальними проводами; **мд** – повітряна лінія з біметалічними проводами; **кб** – кабельна лінія.

Позначки «П» та «Т» у графі «Вид фільтра» означають необхідність розрахунку фільтра відповідно з П- або Т-подібною схемою.

Продовження таблиці Б.1

1	2	3	4	5	6	7	8
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
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

Продовження таблиці Б.1

1	2	3	4	5	6	7	8
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