

**Міністерство транспорту та зв'язку України
Державний департамент з питань зв'язку та інформатизації**

ОДЕСЬКА НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ ЗВ'ЯЗКУ ім. О.С. ПОПОВА

Кафедра волоконно-оптичних ліній зв'язку

**ЗБІРНИК
методичних вказівок
до лабораторних робіт
з курсу "Лінії передачі"**

Модуль I

**ЗАТВЕРДЖЕНО
Методичною радою
академії
Протокол № ____
від _____ р.**

Одеса 2006

УДК

План 2006/2007 н.р.

Укладачі методичних вказівок до лабораторних робіт:

№ 1 – доц. Савицька Н.М., викл. Дегтярьов В. О.;

№ 2 – доц. Кокарєв В. В., доц. Костік Б. Я.;

№ 3 – проф. Бондаренко О. В., доц. Панюта І. М.;

№ 4 – проф. Бондаренко О. В., доц. Панюта І. М.

Відп. редактор – проф. Бондаренко О.В.

В збірнику викладені методичні вказівки до виконання лабораторних робіт по першій частині курсу "Лінії передачі", яка присвячена вивченню параметрів передачі повітряних та кабельних ліній зв'язку.

СХВАЛЕНО

на засіданні кафедри ВОЛЗ і
рекомендовано до друку
Протокол № 4
від 18.12.2006 р.

Редактор – Ращупкіна І.В.

Комп'ютерне макетування – Кірдогло Т.В.

Лабораторна робота № 1**ПЕРЕВІРКА ЕЛЕКТРИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ
КАБЕЛІВ ЗВ'ЯЗКУ ЗА ПОСТІЙНОГО СТРУМУ****1 МЕТА РОБОТИ**

Метою роботи є засвоєння методики перевірки електричних параметрів кабелів зв'язку за допомогою постійного струму. Така методика використовується в перебігу монтажу кабелів на кабельних ділянках, а також в процесі виробництва кабелів.

Головним завданням роботи є набуття практичних навичок з вимірювання кабелів зв'язку, освоєння вимірювальних приладів та ознайомлення з нормами на електричні параметри кабелів зв'язку.

2 КЛЮЧОВІ ПОЛОЖЕННЯ

Електричні вимірювання кабельних ліній зв'язку проводяться з метою:

- а) перевірки відповідності нормам електричних характеристик кабельних ліній зв'язку, що вони приймаються до експлуатації;
- б) перевірки відповідності нормам електричних характеристик діючих кабельних ліній зв'язку та виявлення ділянок ліній, що вони не задовольняють нормам, з метою запобігання ушкодженням;
- в) визначення характеру та місця ушкодження кабелю зв'язку;
- г) перевірки якості виробничого ремонту.

У відповідності з цим електричні вимірювання кабелів зв'язку поділяють на:

- приймально-здавальні;
- періодичні (профілактичні);
- вимірювання з метою перевірки якості будівельних та ремонтних робіт;
- вимірювання, за допомогою яких можна визначити характер та місце ушкодження.

За постійного струму вимірюють:

- опір ізоляції поміж жилами та опір ізоляції кожної жили по відношенню до всіх інших жил, з'єднаних із заземленою металевою оболонкою, а в кабелях з пластиковими оболонками – по відношенню до заземленого екрана;
- робочу ємність кола та ємність окремих жил по відношенню до землі (часткову);
- опір шлейфа жил;
- омичну асиметрію кола;
- електричну міцність ізоляції.

Вимірювання електричних параметрів кабелю за допомогою постійного струму є основним засобом визначення відповідності нормам характеристик лі-

ній передавання: опору ізоляції, робочої ємності, опору шлейфа, омічної асиметрії.

В даній роботі вимірювання електричних параметрів кабелів провадиться на макеті ліній передавання. Схема плати макета, типи кабелів та їхні довжини наведено на рис. 2.1.

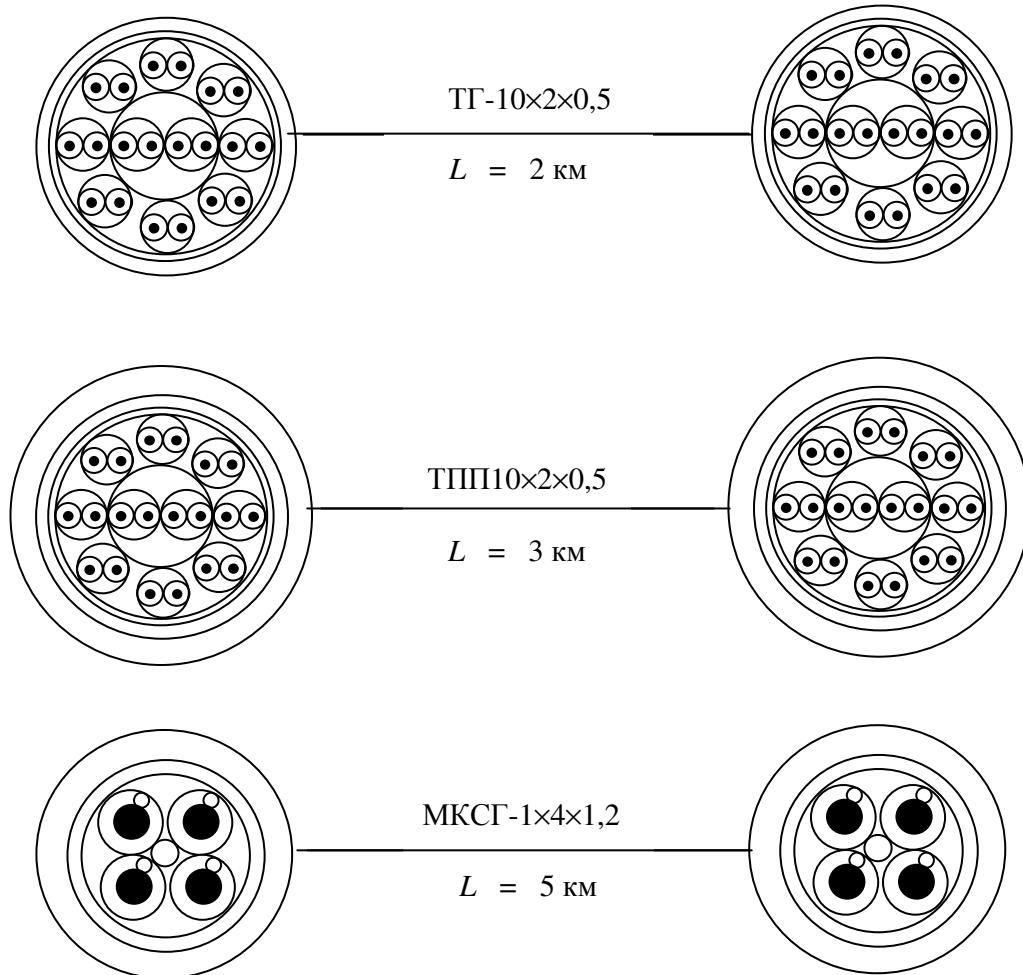


Рисунок 2.1 – Довжина та марки кабелів, використаних у схемі макета

Обчислення сподіваних кілометричних величин опору та робочої ємності шлейфа жил провадиться згідно з нижченаведеними формулами:

Опір кола на постійному струмі

$$R_{\text{шл}} = \frac{\chi \rho \cdot 8000}{S}, \text{ Ом/км}; \quad S = \frac{\pi d_0^2}{4}, \text{ мм}^2,$$

де χ – коефіцієнт укрутки, $\chi = 1,01 \dots 1,03$;

ρ – питомий опір; для міді $\rho = 0,0175 \text{ Ом} \cdot \text{мм}^2/\text{м}$;

d_0 – діаметр голої жили, мм;

S – площа поперечного перерізу жили, мм^2 .

Робоча ємність симетричного кола

$$C_0 = \chi \cdot \frac{\epsilon_{\text{екв}} \cdot 10^{-6}}{36 \ln \left(\frac{2a}{d_0} \psi \right)}, \text{ Ф/км,}$$

де a – відстань поміж центрами жил пари, мм;

$\epsilon_{\text{екв}}$ – еквівалентна діелектрична проникність ізоляції (табл. 2.1);

ψ – поправний коефіцієнт, що він характеризує близькість проводів до заземленої оболонки (табл. 2.2);

d_1 – діаметр жили по ізоляції, мм.

Таблиця 2.1 – Значення еквівалентної діелектричної проникності різних типів ізоляції

Призначення кабелю	Тип ізоляції	Значення $\epsilon_{\text{екв}}$
Міські мережі	Повітряно-паперова	1,5...1,6
	Поліетиленова	1,9...2,1
Міжміські мережі	Кордельно-стирофлексна	1,2...1,3

Таблиця 2.2 – Залежність поправного коефіцієнта (ψ) від співвідношення діаметрів (d_1/d_0)

Значення співвідношення d_1/d_0	Значення ψ для парної скрутки жил	Значення ψ для зіркової скрутки жил
1,6	0,608	0,588
1,8	0,627	0,611
2,0	0,644	0,619
2,2	0,655	0,630
2,4	0,665	0,647

Дані обчислення сподіваних кілометричних величин омичного опору та ємності кола необхідно визначити на довжину дослідної ділянки кабелю та використати при налаштуванні та роботі з приладом ПКП-4М під час вимірювання.

Діаметр ізолюваної жили з суцільною повітряно-паперовою ізоляцією визначається як сума діаметра струмопровідної жили та товщини ізоляції:

$$d_1 = d_0 + 0,65d_0 = 1,65d_0.$$

Діаметр ізолюваної жили з суцільною поліетиленовою ізоляцією визначається як сума діаметра струмопровідної жили та подвоєної товщини ізоляції:

$$d_1 = d_0 + 2\Delta_{\text{діел}},$$

де $\Delta_{\text{діел}}$ – товщина ізоляції, мм.

Діаметр жили з кордельною ізоляцією визначається як

$$d_1 = d_0 + 2d_k(1 - \sigma) + 2\Delta_{\text{діел}},$$

де d_k – діаметр корделя, мм; σ – коефіцієнт зминання корделя.

Для кордельно-стирофлексної ізоляції коефіцієнт змінання корделя $\sigma = 0$, а для паперово-кордельної ізоляції $\sigma = 0,1 \dots 0,3$.

Діаметр ізолюваної жили d_1 в кабелях МТМ з повітряно-паперовою ізоляцією жил визначається з урахуванням калібрування (додаток 9.2).

Відстань поміж центрами жил пари для парної скрутки $a = d_1$, для зіркової скрутки $a = 1,41d_1$.

Перед початком перевірки електричних параметрів змонтованих ділянок кабелю провадиться продзвонювання жил кіл з метою перевірки правильності виконання монтажу. Воно дозволяє визначити розбитість пар і забезпечує симетричне ввімкнення телефонних пар на кінцевих пристроях ліній.

Вимірювання опору ізоляції жил, робочої та часткових ємностей, опору шлейфа кіл та опору асиметрії жил кіл провадиться приладом ПКП-4М (Стисле пояснення щодо користування цим приладом подано у додатку 9.1, який розміщено поряд з приладом ПКП-4М.)

Результати вимірювань зводяться до кілометричних значень з урахуванням температурного коефіцієнта, порівнюються з нормами та робиться висновок щодо придатності до роботи ділянки кабелю, що вона приймається. При цьому необхідно враховувати, що опір ізоляції зі збільшенням довжини лінії зменшується, а опір шлейфа та ємність зростають, тобто опір ізоляції є зворотно пропорційний до довжини лінії, а опір шлейфа та ємність – прямо пропорційні.

Обчислення опору шлейфа за температури $t = 20^\circ \text{C}$ провадиться за формулою

$$R_{\text{шл } 20} = \frac{R_{\text{шл } t}}{1 + \alpha_R(t - 20)}, \text{ Ом/км,}$$

де $R_{\text{шл } t}$ – опір шлейфу за температури $t^\circ \text{C}$;

α_R – температурний коефіцієнт опору. Для міді $\alpha_R = 0,004 \dots 0,0045$.

Обчислення опору ізоляції кабелю за температури $t = 20^\circ \text{C}$ провадиться за формулою

$$R_{\text{из } 20} = \frac{R_{\text{из } t}}{1 + \alpha_{R_{\text{из}}}(t - 20)}, \text{ МОм} \cdot \text{км,}$$

де $R_{\text{из } 20}$ – опір ізоляції за температури 20°C ;

$R_{\text{из } t}$ – опір ізоляції за температури $t^\circ \text{C}$;

$\alpha_{R_{\text{из}}}$ – температурний коефіцієнт опору ізоляції.

Для кабельного паперу $\alpha_{R_{\text{из}}} = 0,06$; для поліетилену та стирофлекса температурний коефіцієнт дорівнює $0,001$.

Перерахунок, як правило, здійснюють для кабелів з паперовою ізоляцією. В кабелях зі стирофлексно-кордельною та суцільною поліетиленовою ізоляцією опір ізоляції від температури практично не залежить.

Орієнтовні значення температури ґрунту на глибині $0,8 \text{ м}$ для України наведено в табл. 2.3.

Виписки з технічних умов (ТУ) для кабелів марок ТГ, ТПП та МКС наведено в додатку 9.2. Усі нормативні значення подано на 1 км та для температури 20°C .

Дані електричних параметрів для інших кабелів можна взяти з довідкової літератури.

Таблиця 2.3 – Орієнтовні значення температури ґрунту для України

Місяць	Температура ґрунту для чорнозему, °C	Місяць	Температура ґрунту для чорнозему, °C
Січень	3,2	Липень	15,4
Лютий	1,6	Серпень	17,6
Березень	1,2	Вересень	16,8
Квітень	6,1	Жовтень	10,6
Травень	9,4	Листопад	7,6
Червень	12,9	Грудень	4,5

3 КЛЮЧОВІ ПИТАННЯ

3.1 Призначення й елементи конструкції кабелів МТМ як НЧ, так і ВЧ діапазонів.

3.2 Призначення, види та обсяг електричних вимірювань кабелів.

3.3 Принципові схеми вимірювань опору ізоляції та ємності, опору шлейфу та омичної асиметрії жил електричних кіл за допомогою приладу ПКП-4М.

3.4 Порядок обчислення робочої ємності та опору шлейфу електричних кіл.

3.5 Норми електричних параметрів кабелів за постійного струму.

4 ДОМАШНЄ ЗАВДАННЯ

В результаті самостійної підготовки до лабораторної роботи за допомогою даного методичного керівництва та рекомендованої літератури необхідно:

4.1 Вивчити конструкцію НЧ кабелів для МТМ типу ТГ й ТПП та ВЧ кабелів типу МКСГ.

4.2 Вивчити призначення та правила користування приладом ПКП-4М.

4.3 Обчислити значення ємності та опору шлейфу кіл, які треба вимірювати (студентам факультету ТКС – для кабелю МКСГ $1 \times 4 \times 1,2$, а студентам факультету ІМ для кабелю ТПП $10 \times 2 \times 0,5$) з урахуванням довжини ділянки, що передбачена в макеті.

4.4 Підготувати бланк протоколу з табл. 4.1 для запису результатів вимірювання.

4.5 Занести до табл. 4.1 нормативні значення електричних параметрів для відповідних кабелів, які треба вимірювати.

Таблиця 4.1 – Результати вимірювання параметрів кабелів

Вимірювані величини	На довжину L при температурі $t^{\circ}\text{C}$		На 1 км при 20°C		Дані ТУ на 1 км при 20°C	Примітка
	1 пара	2 пара	1 пара	2 пара		
$R_{\text{шл}}$, Ом						
ΔR , Ом						
$R_{\text{із аб}}$, МОм						
$R_{\text{із а}}$, МОм						
$R_{\text{із б}}$, МОм						
$R_{\text{із е}}$, МОм						
C_0 , нФ						
$C_{\text{а}}$, нФ						
$C_{\text{б}}$, нФ						

4.6 Підготувати усні відповіді на контрольні запитання.

5 ЛАБОРАТОРНЕ ЗАВДАННЯ

5.1 Підготувати прилад ПКП-4М до роботи.

5.2 Зробити перевірку електричних параметрів досліджуваного кабелю за допомогою постійного струму, для чого слід виміряти:

- опір ізоляції поміж жилами й кожної жили по відношенню до землі $R_{\text{із аб}}$, $R_{\text{із а}}$, $R_{\text{із б}}$;
- опір ізоляції екран-земля, якщо кабель з екраном $R_{\text{із е}}$;
- опір шлейфу жил $R_{\text{шл}}$;
- омічну асиметрію ΔR ;
- робочу ємність кіл C_0 та ємність жил кіл по відношенню до землі $C_{\text{а}}$ та $C_{\text{б}}$;

5.3 Дані вимірювань електричних параметрів на довжину звести до кілометричних значень з урахуванням температури ґрунту для опору шлейфа та опору ізоляції (якщо треба).

5.4 Порівняти дані вимірювань з нормами на електричні параметри кабелю та зробити висновок щодо відповідності їх до ТУ на кабель.

6 АПАРАТУРА

6.1 Зразки кабелів МТМ.

6.2 Макет кабельних кіл (ТПП-10 $\times$ 2 $\times$ 0,5 – 3 км; ТГ-10 $\times$ 2 $\times$ 0,5 – 2 км; МКСГ-1 $\times$ 4 $\times$ 1,2 – 5 км).

6.3 Вимірювальний прилад ПКП-4М.

7 ЗМІСТ ПРОТОКОЛУ

7.1 Дані обчислення сподіваних величин опору шлейфа та робочої ємності кола відповідного кабелю.

7.2 Дані вимірювань електричних параметрів кабелю за формою табл. 4.1.

7.3 Загальний висновок щодо придатності до експлуатації ділянки кабелю.

8 ЛІТЕРАТУРА

8.1 Гроднев И.И., Курбатов Н.Д. Линии связи. – М.: Связь, 1980. – С.409-414.

8.2 Ионов А.Д., Попов Б.В. Линии связи. – М.: Радио и связь, 1990. – С. 155-158.

9 ДОДАТОК

9.1 Електричні вимірювання на лініях передавання МТМ

9.1.1 Класифікація вимірювань

Електричні вимірювання ліній передавання МТМ проводяться з метою визначення відповідності електричних характеристик встановленим нормам, а також для визначення характеру та місця ушкодження на лінії. Електричні вимірювання ліній передавання МТМ проводяться як за постійного, так і за змінного струму. Вимірювання за змінного струму виконуються після вимірювань за постійного струму й лише у тому разі, коли дані вимірювання за постійного струму відповідають нормам. У противному разі вимірювання за змінного струму слід виконувати після усунення несправності лінії передавання.

Вимірювання за постійного та за змінного струмів поділяються на:

- планові, що вони проводяться в перебігу експлуатації згідно із встановленим планом;
- контрольні, що вони проводяться після проведення ремонтно-відновлювальних робіт;
- вимірювання, що вони проводяться для перевірки якості кабелю та лінійного обладнання, які надійшли від заводу-виробника, перед встановленням їх на лінії передавання;
- вимірювання, що вони проводяться для визначення місця пошкодження;
- приймально-здавальні, що вони виконуються під час приймання до експлуатації побудованих, реконструйованих та капітально відремонтованих ліній передавання.

Склад та обсяг планових, контрольних та приймально-здавальних електричних вимірювань визначено у відповідних посібниках. Усі вимірювання повинні здійснюватися приладами, що вони пройшли відповідну державну чи відомчу перевірку.

9.1.2 Вимірювання за постійного струму

Вимірювання за постійного струму дозволяють зробити висновок щодо відповідності встановленим нормам найбільш піддатих до змін характеристик лінії передавання:

- електричного опору ізоляції;
- електричного опору кола (шлейфу);
- омичної асиметрії;
- електричної ємності кола.

Окрім того, вимірювання за постійного струму широко використовують для визначення найбільш поширеного ушкодження – ушкодження ізоляції.

Для вимірювання кіл за постійного струму набули широкого практичного використання спеціалізовані переносні кабельні прилади: ПКП-3, ПКП-4 та ПКП-5.

Електричні вимірювання за постійного струму доцільно проводити в такій послідовності: електричний опір кола (шлейфу), омична асиметрія, електричний опір ізоляції, електрична ємність кола.

9.1.3 Омична асиметрія

Омичну асиметрію (різниця електричних опорів жил кола за постійного струму $\Delta R = R_a - R_b$) вимірюють за допомогою моста постійного струму (рис. 9.1). Початок кола (кінець А) підмикають до клем 1 та 2, а до клем 3 підмикають заземлену оболонку або екран. Протилежний кінець кола Б закорочують та заземлюють. Для вимірювання використовують міст з незмінним співвідношенням плечей, що воно дорівнює 1. За рівноваги моста $\Delta R = R_m = R_a - R_b$. В плече моста, що має змінний опір R_m , необхідно підмикати жилу, яка має менший опір. У противному разі міст не збалансовується. Тоді жили кабелю змінюють місцями за допомогою перемикача приладу.

