

**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 III

**ЗАТВЕРДЖЕНО
Методичною радою
академії
Протокол № 4
від 27.11.07 р.**

Одеса 2008

УДК

План 2006/2007 н.р.

Укладачі методичних вказівок до лабораторних робіт:

№ 1 – проф. Одінцов М. М.;

№ 2 – проф. Одінцов М. М., викл. Болдирев М. О.;

№ 3 – проф. Бондаренко О. В.

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

Відп. редактор – проф. Бондаренко О.В.

В збірнику викладені методичні вказівки до виконання лабораторних робіт по другій частині курсу "Лінії передачі", яка присвячена вивченню взаємних впливів в лініях передачі.

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

ВИМІРЮВАННЯ КОЕФІЦІЄНТІВ ЄМНІСНОГО ЗВ'ЯЗКУ Й ЄМНІСНОЇ АСИМЕТРІЇ ТА ВИБІР ОПЕРАТОРІВ СХРЕЩУВАННЯ

1 МЕТА РОБОТИ

Метою цієї роботи є вивчення методики вимірювання первинних параметрів впливу між колами низькочастотного кабелю та вибір операторів схрещування за результатами вимірювання коефіцієнтів ємнісного зв'язку та асиметрії.

Головним завданням роботи є придбання практичних навичок по симетруванню, вивчення схем вимірювання та використання при цьому апаратури.

2 КЛЮЧОВІ ПОЛОЖЕННЯ

2.1 Симетрування низькочастотних кабелів

У низькочастотних кабелях впливи між колами визначаються в основному ємнісними зв'язками та асиметрією часткових ємностей жил кола відносно землі. Асиметрія відносно землі позначається, насамперед, на величині впливу зовнішніх електромагнітних полів на кола кабельних ліній. Крім того, на величині впливу між колами будуть позначатися також асиметрія опорів, відхилення робочих ємностей від середнього значення, тощо.

Величини, що характеризують ємнісний зв'язок всередині четвірки, визначаються за формулами:

$$\begin{aligned} k_1 &= (C_{ac} + C_{bd}) - (C_{ad} + C_{bc}); \\ k_2 &= (C_{ac} + C_{ad}) - (C_{bc} + C_{bd}); \\ k_3 &= (C_{ac} + C_{bc}) - (C_{ad} + C_{bd}), \end{aligned} \quad (1)$$

де k_1 – ємнісний зв'язок між основними колами – I/II; k_2 – ємнісний зв'язок між першим основним колом та штучним I/III; k_3 – ємнісний зв'язок між другим основним колом та штучним II/III; C_{ac} , C_{bc} , C_{bd} , C_{ad} – часткові ємності між жилами (рисунок 2.1). Ємнісна асиметрія визначається за формулами:

$$\begin{aligned} e_1 &= C_{ae} - C_{be}; \\ e_2 &= C_{ce} - C_{de}; \\ e_3 &= (C_{ae} + C_{be}) - (C_{ce} + C_{de}), \end{aligned} \quad (2)$$

де e_1 – ємнісна асиметрія першого кола відносно землі – I/З; e_2 – ємнісна асиметрія другого кола відносно землі – II/З; e_3 – ємнісна асиметрія штучного кола – III/З; C_{ae} , C_{be} , C_{ce} , C_{de} – часткові ємності між жилами та землею.

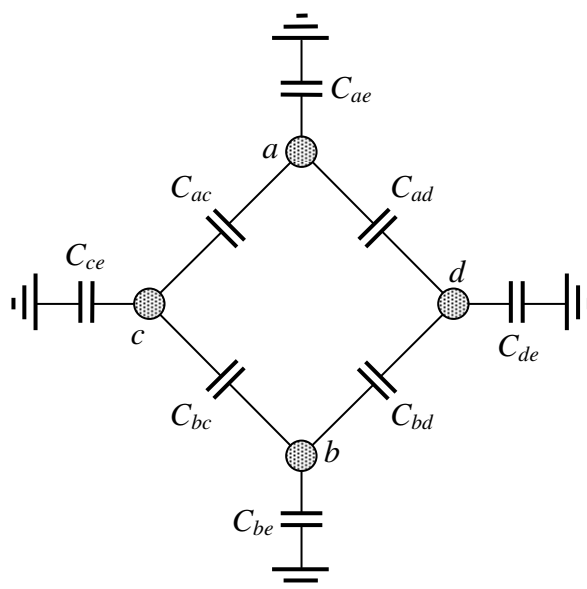


Рисунок 2.1 – Еквівалентна схема утворення ємнісних зв'язків та ємнісних асиметрій всередині четвірки

Крім того, розрізняють також ємнісні зв'язки між штучними колами різних четвірок – k_4 ; між основними колами та штучними різних четвірок – k_5, k_6, k_7, k_8 ; між основними колами різних четвірок – $k_9, k_{10}, k_{11}, k_{12}$. Усі вони виражаються через часткові ємності.

Для того, щоб завади, викликані впливом між колами та від зовнішніх джерел, знаходилися в допустимих межах, величини параметрів впливу будівельних довжин та на підсилювальних ділянках не повинні перевищувати певних значень, наведених у додатку 9.1.

Симетрування схрещуванням полягає в компенсації зв'язків та асиметрії одного відрізка кабеля іншим. Ця компенсація проводиться шляхом з'єднання кіл напряму у випадку різних знаків коефіцієнтів у з'єднуваних відрізках або шляхом з'єднання зі схрещуванням у випадку однакових знаків.

Результуючі значення асиметрій та зв'язків обчислюються алгебраїчним додаванням коефіцієнтів.

Існує вісім схем схрещування пар та жил симетруємої четвірки (таблиця 2.1).

У таблиці вказано, якої зміни зазнає знак коефіцієнта зв'язку й асиметрії четвірки з боку Б, та дані умовні позначення схем схрещування (оператори). Перший знак оператора (лівий) показує, як при даному операторі з'єднуються жили першої пари, другий знак (середній) – як з'єднуються жили другої пари та третій (правий) – як з'єднуються пари четвірки (штучного кола).

При симетруванні схрещуванням коефіцієнти асиметрії обох основних та штучних кіл можуть бути зменшені при будь-якому сполученні знаків по обидва боки, а коефіцієнти зв'язку можуть бути зменшені тільки за умови непарного числа знаків “+” та “–” по обидва боки точки симетрування. Це повинно враховуватися при виборі оператора. Для підвищення ефективності симетрування

доцільно з'єднувати одну з одною четвірки, що мають найбільш близькі по величині значення коефіцієнтів зв'язків, шляхом змішування четвірок. Кількість позитивних чи негативних знаків у коефіцієнтів зв'язку в четвірках, що з'єднуються, повинна бути непарною.

Таблиця 2.1 – Складення коефіцієнтів ємнісного зв'язку й ємнісної асиметрії при симетруванні четвірок схрещуванням

Номер схеми	Умовне по- значення (оператор)	Схема схрещування сторона А сторона Б	Значення сумарного коефіцієнта						Наймену- вання схрещених кіл
			I/II	I/III	II/III	I/3	II/3	III/3	
			k_1	k_2	k_3	e_1	e_2	e_3	
1	• • •		$k'_1 + k''_1$	$k'_2 + k''_2$	$k'_3 + k''_3$	$e'_1 + e''_1$	$e'_2 + e''_2$	$e'_3 + e''_3$	–
2	X • •		$k'_1 - k''_1$	$k'_2 - k''_2$	$k'_3 + k''_3$	$e'_1 - e''_1$	$e'_2 + e''_2$	$e'_3 + e''_3$	1-а
3	• X •		$k'_1 - k''_1$	$k'_2 + k''_2$	$k'_3 - k''_3$	$e'_1 + e''_1$	$e'_2 - e''_2$	$e'_3 + e''_3$	2-а
4	X X •		$k'_1 + k''_1$	$k'_2 - k''_2$	$k'_3 - k''_3$	$e'_1 - e''_1$	$e'_2 - e''_2$	$e'_3 + e''_3$	1-а і 2-а
5	• • X		$k'_1 + k''_1$	$k'_2 + k''_3$	$k'_3 + k''_2$	$e'_1 + e''_2$	$e'_2 + e''_1$	$e'_3 - e''_3$	Штучна
6	X • X		$k'_1 - k''_1$	$k'_2 - k''_3$	$k'_3 + k''_2$	$e'_1 - e''_2$	$e'_2 + e''_1$	$e'_3 - e''_3$	1-а і шт.
7	• X X		$k'_1 - k''_1$	$k'_2 + k''_3$	$k'_3 - k''_2$	$e'_1 + e''_2$	$e'_2 - e''_1$	$e'_3 - e''_3$	2-а і шт.
8	X X X		$k'_1 + k''_1$	$k'_2 - k''_3$	$k'_3 - k''_2$	$e'_1 - e''_2$	$e'_2 - e''_1$	$e'_3 - e''_3$	1-а, 2-а і шт.

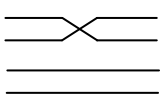
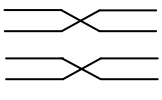
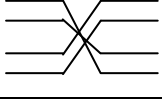
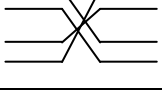
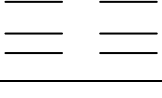
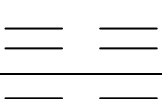
Змішування четвірок допускається тільки всередині одного повіву та для четвірок однієї системи зв'язку. Для кожної симетруючої муфти заповнюється окрема відомість за формою таблиця 2.2 (зі зразковим заповненням): у графах 1 та 14 записують порядкові номери четвірок, у графах 2 та 13 – знак й величину виміряних коефіцієнтів асиметрії з боку А та з боку Б, у графах 3 та 12 – відповідно знак й величину виміряних коефіцієнтів зв'язку з боку А та з боку Б. Величини коефіцієнтів зв'язків й асиметрії записуються в послідовності, яка відповідає заголовкам тих же граф.

Потім роблять підбір четвірок для компенсації ємнісного зв'язку. Вибір починають з тих четвірок, які мають найбільшу величину зв'язку.

У лівій стороні відомості знаходять четвірку з найбільшим ємнісним зв'язком, після чого підбирають у правій стороні відомості четвірку також з найбільшим значенням ємнісного зв'язку. При цьому сума позитивних та нега-

тивних знаків у коефіцієнтів зв'язку четвірок, які сполучаться, повинна бути непарною. Номер четвірки, обраної в правій стороні відомості, та відповідні їй коефіцієнти зв'язку й асиметрії записуються в графі 5, 6 та 7. У такий же спосіб роблять по черзі з іншими четвірками в спадному порядку величин ємнісного зв'язку (k_1).

Таблиця 2.2 – Відомість симетрування четвірок схрещуванням

Прилад _____							Кабель_____						
Завода _____							Підсилювальна ділянка_____						
Технік _____							_____						
_____							Крок пупінізації_____						
Дата “__”_____ 200__ р.							Муфта_____						
Сторона А				Сторона Б			Результати				Сторона Б		
							Обчислені		Виміряні				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
№ четві- рки	e_1' e_3' e_2'	k_2' k_1' k_3'	Схема з'єднання	k_2'' k_1'' k_3''	e_1'' e_3'' e_2''	№ четві- рки	k_2 k_1 k_3	e_1 e_3 e_2	k_2 k_1 k_3	e_1 e_3 e_2	k_2'' k_1'' k_3''	e_1'' e_3'' e_2''	№ четві- рки
1	-50 -150 0	0 -30 -25		+10 -35 +20	-30 +50 -70	2	-10 +5 -5	-20 -100 -70			+30 -70 0	+10 0 0	1
2	-95 -250 +90	+75 +85 -90		+20 -115 -115	+30 +250 -30	4	+55 -30 +25	-125 0 +120			+10 -35 +20	-30 +50 -70	2
3	-20 -250 +150	-120 -95 -25		+40 -105 -140	-80 -200 +60	3	+20 +10 +15	-80 -50 +70			+40 -105 -140	-80 -200 +60	3
4	+10 -80 +50	+20 -80 +20		+30 -70 0	+10 0 0	1	+20 -10 -10	+10 -80 +40			+20 -115 -115	+30 +250 -30	4
5													5
6													6
7													7
Зв'язки		Середні		Максимальні		Асиметрії		Середні		Максимальні			
k_1 k_2, k_3						e_1, e_2 e_3							

Після цього роблять вибір операторів у четвірках, які з'єднуються, у такий спосіб: порівнюють коефіцієнти k'_2 і k'_3 у лівій стороні відомості зі зв'язками k''_2 і k''_3 у правій стороні відомості. Якщо $k'_2 \approx k''_2$ та $k'_3 \approx k''_3$, то пари в четвірці з'єднуються напряму; якщо, $k'_2 \approx k''_3$ та $k'_3 \approx k''_2$, то пари в четвірці схрещуються.

Схрещування жил у парах залежить від знаків коефіцієнтів зв'язку, що компенсуються. Якщо знаки різні, жили в даній парі з'єднуються напряму, якщо знаки однакові, жили схрещуються. У тому випадку, коли визначити спосіб з'єднання за коефіцієнтами зв'язку неможливо, це здійснюється аналогічним способом за коефіцієнтами асиметрії.

Після вибору оператора, користуючись таблицею 2.1, обчислюють результати симетрування та записують їх у графах 8 та 9. Після з'єднання жил по обраній схемі й обчислення результатів симетрування здійснюється контрольне вимірювання коефіцієнтів зв'язку та симетрії. При цьому нумерація пар та жил рахується по кабелю з боку А. Результати контрольного вимірювання записуються в графах 10 та 11. По величині та знаках результати вимірювання та обчислення повинні бути тотожні.

Примітка. Складання коефіцієнтів зв'язку й асиметрії в процесі симетрування схрещуванням, не користуючись таблицею 2.1 можна робити, виходячи з наступних правил:

1. При з'єднанні основних кіл напряму всі коефіцієнти підсумовуються (з їхніми знаками);
2. При схрещуванні основного кола коефіцієнти, зв'язані з цим колом, віднімаються;
3. Якщо обидва основні кола схрещуються, то коефіцієнти, зв'язані з даними обома колами, підсумовуються;
4. При прямому з'єднанні чи схрещуванні основних кіл коефіцієнти e_3 завжди підсумовуються;
5. При схрещуванні штучних кіл між собою з'єднуються коефіцієнти k'_1 і k''_1 , e'_3 і e''_3 , а коефіцієнти k_2 , k_3 і e_1 , e_2 міняються місцями, тобто з'єднуються: k'_2 з k''_3 , k'_3 з k''_2 , а e'_1 з e''_2 , e'_2 з e''_1 . Складання знаків коефіцієнтів здійснюється за правилами для основних кіл (пп. 1, 2, 3), а коефіцієнти e'_3 з e''_3 завжди віднімаються.

Принцип *симетрування конденсаторами* полягає в тому, що якщо, наприклад, коефіцієнт $k_1 = (C_{ac} + C_{bd}) - (C_{ad} + C_{bc})$ буде дорівнювати не нулю, а, припустимо, +100 пФ, то це значить, що сума ємностей $(C_{ac} + C_{bd})$ більша суми ємностей $(C_{ad} + C_{bc})$ на 100 пФ. Очевидно, якщо до меншої суми підключити конденсатор ємністю 100 пФ, то коефіцієнт k_1 буде рівним нулю.

Для того, щоб не змінилися коефіцієнти k_2 та k_3 , додаткову ємність необхідно підімкнути до кожної з ємностей меншої суми. У нашому прикладі між жилами ad та bc необхідно підключити по конденсатору 50 пФ, тоді $k_1 = 0$, а k_2 і k_3 не змінюються, так як ємності C_{bc} та C_{ad} входять в обидві їхні суми (див. формули (1)).

Таблиця 2.3 – Відомість симетрування чотвірок конденсаторами

Прилад № _____ Заводу _____ Вимірювання проводив _____ Дата “ ____ ” 200__ р.										Кабель _____ Підсилювальна ділянка _____ Крок пупінізації _____ Муфта № _____									
Результат першого контрольного вимірювання				Частка вимірю- ного значення, яку необхідно вписати в чисту клітинку			Смність конденсаторів, які необхідно включити між жилами та землею				Результат другого контрольного вимірювання			Частка виміря- ного значення, яку необхідно вписати в чисту клітинку		Смність конденсаторів, які необхідно включити між жилами			
Коефіцієнт	Знак	Величина		<i>a-e</i>	<i>b-e</i>	<i>c-e</i>	<i>d-e</i>	Коефіцієнт	Знак	Величина		<i>a-c</i>	<i>a-d</i>	<i>b-c</i>	<i>b-d</i>				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16				
<i>e</i> ₁	–	125	1, ½, ½	125		63	63	<i>k</i> ₁	–	30	½, ½	15			15				
	+		1, ½, ½						+			½, ½							
<i>e</i> ₂	–		½, ½, 1					<i>k</i> ₂	–		½, ½								
	+	120	½, ½, 1	60	60		120		+	55	½, ½	½, ½		28		28			
<i>e</i> ₃	–	0	½, ½	0	0			<i>k</i> ₃	–		½, ½								
	+		½, ½						+	15	½, ½	½, ½	8			8			
Сума			Сума				185	60	63	183	Сума			15	8	28	51		
Віднімається найменша величина			Віднімається найменша величина				60	60	60	60	Віднімається найменша величина			8	8	8	8		
Залишок			Залишок				125	0	3	123	Залишок			7	0	20	43		

Симетруючі конденсатори виготовляються різної ємності, що відрізняються на 5...10 пФ. Підмикаються вони до жил при з'єднанні окремих шматків кабелю в конденсаторних муфтах. Вибір ємностей допоміжних конденсаторів робиться по відомості таблиця 2.3 зі зразковим заповненням. При заповненні форми виміряні значення коефіцієнтів записують у графах 3 та 11 відповідно до їхніх знаків. Потім розносять у вільні клітки частками, позначеними в графах 4 та 12, та підсумовують вертикальні стовпці. Із сум віднімається найменша, і, таким чином, виходить необхідна величина ємності симетруючих конденсаторів, яка записується в нижній графі.

2.2 Симетрування низькочастотних кабелів приладом 1725/S фірми ORION

Для симетрування НЧ кабелів у тональному спектрі частот по вимірюванню ємнісних зв'язків та асиметрії використовуються ряд приладів, побудованих за принципом моста змінного струму.

Прилад 1725/S фірми ORION (рисунок 2.2) складається з двох роз'ємних частин – нижньої (вузької), де змонтований блок живлення та верхньої (широкої), де змонтований вимірювач ємнісних зв'язків та асиметрії, перемикач четвірок (Π_2) та перемінна еталонна ємність до 1800 пФ, призначена для розширення меж вимірювання приладом (Π_3).

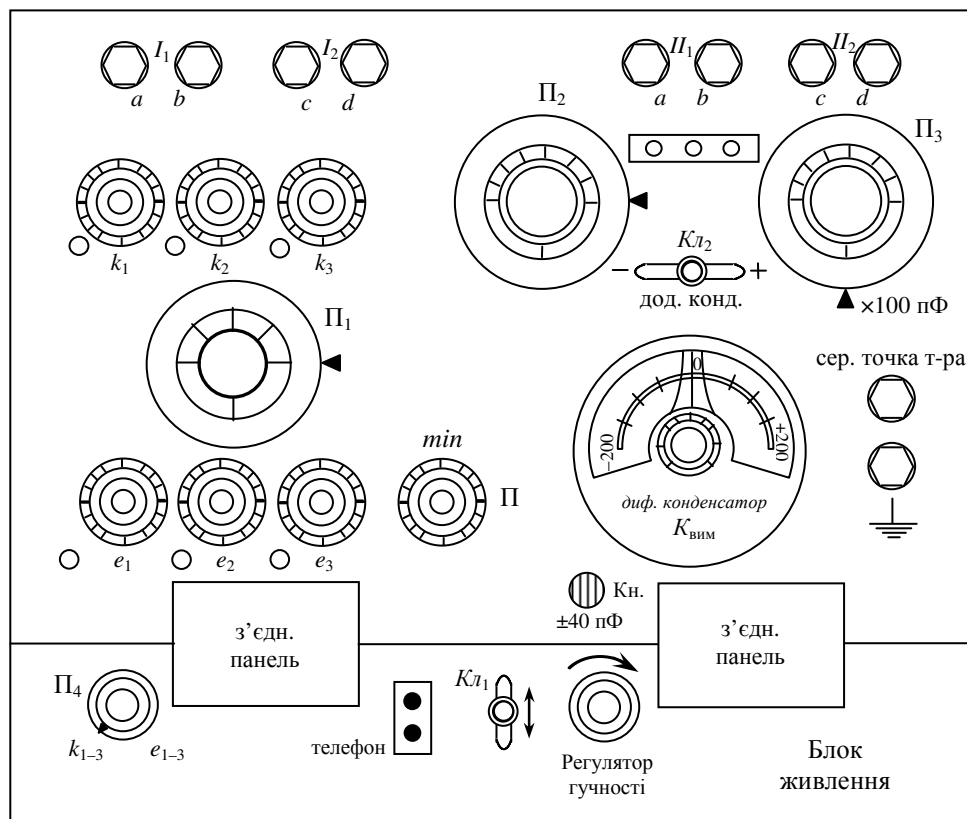


Рисунок 2.2 – Зовнішній вигляд приладу 1725/S зверху та розміщення на ньому деталей

Блок живлення складається з транзисторного генератора на 800 Гц та підсилювача. У касеті блоку живлення розміщується три елементи КБС (12 В) для живлення генератора.

Вимірювач зв'язку з'єднується з блоком живлення за допомогою двох з'єднувальних гніздових панелей.

Генератор та підсилювач між собою та від вимірювального моста розділені екраном.

Вимірювальні схеми для вимірювання коефіцієнтів зв'язку k_1, k_2, k_3 та асиметрій e_1, e_2, e_3 створюються за допомогою малогабаритного східчастого перемикача Π_1 , а також перемикачів Π_2 та Π_3 . При вимірюванні коефіцієнтів k та e між колами в середині четвірок перемикач Π_2 повинен знаходитись увесь час у положенні I_{e1-3}^k .

За допомогою перемикачів Π_1, Π_2, Π_3 часткові ємності між жилами та жил стосовно землі комутуються в плечі моста так, що при зрівноважуванні потенціалів у точках, до яких підмикається телефон (мінімальний рівень звуку в телефоні), по положенню вимірювального конденсатора ($K_{\text{вим.}}$) безпосередньо відраховуються значення вимірюваних коефіцієнтів k та e . При вимірюванні асиметрії e_1, e_2, e_3 у багаточетвірочних кабелях жили четвірок, які не приймають участь у схемі вимірювання, підмикаються до середини диференційного трансформатора. Середня точка трансформатора виведена до затискача "средн. точка т-ра" на передній панелі.

Примітка. При вимірюванні коефіцієнтів зв'язку й асиметрії між колами різних четвірок $k_4; k_5 - k_8; k_9 - k_{12}$ користуються перемикачем Π_2 . Жили вимірюваних четвірок при цьому підмикаються до лівих (I_{lab}, I_{2cd}) та правих (II_{lab}, II_{2cd}) клем приладу. При цих вимірюваннях перемикач Π_1 повинен знаходитись увесь час у положенні k_1 .

2.2.1 Ввімкнення та налаштування приладу для вимірювання коефіцієнтів ємнісного зв'язку й асиметрії

Перед початком вимірювання коефіцієнтів зв'язку та асиметрії прилад повинен бути відсиметрований "на себе", тобто повинні бути вирівняні асиметрія самої вимірювальної схеми та ємнісна асиметрія підімкнених до приладу шнурів. Для цього необхідно:

1. До лівих клем (I_{lab}, I_{2cd}) підімкнути вимірювальні провідники, суворо дотримуючись забарвлення жил провідника (червона, біла, синя, зелена), або нумерацію, нанесену на штекерах (1, 2, 3, 4). Другий кінець вимірювального провідника повинен знаходитись на діелектрику, жили не повинні з'єднуватись між собою чи землею.

2. Клему "Земля" з'єднати з клемою заземлення на вимірювальному макеті.

3. Перемикач Π_2 встановити в положення I_{e1-3}^k .

4. Ключ $K_{л2}$ поставити в середнє положення, у результаті відмикається додаткова ємність 200-1800 пФ (Π_3).
5. Диференційний конденсатор $K_{\text{вим}}$ поставити в нульове положення.
6. Перемикач Π_1 встановити в положення k_1 .
7. Перемикач Π_4 встановити в положення k_{1-3} .
8. Підікнути телефон до гнізд із відповідним написом.
9. Ввімкнути в схемі живлення, поставивши $K_{л1}$ у положення "Включ.", сили звуку змінюється регулятором гучності.
10. Якщо прилад налагоджений, то звук у телефоні буде відсутній, або буде дуже слабким.
11. Якщо прилад не налагоджений, то в телефоні буде прослуховуватися звук. У цьому випадку, послабивши стопорний гвинт та регулюючи налагоджувальний конденсатор K_1 та потенціометр Π , домагаються гострого мінімуму звуку в телефоні. Після цього необхідно зафіксувати положення конденсатора K_1 , злегка піджавши стопорний гвинт. Контроль точності налагодження здійснюється зміною на одне – два розподілів положення диференціального конденсатора вліво та вправо від 0, при цьому рівень звуку в телефоні різко збільшується.
12. Після налагодження приладу для вимірювання коефіцієнта k_1 , перемикач Π_1 встановлюють у положення k_2 та підстроєчним конденсатором K_2 та потенціометром Π домагаються гострого мінімуму звуку в телефоні.
13. Аналогічно налагоджується прилад для вимірювання коефіцієнта k_3 .
14. Поставивши перемикач Π_4 у положення e_{1-3} , перемикач Π_1 послідовно в положення e_1 , e_2 , e_3 , користаючись для кожного положення відповідними налагоджувальними конденсаторами e_1 , e_2 , e_3 та потенціометром Π , прилад налагоджують (по мінімуму рівня звуку) для вимірювання усіх ємнісних асиметрій. На цьому налагодження приладу закінчується.

2.2.2 Вимірювання коефіцієнтів ємнісного зв'язку й ємнісної асиметрії

Вимірювання коефіцієнтів зв'язку та асиметрії виконується у наступному порядку:

1. Другий кінець вимірювального шнура, строго дотримуючись відповідності розцвічень (або номерів) проводів шнура та жил кабелю, підікнути до жил кабелю з боку А в муфті A_1 (рисунок 5.1).
2. Послідовно встановлюючи перемикач Π_1 в положення k_1 , k_2 , k_3 (Π_4 у положення k_{1-3}), потім у положення e_1 , e_2 , e_3 (Π_4 - у положення e_{1-3}) та користуючись потенціометром Π , вимірюють величини усіх коефіцієнтів зв'язків та асиметрій з їхніми знаками диференційним конденсатором $K_{\text{вим}}$. Відлік робиться по положенню диференційного конденсатора при отриманні мінімального рівня звуку в телефоні.
3. Якщо вимірювана величина коефіцієнтів мала, то більш точно їх можна виміряти, натиснувши на кнопку «Кн. ± 40 пФ». При цьому змінюється коефіці-

ент трансформації прийомного трансформатора та межі вимірювання диференціального конденсатора стають рівним 40 пФ.

4. Якщо значення вимірюваного коефіцієнта більше ніж ± 200 пФ, то натисканням ключа K_{L2} у положення “+” або “-” (у залежності від знака вимірюваного коефіцієнта, одержаного по диференційному конденсатору) послідовно змінюють положення перемикача P_3 від 100 до 1800 пФ та домагаються мінімального рівня звуку в телефоні. Гострого мінімуму домагаються додатковим регулюванням диференціального конденсатора. Значення вимірюваного коефіцієнта при цьому одержують, підсумовуючи ємність по диференційному конденсатору та ємність P_3 .

Наприклад: P_3 знаходиться в положенні 6, ключ K_{L2} – у положенні “+”, а диференційний конденсатор – в положенні “+30”, тоді значення коефіцієнта дорівнює +630. Це ж значення можна одержати, встановивши P_3 у положення 8, ключ K_{L2} у положення “+”, а диференційний конденсатор – у положення “-170”.

Вимірянні значення коефіцієнтів $k_1, k_2, k_3, e_1, e_2, e_3$ записуються з їхніми знаками в графі 2 та 3 таблиця 2.2 відповідно до порядку, зазначеному у графах.

5. Потім вимірювальний шнур перемикається до відповідних по розцвіченню жил правої сторони кабелю (сторона Б) аналогічно попередньому вимірюються коефіцієнти k_1, k_2, k_3 та e_1, e_2, e_3 й записуються в графах 5 та 6 табл. 2.2.

Виходячи з вимірянних значень усіх коефіцієнтів, вибирають оператор схрещування жил для даної четвірки, зарисовують його у графі 4, обчислюють результуючі коефіцієнти зв’язку й асиметрії та записують їх у графах 8 та 9.

6. На макеті в муфті A_1 четвірки з’єднують по обраному оператору та шляхом вимірювання результуючих коефіцієнтів контролюють правильність встановленої схеми з’єднання та розрахунків.

При контрольному вимірюванні, після встановлення схеми з’єднання у муфті A_1 провідники шнура від приладу повинні підмикатися суворо відповідно забарвленню жил до сторони А (рисунок 2.3).

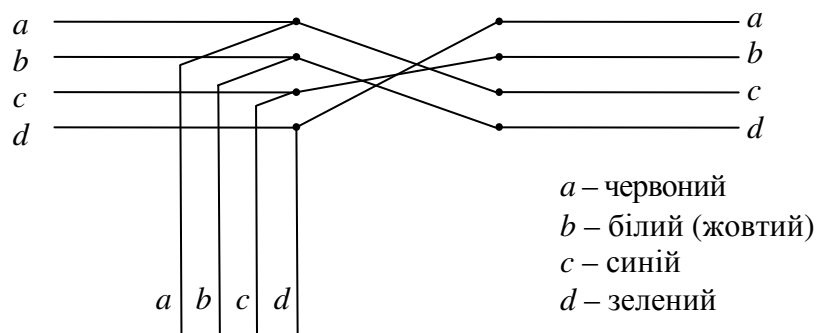


Рисунок 2.3 – Підключення вимірювального шнура до жил кабелю

7. Дані контрольних вимірювань заносяться в графи 10 та 11 таблиця 2.2 й результати вимірювання порівнюють з розрахованими значеннями в графах 8 та 9, вони повинні збігатися.