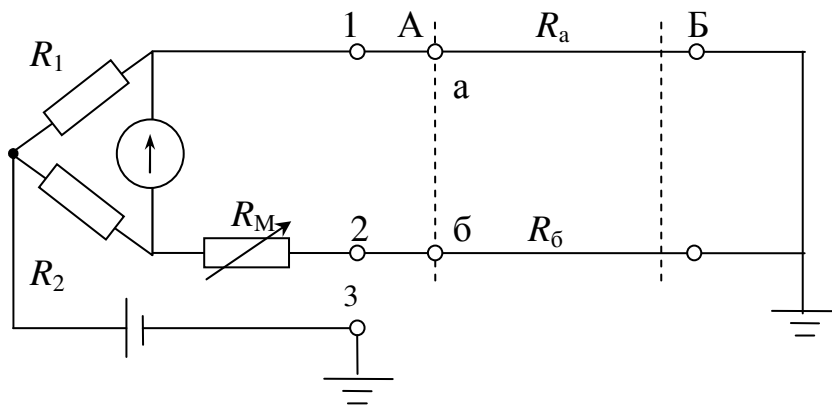


Рисунок 9.1 – Схема вимірювання омичної асиметрії

9.1.4 Опір шлейфу

Опір шлейфу (електричний опір жил двопровідного кола ($R_{\text{шл}} = R_a + R_b$)) зазвичай вимірюють, користуючись схемою моста постійного струму з незмінним співвідношенням плечей (рис. 9.2). Величину опору плечей моста в перебігу вимірювання добирають у такий спосіб, аби струм у діагоналі моста, в яку підімкнено індикатор, був відсутнім. Збалансувавши міст, знаходимо значення опору шлейфу на всю довжину кола.

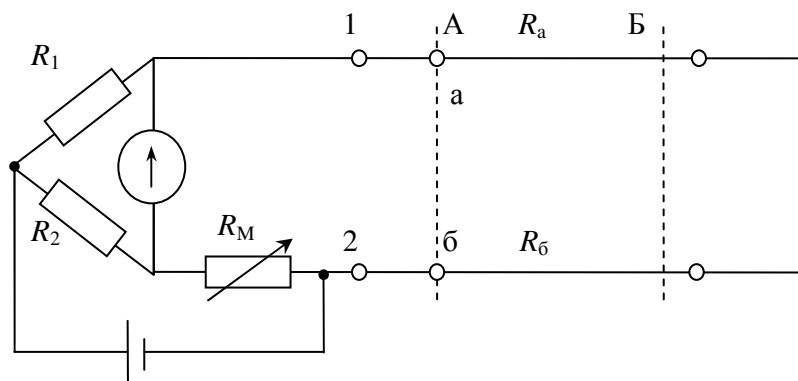


Рисунок 9.2 – Схема вимірювання електричного опору шлейфу

9.1.5 Електричний опір ізоляції

Електричний опір ізоляції вимірюють поміж жилами пар кабелю та поміж кожною жилою й заземленою металевою оболонкою (екраном). Вимірювання можна проводити за допомогою різних методів: методом порівняння, мостовим методом, методом вольтметра–амперметра. У кабельних приладах ПКП-4 та ПКП-5 використовується схема мегомметра з підсилювачем постійного струму. Схема являє собою варіант схеми вимірювання за допомогою методу вольтмет-

ра–амперметра (рис. 9.3). Перед кожним вимірюванням виконується калібрування приладу. Після знаходження вимірювального кола під напругою впродовж 1 хвилини на шкалі мегомметра знімають значення опору ізоляції на всю довжину кола.

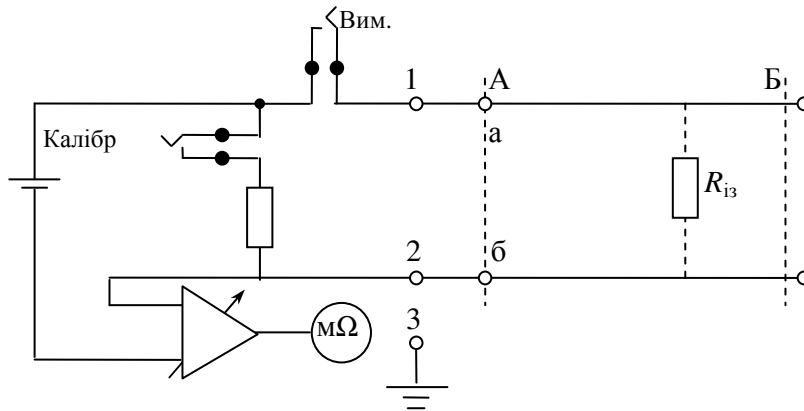


Рисунок 9.3 – Схема вимірювання електричного опору ізоляції

9.1.6 Електрична (робоча) ємність

Ємність поміж жилами та ємність кожної жили по відношенню до заземленої металевої оболонки (екрана) вимірюють за допомогою балістичного методу чи методу заряд–розряд, чи методом порівняння. Усі зазначені методи належать до методів вимірювання за постійного струму. У приладах ПКП-4 та ПКП-5 передбачається схема вимірювання електричної ємності за допомогою методу вольтметра–амперметра за змінного струму (рис. 9.4). Перед вимірюванням виконують калібрування приладу. Виміряне значення ємності поширюється на всю довжину кола.

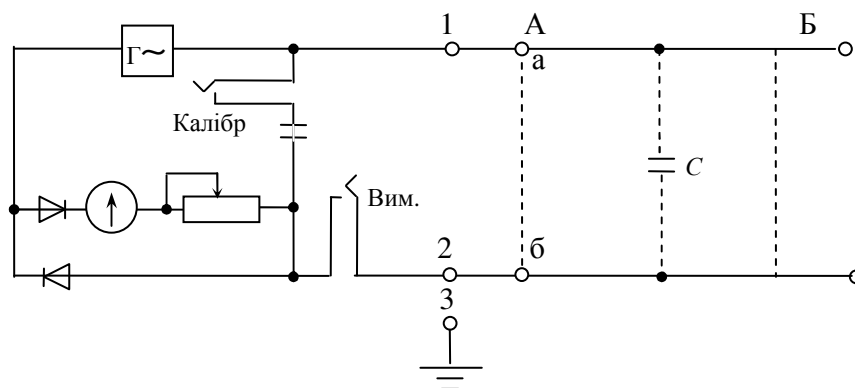


Рисунок 9.4 – Схема вимірювання електричної ємності

9.2 Норми на конструктивні та електричні характеристики основних типів кабелів, застосовуваних на МТМ

На МТМ застосовуються телефонні кабелі парної скрутки жил двох основних типів:

- з повітряно-паперовою ізоляцією у металевій вологозахисній оболонці (ТГ),
- з ізоляцією з суцільного поліетилену в поліетиленовій вологозахисній оболонці (ТПП).

Кабелі з повітряно-паперовою ізоляцією мають струмопровідні жили діаметром 0,4; 0,5; 0,7 мм. Ізоляція переважно з паперової смужки товщиною 0,05 мм, накладеної по спіралі з перекриттям в 20...30 %. Діаметр ізольованої жили за діаметра голої жили 0,5 мм з урахуванням товщини ізоляції дорівнює $d_1 = 1,0$ мм.

Кабель має парну скрутку груп з кроком 70...100 мм та повивну скрутку осердя.

Кабелі випускаються як "голі", без броні (ТГ), так і з різними броньованими покриттями (ТБ, ТК).

Кабелі типу ТГ випускають з кількістю від 5 до 1600 пар, а броньовані кабелі – до 600 пар.

Кабелі ТПП з поліетиленовою ізоляцією жил виготовляють ємністю від

10 до 2400 пар. Струмопровідні жили виконують з міді діаметром 0,32 мм; 0,4 мм та 0,5 мм.

Норми наведено для кабелів марок ТПП 10 до 2400 пар, 0,5

(табл. 9.2.1, 9.2.2) та МКСТ 1 до 4 пар, 1,2 (табл. 9.2.3).

Таблиця 9.1 – Норма на опір ізоляції для ТПП

Марка кабелю	Норма на опір ізоляції, МОм·км	Примітка
ТПП	Не менш за 6500 100% ємності кабелю	ТУ У 05758730.014-2000

Залежно від діаметра жил, ізоляція з суцільного поліетилену товщиною $\Delta_{\text{діел}} = 0,18 \dots 0,4$ мм для парної скрутки й $\Delta_{\text{діел}} = 0,18 \dots 0,35$ мм для зіркової скрутки. Скрутка парна, четвіркова, пучкова, повивна. Поверх скрутки розташовується екран з алюмінієвої смуги товщиною $\Delta_e = 0,1 \dots 0,2$ мм.

Під екраном міститься мідний дріт діаметром $0,5 \dots 0,6$ мм, зовні пластмасова оболонка з поліетилену товщиною $1,5 \dots 4,2$ мм залежно від місткості кабелю.

Норми на електричні характеристики, які вимірюються за допомогою постійного струму для різних типів кабелів, застосовуваних на МТМ, наведено в табл. 9.1, 9.2 та 9.3. Усі нормативні значення наведено на довжину 1 км та для температури 20°C .

Таблиця 9.2 – Норма на робочу ємність для кабелю ТПП

Марка кабелю	Діаметр жили, мм	Норма на робочу ємність, нФ/км			Ємність окремих жил, нФ/км
ТПП	0,4...0,7	45		5	Не нормується

Норма опору ізоляції екран–земля в ошлангованих кабелях типу ТПП становить $5000 \text{ МОм} \cdot \text{км}$.

Норма опору шлейфу жил, зведена для температури 20°C й за довжини кабелю 1 км, для кабелю ТГ та ТПП має бути:

для проводу діаметром 0,4 мм – не більш за 296 Ом/км ;

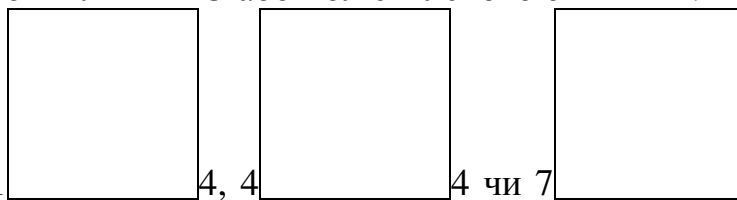
для проводу діаметром 0,5 мм – не більш за 186 Ом/км ;

для проводу діаметром 0,7 мм – не більш за 96 Ом/км .

Норма омичної асиметрії жил для кабелю ТГ та ТПП має бути не більш за 1% від опору шлейфу жил.

Кабелі марки ТГ мають витримувати впродовж двох хвилин випробування напругою 500 В змінного струму частоти 50 Гц поміж жилами робочих пар і таку саму напругу (500 В) поміж жилами та свинцевою вологозахисною оболонкою. Кабелі марки ТПП поміж жилами робочих пар – 1000 В, впродовж 1 хв.

Для МТМ використовуються симетричні кабелі з кордельно-стирофлексною ізоляцією жил – МКС або поліетиленовою – МКП. Такі кабелі



можуть мати місткість 1 4, 4 4 чи 7 4. Це кабелі зіркової скрутки груп та повивної скрутки осердя. Струмopровідні жили мають діаметр 1,2 мм, ізолюються різнокольоровими стироплексними корделями

діаметром 0,8 мм та стирофлексною стрічкою товщиною 0,05 мм з перекриттям 25 ... 30 %. Перша пара кожної зірки (четвірки) має жилу *a* червоного та жилу *b* жовтого кольору, друга пара – *a* – синього та *b* – зеленого кольору. Посередині зірки є заповнення у вигляді центрального корделя діаметром 1,1 мм. Усі зіркові групи кабелів мають взаємноузгоджені кроки скрутки, які перебувають у межах 125...275 мм. Поясна ізоляція таких кабелів виготовляється з кабельного паперу. Вологозахисна оболонка може бути як зі свинцю, так і з алюмінію чи сталі. Вологозахисні оболонки з алюмінію та сталі потребують захисту від зовнішніх впливів, тому зверху на них обов’язково “одягають” шланг з поліетилену. А щоби шланг не зіскочив, поміж вологозахисною оболонкою та шлангом використовують бітумний підклеювальний шар. Отже, кабелі:

– МКСГ – зі стирофлексною ізоляцією жил є “голий”, тобто має вологозахисну оболонку зі свинцю, а зверху більш нічого;

– МКСАШп – зі стирофлексною ізоляцією жил, в алюмінієвій вологозахисній оболонці, зверху – бітумний підклеювальний шар, зверху – шланг з поліетилену;

– МКССШп – зі стирофлексною ізоляцією жил, у сталевій вологозахисній оболонці, зверху – бітумний підклеювальний шар, зверху – шланг з поліетилену.

Кабелі зіркової скрутки жил можуть мати бронепокриття двома сталевими стрічками (МКСБ, МКСАБШп, МКССБШп) чи з круглого дроту (МКСК).

Якщо кабель має поліетиленову ізоляцію жил, то тоді він маркується як МКПП. Товщина суцільної поліетиленової ізоляції жил $\Delta_{iz} = 1,1$ мм. Вологозахисна оболонка такого кабелю є двошарова пластмасова.

Норми на електричні характеристики, вимірювані за допомогою постійного струму для різних типів ВЧ симетричних кабелів, наведено в таблиці 9.3 (ГОСТ 52221-74). $l_{б\text{уд}}$ – будівельна довжина кабелю. Для стандартних кабелів МКС

$$l_{б\text{уд}} = 825 \boxed{} 5 \text{ м.}$$

Усі норми наведено для кабелів МТМ без урахування підмикання їх до прикінцевого обладнання мережі. Під час вимірювання кабелів з підмиканням до прикінцевого обладнання (громові смуги, бокси, скриньки) норми, надто опору ізоляції, слід обчислювати з урахуванням плінтів прикінцевих підмукань.

Таблиця 9.3 – Норми на електричні характеристики кабелів МКС

Характеристика	З паперово-кордельною ізоляцією	Зі стирофлексною кордельною ізоляцією	З поліетиленовою ізоляцією
Опір ізоляції (МОм·км) поміж кожним проводом та іншими заземленими проводами $t = 20^\circ\text{C}$ не менш за	10 000	10 000	10 000

Робоча ємність (нФ/км) поміж про- водами основного кола та іншими заземленими проводами не більш за	$27 \pm 1,1$	24,5 0,8	34,5 0,5
Опір кола (Ом/км) $d_0 = 1,2$ мм за $t = 20$ °C не більш за	32	32	32
Різниця опорів (омічна асиметрія) (Ом/ $l_{\text{буд}}$)	0,2	0,2	0,2
Електрична міцність ізоляції (В) по- між пучком жил та заземленою обо- лонкою чи екраном не менш за	1800	1800	1800
Електрична міцність (В) поміж про- водами а, з'єднаними до пучка та проводами б, також з'єднаними до пучка не менш за	1000	1500	1500

Лабораторна робота № 2

**ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ПЕРЕДАВАННЯ
КІЛ КАБЕЛЬНИХ ЛІНІЙ ЗВ'ЯЗКУ****1 МЕТА РОБОТИ**

Вивчення властивостей первинних та вторинних параметрів передавання кіл, вивчення способів розрахунку вторинних та первинних параметрів кіл, а також методів вимірювання вторинних параметрів передавання кабелів зв'язку.

2 КЛЮЧОВІ ПОЛОЖЕННЯ

Процес поширення електромагнітного поля уздовж кола визначається параметрами передавання, до яких належать:

- первинні параметри: R – активний опір кола, Ом/км; L – індуктивність кола, Гн/км; C – ємність кола, Ф/км; G – провідність ізоляції кола, См/км;
- вторинні параметри: α – коефіцієнт загасання, дБ/км; β – коефіцієнт фази, рад/км; Z_B – хвильовий опір, Ом; V – швидкість поширення, м/с.

З первинних параметрів лише R та G зобумовлюють втрати енергії: R – теплові втрати в провідниках та інших металевих частинах кабелю (екран, оболонка, броня), G – втрати в ізоляції провідників.

Значення первинних параметрів передавання можна дістати методами безпосередніх вимірювань, тоді як вторинних параметрів – лише методами непрямих вимірювань.

При проведенні вимірювань на лініях зв'язку слід узгоджувати генератор і навантаження з хвильовим опором лінії, тому, як правило, усі вимірювання починаються з вимірювання хвильового опору лінії. Якщо вимірювання ведуться на високих частотах та довгих лініях, то хвильовий опір може бути виміряний як вхідний опір цієї довгої лінії. За допомогою приладу МПП-300 методом ХХ та КЗ може бути визначено вхідні параметри лінії, а по ним розраховано вторинні параметри лінії – α , β , V , $|Z_B|$.

Коефіцієнт загасання α може бути також виміряний методом різниці рівнів чи методом порівняння (рис. 2.1).

Коефіцієнт фази β може бути виміряний методом компенсування відповідно до схеми (рис. 2.2.)

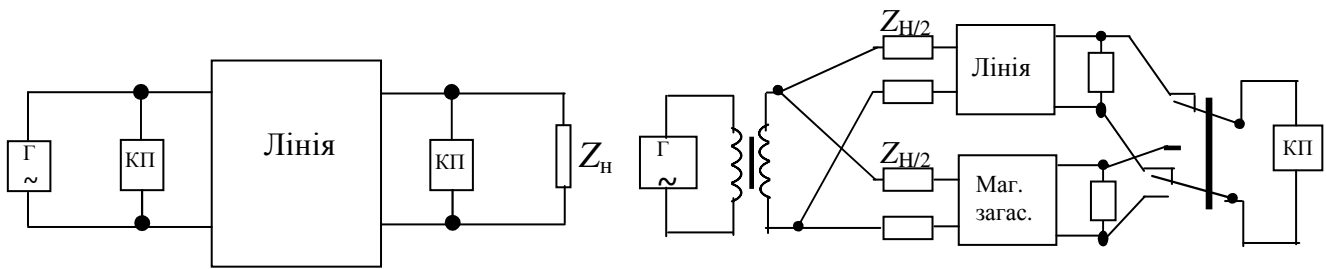


Рисунок 2.1 – Вимірювання загасання

а) – методом різниці рівнів; б) – методом порівняння

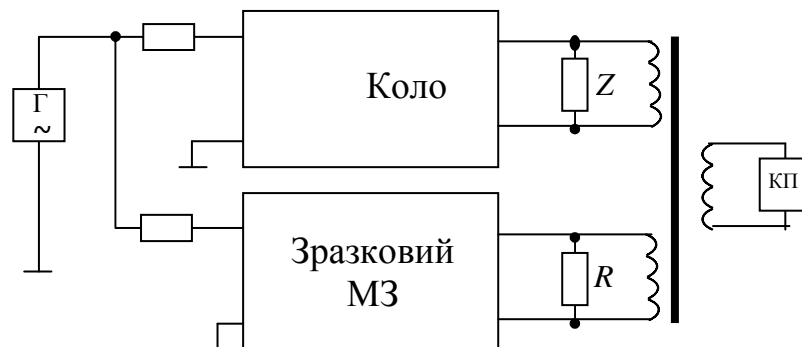
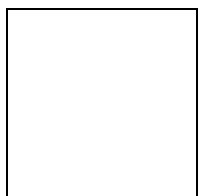


Рисунок 2.2 – Вимірювання коефіцієнта фази методом компенсування

Напруги на виході вимірюваної лінії і магазина загасання відрізняються за фазою на кут, внесений вимірюваною лінією, тому що магазин загасання зібрано з активних опорів і не вносить зсуву за фазою в досліджувану напругу.

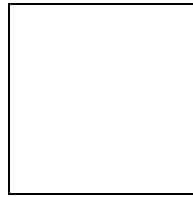
Зсув за фазою поміж напругами на виході лінії й магазина загасання може дорівнювати нулю лише тоді, коли довжина лінії дорівнює нулю чи цілому числу довжин хвиль на вимірюваній частоті. Отже, для кожної довжини лінії існує низка частот, на яких фазовий зсув, внесений лінією, дорівнює $2\pi n$. Ці частоти називаються критичними. Знаючи довжину лінії й критичну частоту, мож-

на визначити коефіцієнт фази для цієї частоти за формулою

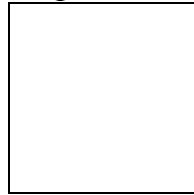


, де L – довжина досліджуваної лінії. Критична частота визначається за допомогою індикатора, що буде показувати мінімум при зустрічному вми-
канні обмоток диференціального трансформатора ДТ.