8. При трьохточковій схемі симетрування (дивись рисунок 5.1) аналогічно роблять вимірювання, записи, підбор операторів, їхнє встановлення та наступний контроль у муфті A_2 , а потім у муфті С.

9. Після симетрування схрещуванням у муфті С виміряні результуючі значення коефіцієнтів зв'язку й асиметрії на кроці симетрування (крок пупінізації) розписуються у відповідні графи бланка для симетрування кабелю конденсаторами та шляхом розрахунку обчислюють ємності, які повинні бути ввімкнуті між жилами та жилами й землею для остаточного доведення коефіцієнтів до встановлених норм.

10. Підбираються необхідні симетруючі конденсатори та підмикаються до жил кабелю відповідно з даними розрахунку по відомості симетрування четвірок конденсаторами. При цьому необхідно строго дотримуватись забарвлення та рахунку жил кабелю, відповідності підімкнення конденсаторів та провідників вимірювального шнура.

Після підімкнення конденсаторів роблять контрольні вимірювання результуючих коефіцієнтів на кроці симетрування. При точному підборі конденсаторів коефіцієнти повинні бути рівними 0. При відмінності значень конденсаторів, що підмикаються, від розрахованих, результуючі коефіцієнти можуть і не бути рівними 0, однак вони не повинні перевищувати встановлених норм на крок симетрування (додаток 9.1).

3 КЛЮЧОВІ ПИТАННЯ

- 3.1. Типи та особливості конструкції застосовуваних низькочастотних кабелів.
- 3.2. Електричні властивості, характеристики та норми низькочастотних кабелів.
- 3.3. Правило вибору операторів схрещування.
- 3.4. Порядок заповнення бланків та розрахунку коефіцієнтів ємнісного зв'язку та асиметрії при симетруванні схрещуванням.
- 3.5. Те ж саме при симетруванні конденсаторами.
- 3.6. Загальний принцип роботи приладу 1725/S та порядок користування ним.
- 3.7. Склад та монтаж конденсаторної муфти.

4 ДОМАШНЄ ЗАВДАННЯ

- 4.1. Вивчити рекомендовану літературу.
- 4.2. Вивчити склад та правила користування приладом 1725/S.

- 4.3. Вивчити порядок вибору операторів схрещування по виміряним коефіцієнтам ємнісного зв'язку та асиметрії.
- 4.4. Підготувати усні відповіді на контрольні запитання.
- 4.5. Підготувати бланки звіту (схеми, таблиці) та засвоїти порядок користування відомостями симетрування четвірок схрещуванням й конденсаторами.

5 ЛАБОРАТОРНЕ ЗАВДАННЯ

- 5.1. Уточнити порядок розташування жил у четвірках на макеті кабельної лінії.
- 5.2. Зібрати схему вимірювання.
- 5.3. З дозволу керівника ввімкнути напругу.
- 5.4. Відсиметрувати одну четвірку на довжині кроку по трьохточковій схемі (рисунок 5.1). Для цього спочатку симетруються муфти A_1 та A_2 тільки схрещуванням, а потім – муфта C схрещуванням і конденсаторами. У результаті симетрування коефіцієнти k та e повинні бути доведені до норм. Загальний порядок користування приладом 1725/S та порядок заповнення відомостей при симетруванні схрещуванням та конденсаторами дано в пп. 2.1, 2.2.
- 5.5. Порівняти отримані результати вимірювання з нормами, які допускаються на крок симетрування (k та e).



Рисунок 5.1 – Тривчкова схема симетрування

6 АПАРАТУРА

- 6.1. Макет кабельної лінії (на довжині одного кроку симетрування).
- 6.2. Прилад 1725/S.
- 6.3. Набір симетруючих конденсаторів.

7 ЗМІСТ ПРОТОКОЛУ

- 7.1. Принципова схема вимірювання.
- 7.2. Заповнення відомості результатів симетрування четвірок (схрещуванням та конденсаторами).

- 7.3. Схема підімкнення конденсаторів до жил четвірки.
 7.4. Порівняння отриманих результатів з нормами (k та e), які допускаються на будівельні довжини кабелю та крок симетрування.

8 ЛІТЕРАТУРА

- 8.1. Гроднев И. И., Курбатов Н. Д. Линии связи. – М.: Связь, 1988. – С. 304–311.
 8.2. Справочник строителя кабельных сооружений связи / Под. ред. Д. А. Барон и др. – М.: Радио и связь, 1988. – С. 555–559.

9 ДОДАТОК

9.1 Електричні норми на низькочастотні кабелі

9.1.1 Допустимі значення ємнісних зв'язків та асиметрій у будівельних довжинах 230/425 м наведені в таблиці 9.1.

Таблиця 9.1 – Допустимі значення коефіцієнтів ємнісного зв'язку та асиметрії на будівельну довжину

Найменування коефіцієнтів ємнісного зв'язку та асиметрії	Припустимі значення коефіцієнтів ємнісного зв'язку та асиметрії на будівельну довжину кабелю 230/425 м, пФ	
	Середнє	Максимальне
k_1	40/55	150/275
k_2, k_3	75/130	375/700
k_4	60/80	225/415
$k_5 - k_{12}$	60/80	225/415
e_1, e_2	150/275	600/1100
e_3	300/555	1200/2200

Таблиця 9.2 – Значення параметрів впливу на довжині ділянки симетрування

Найменування параметра	Припустимі значення на крок симетрування		Одиниця вимірювання
	Середнє	Максимальне	
k_1	10	20	пФ
k_2, k_3	10	20	пФ
k_4	30	80	пФ
$k_5 - k_8$	20	60	пФ
$k_9 - k_{12}$	10	30	пФ
e_2, e_3	100/130	300/400	пФ
$\Delta r_1, \Delta r_2$	–	0,1	Ом
Δr_3	–	0,05	Ом
$\Delta C/C$	–	1,5	%
$\Delta L/L$	–	1,5	%

9.1.2 Допустимі значення параметрів впливу на довжині ділянки симетрування низькочастотних кабелів наведено в таблиці 9.2.

Примітка. Якщо довжина відрізка кабелю l не дорівнює будівельній довжині L , то величини k та e не повинні перевищувати наступних значень:

а) середні значення $k_1, k_4 - k_{12}$ повинні бути помножені на $\sqrt{\frac{l}{L}}$;

б) максимальні значення $k_1, k_4 - k_{12}$, а також середні та максимальні значення k_2, k_3, e_1, e_2 і e_3 повинні бути помножені на l/L .

9.1.3. Асиметрія опору жил у парі з постійним струмом в будівельних довжинах кабелю не повинна перевищувати 1% опору шлейфа пари ($\Delta R_1, \Delta R_2$).

Асиметрія опору штучного кола в будівельній довжині не повинна перевищувати 2% опору шлейфа четвірки (ΔR_3).

Відхилення робочих ємностей кіл у будівельних довжинах від середніх значень не повинно перевищувати в середньому 4% та максимально 12,5%.

9.1.4. Номінальні значення характеристичних опорів пупінізованих кіл при $f = 800$ Гц повинні бути: для основних кіл – 1500 Ом, для штучних кіл – 750 Ом, для радіомовних – 500 Ом (при 5 кГц). За номінальне значення приймається середня виміряна величина.

9.1.5. Асиметрія опору постійному струму на довжині підсилювальної ділянки основного та штучного кіл повинні бути не більш $\frac{0,23}{d^2} \sqrt{l}$, Ом, де l – довжина підсилювальної ділянки, км; d – діаметр жил, мм.

Лабораторна робота № 2

ДОСЛІДЖЕННЯ ПЕРЕХІДНИХ ЗАГАСАНЬ МІЖ КОЛАМИ КАБЕЛЬНИХ ЛІНІЙ ПЕРЕДАВАННЯ

1 МЕТА РОБОТИ

Придбання практичних навичок з вимірювання перехідних загасань поміж колами кабелів та ознайомлення з застосовуваною вимірювальною апаратурою.

2 КЛЮЧОВІ ПОЛОЖЕННЯ

Одною з найважливіших умов надійного зв'язку по кабельних лініях великої довжини є висока завадозахищеність кіл ліній.

Якість та дальність зв'язку зумовлюються не стільки власним загасанням кола, скільки взаємними впливами поміж сусідніми колами. Причиною взаємних впливів є електромагнітні поля, які виникають навколо кола при передаванні ними електромагнітних хвиль. Для зменшення впливу поміж колами слід вживати спеціальних заходів.

Комплекс заходів, які вживають за монтажу кабелю з метою зменшення взаємних впливів поміж колами, називається симетруванням. Симетрування кабельних магістралей провадиться по підсилювальних ділянках, що є закінченими об'єктами симетрування. Етапи симетрування ВЧ кабелів описано в [8.1].

В лабораторних умовах створено макет підсилювальної ділянки одночотвіркового кабелю, на якому є три муфти, віддалені одна від одної на однакові відстані, а також гнізда боксів (ПП). Для досягнення можливої більш високої захищеності кіл усередині четвірки в зазначених трьох муфтах водночас перебирають схеми схрещування за результатами вимірювання захищеності кіл на дальньому кінці:

- у кожній муфті вмикають перемикач схем схрещування (у даній роботі до середньої муфти увімкнено перемикач операторів, а в крайніх муфтах схеми схрещування добираються за допомогою провідників),

- підготовляють прилад ВІЗ-2Б (або ВІЗ-600) до роботи та збирають схему вимірювання захищеності на дальньому кінці (рисунок 2.1).

- встановлюють оператори схрещування ●●● в трьох муфтах. Вимірюють та записують значення $A_3 \ 1/2$ та $A_3 \ 2/1$. Потім здійснюють перебір комбінацій операторів схрещування відповідно до протоколу вимірювання (додаток 9.1) Потім комбінацію операторів схрещування в трьох муфтах, яка дає найбільше значення A_3 відновлюють.

- якщо симетрування схрещуванням не забезпечує здобуття норми захищеності (додаток 9.2), то здійснюють концентроване симетрування за допомогою контура протизв'язку (рисунок 2.1). Підмикання контура здійснюється за

допомогою спеціальних шнурів з колодками у вільні гнізда "Лінія 1" та "Лінія 2" індикатора ВІЗ-2Б. Звернути увагу на відповідність номерів та гнізд.

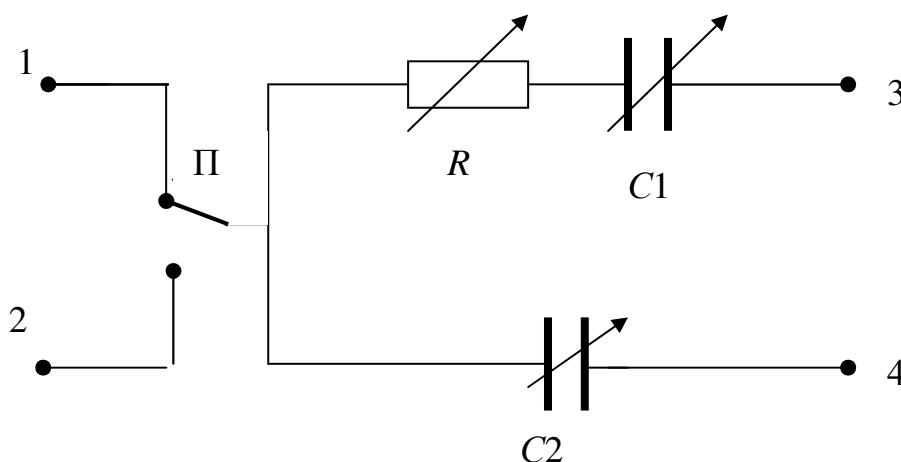


Рисунок 2.1 – Концентроване симетрування
за допомогою контуру протизв'язку

Опори та ємності контуру встановлюють на мінімальні значення. Потім поступово збільшують ємність в одній гілці й, якщо при цьому захищеність збільшується, то добирають таке значення, яке забезпечує найбільшу захищеність кіл. Якщо ж при збільшенні ємності першого конденсатора захищеність знижується, то встановлюють мінімальний розмір цього конденсатора та збільшують ємність другого конденсатора до здобуття найбільшого значення захищеності. Після маніпуляцій з ємностями збільшують опір у тому колі, в якому введено конденсатор. У разі зменшення захищеності за зазначених маніпуляцій перемикач П (рисунок 2.1) переводять в інше положення й повторюють описаний раніше процес добирання елементів протизв'язку.

Значення ємностей конденсаторів постійних контурів протизв'язку відраховують за шкалою конденсаторів C1 та C2, а значення опору – по положенню перемикачів магазину опору.

По закінченні концентрованого симетрування провадять контрольні вимірювання захищеності на дальньому кінці, перехідного загасання на ближньому кінці за допомогою приладу ВІЗ-2Б (або ВІЗ-600) зі зміною місцями кола, які впливають та підпадають під вплив.

В протоколі звіту необхідно накреслити частотну характеристику A_3 та A_0 .

Провести вимірювання A_3 на проміжних частотах 50, 100, 150, 200 кГц і результати занести до таблиці (додаток 9.1).

2.1 Основні відомості про принцип дії приладу ВІЗ-2Б

Панорамний (візуальний) вимірювач перехідного загасання ВІЗ призначається для швидких вимірювань частотних характеристик перехідного загасання поміж двома колами в симетричному кабелі. Ним можна вимірювати перехідне загасання на ближньому та захищеність на дальньому кінці при симетруванні кабелю в діапазоні до 300 кГц (ВІЗ-2Б) та до 600 кГц (ВІЗ-600).

Прилади ВІЗ використовуються переважно при будівництві кабельних магістралей, а також можуть бути застосовані при проведенні контрольних профілактичних вимірювань.

Принцип дії приладу може бути пояснено таким чином (рисунок 2.2).