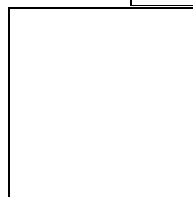
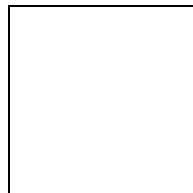
Обчислення вторинних параметрів за результатами вимірювань параметрів лінії в режимах ХХ та КЗ може бути виконано за відповідними формулами з використанням рівнянь передавання однорідної лінії



Розв’язавши їх відносно U_0 та I_0 при $x = L$, дістанемо

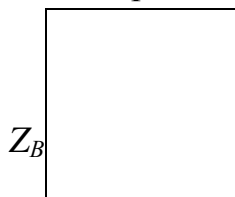


Звідси

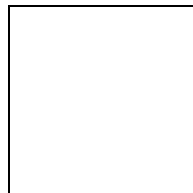


де

Якщо опір навантаження дорівнює нулю (КЗ; $Z_H = 0$), то $Z_0 = Z_B \tanh \gamma L$. Якщо опір навантаження дорівнює нескінченності (ХХ; $Z_H = \infty$), то $Z_\infty =$

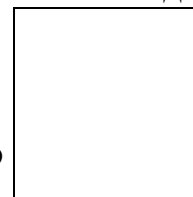


Звідси дістанемо



Слід враховувати, що метод ХХ та КЗ застосуємо лише тоді, коли коло є

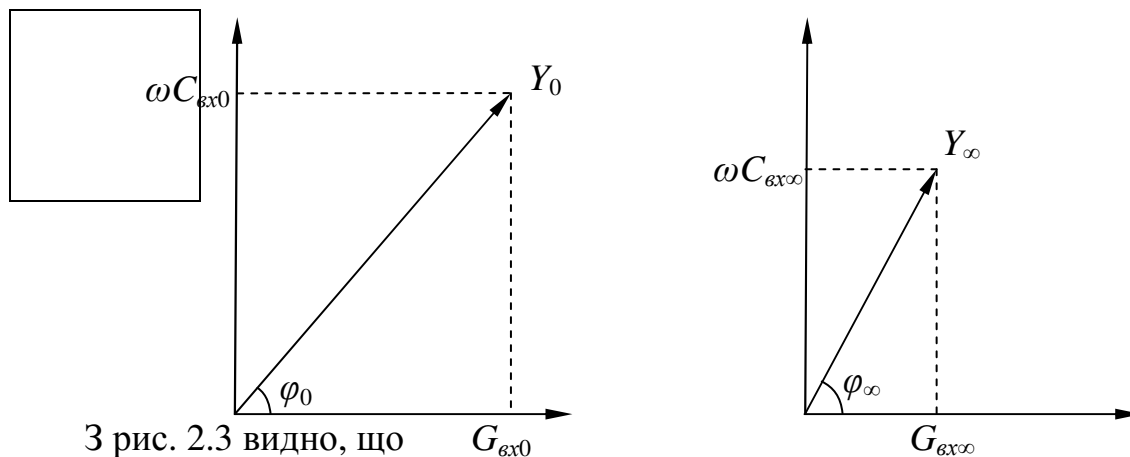
коротке, тобто $\alpha L \leq 13$ дБ, тому що якщо $\alpha L > 13$ дБ, то



й тому $Z_{BX} =$

Z_B .

Якщо ми позначимо через φ_∞ та φ_0 кут зсуву між напругою та струмом при холостому ході й короткому замиканні відповідно, то величина вхідної провідності при холостому ході чи короткому замиканні може бути визначена виразом згідно з рис. 2.3.



З рис. 2.3 видно, що

Рисунок 2.3 – Векторні діаграми вхідної провідності для ХХ та КЗ

та

Розділивши Z_0 на Z_∞ , дістанемо

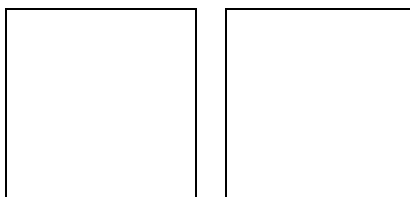
$$\frac{Z_0}{Z_\infty} = \frac{G_{ex0} + j\omega C_{ex0}}{G_{ex\infty} + j\omega C_{ex\infty}} = \frac{G_{ex0} + j\omega C_{ex0}}{G_{ex\infty} + j\omega C_{ex\infty}} \cdot \frac{G_{ex\infty} - j\omega C_{ex\infty}}{G_{ex\infty} - j\omega C_{ex\infty}} = \frac{(G_{ex0}G_{ex\infty} + \omega^2 C_{ex0}C_{ex\infty}) + j(\omega C_{ex0}G_{ex\infty} - G_{ex0}\omega C_{ex\infty})}{G_{ex\infty}^2 + \omega^2 C_{ex\infty}^2}$$

де

Звідси

$$\frac{Z_0}{Z_\infty} = \frac{G_{ex0}G_{ex\infty} + \omega^2 C_{ex0}C_{ex\infty}}{G_{ex\infty}^2 + \omega^2 C_{ex\infty}^2} + j \frac{\omega C_{ex0}G_{ex\infty} - G_{ex0}\omega C_{ex\infty}}{G_{ex\infty}^2 + \omega^2 C_{ex\infty}^2}$$

чи



Обчислення вторинних параметрів за результатами вимірювань C та G при дослідженні лінії в режимах дослідів XX і КЗ можна провадити в такому порядку:

(2.1)

(2.3)

(2.5)

(2.7)

(2.9)

(2.2)

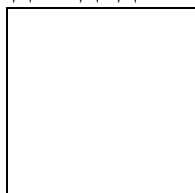
(2.4)

(2.6)

(2.8)

(2.10)

Знаючи довжину досліджуваної лінії, можна визначити величини α та β . Обчислене значення β може не відповідати табличному значенню на розрахунковій частоті, тому що $\operatorname{tg} 2\beta L$ – періодична функція, тому задача зводиться до того, аби визначити, скільки π необхідно додати до знайденого значення



де L – у км; $n = 1, 2, 3, \dots$. Число n добираємо таким, щоби β відповідало табличному значенню.

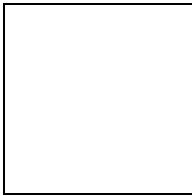
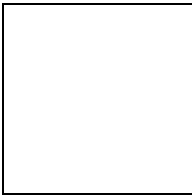
Знаючи вторинні параметри, можна обчислити первинні.

Коефіцієнт поширення γ є комплексною величиною і може бути поданий у вигляді

Хвильовий опір

Перемноживши γ та $Z_{\text{хв}}$, дістаємо поздовжню складову

Якщо γ розділити на Z , дістанемо поперечну складову

Якщо відокремити дійсні та уявні частини  і  й розділити уявні складові на ω , дістанемо первинні параметри передавання.

Знаючи первинні параметри передавання, можна визначити першу критичну частоту даної лінії за формулою

Для віднайденого значення критичної частоти методом компенсування визначаються значення коефіцієнта загасання та коефіцієнта фази:

де a – власне загасання кола (показник магазину загасання); l – довжина лінії.

Точне значення власного загасання кола визначається шляхом плавного змінювання частоти генератора (див. рис. 2) та повного компенсування сигналу на

3 КЛЮЧОВІ ЗАПИТАННЯ

- ## 4 ДОМАШНЄ ЗАВДАННЯ

- ## 5 ЛАБОРАТОРНЕ ЗАВДАННЯ

- ### Таблиця 5.1 – Результати вимірювань

[illegible]

5.5 Зберіть схему для вимірювання власного загасання кола методом різниці рівнів на заданих частотах.

5.6 За визначеними вторинними параметрами обчисліть на заданих частотах первинні параметри передавання.

5.7 Накресліть частотні залежності вимірних параметрів передавання.

6 ПОРЯДОК РОБОТИ

6.1 Зібрати схему вимірювання вхідної провідності G та ємності C при холостому ході й короткому замиканні. Приєднати генератор, індикатор до відповідних затисків МПП-300.

6.2 Ввімкнути тумблером живлення генератора та індикатора. На генераторі встановити задану частоту генератора та індикатора.

6.3 Встановити ручки магазинів провідностей та ємностей МПП в нульове положення. Ключ "Кл" на панелі МПП встановити в положення, що відповідає знаку кута φ вимірюваної лінії. Якщо частота менша за 90 кГц, то в режимі КЗ знак кута φ_0 – «плюс», а в режимі ХХ знак φ_∞ – «мінус». На частотах більше 90 кГц знаки кута φ міняються на протилежні.

6.4 Здійснити початкове зрівноважування моста, для чого, обертаючи поперемінно ручки "Провідність" та "Ємність" (на панелі МПП), домогтися найменшого відхилення стрілки індикатора.

6.5 Змінюючи поперемінно провідність та ємність, зрівноважити міст, тобто домогтися найменшого відхилення стрілки індикатора за його максимальної чутливості.

6.6 Відрахувати покази магазинів провідностей та ємностей.

6.7 Не змінюючи частоти генератора, змінити знак φ на протилежний. Зробити початкове балансування моста при вимкненій лінії.

6.8 Змінивши режим роботи лінії, домогтися рівноваги моста згідно з пп. 6.3...6.5.

6.9 Обчислити первинні та вторинні параметри кола.

6.10 Зібрати схему вимірювання коефіцієнта загасання та коефіцієнта фази методом компенсування. Встановити загасання еталонного магазину дорівнюваним нулеві.

6.11 Обчислити значення першої критичної частоти для даної лінії.

6.12 Плавню змінюючи частоту генератора поблизу критичної частоти, віднайти мінімум показів індикатора.

6.13 На віднайденій частоті, не змінюючи налаштування генератора, за допомогою магазину загасання домогтися нульових показників індикатора.

6.14 Пункти 11 та 12 повторити два – три рази до повного компенсування показів індикатора.

6.15 За показниками генератора й магазину загасання за допомогою відповідних формул визначити значення α та β .

7 ЗМІСТ ПРОТОКОЛУ

7.1 Мета роботи.

7.2 Апаратура.

7.3 Схеми вимірювань, результати вимірювань, результати обчислень, графіки залежностей первинних та вторинних параметрів, побудованих за результатами вимірювань.

7.4 Висновки.

8 ЛІТЕРАТУРА

8.1 Гроднев И. И., Курбатов Н. Д. Линии связи. – М.: Связь, 1980, С. 98-116, 120-133.

Лабораторна робота № 3

ВИЗНАЧЕННЯ ВТОРИННИХ ПАРАМЕТРІВ ПЕРЕДАВАННЯ КОАКСІАЛЬНИХ КАБЕЛІВ

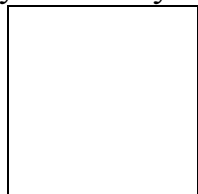
1 МЕТА РОБОТИ

Ознайомлення з методом визначення вторинних параметрів передавання коаксіальних кабелів за результатами вимірювання коефіцієнта вкорочування довжини хвилі.

2 КЛЮЧОВІ ПОЛОЖЕННЯ

2.1 Методика визначення вторинних параметрів передавання

В техніці радіочастотних кабелів для оцінювання явища поширення електромагнітної енергії часто використовується розуміння коефіцієнта вкорочування довжини хвилі. Коефіцієнт вкорочування довжини хвилі характеризує зменшення швидкості поширення електромагнітної енергії в кабелі порівняно зі швидкістю поширення енергії у вільному просторі:



(2.1)

де c – швидкість світла у вільному просторі, яка дорівнює 300000 км/с;

v – фазова швидкість поширення енергії в колі коаксіальної пари, км/с.

Кожна лінія, яка має відмінні від іншої первинні параметри передавання, залежні від типу діелектрика поперечного перерізу й матеріалів провідників, має власну швидкість поширення імпульсного сигналу.

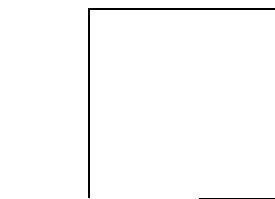
Для оцінювання величини вторинних параметрів передавання в коаксіальних колах можна використовувати імпульсний метод визначення коефіцієнта вкорочування (КВ), наприклад, приладом Р5-10, чи його аналогом.

Точність імпульсних вимірювань переважно визначається правильним вибором величини швидкості поширення імпульсного сигналу у вимірюваному колі лінії передавання.

Для вимірювання КВ береться зразок кабелю, який приблизно дорівнює чверті довжини хвилі в кабелі, у відповідності з частотою, на якій провадиться вимірювання (наприклад, для частоти 45 МГц довжина кабелю з суцільною поліетиленовою ізоляцією становить 1,15...1,20 м).

Визначення параметрів передавання кола на резонансній частоті f_p при використанні резонансних властивостей вимірюваного зразка коаксіального кабелю можливе в такій послідовності.

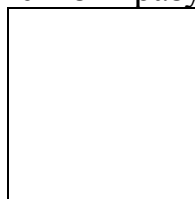
За відомої довжини зразка визначається резонансна частота f_p за виразом вигляду



(2.2)

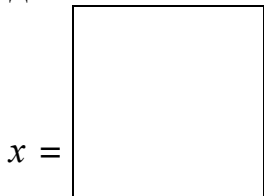
де f_p – резонансна частота, Гц; — довжина зразка, м.

Ємність кола кабелю визначається із виразу вигляду



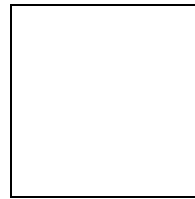
(2.3)

де C – ємність кола кабелю, Ф/км,



$x =$ — співвідношення внутрішнього діаметра зовнішнього проводу (D) та діаметра внутрішнього проводу (d) коаксіального кола.

Хвильовий опір кола за відомих значень C чи ζ визначається з виразу:

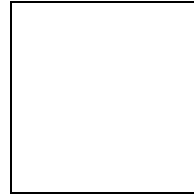


Ом,

(2.4)

де C – ємність кола кабелю, нФ/км.

Коефіцієнт загасання кола в спектрі частот до $(8...17) \cdot 10^6$ Гц визначається з виразу вигляду

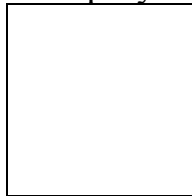


(2.5)

де α – коефіцієнт загасання, дБ/км.

D – внутрішній діаметр зовнішнього проводу коаксіальної пари.

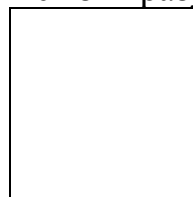
Коефіцієнт фази визначається з виразу вигляду



(2.6)

де β – коефіцієнт фази, рад/км.

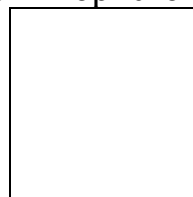
Фазова швидкість кола визначається з виразу



(2.7)

де v_ϕ – фазова швидкість кола, км/с.

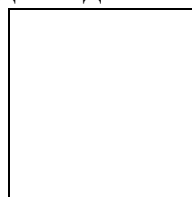
Для порівняння отриманих значень вторинних параметрів передавання за температури вимірювань t з нормами слід звести значення $|Z_{xb}|$, α_t і β_t до значень цих параметрів за $t = 20^\circ\text{C}$. Для цього використовується вираз



(2.8)

де N_{20} , N_t – параметр ($|Z_{xb}|$, α , β), зведений до температури 20°C , та цей самий параметр за температури вимірювань – t , відповідно;

α_N – температурний коефіцієнт відповідного параметра передавання:

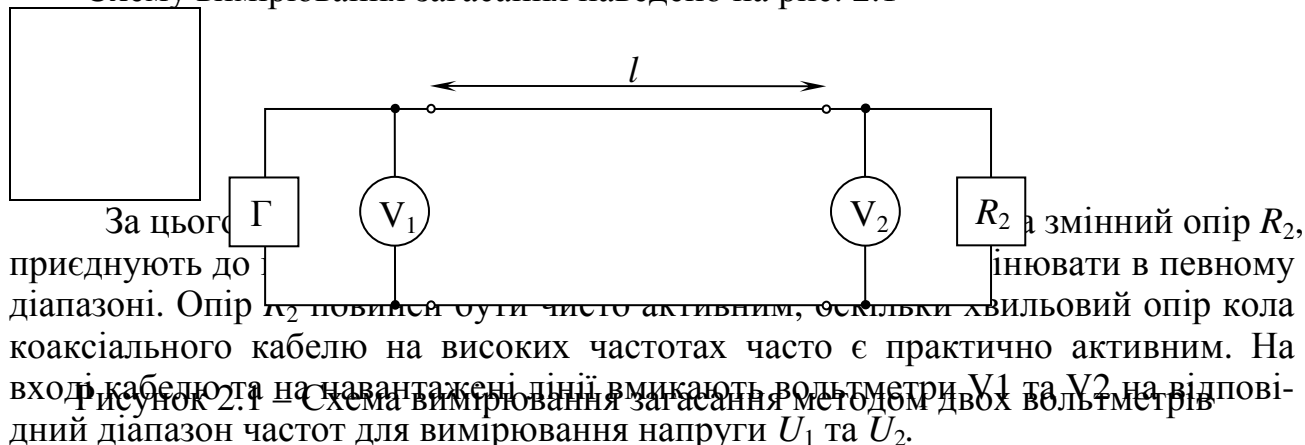


2.2 Вимірювання коефіцієнта загасання в коаксіальному кабелі

Вимірювання коефіцієнта загасання в колі коаксіального кабелю можна виконувати мостовим методом, методом компенсування, методом коефіцієнтів розсіяння, методом відношення напруги (метод двох вольтметрів) та іншими методами.

В даній роботі використовується метод двох вольтметрів. Вимірювання загасання цим методом широко використовується в виробничих умовах.

Схему вимірювання загасання наведено на рис. 2.1



Змінюючи величину опору R_2 добиваються того, щоб хвильовий опір коаксіального кабелю й опір R_2 були однакові. В цьому випадку лінія працює в режимі хвилі що біжить.

За малого загасання напруга U_2 мало відрізнятиметься від напруги U_1 . Вимірювання слід повторювати на кількох частотах для того, щоб отримати більш точні результати. Для цього частоту генератора слід змінювати в широких межах, включаючи й резонансну частоту, яка відповідає довжині хвилі $\lambda=4 \cdot l$. На кожній частоті цього діапазону за малого загасання $Z_{\text{хв}} = R_2$. Якщо загасання є значне, то за $R_2 = Z_{\text{хв}}$ з підвищенням частоти значення U_2 плавно зменшується без будь-яких періодичних коливань. Якщо $R_2 \neq Z_{\text{хв}}$, покази вольтметра U_2 періодично змінюватимуться зі зміною частоти генератора.

Отже, якщо за певного значення R_2 значення вольтметра U_2 є практично незмінні чи монотонно зменшуються (та збільшуються) зі зміною частоти, то це означає, що параметри кабелю узгоджено з навантаженням. У цьому разі $Z_{\text{хв}} = R_2$, а коефіцієнт загасання α , дБ/км, визначається за формулою

$$\alpha = \frac{20}{l} \lg \frac{U_1}{U_2}, \quad (2.9)$$

де l – довжина вимірюваного кабелю в метрах.

3 КЛЮЧОВІ ПИТАННЯ

3.1 Як визначається величина коефіцієнта вкорочування хвилі в колі лінії передавання?

- 3.2 Запишіть вираз коефіцієнта вкорочування та дайте його визначення.
- 3.3 Від чого залежать значення α , $|Z_{\text{хв}}|$, β_t та ν_ϕ в діапазоні високих частот?
- 3.4 Проаналізуйте вираз, згідно з яким зводять значення певних величин вторинних параметрів передавання за температури $t^\circ\text{C}$ до значень за температури 20°C .
- 3.5 Наведіть значення температурних коефіцієнтів α_α , α_z , α_β .
- 3.6 Засади вимірювання загасання кола лінії передавання методом двох вольтметрів.
- 3.7 Визначення вторинних параметрів передавання та їхні частотні залежності.

4 ДОМАШНЄ ЗАВДАННЯ

За самостійної підготовки до лабораторної необхідно:

- 4.1 Вивчити рекомендовану літературу.
- 4.2 Ознайомитися з методикою вимірювання коефіцієнта вкорочення хвилі в колі лінії передавання (розд. 6).
- 4.3 Ознайомитися із засадами вимірювання загасання за допомогою двох вольтметрів (підрозд. 2.2).
- 4.4 Підготувати усні відповіді на ключові запитання (розд. 3).
- 4.5 Підготувати бланк звіту.

5 ЛАБОРАТОРНЕ ЗАВДАННЯ

- 5.1 Ознайомитися з макетом.
- 5.2 Увімкнути прилади й підготувати їх до роботи.
- 5.3 За завданням викладача виконати вимірювання:
- значення коефіцієнта вкорочування хвилі в коаксіальній парі;
 - значень U_1 та U_2 на чотирьох частотах тієї самої коаксіальної пари.
- 5.4 Виконати обчислення:
- вторинних параметрів передавання на підставі виміряного значення ξ за чотирьох частот;
 - коефіцієнта загасання коаксіальної пари на тих самих частотах на підставі вимірювань U_1 та U_2 за методом двох вольтметрів.
- 5.5 За результатами обчислень побудувати графіки частотних залежностей вторинних параметрів передавання.

6 АПАРАТУРА

- 6.1 Макет довжини різних коаксіальних кабелів.
- 6.2 Прилад P5-10, або його сучасний аналог.

6.3 Генератор, вольтметри.

7 ЛІТЕРАТУРА

7.1 **Ефимов И. Е., Останькович Г. А.** Радиочастотные линии передачи. – М.: Связь, 1977.

7.2 **Измеритель** неоднородностей линий. Техническое описание и инструкция к эксплуатации Р5-10.

8 ДОДАТОК

8.1 Технічні характеристики кабелів РК-75, РЖ-58, РЖ-59

Таблиця 8.1 – Електричні та конструктивні дані кабелів РК-75, РЖ-58 та РЖ-59

Марка кабеля	Хвильовий опір, Ом	Коефіцієнт загасання, дБ/км, на частоті, МГц			Ємність, нФ/км	Діаметр внутрішнього проводу, мм	Внутрішній діаметр зовнішнього проводу, мм
		10	100	1000			
РК-75	75	27,04	85,6	270,7	67	0,85	4,0
РЖ-58	50	38,67	122,4	387,0	110	0,64	3,0
РЖ-59	75	33,3	105,4	333,3	75	0,64	3,71

Лабораторна робота №4

ВИПРОБУВАННЯ ТА ВИМІРЮВАННЯ КІЛ ЛІНІЙ ПЕРЕДАВАННЯ ІМПУЛЬСНИМ МЕТОДОМ

1 МЕТА РОБОТИ

Ознайомлення студентів з імпульсним методом визначення місця та характеру пошкоджень кіл ліній передавання (ЛП), а також вивчення методики визначення коефіцієнта загасання коаксіальних кабелів за результатами вимірювання коефіцієнта вкорочування довжини хвилі.

2 КЛЮЧОВІ ПОЛОЖЕННЯ

2.1 Імпульсний метод визначення місця та характеру ушкоджень кіл ЛП

Під час експлуатації ліній передавання з різних причин виникають ушкодження, які призводять до порушення нормального функціонування зв'язку. Тому одним з найважливіших завдань в перебігу експлуатації ЛП є визначення характеру та місця ушкодження ЛП з метою негайної ліквідації останнього.

Лінійні ушкодження за характером поділяються на:

- обривання провідників;
- з'єднання провідників;
- зниження ізоляції провідників;
- з'єднання провідників з землею.

За виявлення ушкоджень з'ясовують їхній характер, а потім за допомогою вимірних приладів визначають відстань до місця кожного ушкодження.

В даній роботі вивчається імпульсний метод визначення місця та характеру ушкоджень кіл ЛП.

Імпульсний метод вимірювання кіл ліній передавання заснований на використанні явища відбиття імпульсу електромагнітної хвилі в місцях неоднорідностей кола внаслідок зміни його хвильового опору. Неоднорідності кола ЛП виникають за рахунок погіршення його якості та ушкоджень.

Принцип дії цього методу, реалізований в приладі Р5-10 та його аналогах, полягає в тому, що в колі ЛП, наприклад кабелі, з генератора імпульсів подаються імпульси струму (зондувальні імпульси), що вони, поширюючись колом, частково відбиваються від неоднорідностей хвильового опору й повертаються до місця, звідки їх було послано, та відбиваються на екрані електронно-променевої трубки (ЕПТ) з часовим розгортанням променя. Сигнали, відбиті від неоднорідностей хвильового опору, буде зміщено за часом щодо зондувального імпульсу (ЗІ) залежно від відстані до неоднорідності, тобто величина змі-

щення відбитого сигналу щодо зондувального імпульсу на екрані ЕПТ є пропорційна відстані до неоднорідності.

Зондувальний імпульс та відбиті від неоднорідностей сигнали відтворюються на екрані. Відстань до неоднорідності визначається за допомогою калібраційних позначок приладу. Вимірювання імпульсним методом забезпечують одержання швидкого й точного результату, особливо в тому разі якщо ушкодження має вигляд обриву, короткого замикання, з'єднання проводів у багато-провідних системах.

Неоднорідність хвильового опору ($Z_{\text{хв}}$) характеризується коефіцієнтом відбиття, який визначається за формулою вигляду

$$p = \frac{U_{\text{в}}}{U_{\text{з}}} = \frac{Z_{\text{хв}} - Z}{Z_{\text{хв}} + Z} \quad (2.1)$$

де p – коефіцієнт відбиття; $U_{\text{в}}$, $U_{\text{з}}$ – амплітуди відбитого та зондувального імпульсів, відповідно; $Z_{\text{хв}}$, Z – номінальне значення хвильового опору та значення хвильового опору в місці неоднорідності кола ЛП, відповідно.

Відсутність на екрані ЕПТ відбитого сигналу свідчить про точне узгодження лінії за хвильовим опором. Відбитий імпульс (ВІ) має таку полярність, що й зондувальний, при збільшенні опору в місці відбиття, досягаючи граничної амплітуди, рівної амплітуді ЗІ (повне відбиття) при обриві. ВІ змінює полярність при зменшенні опору ланцюга лінії, досягаючи граничної амплітуди, яка дорівнює амплітуді зондувального імпульсу, при короткому замиканні (КЗ).

Коефіцієнт відбиття сягає граничного значення, рівного одиниці, за повного відбиття хвилі від даної неоднорідності в колі лінії. Він дорівнює плюс 1 за відбиття хвилі від неоднорідності у виді обривання кола й мінус 1 за відбиття хвилі від неоднорідності у вигляді короткого замикання проводів кола.

Відстань до місця неоднорідності (транспозиція проводів, коротке замикання, обривання, кабельне вставляння, плавна зміна неоднорідності) визначається часом запізнювання ($t_{\text{зп}}$) відбитого сигналу щодо фронту ЗІ.

За відомої (чи виміряної заздалегідь) швидкості поширення імпульсу (v) лінією й $t_{\text{зп}}$ однозначно визначається відстань до місця неоднорідності за виразом вигляду

$$L = v \cdot t_{\text{зп}} \quad (2.2)$$

Точність імпульсних вимірювань, переважно, залежить від точності вибору величини швидкості поширення імпульсного сигналу колом вимірюваної лінії передавання.

Кожна лінія, яка має відмінні від іншої первинні параметри передавання, що залежать від типу діелектрика, перерізу й матеріалів проводів тощо, має

власну швидкість поширення. Відлік відстані в одиницях довжини визначається з урахуванням швидкості поширення імпульсу в лінії через коефіцієнт вкорочування електромагнітної хвилі (ручка "Укорочение"). Величина коефіцієнта вкорочування (KB) електромагнітної хвилі визначається за формулою

$$\text{KB} = \frac{L}{L_0} \quad (2.3)$$

де c – швидкість світла в вакуумі, що дорівнює 300 000 км/с;

v – швидкість поширення імпульсу в колі лінії даного типу, км/с.

При імпульсних вимірюваннях на лініях з невідомим коефіцієнтом вкорочування його можна орієнтовно обчислити за виразом

$$\text{KB} = \frac{1}{\sqrt{\epsilon}}$$

де ϵ – діелектрична проникність ізоляції жили кабелю, чи експериментально визначена за методикою, викладеною в розділі 6.

2.2 Методика визначення коефіцієнта загасання кола лінії за результатами вимірювання KB

Визначення α кола на частоті f_p кабелю можливе в наступній послідовності. За відомої довжини зразка

$$L = \frac{1}{\alpha} \ln \left(\frac{1}{KB} \right) \quad (2.4)$$

де f_p – розрахункова частота, Гц;

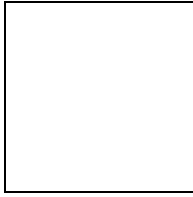
l – довжина зразка, м.

Коефіцієнт загасання кола в спектрі частот до $(8...17) \cdot 10^6$ Гц визначається з виразу вигляду

$$\alpha = \frac{1}{D} \ln \left(\frac{1}{KB} \right) \quad (2.5)$$

де α – коефіцієнт загасання, дБ/км;

D – внутрішній діаметр зовнішнього проводу коаксіальної пари, мм;



– співвідношення внутрішнього діаметра зовнішнього проводу

та діаметра внутрішнього проводу (d) коаксіальної пари.

Для того аби пересвідчитись, чи відповідає кабель за коефіцієнтом загасання нормі (таблиця 1) слід звести здобуте значення α за температури вимірювання $t^{\circ}C$ до значення α_{20} при $20^{\circ}C$ та зробити висновки.

Для цього використовується вираз вигляду



(2.6)

де α_{20} , α_t – коефіцієнти загасання, зведені до температури $20^{\circ}C$ й виміряні за температури $t^{\circ}C$, відповідно;

α_{α} – температурний коефіцієнт загасання, $\alpha_{\alpha} = (2 \dots 2,6) \cdot 10^{-3}$.

3 КЛЮЧОВІ ЗАПИТАННЯ

3.1 Принцип імпульсного методу вимірювання характеру неоднорідності кіл ліній передавання.

3.2 Як визначається відстань до місця розташування неоднорідності в колі лінії передавання?

3.3 Як визначається величина коефіцієнта вкорочення хвилі в колі лінії передавання?

3.4 Назвіть величину, яка характеризує неоднорідність хвильового опору кола лінії передавання?

3.5 Запишіть вирази коефіцієнтів відбиття й вкорочення електромагнітної хвилі.

3.6 Запишіть вираз, згідно з яким зводять значення виміряних величин α за температури $t^{\circ}C$ до значень за температури $20^{\circ}C$.

3.7 Чому дорівнює значення температурного коефіцієнта загасання?

4 ДОМАШНЄ ЗАВДАННЯ

В перебігу самостійної підготовки до лабораторної роботи необхідно:

4.1 Вивчити рекомендовану літературу.

4.2 Ознайомитися з принципом імпульсного методу визначення характеру й місця ушкодження кола лінії передавання (розд. 2, п.1).

4.3 Ознайомитися з методиками вимірювання:

- відстані до неоднорідності (ушкодження) лінії передавання;
- коефіцієнта вкорочування хвилі в лінії передавання відомої довжини.

4.4 Підготувати усні відповіді на ключові питання (розд. 3).

4.5 Підготувати бланк звіту.

5 ЛАБОРАТОРНЕ ЗАВДАННЯ

5.1 Ознайомитися з макетом.

5.2 Увімкнути прилад і підготувати його до роботи.

5.3 Підімкнути прилад до штучної лінії й виконати таке:

а) зняти імпульсну характеристику справної лінії з усіма наявними в ній неоднорідностями;

б) визначити відстань до окремих пунктів лінії передавання;

в) визначити місця й характер ушкоджень на лінії за завданням керівника.

5.4 Підімкнути прилад до макету однієї з довжин коаксіального кабелю за завданням викладача й виміряти значення коефіцієнта вкорочення хвилі. За результатами вимірювання визначити значення коефіцієнта загасання кола кабелю й порівняти його з нормою.

5.5 За результатами виконаних обчислень α на трьох заданих частотах за п. 5.4 цього завдання побудувати графік.

6 АПАРАТУРА

Макет довжини коаксіальних кабелів з різними значеннями хвильового опору. Прилад Р5-10, або його сучасний аналог, генератор, вольтметри.

6.1 Підготовка приладу Р5-10 до роботи

6.1.1 До ввімкнення приладу в мережу необхідно переконатися в тому, що прилад перемкнуто на струм відповідного роду й на потрібну напругу.

6.1.2 Виставте органи керування в початкове положення:

Усиление $\rightarrow$ в крайнє ліве;

Расстояние $\rightarrow 0$;

Питание $\rightarrow$ в нижнє положення (вимкнуто).

6.1.3 Переконайтесь в заземленні приладу.

6.1.4 Ввімкніть живлення приладу тумблером Питание, при цьому має засвітитися сигнальна лампочка на передній панелі. Через 0,5...2,0 хвилини на екрані трубки з'явиться лінія розгортки.

6.1.5 Ручками, Усиление, Яркость та $\uparrow$ відрегулюйте яскравість, фокусування положення на екрані ЕПТ. Лінія розгортки має перебувати на середині екрана трубки.

6.2 Підготовка вимірювача до вимірювань

Залежно від довжини вимірюваної лінії робота виконується на одному з наступних діапазонів вимірювання, які вибираються перемикачем та тумблером. Діапазони км: 0,3 км; 1 км; 3 км; 10 км; 30 км; 100 км; 300 км.

Виставте ручку зонд. Имп. (μS) в положення:

"0,05; 0,1; 0,3" (за довжини вимірювальної лінії до 10 км);

"0,1; 0,3; 1; 3" (за довжини вимірювальної лінії до 300 км).

Виставте ручку Вых. сопр. – на величину хвильового опору вимірювальної лінії. Приблизне значення вихідного опору визначається кольоровими секторами, нанесеними на передній панелі приладу під ручкою Вых. сопр. Світлому секторові відповідає вихідний опір 20...100 Ом; сірому – 100...250 Ом; темно-сірому 250...500 Ом.

6.3 Виконання виміру відстані до місця ушкодження кола лінії передавання

Після приєднання приладу до кола ЛП виконується вимірювання, яке полягає в пошуку на екрані приладу відбиття від місця ушкодження та суміщення переднього фронту цього відбиття з позначковою рисою шкали ЕПТ. Полярність відбитого сигналу зазначає характер зміни хвильового опору в місці відбиття. Викид доверху відповідає збільшенню $Z_{\text{хв}}$ (обривання чи збільшення позовжнього опору), викид донизу зменшення $Z_{\text{хв}}$ (коротке замикання чи витікання).

З початком вимірювання бажано ручкою ДИАПАЗОНЫ встановити такий масштаб зображення, щоби вся вимірювана лінія чи більша її частина могли спостерігатися.

Після орієнтовного встановлення місця ушкодження, за обирання необхідної тривалості імпульсу, підсилення сигналу, який надходить, і вихідного опору приладу, обертанням ручки "Просмотр линии" слід підвести відбитий імпульс від місця ушкодження до лівого відрізу ЕПТ; ручкою "Скорость развертки" встановити такий масштаб зображення, за якого іще може бути чітко видно місце з'явлення переднього фронту відбитого імпульсу, та відррахувати відстань до відбитого імпульсу від початку кола.

6.4 Визначення коефіцієнта укорочення хвилі в кабелі відомої довжини

6.5.1 Виставте ручки в положення:

Укорочение – "1";

Расстояние – "0".

6.5.2 Оберіть діапазон вимірювань, відповідний відомій довжині вимірюваного кабелю.

6.5.3 Установіть початок обчислення відстані, сумістивши передній фронт зондувального імпульсу з позначковою рисою шкали ЕПТ.

6.5.4 Підімкніть з'єднувальний кабель до вимірюваної лінії.

6.5.5 Установіть ручку "Расстояние" в положення, відповідне відомій довжині досліджуваного кабелю (для відносно коротких кабелів з урахуванням довжини приєднуваного кабелю).

6.5.6 Сумістіть передній фронт відбитого імпульсу з обліковою рисою шкали ЕПТ поворотом ручки "Укорочение" праворуч.

6.5.7 Проведіть обчислення коефіцієнта укорочення хвилі в кабелі за шкалою "Укорочение". Точність обчислення коефіцієнта вкорочування визначається при цьому точністю, з якою була встановлено геометричну довжину кабелю.

7 ЗМІСТ ПРОТОКОЛУ

7.1 Дані вимірювань (креслення імпульсних характеристик кіл за справно-го та несправного станів).

7.2 Дані відстаней до окремих пунктів лінії передавання та місць ушко-джень, позначені на імпульсних характеристиках.

7.3 Дані обчисленого коефіцієнта загасання на трьох частотах, зведені в таблицю.

7.4 Висновки про відповідність значень α нормам.

8 ЛІТЕРАТУРА

8.1 **Ефимов И. Е., Останькович Г. А.** Радиочастотные линии передачи. – М.: Связь, 1977.

8.2 **Измеритель** неоднородностей линий Р5-10. Техническое описание и инструкция к эксплуатации.

9 ДОДАТОК

9.1 Технічні характеристики кабелів РК-75, РЖ-58, РЖ-59

Таблиця 9.1 – Електричні та конструктивні дані кабелів РК-75, РЖ-58 та РЖ-59

Марка кабелю	Хвильовий опір, Ом	Коефіцієнт загасання, дБ/км, на частоті, МГц			Ємність, нФ/км	Діаметр внутрішнього проводу, мм	Внутрішній діаметр зовнішнього проводу, мм
		10	100	1000			
РК-75	75	27,04	85,6	270,7	67	0,85	4,0
РЖ-58	50	38,67	122,4	387,0	110	0,64	3,0
РЖ-59	75	33,3	105,4	333,3	75	0,64	3,71

ЗМІСТ

Лабораторна робота № 1	Перевірка електричних параметрів кабелів зв’язку за постійного струму.	3
Лабораторна робота № 2	Дослідження параметрів передавання кіл кабельних ліній зв’язку.	16
Лабораторна робота № 3	Визначення вторинних параметрів передавання коаксіальних кабелів.	23
Лабораторна робота № 4	Випробування та вимірювання кіл ліній передавання імпульсним методом.	28

**Министерство транспорта и связи Украины
Государственный департамент по вопросам связи и информатизации**

ОДЕССКАЯ НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ СВЯЗИ им. А.С. ПОПОВА

Кафедра волоконно-оптических линий связи

**СБОРНИК
методических указаний
к лабораторным работам
по курсу "Линии передачи"**

Модуль I

**УТВЕРЖДЕНО
Методическим советом
академии
Протокол №
от г.**

Одесса 2006

Составители методических указаний к лабораторным работам:

№ 1 – доц. Савицкая Н. М., преп. Дегтярёв В. А.;

№ 2 – доц. Кокарев В. В., доц. Костик Б. Я.;

№ 3 – проф. Бондаренко О. В., доц. Панюта И. Н.;

№ 4 – проф. Бондаренко О. В., доц. Панюта И. Н.

Отв. редактор – проф. Бондаренко О. В.

В сборнике изложены методические указания к выполнению лабораторных работ по первой части курса "Линии передачи", которая посвящена изучению параметров передачи воздушных и кабельных линий связи.

ОДОБРЕНО

на заседании кафедры ВОЛЗ и
рекомендовано к печати
Протокол № 4
от 18.12.2006 г.

Редактор – Ращупкина И. В.

Компьютерное макетирование – Кирдогло Т. В.

Лабораторная работа № 1**ПРОВЕРКА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ
КАБЕЛЕЙ СВЯЗИ НА ПОСТОЯННОМ ТОКЕ****1 ЦЕЛЬ РАБОТЫ**

Целью работы является усвоение методики проверки электрических параметров кабелей связи с помощью постоянного тока. Такая методика используется в ходе монтажа кабелей на кабельных участках, а также в процессе производства кабелей.

Главным заданием работы является приобретение практических навыков измерения кабелей связи, освоения измерительных приборов и ознакомление с нормами на электрические параметры кабелей связи.

2 КЛЮЧЕВЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Электрические измерения кабельных линий связи осуществляются с целью:

- а) проверки соответствия нормам электрических характеристик кабельных линий связи, которые принимаются в эксплуатацию;
- б) проверки соответствия нормам электрических характеристик действующих кабельных линий связи и выявления участков линий, которые не удовлетворяют нормам, с целью предотвращения повреждений;
- в) определение характера и места повреждения кабеля связи;
- г) проверки качества произведённого ремонта.

В соответствии с этим электрические измерения кабелей связи разделяют на:

- приёмо-сдаточные;
- периодические (профилактические);
- измерения с целью проверки качества строительных и ремонтных работ;
- измерения, с помощью которых можно определить характер и место повреждения.

При постоянном токе измеряют:

- сопротивление изоляции между жилами и сопротивление изоляции каждой жилы по отношению ко всем другим жилам, соединённым с заземлённой металлической оболочкой, а в кабелях с пластиковыми оболочками – по отношению к заземлённому экрану;
- рабочую ёмкость цепи и ёмкость отдельных жил по отношению к земле;
- сопротивление шлейфа жил;

- омическую асимметрию цепи;
- электрическую прочность изоляции.

Измерение электрических параметров кабеля с помощью постоянного тока является основным средством определения соответствия нормам характеристик линий передачи: сопротивления изоляции, рабочей ёмкости, сопротивления шлейфа, омической асимметрии.

В данной работе измерения электрических параметров кабелей осуществляется на макете линий передачи. Схема платы макета, типы кабелей и их длины приведены на рис. 2.1.