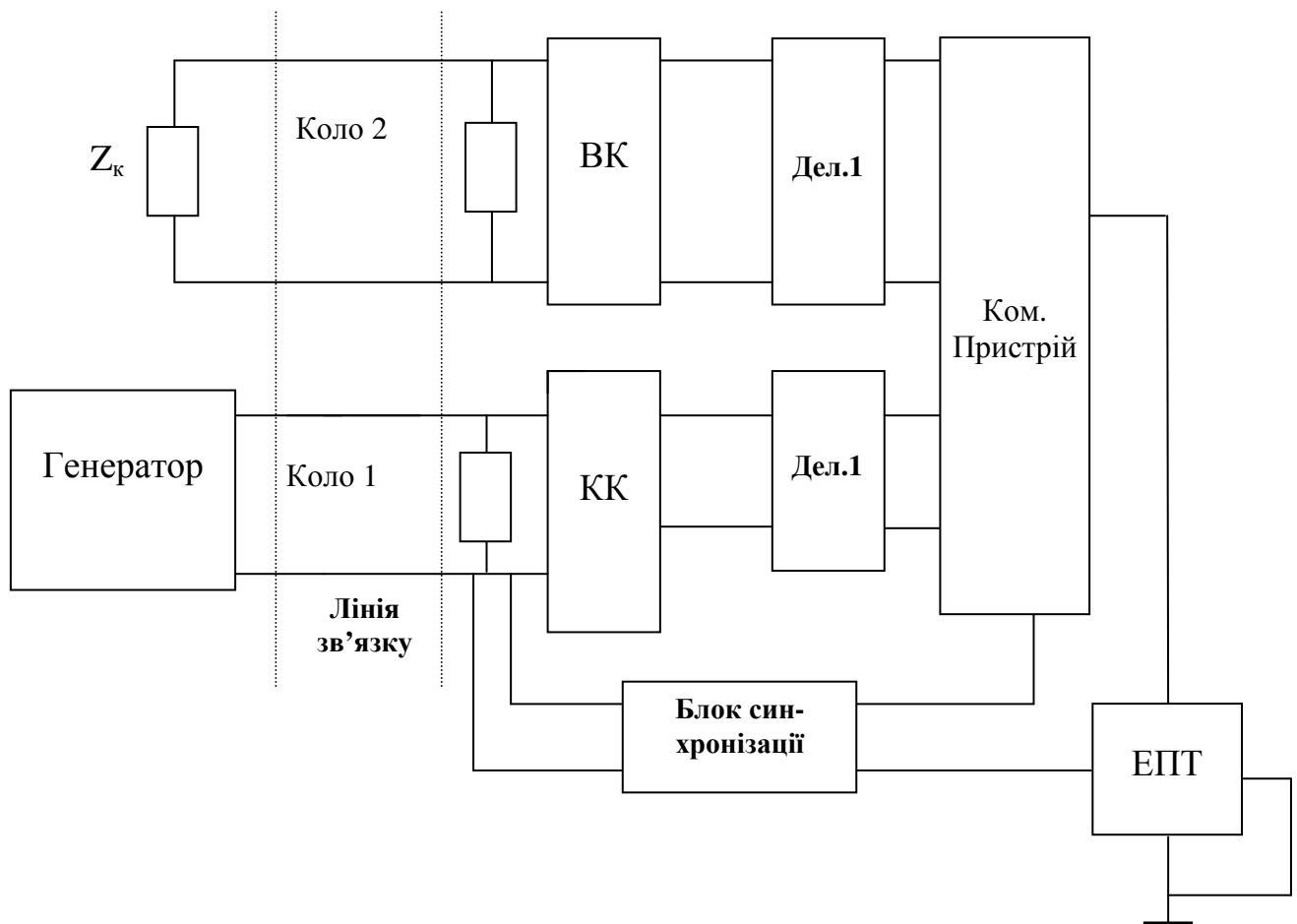


Рисунок 2.2 – Блок-схема приладу ВІЗ та його відімкнення при вимірюванні захищеності на дальньому кінці

Промінь електронно-променевої трубки (ЕПТ) відчуває по горизонталі дію генератора розгортки (ГР), що видає напругу, яка лінійно залежить від часу. Цією ж напругою керується й змінювання частоти в генераторі хитної частоти (ГХЧ). ГХЧ подає незмінні за амплітудою але змінні за частотою

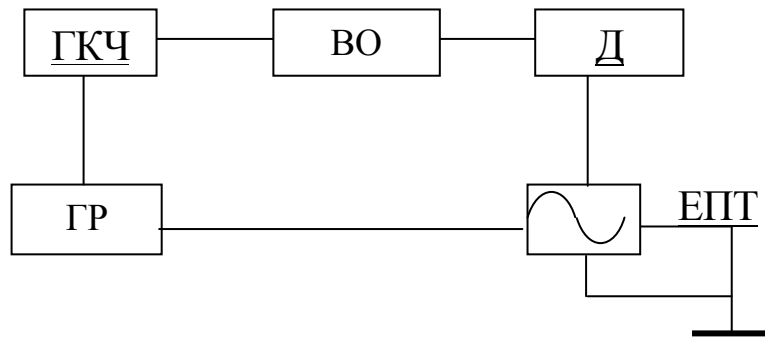


Рисунок 2.3 – Принцип дії приладу ВІЗ

коливання на вхід вимірюваного об'єкта (ВО), що придушує амплітуди різних частот у різній мірі. Якщо з сигналу на виході ВО відокремити огинаючу за допомогою детектора Д та подати її на вертикальні пластини ЕПТ, то на екрані буде нанесено частотну залежність загасання вимірюваної ділянки, яка вимірюється. Проте така схема безпосереднього вимірювання загасання є недостатньо точна. Тому у ВІЗ-2Б (або ВІЗ-600) використовують метод порівняння (рис. 2.2), тобто в приладі створюється додатковий контрольний канал (КК), загасання якого можна встановити довільно й порівнювати із загасанням ВО. Для того щоби збільшити завадозахищеність вимірюваного сигналу, вводять додаткове модулювання сигналу за амплітудою. Як наслідок на виході генератора, сконструйованого в окремому від індикатора блоці, виникає складний сигнал: змінювання частоти за лінійним законом з одночасним змінюванням амплітуди за синусоїдним законом з частотою 1 кГц, потім коротка перерва й повторювання сигналу. Цей складний сигнал генератора подається на вхід впливового кола 1. Приймальна частина індикатора має два канали – вимірювальний та контрольний. Контрольний канал "Лінія 1" підмикається або безпосередньо до генератора (при настроюванні та вимірюванні перехідного загасання на ближньому кінці – рисунок 2.4), або до виходу впливового кола, (при вимірюванні захищеності на дальньому кінці – рисунок 2.5).

Вимірювальний канал "Лінія 2" підмикається або до входу кола, яке підпадає під вплив (при вимірюванні перехідного загасання на ближньому кінці – рисунок 2.4), або до її виходу (при вимірюванні захищеності на дальньому кінці – рисунок 2.5).

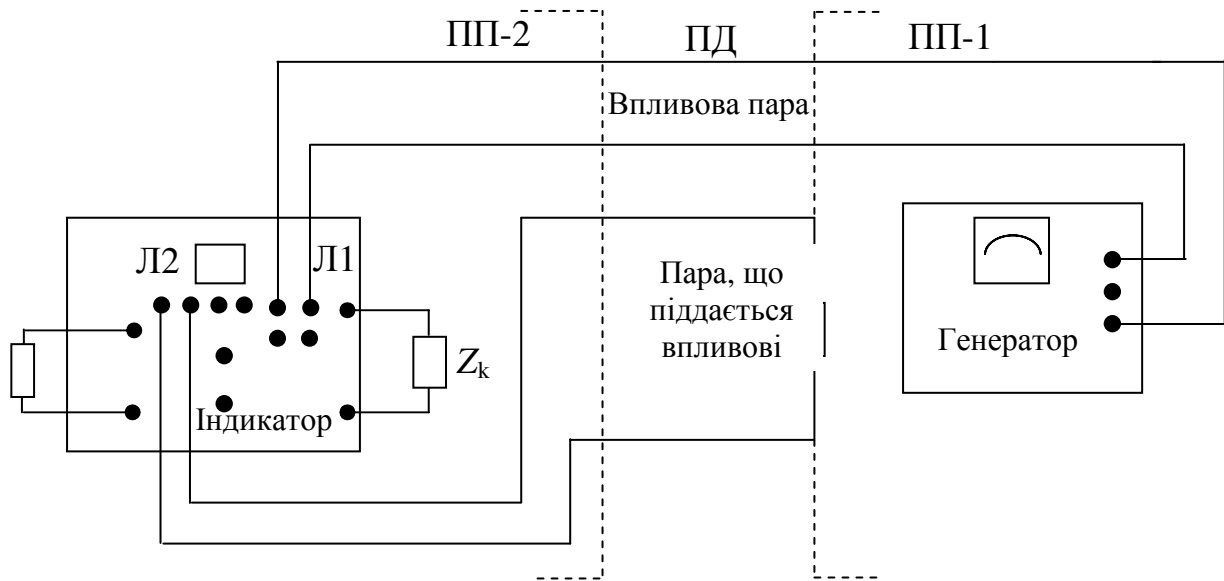


Рисунок 2.4 – Схема вимірювання перехідного загасання на ближньому кінці

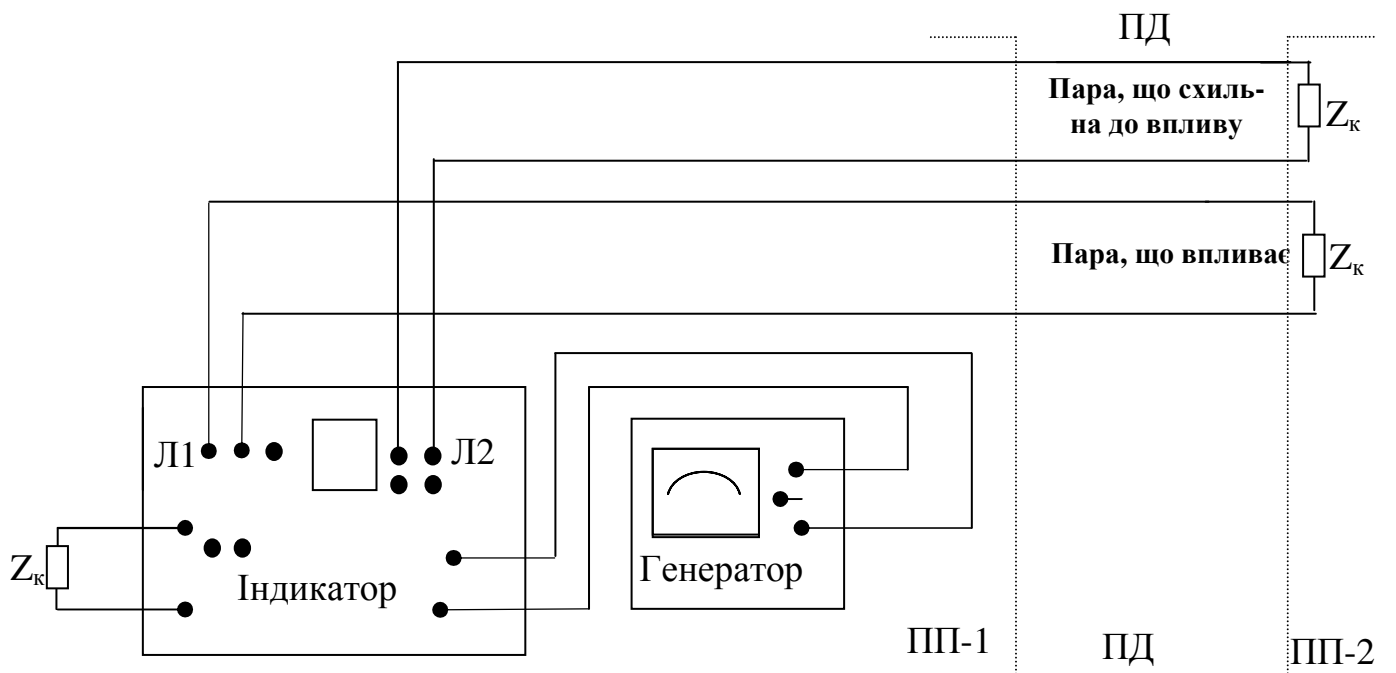


Рисунок 2.5 – Схема вимірювання захищення на дальньому кінці

Відомо, що в першому наближенні при передаванні амплітудно-модульованого коливання загасання по несучій частоті дорівнює загасанню виділеної огинаючої цього коливання. Отже, якщо коливання частоти, яка змінюється по лінійному закону, промодульовано коливанням низької частоти та передано через ВО, то огинаюча коливання низької частоти буде відповідати частотній характеристиці ВО. Цю огинаючу коливаний можна пропустити через вузькосмуго-

вий фільтр, який значно зменшить вплив шумів. Після повторного детектування коливання стала складова подається на вертикально відхиляючі пластини ЕПТ. Промінь ЕПТ відхиляється від своєї горизонтальної осі пропорційно до напруги сигналу або завади, залежно від того, який канал за допомогою комутувального пристрою "Ком." підмикається до ЕПТ. Тому відстань поміж двома променями буде визначати завадозахищеність сигналу на тій або іншій частоті (рис. 2.6).

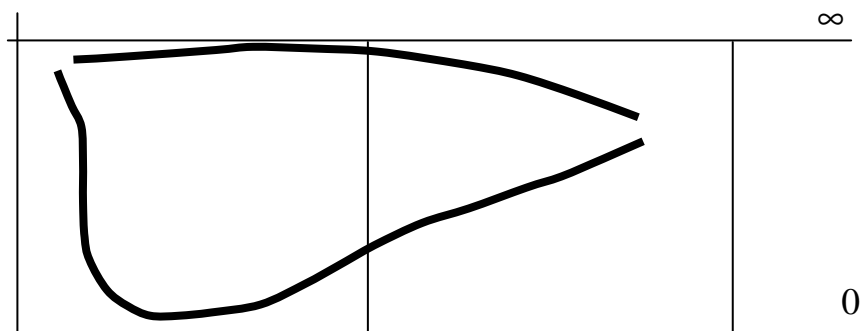


Рисунок 2.6 – Відстань поміж двома променями завадозахищеності сигналу на тій чи іншій частоті

Розмір перехідного загасання визначається різницею показників подільників напруги (Діл. 1, Діл. 2) з врахуванням різниці рівнів, відлічених поміж відповідними точками характеристик, видимих на екрані трубки. Якщо сполучити в заданій точці криві контрольного та вимірювального каналів, то вимірювання буде більш точним, тому що в цьому разі розмір перехідного загасання відрховується за показниками подільників напруги.

При симетруванні точний відлік зазвичай потрібен лише для визначення мінімального розміру перехідного загасання.

Синхронізація перемикавання каналів проводиться тими самими синхроімпульсами, які використовуються для синхронізації генераторів розгортки.

При вимірюванні довгих підсилювальних ділянок вимірювальна характеристика швидко піднімається вгору, вміщуючись на половині діаметра ЕПТ. Для того щоби зробити характеристику більш похилою, застосовують коригувальні контури.

Для діставання частотних оцінок (частотного масштабу) у приладі є два маркерних пристрої. Маркерний пристрій містить шість резонансних контурів, настроєних на частоти 15, 50, 100, 150, 200 і 250 кГц, які включаються у схему кнопкою. При ввімненні контурів на контрольній характеристиці з'являються сплески (контрольні позначки), які відповідають згаданим частотам.

2.2 Правила користування приладом ВІЗ-2Б

Загальні відомості

Вимірювач перехідного загасання панорамний (візуальний), призначено для швидких вимірювань частотних характеристик перехідного загасання між двома колами симетричного кабелю, як на ближньому, так і на дальньому кінцях.

Можливе є застосовування приладу для вимірювання перехідного загасання між повітряними колами.

Основні технічні характеристики приладу:

- робочий діапазон частот вимірювача 12...150 та 15...300 кГц;
- максимально вимірюване значення перехідного загасання 139 дБ (16 Нп);
- похибка вимірювання загасання не перевищує 1,74 дБ ($\pm 0,2$ Нп);
- живлення вимірювача здійснюється або від акумуляторних батарей 220 та 6,5 В, від акумуляторних батарей 12 В з використанням перетворювача напруги типу ПН-12/220, або від мережі змінного струму 110, 127, 220 В з припустимими коливаннями $\pm 10\%$;
- конструктивно вимірювач складається з двох переносних блоків: генератора та індикатора.

2.3 Органи керування приладом

На передній панелі генератора розташовано основні органи керування його роботою:

2.3.1 вимикач живлення із сигнальною лампочкою;

2.3.2 перемикач діапазонів;

2.3.3 регулятор вихідного рівня;

2.3.4 колодка з вихідними гніздами, розташована у верхньому правому куті;

2.3.5 подвійний тумблер для включення коригувального контуру, який розміщено в правій частині генератора, збоку;

2.3.6 стрілковий прилад, який зазначає в середньому положенні ключа, який знаходиться під приладом, рівень сигналу на виході генератора. У крайніх положеннях ключа вимірюються напруги розжарювання й анодна напруги. Напруга розжарювання регулюється за допомогою східчастого регулятора, який розташовано ліворуч від стрілкового приладу;

2.3.7 під перемикачем діапазонів розміщено ручки опорів регулювання ширини зсуву частот діапазонів, а також регулювання частоти розгортки; ці ручки закрито кришкою.

На передній панелі індикатора у верхній частині міститься екран трубки. На цій же панелі розміщено ручки керування променем (яскравість та фокусування), частотою розгортки та вертикального масштабу.

Нижче розташовано тумблер вмикання живлення з неоновю лампочкою й тумблер вмикання зовнішнього маркера.

На нижній вертикальній частині панелі розташовано вхідні гнізда та ручки подільників напруги – ліва ручка належить подільникові вимірювального каналу, дві праві ручки – подільникові контрольного каналу. Нижче подільників розташовано шість кнопок резонансних контурів маркерного пристрою. У правому нижньому куті є клеми для підмикання зовнішнього генератора. Поміж вхідними колодками міститься стрілковий прилад, який вимірює напругу розжарення, анода.

2.4 Порядок підімкнення та перевірка роботи приладу

(Виконується за вказівкою викладача)

2.4.1 Підімкнути до генератора та індикатора шнури живлення, увімкнути прилади тумблерами живлення, при цьому повинні засвітитись неонові лампочки.

2.4.2 Перевірити напруги розжарювання й анодну. Напруга розжарювання повинна бути $6,3 \pm 10 \%$; анодна напруга – $220 \text{ В} \pm 10 \%$.

2.4.3 Через 1–2 хвилини після ввімкнення на екрані трубки має з'явитися світла лінія. Слід встановити необхідну яскравість світіння променя та сфокусувати промінь за допомогою ручок "Яскравість" та "Фокус".

2.4.4 З'єднати вихідні гнізда генератора з вихідними гніздами "Генератор" на індикаторі. У гніздо "Лінія 1" вставити навантажувальний опір "ВІЗ-2-170 Ом".

2.4.5 Поставити обидва подільники контрольного каналу в положення "0", а подільник вимірювального каналу – у положення "+4". При цьому на екрані трубки повинні з'явитися дві лінії: одна має проходити по лінії шкали " ∞ ", друга (контрольна характеристика) – по лінії "0 Нп". Якщо це не виконується, то регулюють спочатку положення характеристики, яка проходить по лінії " ∞ " ручкою "Зсув вертикалі", яка міститься на правому боці індикатора, потім ручкою "Масш. Непер" регулюється контрольна характеристика в такий спосіб, щоби вона проходила приблизно по лінії "0 Нп".

2.4.6 Перевірити діапазон частот генератора, для чого натиснути кнопки резонансних контурів на індикаторі "15 кГц" та "150 кГц" для I діапазону за відповідного положення перемикача діапазонів генератора. Потім, перемикнувши перемикач діапазонів, натиснути кнопки "15 кГц" та "250 кГц" для II діапазону. На контрольній характеристиці повинні з'явитися сплески на початку та кінці характеристики.

Якщо діапазон виявиться зсунутим за частотою або смуга частот не відповідає номіналу, провести регулювання діапазонів ручками "Ширина" та "Зсув"

генератора для відповідного діапазону. Спочатку регулювання провадиться ручкою "Ширина", а потім річкою "Зсув".

Для відновлення синхронізації частоти розгортки генератора та індикатора необхідно ручку "Част. розгортки" в індикаторі поставити в крайнє ліве положення. Ручкою "Част. розгортки" у генераторі відрегулювати частоту розгортки до здобуття стійкої синхронізації за довжині лінії на екрані трубки біля 80...90 мм (у межах вертикальної позначки). Обертанням ручки "Част. розгортки" в індикаторі вправо одержати довжину лінії розгортки до 100 мм.

2.4.7 Ввімкнути градувальний подовжувач (з колодкою 8,5 Нп) поміж гніздами "Лінія 1" та "Лінія 2". При цьому навантажувальний опір "ВІЗ-2-170 Ом" має бути переставлено у гніздо "Навантаження".

2.4.8 Перемикачами подільників напруги домогтися суміщення характеристик на екрані трубки. Сума показників усіх подільників повинна бути $8,5 \text{ Нп} \pm 0,1 \text{ Нп}$. На цьому перевірка роботи вимірювача завершується.

2.5 Вимірювання перехідного загасання на ближньому кінці

2.5.1 Зняти градувальний подовжувач. Гнізда "Лінія 1" з'єднати шнуром із входом впливового кола, гнізда "Лінія 2" – із колом, піддаваним впливові. Навантажувальний опір із написом "ВІЗ-2-170 Ом", який відповідає розміру хвильового опору лінії, має бути увімкнено в гнізда "Навантаження". На дальньому кінці обидві лінії також повинні бути навантажені на опори, відповідні опорів лінії.

2.5.2 Встановити на генераторі необхідний діапазон частот вимірювання. Від'єднати коригувальний контур тумблером "Корр. конт.". Встановити на виході генератора потужність +5 Нп.

2.5.3 Подільник вимірювального каналу поставити в положення "+4 Нп". Контрольна характеристика повинна проходити по лінії "0 Нп". (Регулювання здійснюється ручкою "Масш. Непер." та ручкою правого подільника контрольного каналу). Другий подільник контрольного каналу поставити в положення "0".

2.5.4 Перевірити діапазон частот генератора по маркерах натисканням кнопок, у разі потреби підрегулювати, як було описано в п. 6 попереднього розділу.

2.5.5 Перемикачем подільника вимірювального каналу (лівий перемикач) встановити розмір сигналу в такий спосіб, щоби зображення частотної характеристики яка вимірюється, знаходилося всередині екрана та не опускалося нижче за лінію "0 Нп".

2.5.6 Регулюванням подільника контрольного каналу (середній подільник) домогтися суміщення частотних характеристик загасання, визначення розміру загасання при цьому виконується шляхом алгебричного підсумовування показів усіх трьох дільників.

2.6 Вимірювання захищеності на дальньому кінці

2.6.1 Вихідні гнізда генератора з'єднати із входом впливового кола, на УП₁ встановити на генераторі необхідний діапазон частот.

2.6.2 На УП₂ з'єднати вихід впливового кола із гніздами індикатора "Лінія 1", а вихід кола, піддаваного впливові – із гніздами "Лінія 2".

2.6.3 У гнізда індикатора "Генератор" та "Навантаження" включити опір "ВІЗ-2-170 Ом". Дальній кінець впливової лінії та ближній кінець кола, піддаваного впливові, навантажити на опори, дорівнювані хвильовому опорі лінії.

2.6.4 Рівень на виході генератора встановити + 5 Нп.

2.6.5 Регулюванням подільника контрольного каналу встановити зображення контрольної характеристики всередині екрана. Подальші операції з вимірювання захищеності проводяться аналогічно пп. 5 та 6 попереднього розділу.

3 КЛЮЧОВІ ПИТАННЯ

- 3.1. Які фізичні явища призводять до впливу поміж колами ВЧ кабелів?
- 3.2. Що таке перехідне загасання на ближньому та дальньому кінцях?
- 3.3. У чому полягає фізична суть захищеності?
- 3.4. Як відрізнити кінець А будівельної довжини кабелю від кінця Б?
- 3.5. З якою метою провадиться схрещування в колі кабелю?
- 3.6. Норми перехідного загасання на ближньому кінці, захищеності на дальньому кінці.
- 3.7. Що таке симетрування?
- 3.8. Які методи симетрування ВЧ кабелів Ви знаєте?
- 3.9. Чому необхідно в перебігу симетрування кіл, що взаємовпливають, змінювати їх місцями?
- 3.10. Який метод вимірювань використовується в приладі ВІЗ-2Б?
- 3.11. Як проводяться вимірювання перехідного загасання на ближньому кінці?
- 3.12. Як, та де, можна ввімкнути контур протизв'язку?
- 3.13. Чим пояснити позитивну дію контуру протизв'язку?

4 ДОМАШНЄ ЗАВДАННЯ

- 4.1. Користуючись зазначеною літературою, вивчити:
- 4.2. Причини взаємних впливів та параметри впливів між колами кабельних ліній передавання.
- 4.3. Методи вимірювань перехідних загасань.
- 4.4. Норми перехідного загасання між колами на будівельні довжини та підсилювальні ділянки.
- 4.5. Методи зменшення взаємного впливу між колами.
- 4.6. Ознайомлення з принципом дії приладу ВІЗ-2Б та користування ним у перебігу вимірювань.

5 ЛАБОРАТОРНЕ ЗАВДАННЯ

Ознайомитися з устаткуванням даної лабораторної роботи.

Перевірити та в разі потреби, налагодити прилад ВІЗ-2Б.

5.1. Зібрати схему вимірювання захищеності на дальньому кінці.

5.2. Виміряти значення A_3 1/2 та A_3 2/1 для двох різних комбінацій операторів схрещування в трьох муфтах.

5.3. Вибрати оптимальну комбінацію операторів, котрі забезпечують максимальне значення захищеності.

5.4. Накреслити частотну характеристику A_3 1/2 й A_3 2/1 до та після схрещування.

5.5. Якщо схрещуванням не можна домогтися виконання норми, то провести симетрування контуром РС. Для цього контур увімкнути у вільні гнізда колодок "Лінія 1" та "Лінія 2". Визначити елементи контуру та жили, до яких вони підмикаються.

5.6. Добрати відповідні резистори та конденсатори, підімкнути їх у середній муфті. Перевірити значення A_3 1/2 та A_3 2/1.

5.7. Зібрати схему вимірювання перехідного загасання на ближньому кінці. Виміряти A_0 з двох кінців підсилювальної ділянки.

5.8. Порівняти виміряні значення A_3 та A_0 з нормами.

5.9. Накреслити частотну характеристику A_0 .

6 АППАРАТУРА

6.1. Прилад ВІЗ.

6.2. Перемикач схрещування.

6.3. Контур протизв'язку.

6.4. Навантажувальні опори.

6.5. Макет підсилювальної ділянки кабелю, на якому виділено на лицевій частині панелі симетрувальні муфти та гнізда боксів УЛ.

7 ЗМІСТ ПРОТОКОЛУ

7.1. Схеми вимірювання A_3 та A_0 .

7.2. Відомість вимірювання A_3 для двох різних комбінацій операторів.

7.3. Графіки залежності A_3 та A_0 від частоти.

7.4. Схема контура протизв'язку, вмикання його та величини елементів.

7.5. Висновки.

8 ЛІТЕРАТУРА

8.1. Гроднев И.И., Верник С.М. Линии связи. – М.: Радио и связь, 1988. – С. 544.

8.2. Гроднев И.И. Линейные сооружения связи. – М.: Радио и связь, 1987. – С. 304.

8.3. Инженерно-технический справочник по электросвязи. Кабельные и воздушные линии связи. – М.: Связь, 1966. – С. 671.

9 ДОДАТОК

**9.2 Норми електричних характеристик ВЧ симетричних кабелів
при змінному струмі**

№ п.п.	Найменування характеристик	Діапа- зон час- тот	Кіль- кість комбі- націй	Н о р м а, %		
				100	90	65
1	Розподіл значень захи- щеності на дальньому кінці, дБ (Нп), не менше а) кабель ємністю – 4х4	12...252 (К...60) 12...108	56	71,22 (8,2)	73,83	78,17
	б) кабель ємністю – 7х4		182	72,96 (8,4)	(8,5) 74,70	(9,0) 78,17
	в) кабель – 1х4 (для зо- нового зв'язку)		2	75,57 (8,7)	(8,6)	(9,0)
2	Розподіл захищеності на ближньому кінці, дБ (Нп), не менше	12...252 (К...60) 12...108	28			
	а) кабель ємністю – 4х4		91	59,06	60,08	
	б) кабель ємністю – 7х4		1	59,06	60,08	
	в) кабель ємністю – 1х4			59,06	60,08	

Лабораторна робота № 3

ДОСЛІДЖЕННЯ ПИТОМОГО ОПОРУ ОДНОРІДНОЇ ЗЕМЛІ Й ОПОРУ ЗАЗЕМЛЕНЬ

1 МЕТА РОБОТИ

Вивчення устаткування заземлювальних пристроїв застосовуваних в техніці зв'язку, і методів визначення питомого опору однорідної землі й опорів заземлень.

Матеріали даної роботи можуть бути використані для проведення лабораторної роботи, навчально-дослідницької роботи та в дипломному проектуванні.

2 КЛЮЧОВІ ПОЛОЖЕННЯ

Властивості землі як провідника струму характеризуються величиною електричного питомого опору землі ρ_z (Ом·м), що являє собою опір, який утворює 1 куб.м. землі проходженню струму від однієї грані куба до іншої; він залежить від структури землі, її вологості й температури, наявності розчинних хімічних речовин (кислот, лугів, продуктів гниття тощо).

Визначення питомого опору землі проводиться для оцінки її агресивності, розрахунку блукаючих струмів, для оцінки корозійного стану підземних кабелів та інших металевих споруд, які знаходяться в землі. Опір ґрунту є також одним з головних параметрів при оцінці можливості пошкодження кабелю внаслідок влучень блискавки, при визначенні впливів зовнішніх електромагнітних полів і виборі мір захисту від них.

Питомий опір землі є одним з параметрів, що обумовлює величину опору заземлення:

- установок проводового зв'язку, які служать для роботи апаратури по колу, складовою частиною якого є земля;
- блискавковідводів, розрядників, металевих пристроїв зв'язку;
- металевих оболонки, екранів кабелів і екранів апаратури.

Земля (ґрунт) є провідником електричного струму, який має величезні розміри. Вона широко використовується при роботі різного роду електроустановок.

Електричний зв'язок між частинами електроустановок і землею здійснюється за допомогою заземлюючих пристроїв. Заземлювальний пристрій являє собою сукупність заземлювачів – провідників, що знаходяться в безпосередньому контакті з землею і використовуваних для з'єднань з нею частин електроустановки, і заземлюючих провідників – металевих провідників, призначених для з'єднання частин електроустановки з заземлювачем.

Заземленням будь-якої частини електричної установки називається навмисне з'єднання її з заземлювальним пристроєм, з метою збереження на ній необ-

хідного потенціалу і забезпечення нормальної роботи системи чи її елементів в обраному для них режимі.

Телефонні, телеграфні і міжміські станції, а також підсилювальні чи регенераційні пункти і радіотрансляційні вузли обладнуються спеціальними станційними заземленнями, основними видами яких є: робочі, захисні, лінійно-захисні і вимірювальні.

Види, кількість і величина опору станційних заземлень обумовлюються відповідно до Державних стандартів у залежності від типу станції, системи живлення апаратури, виду лінійних споруд і способу їхнього введення в станцію, питомого опору землі й інших факторів.