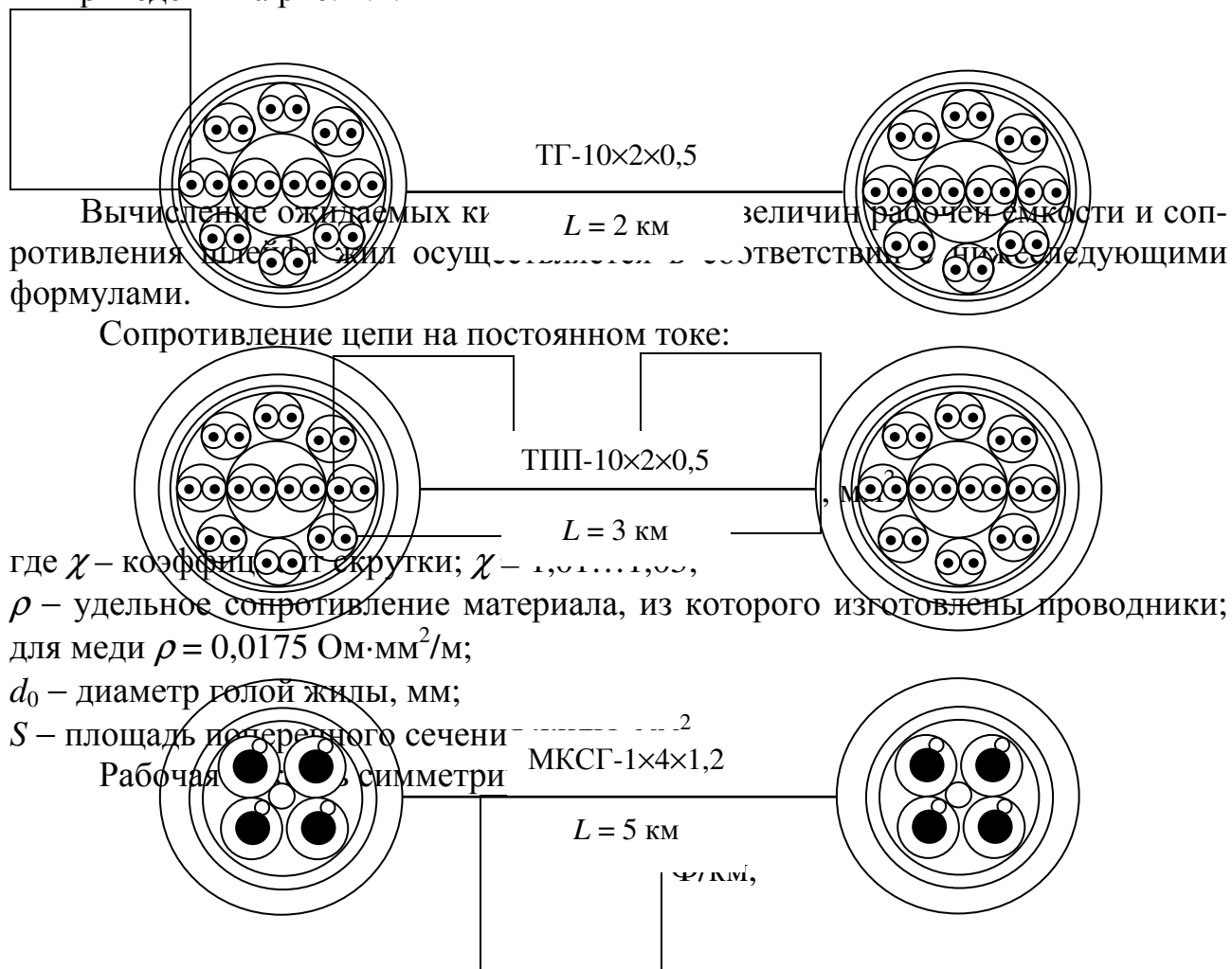


Рисунок 2.1 – Длина и марки кабелей, используемых для измерений

$\epsilon_{\text{ЭКВ}}$ — эквивалентная диэлектрическая проницаемость изоляции (табл. 2.1),

ψ – поправочный коэффициент, который характеризует близость проводов к заземлённой оболочке (табл. 2.2);

d_1 – диаметр жилы с изоляцией, мм.

Таблица 2.1 – Значения эквивалентной диэлектрической проницаемости для разных типов изоляции

Назначение кабеля	Тип изоляции	$\epsilon_{\text{экв}}$
Городские сети	Воздушно-бумажная	1,5...1,6
	Полиэтиленовая сплошная	1,9...2,1
	Плѐнко-пористая	1,4...1,5
Междугородные сети	Кордельно-стирофлексная	1,2...1,3

Таблица 2.2 – Зависимость поправочного коэффициента от соотношения диаметров

d_1/d_0	Значение ψ для парной скрутки жил	Значение ψ для звѐздной скрутки жил
1,6	0,608	0,588
1,8	0,627	0,611
2,0	0,644	0,619
2,2	0,655	0,630
2,4	0,665	0,647

Данные вычисления ожидаемых километрических величин омического сопротивления и ёмкости цепи необходимо пересчитать на длину исследуемого участка кабеля и использовать при настройке и работе с прибором ПКП–4М во время измерения.

Диаметр изолированной жилы со сплошной воздушно-бумажной изоляцией определяется как сумма диаметра токопроводящей жилы и эффективной толщины изоляции:

$$d_1 = d_0 + 0,65d_0 = 1,65d_0.$$

Диаметр изолированной жилы со сплошной полиэтиленовой изоляцией определяется как сумма диаметра токопроводящей жилы и удвоенной толщины изоляции:

$$d_1 = d_0 + 2\Delta_{\text{из}},$$

где $\Delta_{\text{из}}$ – толщина изоляции, мм.

Диаметр жилы с кордельной изоляцией определяется как

$$d_1 = d_0 + 2d_k(1 - \sigma) + 2\Delta_{\text{из}},$$

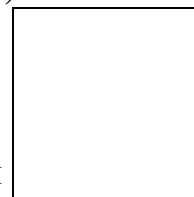
где d_k – диаметр корделя, мм;

σ – коэффициент смятия корделя.

Для кордельно-стирофлексной изоляции коэффициент смятия корделя $\sigma = 0$, а для бумажно-кордельной изоляции $\sigma = 0,1...0,3$.

Диаметр изолированной жилы d_1 в кабелях ГТС с воздушно-бумажной изоляцией жил определяется с учётом калибровки (приложение 9.2).

Расстояние между центрами жил пары для парной скрутки
для звѐздной скрутки $a = 1,41d_1$.



Перед началом проверки электрических параметров смонтированных участков кабеля осуществляется прозвонка жил цепей с целью проверки правильности выполнения монтажа. Она позволяет определить разбитость пар и обеспечивает симметричное включение телефонных пар на оконечных устройствах линий.

Измерение сопротивления изоляции жил, рабочей и частичных емкостей, сопротивления шлейфа цепей и сопротивления асимметрии жил цепей осуществляется прибором ПКП-4М. Сжатое объяснение относительно пользования этим прибором приведено в описании, которое размещено рядом с прибором ПКП-4М.

Результаты измерений приводятся к километрическим значениям с учётом температурного коэффициента, сравниваются с нормами и делается вывод относительно пригодности к работе участка кабеля, который принимается. При этом необходимо учитывать, что сопротивление изоляции с увеличением длины линии уменьшается, а сопротивление шлейфа и емкость растут, то есть сопротивление изоляции обратно пропорционально к длине линии, а сопротивление шлейфа и емкость – прямо пропорциональны.

Вычисление сопротивления шлейфа при температуре $t = 20^{\circ}\text{C}$ осуществляется по формуле

$$R_{шл t} = R_{шл 20} (1 + \alpha_R (t - 20)),$$

где $R_{шл t}$ – сопротивление шлейфа при температуре $t^{\circ}\text{C}$;

α_R – температурный коэффициент сопротивления;

$$R_{шл 20} = \frac{R_{шл t}}{1 + \alpha_R (t - 20)}$$

для меди

Вычисление сопротивления изоляции кабеля при температуре

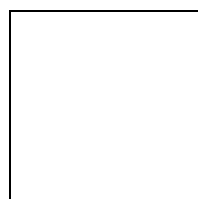
$$R_{из t} = \frac{R_{из 20}}{1 + \alpha_{из} (t - 20)}$$

осуществляется по формуле:

$$R_{из 20} = \frac{R_{из t}}{1 + \alpha_{из} (t - 20)},$$

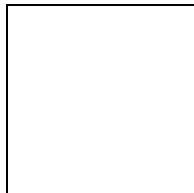
где $R_{из 20}$ – сопротивление изоляции при температуре 20°C ;

$R_{из t}$ – сопротивление изоляции при температуре $t^{\circ}\text{C}$;

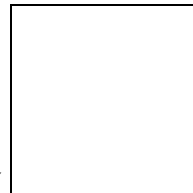


– температурный коэффициент сопротивления изоляции. Для ка-

бельной бумаги



; для полиэтилена и стирофлекса



.

Пересчёт, как правило, осуществляют для кабелей с бумажной изоляцией. В кабелях с стирофлексно-кордельной и сплошной полиэтиленовой изоляцией сопротивление изоляции от температуры практически не зависит.

Ориентировочные значения температуры почвы на глубине 0,8 м для Украины приведены в табл. 2.3.

Выписки из ТУ (технических условий) для кабелей марок ТГ, ТПП и МКС приведены в приложении 9.2. Все нормативные значения приведены на 1 км длины для температуры 20°C.

Значения электрических параметров для других кабелей можно взять из справочной литературы.

Таблица 2.3 – Ориентировочные значения температуры почвы для Украины по месяцам

Месяц	Температура почвы для чернозёма, °С	Месяц	Температура почвы для чернозёма, °С
Январь	3,2	Июль	15,4
Февраль	1,6	Август	17,6
Март	1,2	Сентябрь	16,8
Апрель	6,1	Октябрь	10,6
Май	9,4	Ноябрь	7,6
Июнь	12,9	Декабрь	4,5

3 КЛЮЧЕВЫЕ ВОПРОСЫ

3.1 Назначение и элементы конструкции кабелей ГТС как НЧ, так и ВЧ диапазонов.

3.2 Назначение, виды и объём электрических измерений кабелей.

3.3 Принципиальные схемы измерений сопротивления изоляции и ёмкости, сопротивления шлейфа и омической асимметрии жил электрических цепей с помощью прибора ПКП-4М.

3.4 Порядок вычисления рабочей ёмкости и сопротивления шлейфа электрических цепей.

3.5 Нормы на электрические параметры кабелей при постоянном токе.

4 ДОМАШНЕЕ ЗАДАНИЕ

В результате самостоятельной подготовки к лабораторной работе с помощью данного методического руководства и рекомендованной литературы

Н
Л
Н
1
10

цию НЧ кабелей для ГТС типа ТГ и ТПП и ВЧ кабелей и правила пользования прибором ПКП-4М. Измерение ёмкости и сопротивления шлейфа цепей, которые выполняются студентам факультета ТКС – для кабеля МКСТ-1,2, а студентам факультета ИСС – для кабеля ТПП-1,2(0,5) с учётом длины кабеля.

4.4 Подготовить бланк протокола из табл. 4.1 для записи результатов измерения.

4.5 Занести в табл. 4.1 нормативные значения электрических параметров для соответствующих кабелей, которые нужно измерять.

4.6 Подготовить устные ответы на контрольные вопросы.

Таблица 4.1 – Результаты измерений

Измеряемые величины	На длину L при температуре $t^{\circ}\text{C}$		На 1 км при 20°C		Данные ТУ на 1 км при 20°C	Примечание
	1 пара	2 пара	1 пара	2 пара		
$R_{из\text{ аб}}, \text{МОм}$						
$R_{из\text{ а}}, \text{МОм}$						
$R_{из\text{ б}}, \text{МОм}$						
$R_{из\text{ э}}, \text{МОм}$						
$C_0, \text{нФ}$						
$C_a, \text{нФ}$						
$C_b, \text{нФ}$						
$R_{шл}, \text{Ом}$						
$\Delta R, \text{Ом}$						

5 ЛАБОРАТОРНОЕ ЗАДАНИЕ

5.1 Подготовить прибор ПКП-4М к работе.

5.2 Выполнить проверку электрических параметров исследуемого кабеля

на постоянном токе, для чего следует измерить:

- сопротивление шлейфа жил $R_{шл}$;
- омическую асимметрию ΔR ;
- сопротивление изоляции между жилами и каждой жилы по отношению к земле $R_{из\text{ аб}}, R_{из\text{ а}}, R_{из\text{ б}}$;
- сопротивление изоляции экран–земля $R_{из\text{ э}}$, если кабель с экраном;
- рабочую ёмкость цепей C_0 и ёмкость жил цепей по отношению к земле C_a и C_b .

5.3 Данные измерений электрических параметров на длину привести к километрическим значениям с учётом температуры почвы для сопротивления шлейфа и для сопротивления изоляции (если нужно).

5.4 Сравнить данные измерений с нормативными значениями параметров кабеля и сделать вывод относительно пригодности участка к эксплуатации.

Таблица 4.1. Результаты измерений параметров кабеля

Параметр	ГТС		МКСТ	
	0,5 – 2 км	2 – 5 км	0,5 – 2 км	2 – 5 км
Сопротивление шлейфа жил $R_{шл}$				
Омическая асимметрия ΔR				
Сопротивление изоляции между жилами и каждой жилой по отношению к земле $R_{из\text{ аб}}, R_{из\text{ а}}, R_{из\text{ б}}$				
Сопротивление изоляции экран–земля $R_{из\text{ э}}$				
Рабочая ёмкость цепей C_0				
Ёмкость жил цепей по отношению к земле C_a, C_b				

6.3 Измерительный прибор ПКП-4М.

7 СОДЕРЖАНИЕ ПРОТОКОЛА

7.1 Данные вычисления ожидаемых величин сопротивления шлейфа и рабочей ёмкости цепи соответствующего кабеля.

7.2 Данные измерений электрических параметров кабеля по форме табл. 4.1.

7.3 Общий вывод относительно пригодности к эксплуатации участка кабеля.

8 ЛИТЕРАТУРА

- 8.1 Гроднев И. И., Курбатов Н. Д. Линии связи. – М.: Связь, 1980. – С. 409–414.
- 8.2 Ионов А. Д., Попов Б. В. Линии связи. – М.: Радио и связь, 1990. – С. 155–158.

9 ПРИЛОЖЕНИЕ

9.1 Электрические измерения на линиях передачи ГТС

9.1.1 Классификация измерений

Электрические измерения линий передачи ГТС осуществляются с целью определения соответствия электрических характеристик установленным нормам, а также для определения характера и места повреждения на линии. Электрические измерения линий передачи ГТС осуществляются как на постоянном, так и на переменном токе. Измерения на переменном токе выполняются после измерений на постоянном токе и только в том случае, когда данные измерений на постоянном токе удовлетворяют нормам. В противном случае измерения на переменном токе следует выполнять после устранения неисправности линии передачи.

Измерения на постоянном и на переменном токе делятся на:

- плановые, которые осуществляются в ходе эксплуатации в соответствии с установленным планом;
- контрольные, которые осуществляются после проведения ремонтно-восстановительных работ;
- измерения, которые осуществляются для проверки качества кабеля и линейного оборудования, которые поступили от завода-производителя, перед установлением их на линии передачи;
- измерения, которые проводятся для определения места повреждения;
- приёмо-сдаточные, которые выполняются во время принятия в эксплуатацию построенных, реконструированных и капитально отремонтированных линий передачи.

Состав и объём плановых, контрольных и приёмо-сдаточных электрических измерений определён в соответствующих пособиях. Все измерения должны осуществляться приборами, которые прошли соответствующую государственную или ведомственную проверку.

9.1.2 Измерения на постоянном токе

Измерения на постоянном токе позволяют сделать вывод относительно соответствия установленным нормам наиболее неустойчивых к изменениям характеристик линии передачи:

- электрического сопротивления изоляции;
- электрического сопротивления цепи (шлейфа);
- омической асимметрии;
- электрической ёмкости цепи.

Кроме того, измерения на постоянном токе широко используют для определения наиболее распространённого повреждения – повреждения изоляции.

Для измерения цепей на постоянном токе приобрели широкое практическое применение специализированные переносные кабельные приборы: ПКП-3, ПКП-4 и ПКП-5.

Электрические измерения на постоянном токе целесообразно осуществлять в такой последовательности: электрическое сопротивление цепи (шлейфа), омическая асимметрия, электрическое сопротивление изоляции, электрическая ёмкость цепи.

9.1.3 Сопротивление шлейфа

Сопротивление шлейфа (электрическое сопротивление жил двухпроводной цепи, $R_{шл} = R_a + R_б$) обычно измеряют, используя схему моста постоянного тока с неизменным соотношением плеч (рис. 9.2). Величину сопротивления плеч моста в ходе измерения подбирают таким образом, чтобы ток в диагонали моста, в которую подключен индикатор, отсутствовал. Сбалансировав мост, находим значение сопротивления шлейфа на всю длину цепи.

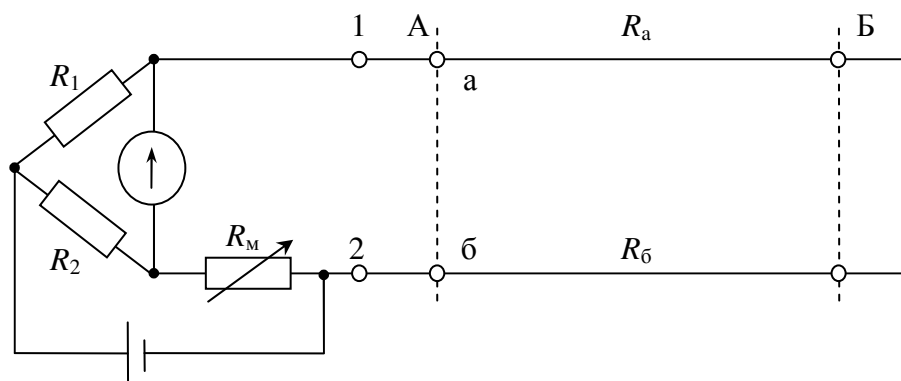
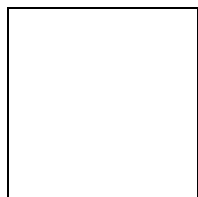


Рисунок 9.2 – Схема измерения электрического сопротивления шлейфа

9.1.4 Омическая асимметрия

Омическую асимметрию (разность электрических сопротивлений жил цепи на постоянном токе $\Delta R = R_a - R_б$) измеряют с помощью моста постоянного тока (рис. 9.1). Начало цепи (конец А) подключают к клеммам 1 и 2, а к клемме 3 подключают заземлённую оболочку или экран. Противоположный конец цепи Б закорачивают и заземляют. Для измерения используют мост с неизменным соотношением сопротивлений плеч, которое равняется 1. При равновесии моста



$R = R_M = R_a - R_б$. В плечо моста, которое содержит переменное сопротивление R_M , необходимо подключить жилу, которая имеет меньшее сопро-

тивление. В противном случае мост не будет сбалансирован; тогда жилы кабеля меняют местами с помощью переключателя «Переключение линий» прибора.

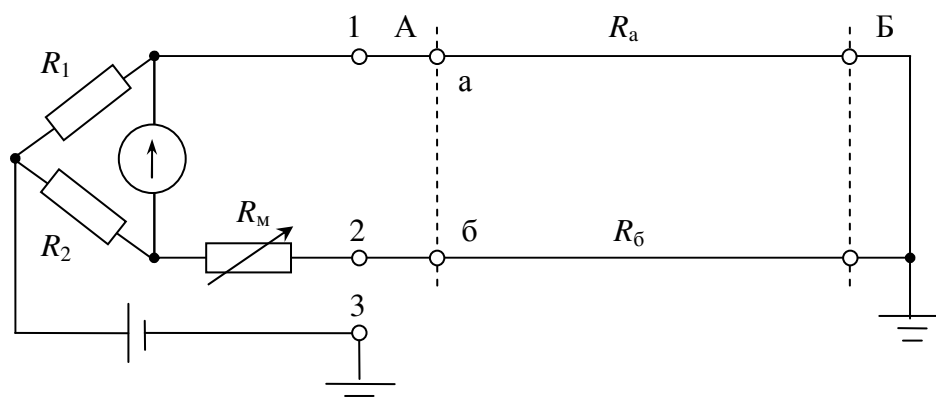


Рисунок 9.1 – Схема измерения омической асимметрии

9.1.5 Электрическое сопротивление изоляции

Электрическое сопротивление изоляции измеряют между жилами пар кабеля и между каждой жилой и заземленной металлической оболочкой (экраном). При этом все остальные (не используемые в измерении) жилы должны быть заземлены. Измерение можно осуществлять с помощью разных методов: методом сравнения, мостовым методом, методом вольтметра-амперметра. В кабельных приборах ПКП-4 и ПКП-5 используется схема мегомметра с усилителем постоянного тока. Схема представляет собой вариант схемы измерения с помощью метода вольтметра-амперметра (рис. 9.3). Перед каждым измерением выполняется калибровка прибора. После нахождения измерительной цепи под напряжением на протяжении 1 минуты на шкале мегомметра снимают значение сопротивления изоляции на всю длину цепи.

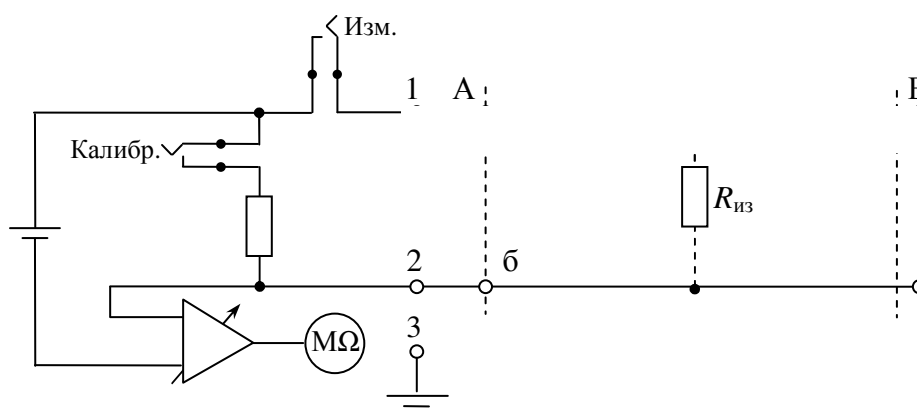


Рисунок 9.3 – Схема измерения электрического сопротивления изоляции

9.1.6 Электрическая (рабочая) ёмкость

Электрическую ёмкость между жилами и ёмкость каждой жилы по отношению к заземлённой металлической оболочке (экрану) измеряют с помощью баллистического метода или метода заряда-разряда, или методом сравнения. Все отмеченные методы принадлежат к методам измерения на постоянном токе. В приборах ПКП-4М и ПКП-5 предусматривается схема измерения электрической ёмкости с помощью метода вольтметра-амперметра на переменном токе (рис. 9.4). Перед измерением выполняют калибровку прибора. Измеренное значение ёмкости распространяется на всю длину цепи.