2.1 Вимір питомого опору землі приладом МС-08

Схема виміру представлена на рис. 2.1. Для виміру необхідно виконати наступні умови:

– відстань між електродами a повинна бути не менш, ніж подвійна глибина залягання кабелю $H(0,8-1,2\text{ м})$: $a \geq 2H$;

– глибина розміщення електродів у ґрунті h повинна бути не менш $1/20$ відстані між електродами ($h \geq a/20$, де h – глибина розміщення електродів у ґрунті).

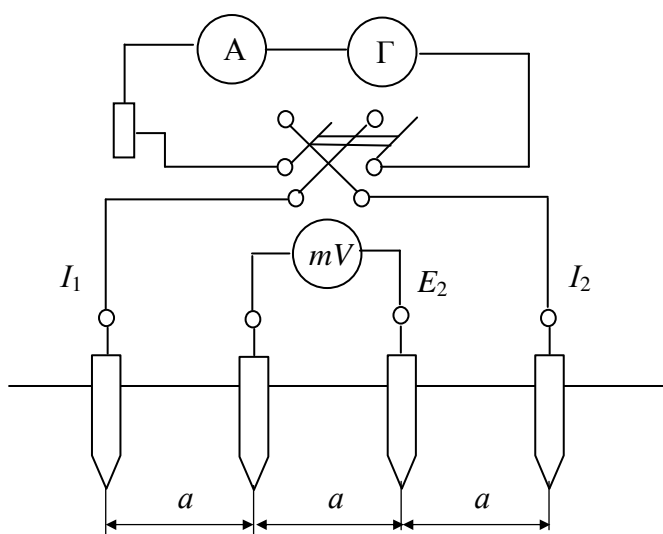


Рисунок 2.1 – Схема виміру питомого опору землі приладом МС-08

Порядок виміру:

2.1.1. Зовнішні електроди (струмові) приєднати до затискувачів I_1 і I_2 , а внутрішні (потенційні) – до затискувачів E_1 і E_2 .

2.1.2. Зняти перемичку між затискувачами I_1 і E_1 .

2.1.3. Провести установку стрілки приладу на червону риску за допомогою реостата в положенні перемикача "Рег." і обертання ручки зі швидкістю, яка приблизно дорівнює 135 об/хв.

2.1.4. Домігшись збігу стрілки з червоною рисою шкали, перевести перемикач меж виміру в одне з положень: "х 1" (при $R \geq 100 \text{ Ом}$), "х 0,1"

(при $R < 100 \text{ Ом}$) чи "х 0,01" (при $R < 10 \text{ Ом}$).

2.1.5. При обертанні ручки генератора зі швидкістю 135 об/хв. зняти і записати показання приладу з урахуванням множника. Розрахувати питомий опір землі за формулою:

$$\rho_3 = 2\pi R a \quad (2.1)$$

де ρ_3 – розраховане значення питомого опору землі, Ом·м;

R – показання приладу, Ом;

a – відстань між заземлювачами, м.

Примітка. Вимір необхідно повторити кілька разів при різних значеннях a . Це дозволить визначити структуру землі, у районі вимірів.

Змінюючи відстань між електродами, тобто збільшуючи довжини живильного і вимірювального кіл, можна одержувати ті чи інші значення ρ_3 . Якщо ці величини приблизно рівні між собою, то це означає, що ґрунт однорідний на різних глибинах; якщо отримані величини відрізняються одні від інших, то удаване значення питомого опору землі варто визначати за спеціальними кривими (палетками).

2.2 Вимір опору заземлення приладом МС-08

Для виміру потрібні допоміжний заземлювач і зонд, розміщені згідно рис 2.2. Заземлювач R_x , який випробовується, підключається до затискачів I_1 і E_1 , з'єднаними перемичкою. До затискачів I_2 і E_2 приєднуються допоміжний заземлювач ДЗ і зонд 3.

Перед виміром варто зробити компенсацію опору зонда, для чого перемикач режимів ставиться в положення "Рег.", і, обертаючи ручку генератора зі швидкістю 135 об/хв., ручкою реостата поставити стрілку приладу на червону позначку шкали.

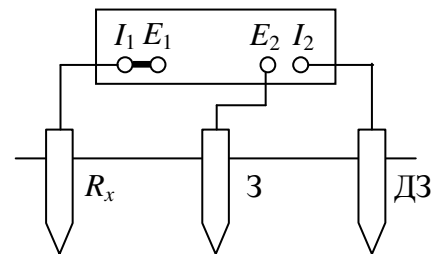


Рисунок 2.2 – Схема виміру опору заземлення приладом МС-08

УВАГА! Не можна обертати ручку генератора при положенні перемикача "Рег." і відключених заземлювачах. Починати обертання треба повільно, спостерігаючи за стрілкою, тому що у випадку обриву потенційного кола стрілка різко вдариться об упор, що може призвести до пошкодження приладу.

Якщо при крайньому положенні реостата установити стрілку на червону риску не вдається, а схема вимірів зібрана правильно, значить опір зонда більше 1000 Ом (що можливо, наприклад, у сухому піщаному ґрунті). У цьому випадку опір зонда необхідно зменшити.

Після компенсації опору зонда перемикач переводять у положення "х 1", тобто межа 1000 Ом, і роблять вимір, обертаючи ручку генератора зі швидкістю 135 об/хв. При малому відхиленні стрілки переходять послідовно на шкали 100 Ом (х 0,1) чи 10 (х 0,01). Відлік проводиться безпосередньо по шкалі в омах з урахуванням обраного множника.

2.3 Вимір питомого опору землі приладом М-416

Схема виміру подана на рис. 2.3. При цьому необхідно виконувати умови виміру, викладені в розд. 2.1 даних методвказівок.

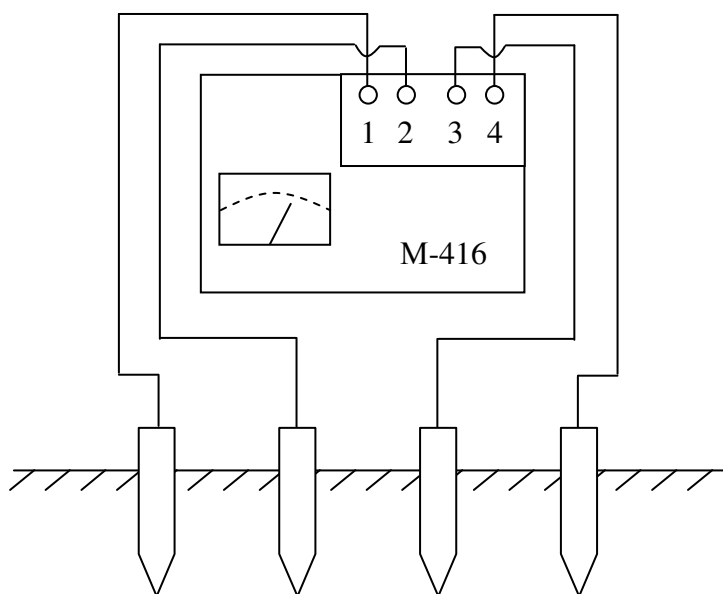


Рисунок 2.3 – Схема виміру питомого опору землі приладом М-416

Перед виміром підготувати прилад до роботи. При цьому встановити перемикач В1 в положення "Контроль 5Ω", натиснути кнопку й обертанням ручки "Реохорд" домогтися установки стрілки індикатора на нульову позначку. На шкалі реохорда повинне бути показання $5 \pm 0,3$ Ом.

Порядок виміру:

2.3.1 Перемикач В1 встановити в положення "х 1".

2.3.2. Натиснути кнопку і, обертуючи ручку "Реохорд", домогтися максимального наближення стрілки індикатора до нульової позначки на шкалі.

2.3.3. Результат виміру дорівнює добутку показання шкали реохорда на множник, що відповідає положенню перемикача В1. Якщо вимірюваний опір виявиться більше 10 Ом, то перемикач поставити в положення "х 5", "х 20" чи "х 100" і проробити операції відповідно до п. 2 і 3.

Одержавши показання приладу, розрахунок питомого опору землі виконують за формулі (1) з урахуванням примітки, викладеної в розд. 2.1.

У виняткових випадках для оціночного визначення питомого опору землі використовують наступну формулу:

$$\rho_3 = 2,73R_e \frac{h}{\lg \frac{4h}{d}}, \quad (2.2)$$

де R_e – опір електрода відомих розмірів (може бути отриманий виміром за схемою, поданою на рисунку 2.2, з використанням приладів типу МС-08, П-416 тощо), Ом;

h – глибина занурення електрода при вимірах, м;

d – діаметр електрода, м;

ρ_3 – питомий опір землі на глибині розташування електрода, Ом·м.

2.4. Вимір опору заземлення приладом М-416

Вимірюваний заземлювач, допоміжний електрод і зонд підключаються до приладу згідно з рис. 2.4, а, чи рис. 2.4, б. При вимірі за схемою поданою на рисунку 2.4, а, у результат виміру входить і опір проводу, який з'єднує затискач з R_x . Тому таке включення використовується, коли не потрібен точний вимір або при вимірі порівняно великих (більше 1 Ом) опорів.

Вимір при будь-якій схемі здійснюється в том ж порядку, що і при вимірі питомого опору землі (див. розд. 2.3).

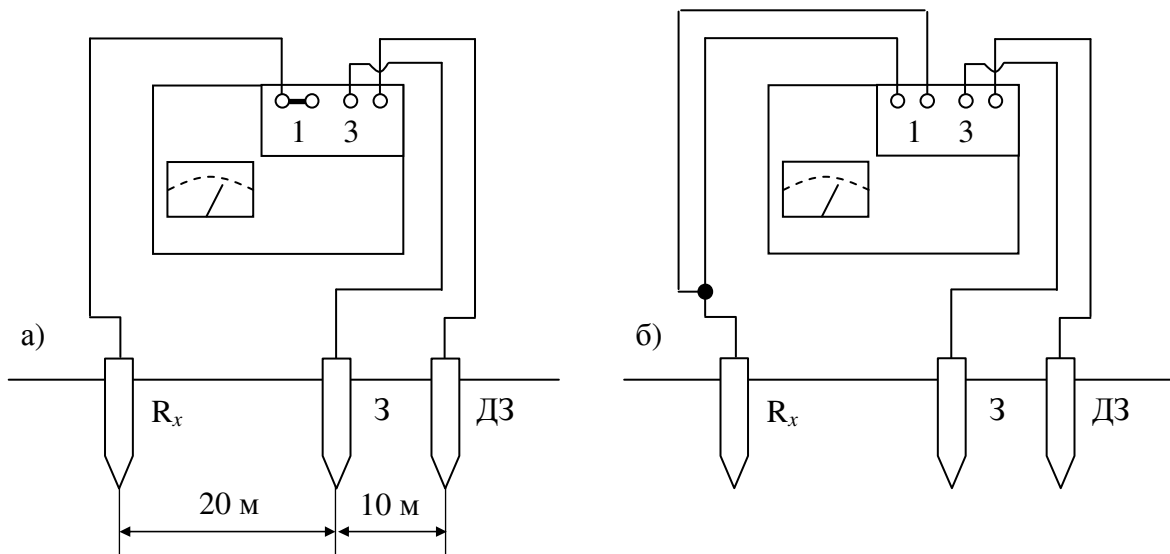


Рисунок 2.4 – Схема виміру опору заземлення приладом М-416

2.5 Оцінка похибки виміру опору заземлювачів

Звичайно визначають похибку, виражену у відсотках від дійсного значення вимірюваної величини (відносна похибка).

Якщо усі вимоги до вимірів виконані, відносна похибка виміру визначається з виразу:

$$\delta = \delta_1 + \delta_{\text{вим}}, \quad (2.3)$$

де δ – загальна відносна похибка виміру;

δ_1 – 5-відсоткова похибка, обумовлена малими відстанями вимірювальних електродів;

$\delta_{\text{вим}}$ – відносна похибка виміру, обумовлена вимірювачем заземлення.

Відносна похибка виміру визначається виразом:

$$\delta_{\text{вим}} = \frac{\pm \Delta R_3}{R_3} \cdot 100, \quad (2.4)$$

де ΔR_3 – похибка приладу (похибка приладу МС-08 не перевищує $\pm 1,5\%$ усієї довжини шкали, а в М-416 – $\pm 5\%$);

R_3 – виміряне значення опору заземлювача.

Розміщення вимірювальних електродів у плані має визначальний вплив на результат виміру R_3 і є головним у вимірах. Для виміру опору складних заземлювачів, а також заземлювачів у виді одиночних горизонтальних смуг варто застосовувати схеми розміщення електродів, зображені на рис. 2.5, 2.6.

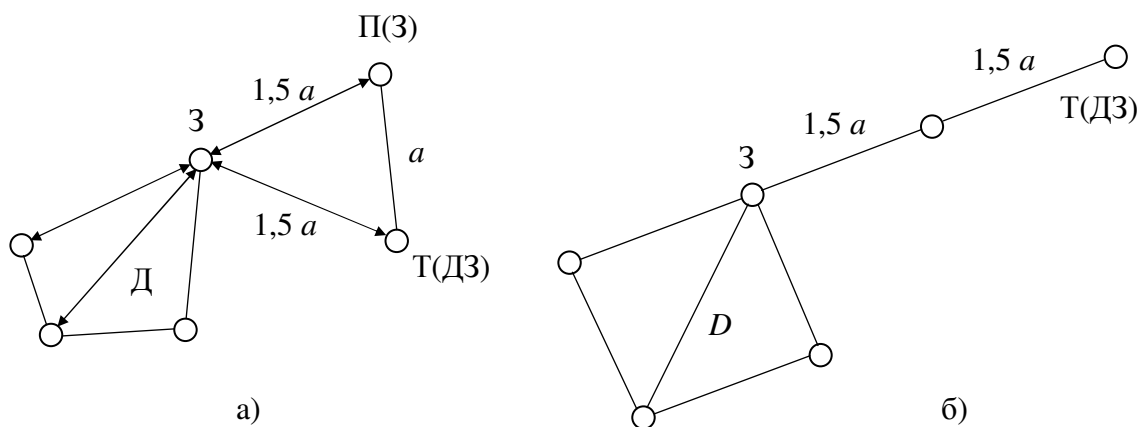


Рисунок 2.5 – Схеми розміщення електродів при вимірах опорів
Складних заземлювачів і одиночних горизонтальних смуг:
а – двопроменеві, б – однопроменеві

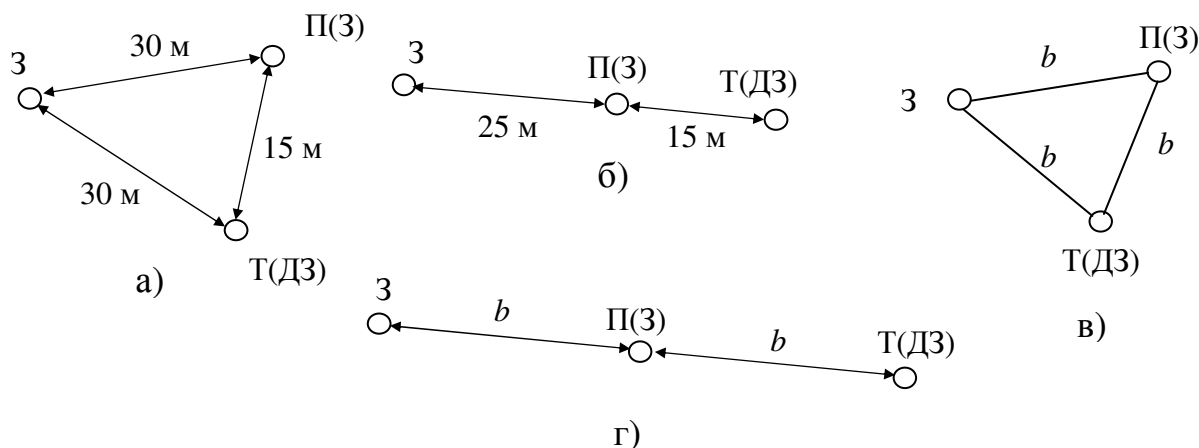


Рисунок 2.6 – Схеми розміщення електродів при вимірі опорів одиночних вертикальних заземлювачів: а, в – двопроменеві;
б, г – однопроменеві

За розмір D варто приймати: для заземлювальних сіток і для заземлювачів, які складаються із заземлювальних сіток чи контуру та вертикальних електродів, – довжину більшої діагоналі; для заземлювачів, які складаються з вертикальних електродів, розміщених у ряд і об'єднаних горизонтальною смугою, –

довжину смуги; для заземлювачів у виді одиночної горизонтальної смуги – довжину смуги. Розмір a варто приймати в залежності від розміру D , виходячи з наступних співвідношень: $D > 20$ м, $a \geq D$; $40\text{м} \geq D > 10\text{м}$, $a \geq 40\text{м}$; $10\text{м} \geq D$, $a \approx 20\text{м}$.