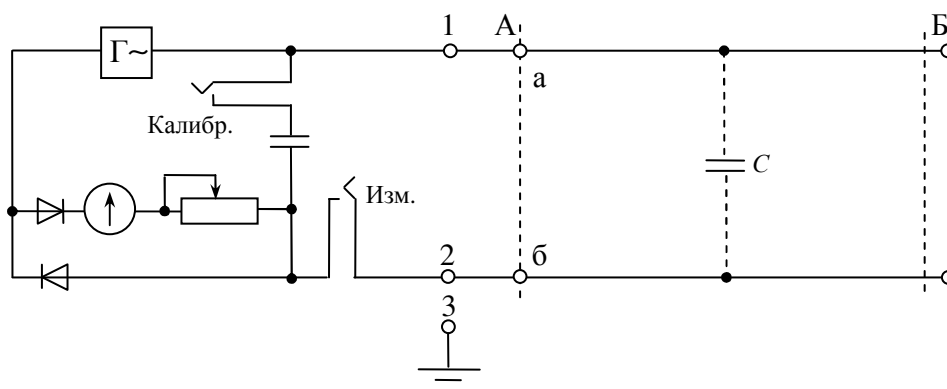


Рисунок 9.4 – Схема измерения электрической ёмкости

9.2 Нормы на конструктивные и электрические характеристики основных типов кабелей, применяемых на ГТС

На ГТС применяются телефонные кабели парной скрутки жил двух основных типов:

- с воздушно-бумажной изоляцией в металлической влагозащитной оболочке (ТГ);
- с изоляцией из сплошного полиэтилена в полиэтиленовой влагозащитной оболочке (ТПП).

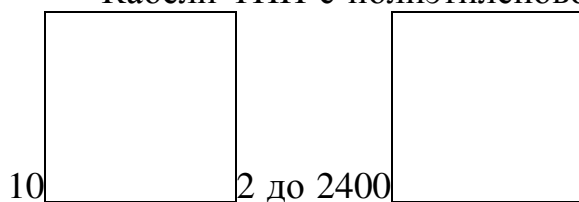
Кабели с воздушно-бумажной изоляцией имеют токопроводящие жилы диаметром 0,4; 0,5; 0,7 мм. Изоляция преимущественно из бумажной полоски толщиной 0,05 мм, наложенной по спирали с перекрытием в 20...30 %. Диаметр изолированной жилы при диаметре голой жилы 0,5 мм с учётом калибровки равняется $d_1 = 1,0$ мм.

Кабель имеет парную скрутку жил с шагом 70...100 мм и повивную скрутку сердечника.

Кабели выпускаются как «голые», без брони (ТГ), так и с разными броневыми покровами (ТБ, ТК).

Кабели типа ТГ выпускают с количеством от 5 до 1600 пар, а бронированные кабели – до 600 пар.

Кабели ТПП с полиэтиленовой изоляцией жил изготавливают ёмкостью от



2. Токопроводящие жилы изготавливают из меди диаметром 0,32 мм; 0,4 мм и 0,5 мм.

В зависимости от диаметра жил, изоляция из сплошного полиэтилена толщиной $\Delta_{из} = 0,18 \dots 0,4$ мм для парной скрутки и $\Delta_{из} = 0,18 \dots 0,35$ мм для звёздной скрутки. Скрутка парная, четвёрочная, пучковая, повивная. Поверх сердечника располагается экран из алюминиевой полосы толщиной $\Delta_э = 0,1 \dots 0,2$ мм.

Под экраном расположен медный лужёный провод диаметром 0,5...0,6 мм, внешняя пластмассовая оболочка из полиэтилена толщиной 1,5...4,2 мм в зависимости от ёмкости кабеля.

Нормы на электрические характеристики, которые измеряются на постоянном токе для разных типов кабелей, применяемых на ГТС, приведены в табл. 9.1. Все нормативные значения приведены на длину 1 км и для температуры 20°C.

Норма сопротивления изоляции экран-земля в ошлангованных кабелях типа ТПП, имеющих защитный шланг из полиэтилена, составляет 5000 МОм·км.

Сопротивление шлейфа жил, приведенное к температуре 20°C и длине кабеля 1 км, для кабелей ТГ и ТПП должно составлять:

- для провода диаметром 0,4 мм – не более 296 Ом/км;
- для провода диаметром 0,5 мм – не более 186 Ом/км;
- для провода диаметром 0,7 мм – не более 96 Ом/км.

Величина омической асимметрии жил для кабелей ТГ и ТПП должна быть не больше 2% от сопротивления шлейфа жил.

Кабели марки ТГ должны выдерживать на протяжении двух минут испытательное напряжение 750 В переменного тока частотой 50 Гц между жилами рабочих пар и 500 В между жилами и свинцовой влагозащитной оболочкой. Кабели марки ТПП должны выдерживать 500 В между жилами рабочих пар в течение 1 минуты.

Для ГТС используются симметричные кабели с кордельно-стирофлексной изоляцией жил – МКС или полиэтиленовой – МКП. Такие кабели могут иметь ёмкость 1×4, 4×4 или 7×4. Это кабели со звёздной скруткой жил и повивной скруткой сердечника. Токопроводящие жилы имеют диаметр 1,2 мм, изолируются разноцветными стирофлексными корделями диаметром 0,8 мм и стирофлексной лентой толщиной 0,05 мм с перекрытием 25...30 %. Первая пара каждой звезды (четвёрки) имеет жилу *a* красного и жилу *b* жёлтого цвета, вторая пара – *a*

– синего и б – зелёного цвета. Внутри четвёрки находится центрирующий кордель диаметром 1,1 мм. Все звездные группы кабелей имеют взаимосогласованные шаги скрутки, которые находятся в пределах 125...275 мм. Поясная изоляция таких кабелей изготавливается из кабельной бумаги. Влагозащитная оболочка может быть как из свинца (МКСГ), так и из алюминия (МКСА) или стали (МКСС). Влагозащитные оболочки из алюминия и стали нуждаются в защите от внешних влияний, потому сверху на них обязательно “одевают” шланг из полиэтилена (МКСАШп, МКССШп). А чтоб шланг не соскочил, между влагозащитной оболочкой и шлангом наносят битумный подклеивающий слой.

Кабели звёздной скрутки жил могут иметь бронепокров в виде двух стальных лент (МКСБ) или из круглых стальных проволок (МКСК).

Если кабель имеет полиэтиленовую изоляцию жил, то тогда он маркируется как МКП. Толщина сплошной полиэтиленовой изоляции жил $\Delta_{из} = 1,1$ мм. Влагозащитная оболочка такого кабеля двухслойная пластмассовая.

Нормы на электрические характеристики, измеряемые с помощью постоянного тока, для разных типов ВЧ симметричных кабелей приведены в таблице 9.1 (ГОСТ 52221-74). Строительная длина для стандартных кабелей МКС составляет

$$l_{стр} = 825 \boxed{} 5 \text{ м.}$$

Все нормы приведены для кабелей ГТС без учёта подключения их к оконечному оборудованию сети. Во время измерения кабелей с подключением к оконечному оборудованию (громовые полосы, боксы, коробки) нормы, даже сопротивления изоляции, следует вычислять с учётом плитов оконечных подключений.

Таблица 9.1 – Нормы на электрические характеристики кабелей ТГ, ТПП, МКС

Характеристика	ТГ	ТПП	МКС
Сопротивление изоляции (МОм·км) между каждым проводом и другими заземлёнными проводами, не менее	5000	6500	10 000
Рабочая ёмкость (нФ/км) между проводами основной цепи и другими заземлёнными проводами	45 ± 5	45 ± 5	$24,5 \pm 0,8$
Сопротивление цепи (Ом/км), не более, для жил диаметром:			
- 0,4 мм	296	296	–
- 0,5 мм	186	186	–
- 0,7 мм	96	96	–
- 1,2 мм	–	–	32
Разность сопротивлений жил (омическая асимметрия) на $l_{стр}$, не более	2% от $R_{жил}$	2% от $R_{жил}$	0,2 Ом
Электрическая прочность изоляции (В) между пучком жил и заземлённой оболочкой или экраном, не менее	500	500	1800
Электрическая прочность (В) между проводами <i>a</i> , соединёнными в пучок, и проводами <i>б</i> , также соединёнными в пучок, не менее	750	1000	1500

Лабораторная работа № 2

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПЕРЕДАЧИ
ЦЕПЕЙ КАБЕЛЬНЫХ ЛИНИЙ СВЯЗИ****1 ЦЕЛЬ РАБОТЫ**

Изучение свойств первичных и вторичных параметров передачи цепей, изучения способов расчёта вторичных и первичных параметров цепей, а также методов измерения вторичных параметров передачи кабелей связи.

2 КЛЮЧЕВЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Процесс распространения электромагнитного поля вдоль цепи характеризуется параметрами передачи, к которым относятся:

– первичные параметры: R – активное сопротивление цепи, Ом/км; L – индуктивность цепи, Гн/км; C – ёмкость цепи, Ф/км; G – проводимость изоляции цепи, См/км;

– вторичные параметры: α – коэффициент затухания, дБ/км; β – коэффициент фазы, рад/км; Z_B – волновое сопротивление, Ом; V – скорость распространения, м/с.

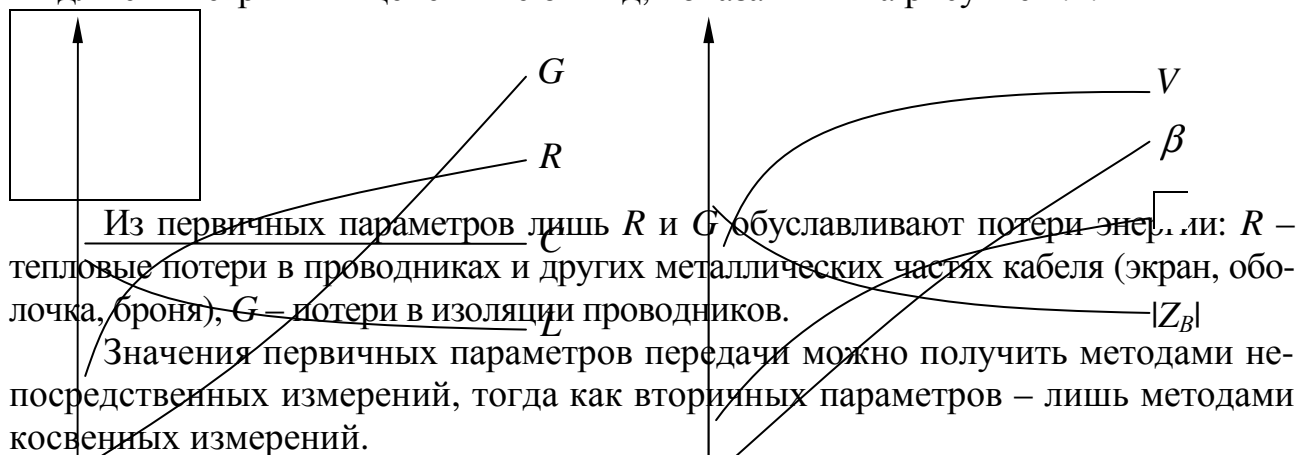
Коэффициент затухания (километрическое затухание) цепи α – это параметр, характеризующий уменьшение мощности сигнала при распространении его вдоль линии. Его величина равна затуханию сигнала (в децибелах) на отрезке цепи длиной 1 км.

Коэффициент фазы β определяет изменение фазы сигнала (тока или напряжения) при распространении вдоль линии. Численное значение коэффициента фазы можно определить как разность фаз сигнала (в радианах) в двух точках цепи на расстоянии 1 км.

Волновое сопротивление Z_B – это сопротивление, которое оказывает линия бегущей волне напряжения. В однородной линии, где нет отражённых волн, волновое сопротивление одинаково во всех точках и равно отношению напряжения к току в любой точке цепи. Волновое сопротивление является комплексной величиной; его модуль $|Z_B|$ равен отношению амплитуд напряжения и тока, а его аргумент φ_B – это разность фаз напряжения и тока в каждой точке цепи.

Скорость распространения (фазовая скорость) V – это скорость движения фронта монохроматической волны. Она не превышает скорость света в вакууме ($c = 3 \cdot 10^8$ м/с).

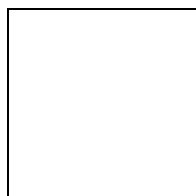
Все параметры передачи на разных частотах имеют различные значения. Графики частотных зависимостей первичных и вторичных параметров передачи для симметричных цепей имеют вид, показанный на рисунке 2.1.



При проведении измерений на линиях связи следует согласовывать генератор и нагрузку с волновым сопротивлением линии, поэтому, как правило, все измерения начинаются с измерения волнового сопротивления линии.

С помощью прибора МП-300 передатчик короткого замыкания (КЗ) и холостого хода (ХХ) могут быть измерены входные параметры линии, а по ним рассчитаны вторичные параметры передачи – α , β , $|Z_B|$, ϕ_v и V . Если же измерения ведутся на высоких частотах и длинных линиях, то волновое сопротивление можно измерить как входное сопротивление этой длинной линии.

Вычисление вторичных параметров передачи по результатам измерения входных параметров линии в режимах ХХ и КЗ может быть выполнено по соответствующим формулам с использованием уравнений передачи однородной линии ([1], с. 90):



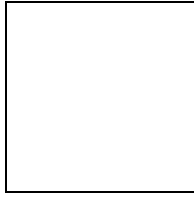
Здесь γ – коэффициент распространения;

x – расстояние от начала линии до рассматриваемой точки;

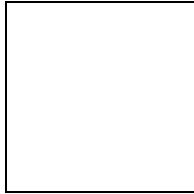
U_x, I_x – комплексные напряжение и ток в точке x ;

U_0, I_0 – комплексные напряжение и ток в начале линии.

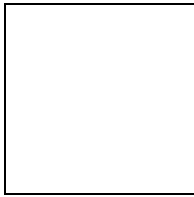
Решая эти уравнения относительно U_0 и I_0 при $x = L$, получим



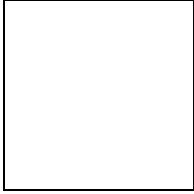
Отсюда

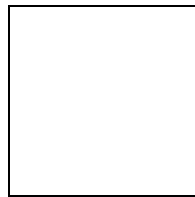


где

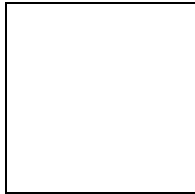


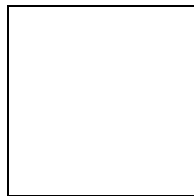
– сопротивление нагрузки на конце линии.

Если сопротивление нагрузки равняется нулю (КЗ, ) , то входное сопротивление



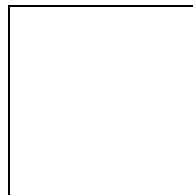
(2.1)

Если сопротивление нагрузки равно бесконечности (ХХ, ) , то



(2.2)

Отсюда получим



(2.3)

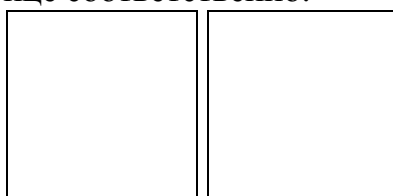
Следует учитывать, что метод КЗ и ХХ применяется лишь тогда, когда

цепь электрически короткая, то есть дБ. Для электрически длинных

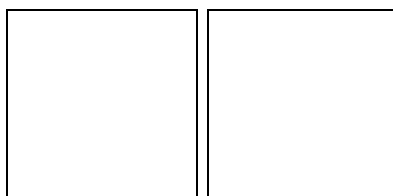
линий дБ; в этом случае и поэтому Для

линий, у которых собственное затухание лежит в пределах 4,6...13 дБ, метод КЗ и ХХ также не используется, так как коэффициент затухания при этом будет определён с большой погрешностью.

Обозначим через φ_0 и φ_∞ угол сдвига между током и напряжением в начале цепи (аргумент комплексного входного сопротивления) при коротком замыкании и холостом ходе на дальнем конце соответственно:



Тогда аргументы комплексных входных проводимостей будут отличаться от них только знаком:



Величину входных проводимостей при КЗ и ХХ можно определить при помощи векторных диаграмм (рисунок 2.2).

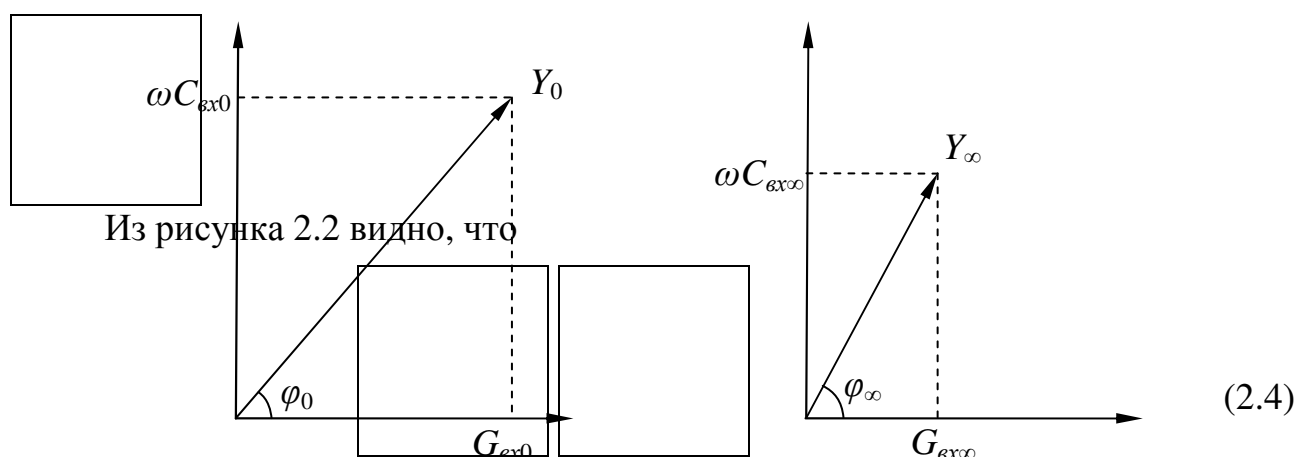


Рисунок 2.2 – Векторные диаграммы входной проводимости для КЗ и ХХ

$$\frac{Z_{\text{вх}}}{Z_0} = \frac{Z_{\text{н}}}{Z_0} e^{j\varphi_0} \quad (2.5)$$

Для низких частот (ниже первой критической частоты) угол φ_0 имеет положительные значения, а φ_{∞} – отрицательные. С увеличением частоты знаки углов φ_0 и φ_{∞} меняются на противоположные (рис. 2.3). Критическая частота – это частота, при которой на данной линии укладывается ровно четверть длины волны. Для линии длиной $l = 0,5$ км первая критическая частота равна

$$f_{\text{кр}} = \frac{c}{4l} = 90 \text{ кГц.}$$

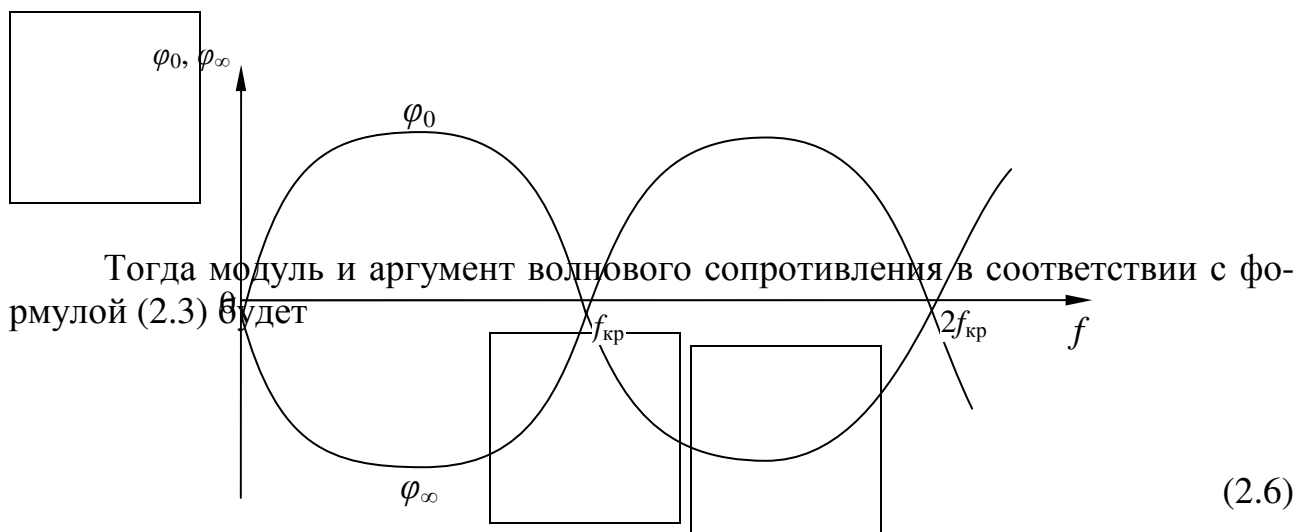


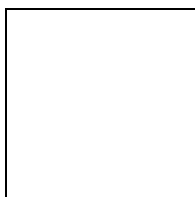
Рис. 2.3. Зависимость угла входного сопротивления цепи от частоты

$$Z_{\text{вх}} = Z_0 \sqrt{\frac{1 + \left(\frac{Z_{\text{н}}}{Z_0}\right)^2}{1 - \left(\frac{Z_{\text{н}}}{Z_0}\right)^2}} e^{j\varphi_0} \quad (2.7)$$

Тогда

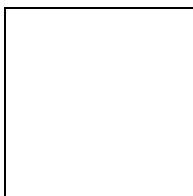
$$Z_{\text{вх}} = Z_0 \sqrt{\frac{1 + \left(\frac{Z_{\text{н}}}{Z_0}\right)^2}{1 - \left(\frac{Z_{\text{н}}}{Z_0}\right)^2}} e^{j\varphi_0} \quad (2.8)$$

Подставляя (2.1) и (2.2) в (2.7), получим:

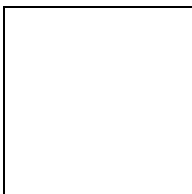


(2.9)

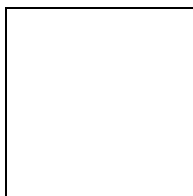
Пользуясь тождеством



можно записать:



Отсюда, выделяя действительную и мнимую части, можно получить формулы для α и β :



(2.10)

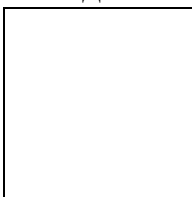


(2.11)

Вычисление вторичных параметров передачи по результатам измерения входных проводимостей $G_{\text{вх}0}$, $G_{\text{вх}\infty}$ и входных емкостей $C_{\text{вх}0}$, $C_{\text{вх}\infty}$ линии в режимах КЗ и ХХ рекомендуется осуществлять в такой последовательности:

	(2.12)		(2.13)
	(2.14)		(2.15)
	(2.16)		(2.17)
	(2.18)		(2.19)
	(2.20)		(2.21)
	(2.22)		

Вычисленное значение β может не соответствовать паспортному значению на расчётной частоте, потому что $\operatorname{tg} 2\beta L$ – периодическая функция, и удовлетворять уравнению (2.11) может не одно значение β , а множество значений

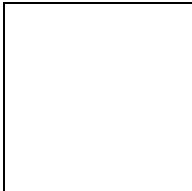
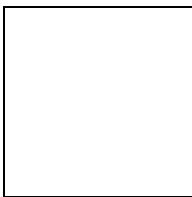


где n – целое число. Поэтому задача сводится к тому, чтобы определить, сколько π необходимо прибавить к найденному значению. Число n подбираем таким, чтобы β соответствовало табличному значению.