При вимірі опорів одиночних вертикальних заземлювачів довжиною до 6 м варто застосовувати схеми розміщення електродів, зображені на рисунку 2.5, а, б, а для заземлювачів довжиною понад 6 м – схему на рисунку 2.6, в, г. Відстань b варто приймати не менше $3D$, де D – довжина вертикального заземлення.

Відносна похибка виміру δ_1 , зумовлена малими відстанями між електродами, при використанні схем, наведених на рисунку 2.5 і 2.6, не перевищує $\pm 5\%$.

Відстані електродів між собою і від заземлювача необхідно відміряти як можна точніше, користаючись, рулеткою довжиною 10 метрів і більш. У випадку недотримання цих умов з'являються додаткові погрішності вимірів.

Кількість штирів в одному електроді залежить від необхідного опору електрода і від питомого опору поверхневого шару землі. Для устрою потенційного електрода в більшості випадків досить одного штиря. Для устрою токового електрода в сухих піщаних чи мерзлотних ґрунтах може знадобитися три – чотири і більше з'єднаних електродів. Штирі варто забивати в щільний (не насипний) ґрунт на глибину не менш 0,5 м. У ґрунтах з великим питомим опором місця забивання штирів зволожують водою, розчином солі, кислоти або ущільнюють.

2.6 Облік сезонних змін питомого опору землі й опір заземлювачів

Вимір ρ_z проводиться, як правило, за сприятливих ґрунтових умов у теплу пору року. Однак влітку при найбільшому висиханні землі й узимку при найбільшому її промерзанні величина ρ_z в шарі сезонних вимірів виявляється максимальною. Ця максимальна розрахункова величина ρ_z і використовується при проектуванні. Її визначають за формулою

$$\rho_m = K_i \rho_z, \quad (2.5)$$

де ρ_z – вимірювана величина питомого опору землі;

K_i – сезонний коефіцієнт землі, i – номер кліматичної зони.

У свою чергу, опір заземлювача залежить від величини питомого опору в шарі сезонних вимірів ρ_{zc} . Останнє не залишається постійним протягом усього року, а змінюється залежно від стану землі.

Як ρ_z , так і опір заземлювачів досягають найбільшого свого значення влітку й узимку.

Відповідно до вимог стандарту, опір заземлювача (заземлювального пристрою) не повинен перевищувати нормованої величини в будь-яку пору року. Для одержання максимально можливого протягом року опору заземлювача (R_m) вимірювану в даний момент величину R варто помножити на сезонний коефіцієнт заземлювача K'_i .

У залежності від вологості в шарі сезонних вимірів приймають коефіцієнти: K_1, K'_1 – вимір проводиться при вологому ґрунті чи моменту виміру передувала велика кількість опадів; K_2, K'_2 – у разі середньої вологості ґрунту і нормальної кількості опадів; K_3, K'_3 – при сухому ґрунті і незначній кількості опадів.

Сезонні коефіцієнти землі і розрахункова потужність шару сезонних вимірів h_c мають визначену величину для кожної кліматичної зони (таблиця 9.1).

Кліматичні зони характеризуються середніми багаторічними температурами січня (t_c). До першої кліматичної зони відносяться райони з (t_c) у межах від -200 до -150 , до другої – від -140 до -100 , третьої – від -100 до 0 °С. Практично до другої зони відноситься середня смуга європейської частини СНД, а до першої і третьої зон відповідно її північні і південні райони (вказане не відноситься до районів вічної мерзлоти, гірської місцевості й пустелі).

Сезонні коефіцієнти залежать від типів і розмірів заземлювачів і глибини прокладки горизонтальних смуг. Природно, що опори поверхневих заземлювачів у більший мірі піддаються сезонним змінам, ніж заглиблені.

Значення сезонних коефіцієнтів одиночних вертикальних заземлювачів залежно від їхньої довжини (l) і відстані від поверхні землі до верхньої точки заземлювача (h) і значення сезонних коефіцієнтів одиночних горизонтальних смуг довжиною l , заземлювальних сіток площею S і комбінованими заземлювачами, що складаються із заземлювальної сітки і розміщених по колу n вертикальних електродів довжиною 5 м залежно від глибини прокладки смуг h , наведені в табл. 9.2.

Якщо характеристики використовуваного заземлювача не збігаються з характеристиками, наведеними в таблиці 9.2, то з таблиці беруть сезонний коефіцієнт того заземлювача, тип і розміри якого ближче усього підходять до випробуваного.

2.7 Розрахунок заземлювального пристрою і вибір його конструкції

Величина опору заземлювального пристрою залежить від питомого опору землі і площі зіткнення заземлювачів із землею.

Для заземлювачів використовують вертикальні і горизонтальні електроди, укладені на глибині $0,5 - 1$ м від поверхні землі (рис. 2.7).

Як вертикальні електроди використовуються сталеві труби, кутова і кругла (пруткова) сталь довжиною $l = 2 \dots 10$ м. Найменші поперечні розміри допускаються: у круглих електродах діаметром $d = 6$ мм, товщина полиць кутової сталі $b = 4$ мм і товщина стінок сталевих труб $b = 3,5$ мм.

Горизонтальні смугові заземлювачі у виді променів, кілець або контурів використовуються як самостійні заземлювачі або як елементи складного заземлювача з горизонтальних і вертикальних електродів. Для горизонтальних заземлювачів за-

стосовується смугова сталь перетином не менше 48 мм² і товщиною 4 мм, і кругла сталь діаметром не менше 10 мм.

Найменші поперечні розміри електродів диктуються необхідністю надійної роботи заземлювача при корозії і можуть бути збільшені за умови достатньої механічної міцності при розміщенні їх у ґрунт.

На практиці частіше застосовуються трубчасті заземлювачі (рис. 2.7), опір яких визначається за формулою

$$R_z = \hat{E}_z' \frac{\rho_z}{2\pi l} \left(\ln \frac{2l}{d} + \frac{1}{2} \ln \frac{4l+7h}{l+7h} \right), \quad (2.6)$$

де R_z – опір трубчастого вертикального заземлювача, Ом;

l – довжина труби, м;

d – зовнішній діаметр труби, м;

h – відстань від поверхні землі до верхнього кінця труби, м;

ρ_z – питомий опір землі, Ом·м;

$\hat{E}_z'$ – коефіцієнт промерзання, який враховує сезонні коливання температури ґрунту, залежить від кліматичної зони, його числове значення знаходиться в межах від 1,15 до 3,8 (табл. 9.2).

Опір вертикального заземлювача з кутової сталі визначається за цією самою формулою, але при цьому еквівалентний діаметр визначається з виразу $d_e = 0,95b$, м, де b – ширина сторони косинця, м.

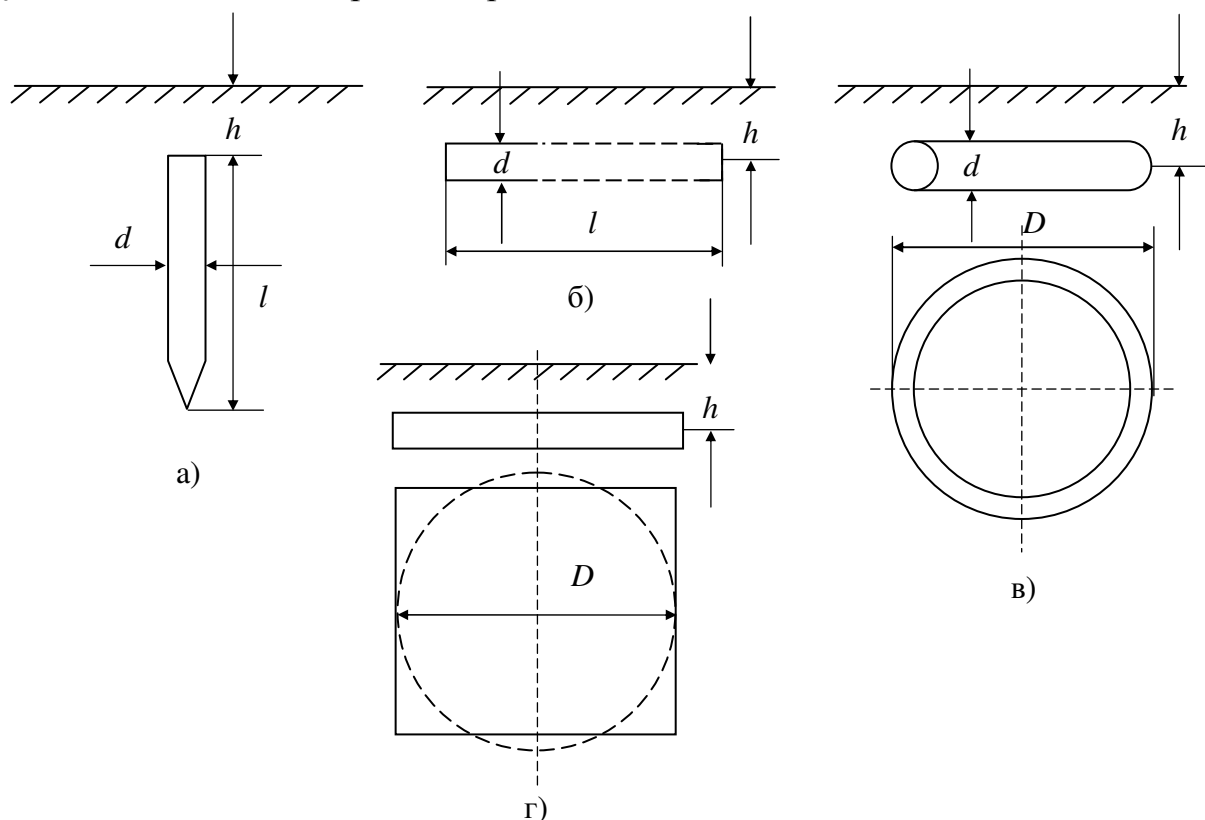


Рисунок 2.7 – Електроди заземлювачів: а – вертикальний; б – горизонтальний; в – кільцевий; г – пластинчастий

Опір горизонтального заземлювача у вигляді витягнутої металевої смуги, розміщеної на глибині h , м, визначається за формулою:

$$R_z = \hat{E}_z' \frac{\rho_z}{\pi l} \cdot \ln \frac{1,5l}{\sqrt{bh}}, \quad (2.7)$$

де R_z – опір смугового заземлювача, Ом;

l – довжина заземлювача, м;

b – ширина смуги, м;

h – глибина прокладки смуги, м;

ρ_z – питомий опір землі, Ом·м;

K_i' – коефіцієнт промерзання ґрунту для різних кліматичних зон приймається в межах від 1,8 до 8,0 (табл. 9.2).

Опір вертикальних і горизонтальних електродів в однорідній землі визначається за формулою табл. 2.1.

Таблиця 2.1 – Розрахункові формули опору електродів

Тип електрода	Перетин електрода	
	круглий (діаметр d)	прямокутний (ширина b)
Вертикальний довжиною l	$R = \hat{E}_z' \frac{\rho_z}{2\pi l} \left(\ln \frac{2l}{d} + \frac{1}{2} \ln \frac{4l+7h}{l+7h} \right), \text{ Ом}$ $h \neq 0$	
Горизонтальний променевий довжиною l	$R = \hat{E}_z' \frac{\rho_z}{\pi l} \cdot \ln \frac{l}{\sqrt{dh}}, \text{ Ом}$ $l \gg d, h \gg d$	$R = \hat{E}_z' \frac{\rho_z}{\pi l} \cdot \ln \frac{1,5l}{\sqrt{bh}}, \text{ Ом}$ $l \gg b, h \gg b$
Горизонтальний кільцевий діаметром D	$R = \hat{E}_z' \frac{\rho_z}{\pi^2 D} \cdot \ln \frac{5D}{\sqrt{dh}}, \text{ Ом}$ $h \neq 0$	$R = \hat{E}_z' \frac{\rho_z}{\pi^2 D} \cdot \ln \frac{7D}{\sqrt{dh}}, \text{ Ом}$ $h \neq 0$
Горизонтальний пластинчастий діаметром D	$R = \hat{E}_z' \frac{\rho_z}{4\pi D} \left(1 - \frac{2}{\pi} \arcsin \frac{D}{3h} \right), \text{ Ом}$ $h \neq 0$	$R = \hat{E}_z' \frac{\rho_z}{4\pi D_e} \left(1 - \frac{2}{\pi} \arcsin \frac{D_e}{3h} \right),$ де $D_e = 2\sqrt{\frac{S}{\pi}}, \text{ м};$ S – площа пластини, кв.м

У реальних умовах з метою одержання малих значень опір заземлювача, особливо в ґрунтах з великим питомим опором, одного заземлювача (труби, стрижні, смуги, кільця, пластини тощо) буває недостатньо. Тому доводиться виконувати заземлення з кількох одиночних заземлювачів, включених паралельно. Заземлювальний пристрій при цьому називається багатоелектродним.

При паралельному з'єднанні одиночних заземлювачів необхідно брати до уваги ефект взаємного екранування заземлювачів, який виявляється в тому, що

загальний опір заземлення зменшується не пропорційно числу заземлювачів, з'єднаних паралельно, а трохи менше. Екранування проявляється тим більше, чим ближче один до другого розміщені одиночні заземлювачі. Повний опір паралельно з'єднаних заземлювачів однакового опору визначається за формулою

$$R_{\text{заг}} = \frac{R}{n\eta_2}, \quad (2.8)$$

де $R_{\text{заг}}$ – повний опір багатоелектродного заземлювача, Ом;

R – опір одиночного заземлювача, Ом;

n – кількість заземлювачів;

η_2 – коефіцієнт використання, що залежить від конфігурації і розміщення заземлювачів (табл. 9.3, 9.5 і 9.6).