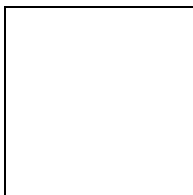
Зная вторичные параметры передачи, можно вычислить первичные.

Коэффициент распространения γ является комплексной величиной и может быть представлен в виде

Волновое сопротивление

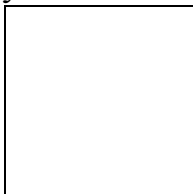


Перемножив γ и Z_B , получаем комплексное километрическое сопротивление цепи:



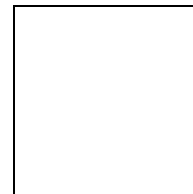
(2.23)

Если γ разделить на Z_B , получим комплексную проводимость:

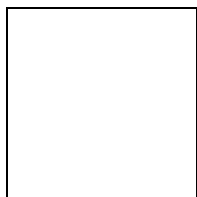


(2.24)

Если отделить действительные и мнимые части



и



и поделить мнимые составляющие на ω , получим первичные параметры передачи R, L, C, G .

3 КЛЮЧЕВЫЕ ВОПРОСЫ

3.1 Первичные и вторичные параметры передачи, их единицы измерения, физический смысл, частотные зависимости.

3.2 В чём заключается метод ХХ и КЗ для измерения вторичных параметров передачи?

3.3 В каких случаях можно пользоваться методом ХХ и КЗ?

3.4 Порядок измерения входной проводимости и ёмкости цепи с помощью МПП-300.

4 ДОМАШНЕЕ ЗАДАНИЕ

- 4.1 Пользуясь разделами 2, 9 и рекомендованной литературой, изучить:
- электрические процессы, которые происходят в симметричных и коаксиальных кабелях связи;
 - зависимости первичных и вторичных параметров передачи от частоты;
 - методику вычисления первичных и вторичных параметров передачи;
 - методы измерения параметров передачи.
- 4.2 Подготовить протокол выполнения лабораторного задания и составить план выполнения лабораторной работы, руководствуясь разделами 5 и 9.
- 4.3 Подготовиться к обсуждению по ключевым вопросам.

5 ЛАБОРАТОРНОЕ ЗАДАНИЕ

- 5.1 Ознакомьтесь с оборудованием на рабочем месте и уточните с преподавателем разработанный вами план выполнения лабораторного задания.
- 5.2 Соберите схему для измерения параметров методом ХХ и КЗ.
- 5.3 Измерьте входные параметры кабеля в режиме ХХ и КЗ на заданных частотах. Вычислите α , β , Z_B и φ_B . Данные измерений и вычислений занесите в табл. 5.1. Важно правильно определить знаки углов φ_0 и φ_∞ (см. рис. 2.3 и пояснение к нему).

Таблица 5.1 – Результаты измерений

f , Гц	$C_{вх0}$, Ф/км	$G_{вх0}$, См/км	φ_0 , град	$C_{вх\infty}$, Ф/км	$G_{вх\infty}$, См/км	φ_∞ , град	α , дБ/км	β , рад/км	$ Z_B $, Ом	φ_B , град

- 5.4 По определённым вторичным параметрам вычислите на заданных частотах первичные параметры передачи.
- 5.5 Начертите частотные зависимости измеренных параметров передачи.

6 АППАРАТУРА

- 6.1 Макет кабельной линии длиной 0,5 км, кабель ПРППМ-1×2×1,2.
- 6.2 Мост полных проводимостей МПП-300.
- 6.3 Генератор сигналов низкочастотный ГЗ-56/1.
- 6.4 Избирательный указатель уровня ИУУ 5–300 кГц.

7 СОДЕРЖАНИЕ ПРОТОКОЛА

7.1 Цель работы.

7.2 Аппаратура.

7.3 Схемы измерений, результаты измерений, результаты вычислений, графики зависимостей первичных и вторичных параметров передачи от частоты, построенные по результатам измерений.

7.4 В выводах проанализировать полученные результаты.

8 ЛИТЕРАТУРА

8.1 Гроднев И. И., Курбатов Н. Д. Линии связи. – М.: Связь, 1980. – С. 98–116, 120–133.

8.2 Гроднев И. И., Верник С. М. Линии связи. – М.: Радио и связь, 1988. – С. 120–131, 168–172.

9 ПРИЛОЖЕНИЕ

9.1 Порядок выполнения измерений

9.1.1 Проверить заземление всех приборов. Контакты заземления на мосте, генераторе и индикаторе должны быть подключены к заземлению.

9.1.2 Собрать схему измерения входных проводимостей $G_{вх}$ и емкостей $C_{вх}$ при холостом ходе и коротком замыкании (рисунок 9.1). Подсоединить генератор, индикатор к соответствующим зажимам моста МПП-300.

9.1.3 Включить тумблером питание генератора и индикатора.

9.1.4 На генераторе установить заданную частоту. Выходное напряжение установить не менее 15 В.

9.1.5 Настроить ИУУ на частоту генератора, для чего, вращая ручку установки частоты на индикаторе, добиться максимального отклонения стрелки вправо (то есть установить на индикаторе частоту, на которой уровень сигнала максимальный). Если стрелка индикатора зашкаливает вправо, нужно уменьшить чувствительность прибора; если стрелка отклоняется влево – нужно увеличить чувствительность.

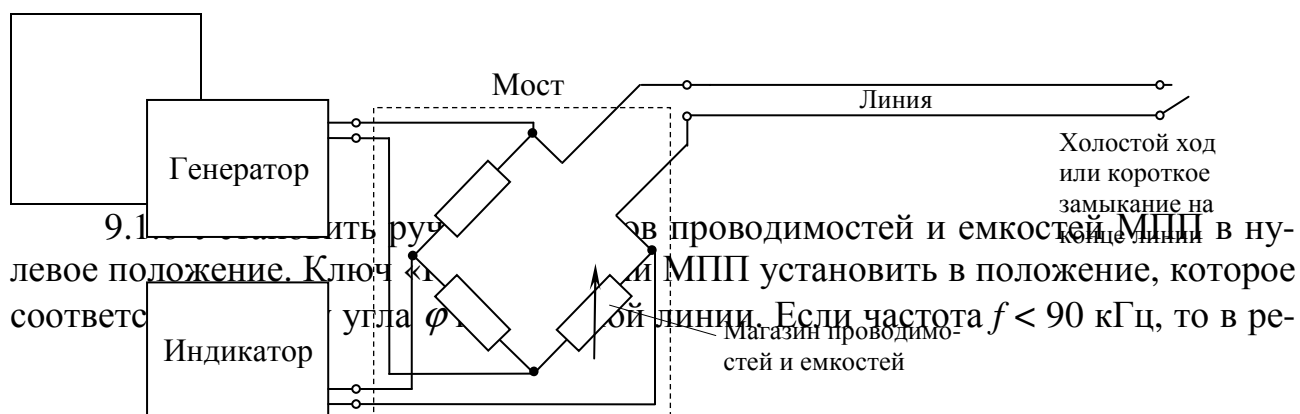


Рисунок 9.1 – Схема измерений

жиме КЗ знак φ_0 – «плюс», а в режиме ХХ знак φ_∞ – «минус». На частотах $f > 90$ кГц знаки меняются на противоположные.

9.1.7 Осуществить начальное уравнивание моста, не подключая измеряемую линию, для чего, вращая попеременно ручки «Проводимость» и «Ёмкость» начального уравнивания (на панели МПП), добиться наименьшего отклонения стрелки индикатора при максимальной чувствительности. Начальное уравнивание нужно выполнять перед каждым измерением.

9.1.8 Подключить начало измеряемой линии к соответствующим клеммам моста. На дальнем конце линии установить требуемое состояние (КЗ или ХХ). Изменяя попеременно проводимость и ёмкость магазинов проводимостей и емкостей, уравновесить мост, то есть добиться наименьшего отклонения стрелки индикатора при его максимальной чувствительности.

9.1.9 Определить значения входной проводимости и ёмкости цепи по положению ручек магазинов проводимостей и емкостей. Записать полученные значения в таблицу измерений.

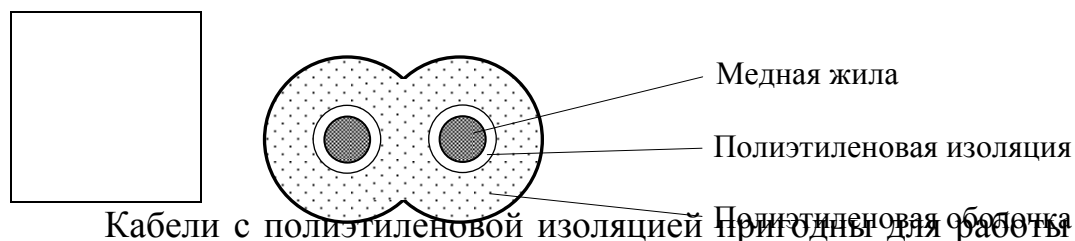
9.1.10 Не изменяя частоты генератора, изменить знак φ на противоположный и повторить измерения, начиная с п. 9.1.6, для режима ХХ.

9.1.11 На каждой частоте необходимо измерить входную проводимость и ёмкость цепи в режиме КЗ и в режиме ХХ.

9.1.12 Рассчитать вторичные параметры передачи β , $|Z_B|$, φ_B , V исследуемой линии по формулам (2.12)–(2.22). Рассчитать первичные параметры передачи R , L , G , C по формулам (2.23)–(2.24).

9.2 Однопарные кабели сельской связи и радиофикации

Абонентские кабели ПРППМ-1×2 (рис. 9.2) применяются для сельского радиовещания. Они имеют медные жилы диаметром 0,8; 0,9; 1,2 мм. Изоляция из полиэтилена. Поверх наложена оболочка из шлангового светостабилизированного полиэтилена. Находят также применение конструкции кабелей с поливинилхлоридной изоляцией – ПРПВМ-1×2, однопарные кабели с алюминиевыми (ПРППА-1×2) и стальными (ПРПЖ-1×2) жилами.



Кабели с полиэтиленовой изоляцией пригодны для работы при температурах $-40...+50^\circ\text{C}$. Для поливинилхлоридной изоляции диапазон отрицатель-

Рисунок 9.2 – Поперечное сечение кабеля ПРППМ-1×2

ных температур сокращается до -20°C . Строительная длина однопарных кабелей 500 м.

Электрические характеристики однопарных кабелей приведены в таблице 9.1.

Таблица 9.1 – Электрические характеристики однопарных кабелей

Марка кабеля	R , Ом/км	L , мГн/км	C , Ф/км		$ Z_B $, Ом	U , В	$R_{из}$, МОм·км
				, дБ/км			
ПРППМ-1×2×0,8	72,0	0,7	50	1,24	353	380	6000
ПРППМ-1×2×0,9	56,8	0,7	51	1,0	290	380	6000
ПРППМ-1×2×1,2	32,0	0,7	56	0,83	237	380	6000
ПРПВМ-1×2×1,0	47,8	0,7	114	–	–	360	10
ПРППА-1×2×1,6	29,4	0,7	80	0,65	269	380	6000
ПРПЖ-1×2×1,2	280,0	0,7	56	–	–	500	60

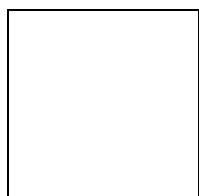
Лабораторная работа № 3

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВТОРИЧНЫХ ПАРАМЕТРОВ ПЕРЕДАЧИ
КОАКСИАЛЬНЫХ КАБЕЛЕЙ****1 ЦЕЛЬ РАБОТЫ**

Ознакомление с методом определения вторичных параметров передачи коаксиальных кабелей по результатам измерения коэффициента укорочения длины волны.

2 КЛЮЧЕВЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ**2.1 Определение вторичных параметров передачи импульсным методом**

В технике радиочастотных кабелей для описания явления распространения электромагнитной энергии часто используется понятие коэффициента укорочения длины волны. Коэффициент укорочения длины волны ξ [кси] характеризует уменьшение скорости распространения электромагнитной энергии в кабеле по сравнению со скоростью распространения энергии в свободном пространстве:



(2.1)

где c – скорость света в свободном пространстве, которая равна 300 000 км/с;
 v_{ϕ} – фазовая скорость распространения энергии в цепи коаксиальной пары, км/с.

Каждая линия имеет собственную скорость распространения импульсного сигнала; она определяется первичными параметрами передачи, которые зависят от типа диэлектрика, поперечного сечения и материала проводников.

Вторичные параметры передачи коаксиальной цепи α , β , Z_B , v_{ϕ} можно выразить через габаритные размеры (диаметры внутреннего d и внешнего D проводников) и параметры изоляции (диэлектрическая проницаемость ϵ , тангенс угла диэлектрических потерь δ).

Для оценки величины вторичных параметров передачи в коаксиальных цепях часто используют импульсный метод определения коэффициента укорочения, например, с помощью прибора Р5-10, или его аналога. Точность опреде-

ления вторичных параметров передачи импульсным методом преимущественно определяется точностью измерения коэффициента укорочения.

Для измерения коэффициента укорочения берётся образец кабеля, длина которого приблизительно равняется четверти длины волны в кабеле, в соответствии с частотой, на которой осуществляется измерение (например, для частоты 45 МГц длина кабеля со сплошной полиэтиленовой изоляцией составляет 1,15...1,20 м).

Определение параметров передачи образца коаксиального кабеля на резонансной частоте f_p возможно в такой последовательности.

При известной длине образца измеряют коэффициент укорочения ξ с помощью прибора Р5-10 (см. Приложение 9.1).

Определяется резонансная частота f_p по выражению вида

$$\boxed{} \text{ Гц,} \quad (2.2)$$

где $\boxed{}$ – длина образца, м;
 ξ – коэффициент укорочения.

Ёмкость цепи кабеля определяется по формуле

$$\boxed{} \text{ Ф/км,} \quad (2.3)$$

где $\boxed{}$ – соотношение внутреннего диаметра внешнего провода D и диаметра внутреннего провода d коаксиальной цепи.

Волновое сопротивление цепи при известных значениях ёмкости C или коэффициента укорочения ξ определяется из выражения:

$$\boxed{} \text{ Ом,} \quad (2.4)$$

где C – ёмкость кабеля, нФ/км.

Коэффициент затухания цепи в спектре частот до $(8...17) \cdot 10^6$ Гц определяется из выражения

$$\boxed{} \text{ дБ/км}, \quad (2.5)$$

где f – расчётная частота, Гц;

D – внутренний диаметр внешнего провода коаксиальной пары, мм.

Коэффициент фазы определяется из выражения вида

$$\frac{1}{\rho} \frac{d\rho}{dz} = \frac{1}{\rho} \frac{d\rho}{dz} \text{ рад/км,} \quad (2.6)$$

где ω – циклическая частота.

Фазовая скорость цепи определяется по формуле

$$\left[\frac{1}{\text{km/c.}} \right] \quad (2.7)$$

Для сравнения с нормами значений вторичных параметров передачи, полученных при температуре измерений t , следует привести значение $|Z_B|$, α и β к значениям этих параметров при $t = 20^\circ\text{C}$. Для этого используется выражение

$$\begin{aligned} & \left(\frac{\partial}{\partial t} + \nabla_{\vec{v}} \right) f = 0 \\ & \left(\frac{\partial}{\partial t} + \nabla_{\vec{v}} \right) g = 0 \end{aligned} \quad (2.8)$$

где N_{20} – параметр ($|Z_B|, \alpha, \beta$), приведённый к температуре 20°C;

N_t – этот же параметр при температуре измерений $t^{\circ}\text{C}$;

α_N – температурный коэффициент соответствующего параметра передачи (относительное изменение величины при изменении температуры на 1 градус):

--	--

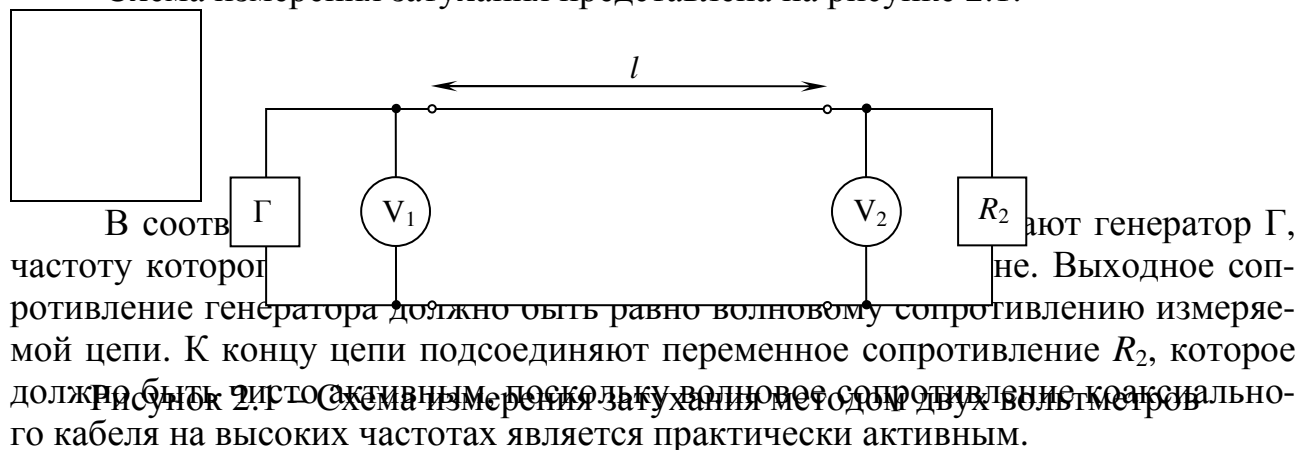
2.2 Измерение коэффициента затухания в коаксиальном кабеле

Измерение коэффициента затухания в цепи коаксиального кабеля можно осуществлять мостовым методом, методом компенсации, методом коэффициен-

натов рассеяния, методом отношения напряжений (метод двух вольтметров) и другими методами.

Наиболее простым и наглядным является метод двух вольтметров. Измерение затухания этим методом широко используется в производственных условиях.

Схема измерения затухания представлена на рисунке 2.1.



На входе и на выходе цепи включают вольтметры V_1 и V_2 для измерения напряжений в начале и в конце линии U_1 и U_2 .

Изменяя величину сопротивления R_2 , добиваются того, чтобы Z_B цепи кабеля и сопротивление R_2 были одинаковыми. В этом случае линия работает в режиме бегущей волны. В процессе измерения величину R_2 подбирают таким образом, чтобы при незначительном изменении частоты генератора ($\pm 25\%$) напряжение на выходе цепи U_2 практически не изменялось. Если сопротивление нагрузки R_2 не согласовано с волновым сопротивлением Z_B , то при изменении частоты напряжение U_2 будет периодически колебаться. В случае полного согласования () при увеличении частоты генератора показание вольтметра V_2 плавно уменьшается без каких-либо периодических колебаний.

Измеряя напряжение на входе и выходе линии, можно определить коэффициент затухания α по формуле

$$\alpha = \frac{1}{l} \lg \frac{U_1}{U_2} \quad \text{дБ/км,} \quad (2.9)$$

где l – длина измеряемого кабеля в метрах.

3 КЛЮЧЕВЫЕ ВОПРОСЫ

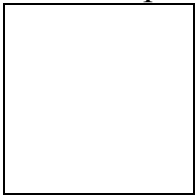
3.1 Дайте определение вторичных параметров передачи и приведите их частотные зависимости.

3.2 Запишите выражение коэффициента укорочения и дайте его определение.

3.3 Как измерить величину коэффициента укорочения волны в цепи линии передачи?

3.4 От чего зависят значения α , $|Z_B|$, β и ν_ϕ в диапазоне высоких частот?

3.5 Проанализируйте выражение, в соответствии с которым приводят измеренные значения вторичных параметров передачи к температуре 20°C.

3.6 Что такое температурные коэффициенты  ?

3.7 Принципы измерения затухания цепи линии передачи методом двух вольтметров.

4 ДОМАШНЕЕ ЗАДАНИЕ

При самостоятельной подготовке к лабораторной работе необходимо:

4.1 Изучить рекомендованную литературу.

4.2 Ознакомиться с методикой измерения коэффициента укорочения волны в цепи линии передачи (п. 9.1).

4.3 Ознакомиться с принципами измерения затухания с помощью двух вольтметров (п. 2.2).

4.4 Подготовить устные ответы на ключевые вопросы.

4.5 Подготовить бланк отчета.

5 ЛАБОРАТОРНОЕ ЗАДАНИЕ

5.1 Ознакомиться с макетом.

5.2 Включить приборы и подготовить их к работе.

5.3 По заданию преподавателя выполнить измерение:

– значения коэффициента укорочения волны в коаксиальной паре;

– значений U_1 и U_2 на четырёх частотах той же коаксиальной пары.

5.4 Выполнить вычисление:

– вторичных параметров передачи на основании измеренного значения ξ на четырёх частотах;

– коэффициента затухания коаксиальной пары на тех же частотах на основании измерений U_1 и U_2 по методу двух вольтметров.

5.5 По результатам вычислений построить графики частотных зависимостей вторичных параметров передачи.

6 АППАРАТУРА

6.1 Макет с образцами коаксиальных кабелей марок РК-75, РЖ-58 и РЖ-59 длиной 30 м.

6.2 Прибор Р5-10 или его современный аналог.

6.3 Генератор, вольтметры, нагрузки.

7 СОДЕРЖАНИЕ ПРОТОКОЛА

7.1 Результаты измерения коэффициента укорочения для трёх образцов кабелей.

7.2 Результаты расчёта вторичных параметров передачи на четырёх частотах и графики частотных зависимостей.

7.3 Результаты измерения коэффициента затухания методом двух вольтметров для этих же кабелей на четырёх частотах и графики частотных зависимостей.

7.4 В выводах проанализировать полученные результаты.

8 ЛИТЕРАТУРА

8.1 Гроднев И. И., Курбатов Н. Д. Линии связи. – М.: Связь, 1980. – С. 113–115.

8.2 Ефимов И. Е., Останькович Г. А. Радиочастотные линии передачи. – М.: Связь, 1977.

8.3 Измеритель неоднородностей линий Р5-10. Техническое описание и инструкция по эксплуатации. – 1980.

9 ПРИЛОЖЕНИЕ

9.1 Измерение коэффициента укорочения прибором Р5-10

Измеритель неоднородностей линий Р5-10 предназначен для выполнения измерений на воздушных и кабельных линиях связи импульсным методом. Принцип импульсных измерений заключается в том, что в измеряемую линию подаются импульсы напряжения (зондирующие импульсы), которые, распространяясь по линии, частично отражаются от неоднородностей волнового сопротивления и возвращаются к месту, откуда они были посланы.

Зондирующий импульс и отражённые сигналы воспроизводятся на экране ЭЛТ с временной развёрткой луча. Отражённые сигналы будут смещены по времени относительно зондирующего импульса в зависимости от расстояния до неоднородности, т. е. величина смещения отражённого сигнала относительно зондирующего импульса на экране ЭЛТ пропорциональна расстоянию до неоднородности.

Определение коэффициента укорочения длины волны выполняется следующим образом.

9.1.1 Установите ручки в положения:

«Укорочение» – 1;

«Расстояние» – 0;

«Уст. отсчёта» – в крайнее левое.

9.1.2 Выберите диапазон измерения, соответствующий известной длине измеряемого кабеля. Для отрезка кабеля длиной до 300 м необходимо установить минимальный диапазон «0,3 км».

9.1.3 Подключите к разъёму «Вход-выход» соединительный кабель с присоединённым исследуемым кабелем.

9.1.4 Ручкой «Уст. отсчёта» установите начало отсчёта расстояния, совместив передний фронт зондирующего импульса с отсчётной риской шкалы ЭЛТ.

9.1.5 Установите ручку «Расстояние» в положение, соответствующее известной длине исследуемого кабеля (для относительно коротких кабелей нужно учитывать длину соединительного кабеля).

9.1.6 Совместите передний фронт отражённого импульса с отсчётной риской шкалы ЭЛТ вращением ручки «Укорочение» вправо.

9.1.7 Произведите отсчёт коэффициента укорочения волны в кабеле по шкале «Укорочение». Точность отсчёта коэффициента укорочения определяется при этом точностью, с которой была установлена геометрическая длина кабеля.

9.2 Технические характеристики кабелей РК-75, РЖ-58, РЖ-59

Кабель радиочастотный коаксиальный абонентский РК-75 используется для внутренней прокладки в системах эфирного телевидения для передачи сигнала от приёмной антенны к телевизору в диапазоне частот от 5 до 1000 МГц, в сетях коллективного и кабельного телевидения, для домовой разводки и индивидуального подключения.

Электрические и конструктивные параметры кабелей, используемых в данной лабораторной работе для измерений, приведены в таблице 9.1.

Таблица 9.1 – Электрические и конструктивные данные кабелей РК-75, РЖ-58 и РЖ-59

Марка кабеля	Волновое сопротивление, Ом	Коэффициент затухания, дБ/км, на частоте, МГц			Ёмкость, нФ/км	Диаметр внутреннего провода, мм	Внутренний диаметр внешнего провода, мм
		10	100	1000			
РК-75	75	27,04	85,6	270,7	67	0,85	4,0
РЖ-58	50	38,67	122,4	387,0	110	0,64	3,0
РЖ-59	75	33,3	105,4	333,3	75	0,64	3,71

Лабораторная работа №4**ИСПЫТАНИЕ И ИЗМЕРЕНИЕ ЦЕПЕЙ ЛИНИЙ ПЕРЕДАЧИ
ИМПУЛЬСНЫМ МЕТОДОМ****1 ЦЕЛЬ РАБОТЫ**

Ознакомление студентов с импульсным методом определения места и характера повреждений цепей линий передачи (ЛП), а также изучение методики определения коэффициента затухания коаксиальных кабелей по результатам измерения коэффициента укорочения длины волны.

2 КЛЮЧЕВЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ**2.1 Импульсный метод определения места и характера повреждений цепей
линий передачи**

Во время эксплуатации линий передачи по различным причинам возникают повреждения, которые приводят к нарушению нормального функционирования связи. Потому одним из важнейших заданий в ходе эксплуатации ЛП является определение характера и места повреждения ЛП с целью немедленной ликвидации последнего.

Линейные повреждения по характеру делятся на:

- обрыв проводников;
- соединение проводников;
- снижение сопротивления изоляции проводников;
- соединение проводников с землёй.

При выявлении повреждений выясняют их характер, а затем с помощью измерительных приборов определяют расстояние до места каждого повреждения.

В данной работе изучается импульсный метод определения места и характера повреждений цепей ЛП.

Импульсный метод измерения цепей линий передачи основан на использовании явления отражения импульса электромагнитной волны в местах неоднородности цепи вследствие изменения её волнового сопротивления. Неоднородность цепи ЛП возникает за счёт ухудшения её качества или повреждений.

Этот метод, реализованный в приборе Р5-10 и его аналогах, заключается в том, что в цепи ЛП, например кабеле, с генератора импульсов подаются импульсы напряжения (зондирующие импульсы), которые, распространяясь по цепи,

частично отражаются от неоднородностей волнового сопротивления, возвращаются к месту, откуда они были посланы, и отображаются на экране электронно-лучевой трубки (ЭЛТ) с временной развёрткой луча. Сигналы, отражённые от неоднородностей волнового сопротивления, будут смещены по времени, то есть величина смещения отражённого сигнала относительно зондирующего импульса на экране ЭЛТ пропорциональна расстоянию до неоднородности.

Измерения импульсным методом обеспечивают получение быстрого и точного результата, особенно в том случае, если повреждение имеет вид обрыва, короткого замыкания, соединения проводов в многопроводных системах.

Неоднородность волнового сопротивления характеризуется коэффициентом отражения:

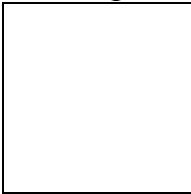
$$\Gamma = \frac{U_{\text{отр}}}{U_{\text{зонд}}}, \quad (2.1)$$

где $U_{\text{отр}}$, $U_{\text{зонд}}$ – амплитуды отражённого и зондирующего импульсов;

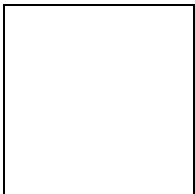
Z_B – номинальное значение волнового сопротивления линии;

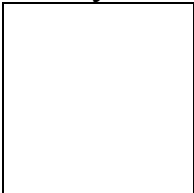
Z – значение волнового сопротивления в месте неоднородности цепи ЛП.

Отсутствие на экране ЭЛТ отражённого сигнала свидетельствует об отсутствии в линии неоднородностей волнового сопротивления. В этом случае

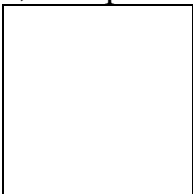
коэффициент отражения будет равен нулю  во всех точках такой однородной цепи.

Если неоднородность вызвана повышением волнового сопротивления, то импульс, отражённый от такой неоднородности, будет иметь ту же полярность,

что и зондирующий . При обрыве провода (предельный случай) в месте обрыва будет происходить полное отражение без изменения полярности

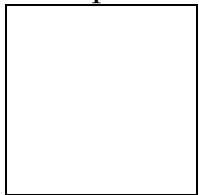
импульса .

Если же неоднородность вызвана понижением сопротивления, то при от-

ражении импульс изменит свою полярность на противоположную .

При коротком замыкании проводов будет происходить полное отражение с из-

менением полярности

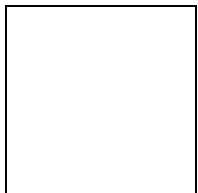


Ясно, что амплитуда отражённого импульса никогда не превышает амплитуду зондирующего импульса, поэтому коэффициент отражения может только принимать значения от -1 до $+1$.

Расстояние до места неоднородности (короткое замыкание, обрыв, кабельная вставка, плавное изменение сопротивления) определяется временем запаздывания $t_{\text{зап}}$ отражённого импульса относительно фронта зондирующего импульса.

Каждая линия имеет собственную скорость распространения импульсного сигнала. Она определяется первичными параметрами передачи, которые зависят от типа диэлектрика, поперечного сечения и материала проводников.

При известной заранее (или измеренной предварительно) скорости распространения импульса v , измерив время запаздывания $t_{\text{зап}}$, можно определить расстояние до места неоднородности:



(2.2)

В зависимости от длины измеряемой линии и её затухания можно выбирать длительность зондирующего импульса, посылаемого в линию, с помощью переключателя «Зонд. имп. μs ».

Использование более коротких импульсов позволяет исследовать линию более тщательно; при этом повышается точность измерения расстояний (разрешающая способность прибора). Однако известно, что короткие импульсы, имея более широкий спектр, испытывают большее затухание при распространении. Поэтому, например, для исследования линий с большим собственным затуханием короткие импульсы не пригодны, так как, распространяясь по такой линии, они поступят на вход прибора очень ослабленными, что может затруднить их распознавание на фоне шумов.

Таким образом, уменьшение длительности импульсов приводит к повышению точности измерений, но ограничивает дальность. При увеличении же длительности импульсов точность измерений понижается, а дальность измерений увеличивается.

Отсчёт расстояния осуществляется с учётом скорости распространения импульса в линии. Скорость распространения связана с коэффициентом укорочения волны ξ соотношением

$$\boxed{}, \quad (2.3)$$

где c – скорость света в вакууме, равная 300 000 км/с;

v – скорость распространения импульса в линии данного типа, км/с.

В приборе Р5-10 коэффициент укорочения устанавливается ручкой «Укорочение».

При импульсных измерениях на линиях с неизвестным коэффициентом укорочения его можно ориентировочно вычислить как

$$\boxed{}, \quad (2.4)$$

где ε – диэлектрическая проницаемость изоляции проводников.

2.2 Исследование коаксиальных кабелей неизвестной длины

Рабочая ёмкость цепи коаксиального кабеля может быть записана в виде

$$\boxed{}, \text{ Ф/км}, \quad (2.5)$$

где ε – эквивалентная диэлектрическая проницаемость изоляции;

D – внутренний диаметр внешнего проводника коаксиальной цепи;

d – диаметра внутреннего проводника.

Волновое сопротивление коаксиальной пары

$$\boxed{}, \text{ Ом}. \quad (2.6)$$

Отсюда, учитывая, что коэффициент укорочения $\boxed{}$, можно записать

$$\boxed{}. \quad (2.7)$$

Таким образом, для исследования коаксиального кабеля, длина которого точно не известна, можно косвенно определить коэффициент укорочения по формуле (2.7), предварительно измерив волновое сопротивление.

Волновое сопротивление коаксиальной цепи проще всего измерить методом сравнения. Для этого измеряемый отрезок кабеля подключают к прибору Р5-10. К концу цепи подсоединяют переменное активное сопротивление нагрузки. Если это сопротивление не согласовано с волновым сопротивлением кабеля, то на импульсной характеристике будет виден всплеск, соответствующий отражению импульса от этой несогласованной нагрузки. Поэтому для определения величины волнового сопротивления измеряемой цепи необходимо подобрать такое сопротивление нагрузки, чтобы данный всплеск исчез (или был минимальным); тогда искомое волновое сопротивление будет равно сопротивлению нагрузки. При этом полезно помнить, что если сопротивление нагрузки меньше волнового, всплеск будет направлен вниз, в противном случае – вверх.

Определив таким образом волновое сопротивление Z_B , можно рассчитать коэффициент укорочения волны в данном образце кабеля, и другие параметры.

3 КЛЮЧЕВЫЕ ВОПРОСЫ

3.1 В чём заключается импульсный метод определения характера неоднородности цепей линий передачи?

3.2 Как определяется расстояние до места расположения неоднородности в цепи линии передачи?

3.3 Как определяется величина коэффициента укорочения волны в цепи линии передачи?

3.4 Назовите величину, которая характеризует неоднородность волнового сопротивления цепи линии передачи.

3.5 Запишите выражения для коэффициентов отражения и укорочения электромагнитной волны.

3.6 Приведите выражения для определения C , Z_B , v_{ϕ} при известном ε .

4 ДОМАШНЕЕ ЗАДАНИЕ

В ходе самостоятельной подготовки к лабораторной работе необходимо:

4.1 Изучить рекомендованную литературу.

4.2 Ознакомиться с импульсным методом определения характера и места повреждения цепи линии передачи (п. 2.1).

4.3 Ознакомиться с методиками измерения:

- расстояния до неоднородности (повреждения) линии передачи;
- коэффициента укорочения волны в линии передачи известной длины;
- волнового сопротивления линии передачи неизвестной длины.

4.4 Подготовить устные ответы на ключевые вопросы.

4.5 Подготовить бланк отчёта.

5 ЛАБОРАТОРНОЕ ЗАДАНИЕ

5.1 Ознакомиться с макетом.

5.2 Включить прибор Р5-10 и подготовить его к работе.

5.3 Подключить прибор к искусственной линии и выполнить следующее:

а) снять импульсную характеристику исправной линии со всеми имеющимися в ней неоднородностями;

б) определить расстояние до отдельных пунктов линии передачи (для воздушных линий связи $\xi = 1,05$);

в) определить места и характер повреждений на линии по заданию преподавателя.

5.4 Измерить волновое сопротивление отрезков коаксиального кабеля методом сравнения и рассчитать коэффициент укорочения.

5.5 Зная коэффициент укорочения, измерить длину каждого образца кабеля.

6 АППАРАТУРА

Макет воздушной линии связи и длин коаксиальных кабелей с различными значениями волнового сопротивления.

Прибор Р5-10, или его современный аналог.

Набор активных сопротивлений.

7 СОДЕРЖАНИЕ ПРОТОКОЛА

7.1 Чертёж импульсных характеристик цепей ВЛС в исправном и неисправном состояниях.

7.2 Результаты измерения расстояний до отдельных пунктов линии передачи и мест повреждений, обозначенные на импульсных характеристиках.

7.3 Результаты измерения волнового сопротивления Z_B и длины L отрезков коаксиального кабеля, расчёт коэффициента укорочения ξ .

8 ЛИТЕРАТУРА

8.1 Гроднев И. И., Курбатов Н. Д. Линии связи. – М.: Связь, 1980. – С. 414.

8.2 Ефимов И. Е., Останькович Г. А. Радиочастотные линии передачи. – М.: Связь, 1977.

8.3 Измеритель неоднородностей линий Р5-10. Техническое описание и инструкция по эксплуатации. – 1980.

9 ПРИЛОЖЕНИЕ

9.1 Подготовка прибора Р5-10 к работе

6.1.1 До включения прибора в сеть необходимо убедиться в том, что прибор переключен на ток соответствующего рода и на нужное напряжение.

6.1.2 Установите органы управления в исходное положение:

«Усиление» – в крайнее левое положение;

«Расстояние» – 0;

«Уст. отсчёта» – в крайнее левое;

«Питание» – в нижнее положение (выключено).

6.1.3 Убедитесь в заземлении прибора.

6.1.4 Включите тумблер «Питание», при этом должна засветиться сигнальная лампочка на передней панели. Через 0,5...2 минуты на экране трубки появится линия развёртки.

6.1.5 Ручками «☼», «⊙» и «↑» отрегулируйте яркость, фокусировку и положение линии развёртки на экране ЭЛТ. Линия развёртки должна находиться на середине экрана.

6.2 Подготовка измерителя к измерениям

6.2.1 В зависимости от длины измеряемой линии работа производится на одном из следующих диапазонов измерения, выбираемых переключателем и тумблером «Диапазоны км»: 0,3 км; 1 км; 3 км; 10 км; 30 км; 100 км; 300 км.

6.2.2 Установите ручку «Зонд. имп. μ s» в положения:

– «0,05; 0,1; 0,3» (при длине измеряемой линии до 10 км);

– «0,1; 0,3; 1; 3» (при длине измеряемой линии до 30 км);

– «1; 3; 10; 30» (при длине измеряемой линии до 300 км).

6.2.3 Установите ручку «Вых. сопр.» – на величину волнового сопротивления измеряемой линии. Приблизённые значения выходного сопротивления определяются цветными секторами, нанесёнными на передней панели прибора под ручкой «Вых. сопр.». Светлому сектору соответствует выходное сопротивление 20...100 Ом; серому – 100...250 Ом; тёмно-серому – 250...500 Ом.

6.2.4 Установите ручку «Укорочение» в положение, соответствующее значению коэффициента укорочения измеряемой линии.

6.3 Измерение расстояния до места повреждения цепи линии передачи

6.3.1 После подключения прибора к измеряемой линии произведите осмотр импульсной характеристики линии.

6.3.2 Найдите на импульсной характеристике линии всплеск, соответствующий отражению от неоднородности (места предполагаемого повреждения) линии, установите характер повреждения. Всплеск вверх соответствует увеличению волнового сопротивления Z_B (обрыв или увеличение продольного сопротивления), всплеск вниз – уменьшению Z_B (короткое замыкание или утечка).

6.3.3 Ручкой «Уст. отсчёта» совместите передний фронт зондирующего импульса с одной из рисок шкалы ЭЛТ.

6.3.4 Ручкой «Расстояние» произведите совмещение начала фронта найденного всплеска импульсной характеристики (отражённого импульса) с отсчётной риской шкалы (с той, с которой производилось совмещение зондирующего импульса).

СОДЕРЖАНИЕ

Лабораторная работа № 1	Проверка электрических параметров кабелей связи на постоянном токе.	38
Лабораторная работа № 2	Исследование параметров передачи цепей кабельных линий связи.	51
Лабораторная работа № 3	Определение вторичных параметров передачи коаксиальных кабелей.	61
Лабораторная работа № 4	Испытание и измерение цепей линий передачи импульсным методом.	68