Повний опір кількох вертикальних заземлювачів однакового опору, з'єднаних паралельно за допомогою горизонтальних заземлювачів (смуг або дроту), визначається за формулою

$$R_{\text{заг}} = \frac{R_1 R_2}{\eta_1 R_2 + \eta_2 R_1 n}, \quad (2.9)$$

де $R_{\text{заг}}$ – повний опір багатоелектродного заземлювача, Ом;

R_1 – опір горизонтального заземлювача (з'єднувальної смуги, проводу чи шини), Ом;

R_2 – опір одного вертикального заземлювача, Ом;

η_1, η_2 – коефіцієнти використання з'єднувального провідника і заземлювачів відповідно (табл. 9.3 – 9.6);

n – кількість заземлювачів.

Опір багатопроменевого заземлення, що складається з витягнутих протяжних одиночних заземлювачів, розміщених у радіальному напрямку біля поверхні землі, розраховується за формулою

$$R_3 = \hat{E}'_3 \frac{\rho_{\text{з}}}{\pi n l} \left[\ln \frac{4l}{d} - 1 + N(n) \right], \quad (2.10)$$

де l – довжини променя, м;

$\rho_{\text{з}}$ – питомий опір землі, Ом·м;

d – діаметр дроту, з якого зроблені промені, м;

n – кількість променів;

$N(n)$ – функція, що залежить від n (табл. 2.2).

Таблиця 2.2 – Залежність значення функції N від числа променів багатоелектродного заземлювача

n	2	3	4	6	8	12	100
$N(n)$	0,7	1,53	2,45	4,42	6,5	11,0	116

Порядок вибору конструкції заземлювального пристрою, наступний.

За умовами, заданими керівником, необхідно визначити відповідно до ГОСТ 464-68 величину опору заземлювального пристрою, (табл. 9.7 – 9.11). Потім вибрати на підставі розрахунків економічну конструкцію заземлювального пристрою з опором, меншим або рівним опору норми. У ґрунтах з малим питомим опором вибір конструкції заземлювального пристрою можливо виконувати за формулами для одиночних електродів різної конструкції (табл. 2.1) при однакових значеннях l, b, d, h . У ґрунтах з великим питомим опором або у тих випадках, коли одиночні електроди не забезпечують норму опору заземлюючого устрою вибір конструкції варто виконувати за формулами для багатоелектродних заземлювачів (2.7.8) – (2.7.10) при однакових значеннях l, b, d, n, h . При розрахунках $R_{\text{заг}}$ за формулою (2.7.9) величину опору заземлення з'єднувальної смуги або проводу варто визначати з виразів для горизонтального променевого електроду (табл. 2.1).

Для з'єднання заземлювачів необхідно використовувати сталеву смугу перерізом 40×4 мм чи сталевий дріт діаметром 4,5 або 6 мм.

Якщо за результатами розрахунків $R_{\text{заг}}$ виявився більше норми, то необхідно збільшити число електродів чи довжину електрода, а якщо $R_{\text{заг}}$ значно менше норми, то варто зменшити число електродів чи довжину електрода і повторити розрахунок. В однорідній землі глибина закладення електродів і діаметр електрода мало впливають на зниження опору заземлювача, тому змінювати значення h і d при перерахуваннях $R_{\text{заг}}$ не слід.

3 КЛЮЧОВІ ПИТАННЯ

- 3.1. Види і призначення заземлень на лініях зв'язку.
- 3.2. Норми опорів заземлення.
- 3.3. Особливості виміру опорів заземлень приладами МС-08 і М-416.
- 3.4. Устрій блискавковододів і заземлень на лініях зв'язку.
- 3.5. Особливості виміру питомого опору однорідної землі.
- 3.6. Періоди виміру питомого опору землі й опори заземлювачів.
- 3.7. Коефіцієнти використання горизонтальних і вертикальних електродів. Їх залежності від відстані між електродами і провідності землі.

4 ДОМАШНЄ ЗАВДАННЯ

4.1. За рекомендованою літературою до лабораторної роботи і даним керівництвом ознайомитися з:

– призначенням, видами і конструкціями заземлювальних пристроїв на лініях зв'язку;

– принципом дії і правилами користування приладами МС-08 і М-416 (розд. 6).

4.2. Вивчити порядок розрахунку заземлювальних приладів (розд. 2.2).

4.3. Підготуватися до обговорення ключових питань розд. 2.3.

5 ЛАБОРАТОРНЕ ЗАВДАННЯ

5.2. Виміряти питомий опір землі за допомогою приладів МС-08 і М-416 при різних значеннях відстаней між електродами. Результати вимірів звести в таблицю 5.1 відповідно до наведеної форми.

5.3. Визначити наближене (оціночне) значення питомого опору землі на глибині розміщення електрода за результатами виміру опору еталонного (відомих розмірів) заземлювача. Вимір виконувати приладом МС-08 чи М-416 з оцінкою похибки виміру.

Таблиця 5.1 – Дані вимірів і підрахунків питомого опору землі

№ виміру	1	2	3	4	5	6
Відстань між заземлювачами, a						
Показання приладу, R , Ом						
Значення питомого опору землі, ρ_z , Ом·м						

5.3. Виміряти опір круглих вертикального і горизонтального заземлювачів за допомогою приладів МС-08 чи М-416 при:

- закопуванні заземлювачів у ґрунт з різними значенням питомого опору землі;
- закопуванні заземлювачів на різну глибину від поверхні однорідної землі;
- різних розмірах (d і l) електродів.

За даними вимірів побудувати графіки залежності опорів заземлення ука-
заних заземлювачів від ρ_z , h , d , l .

5.4. Розрахувати опір заземлення вертикального, горизонтального променевого, горизонтального кільцевого і горизонтального пластинчастого електродів за завданням керівника. У даних розрахунках довжину заземлювачів варто приймати рівною одній і тій самій величині. Діаметри кільцевого і пластинчастого електродів варто визначати за формулою $D = l/\pi$.

5.5. За умовами, заданими викладачем, розрахувати опір заземлювального пристрою і вибрати конструкцію заземлювального пристрою.

6 АПАРАТУРА

У роботі використовуються приладом МС-08, М-416 і лабораторний макет. Спрощена схема приладу МС-08 подана на рис. 6.1.

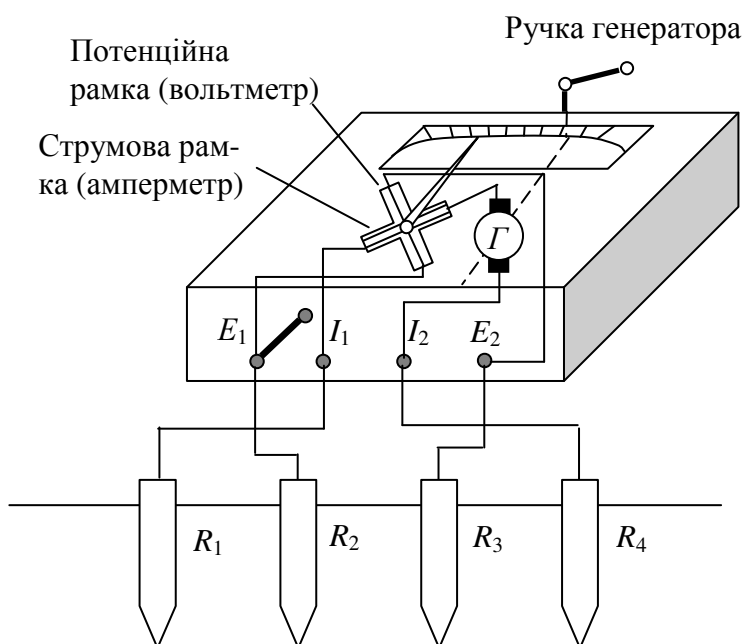


Рисунок 6.1 – Спрощена схема приладу МС-08

приводиться в обертання вручну. На валу генератора змонтовані два синхронних комутатори (механічні перетворювачі струму), які перетворюють постійний струм у змінний – для зовнішнього кола і назад; змінний струм у постійний – для кола індикатора. Отже, у колі вимірюваного заземлення протікає змінний струм, що виключає вплив на результати виміру блукаючих струмів і явища електролізу. У колі вимірювального приладу протікає постійний струм, що дозволяє використовувати високочутливу систему магнітоелектричного логометра.

Вимірник опору М-416 призначений для виміру опору заземлювальних приладів, активних опорів і питомого опору землі. Межа вимірів 0,1 – 1000 Ом.

Принцип дії приладу заснований на компенсаційному методі виміру з застосуванням допоміжного заземлювача і потенційного електрода (зонда).

7 ЗМІСТ ПРОТОКОЛУ

- 7.1. Принципові схеми вимірів.
- 7.2. Дані вимірів питомого опору землі, зведені в таблицю.
- 7.3. Графіки залежності опорів заземлення горизонтального і вертикального заземлювачів від ρ_3, h, d, l отримані за результатами вимірів.
- 7.4. Розрахунок опорів заземлення для чотирьох різних видів електродів.
- 7.5. Розрахунки, що підтверджують правильний вибір конструкції заземлювального пристрою.

Вимірювач опору МС-08 призначений для виміру опору заземлювального пристрою і питомого опору землі. Він може бути використаний і для виміру опору провідників. Межі виміру опорів 0,1-1000 Ом.

У приладі використаний метод амперметра – вольтметра з застосуванням допоміжного заземлення і потенційного електрода (зонда), віддалених від випробуваного заземлення не менш ніж на 20 м.

Джерело живлення – генератор постійного струму, вбудований у прилад, який

8 ЛІТЕРАТУРА

8.1. Гроднев И. И., Курбатов Н.Д. Линии связи. – М.: Связь, 1980. – С. 314-315.

8.2. Справочник строителя кабельных сооружений связи / Под ред. И.С. Равича и др. – М.: Связь. 1977. – С. 626-635.

8.3. Руководство по проектированию, строительству и эксплуатации заземлений в установках проводной связи и радиотрансляционных узлов. – М.: Связь, 1971. – С. 88.

9 ДОДАТОК

9.1 Коефіцієнти використання багатоелектродних заземлювачів

Таблица 9.1 – Сезонні коефіцієнти землі і розрахункова потужність шару сезонних змін

Кліматична зона	h_c , м	K_1	K_2	K_3
Перша	2,2	7,0	4,0	2,7
Друга	2,0	5,0	2,7	1,9
Третя	1,8	4,0	2,0	1,5

Таблица 9.2 – Сезонні коефіцієнти заземлювачів

Одиночні вертикальні заземлювачі							
Довжина заземлювача l , м	$h = 0,7 \dots 0,8$ м			$h = 0$			
	K'_1	K'_2	K'_3	K'_1	K'_2	K'_3	
1	2	3	4	5	6	7	
2,5	2,00	1,75	1,50	3,80	3,00	2,30	
3,5	1,60	1,40	1,30	2,10	1,90	1,60	
5,0	1,30	1,23	1,15	1,60	1,45	1,30	
Складні заземлювачі							
Тип заземлювача	Розміри заземлювача	$h = 0,7 \dots 0,8$, м			$h = 0,5$, м		
		K'_1	K'_2	K'_3	K'_1	K'_2	K'_3
Горизонтальна смуга	$l = 5$ м	4,3	3,6	2,9	8,0	6,2	4,4
	$l = 20$ м	3,6	3,0	2,5	6,5	5,2	3,8
Заземлювальна сітка чи контур	$S = 400$ кв.м	2,6	3,3	2,0	4,6	3,8	3,2
	$S = 900$ кв.м	2,2	2,0	1,8	3,6	3,0	2,7
	$S = 3600$ кв.м	1,8	1,7	1,6	3,0	2,6	2,3

Таблиця 9.2 (закінчення)

1	2	3	4	5	6	7	
Тип заземлювача	Розміри заземлювача	$h = 0,7...0,8$, м			$h = 0,5$, м		
		K_1'	K_2'	K_3'	K_1'	K_2'	K_3'
Заземлювальна сітка чи контур з вертикальними електродами $l = 5\text{м}$	$S = 900$ кв.м $n \geq 10$ шт.	1,6	1,5	1,4	2,1	1,9	1,8
	$S = 3600$ кв. м $n \geq 15$ шт.	1,5	1,4	1,3	2,0	1,9	1,7

Таблиця 9.3 – Коефіцієнти використання η_2 для багатоелектродних заземлювачів (без урахування впливу з'єднувальної смуги), які складаються з вертикальних електродів

Відношення від- стані між тру- бами до їхньої довжини a/l	Багатоелектродні заземлювачі			
	розміщені в ряд		розміщені по замкнутому контурі	
	число труб (куточків) n	η_2	число труб (куточків) n	η_2
1	2	3	4	5
1	2	0,84-0,87	4	0,66-0,72
	3	0,76-0,80	6	0,58-0,65
	5	0,67-0,72	10	0,52-0,58
	10	0,56-0,62	20	0,44-0,50
	15	0,51-0,56	60	0,36-0,42
	20	0,47-0,52	100	0,33-0,39
2	2	0,90-0,92	4	0,76-0,80
	3	0,85-0,88	6	0,71-0,75
	5	0,79-0,83	10	0,66-0,71
	10	0,72-0,77	20	0,61-0,66
	15	0,66-0,73	60	0,52-0,58
	20	0,65-0,70	100	0,49-0,55
3	2	0,93-0,95	4	0,84-0,86
	3	0,90-0,92	6	0,78-0,82
	5	0,85-0,88	10	0,74-0,78
	10	0,79-0,83	20	0,68-0,73
	15	0,76-0,80	60	0,62-0,67
	20	0,74-0,79	100	0,59-0,65

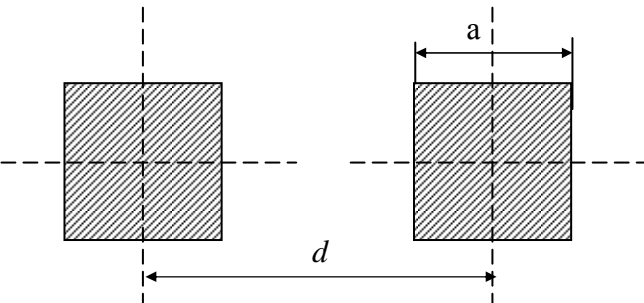
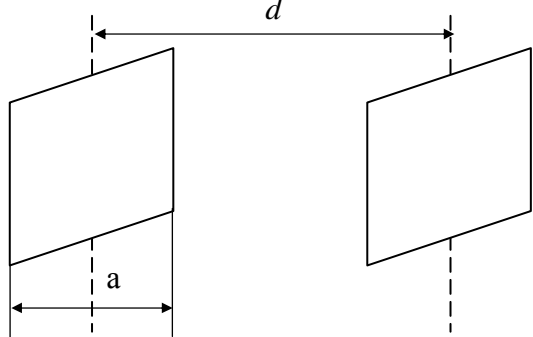
Таблица 9.4 – Коефіцієнт використання η_1 з'єднувальної смуги в ряду з вертикальних заземлювачів і в замкнутому контурі

Відношення відстані між трубами (куточками) до їхньої довжини a/l	Число труб у ряду чи контурі						
	4	5	8	10	20	30	50
	Коефіцієнти використання з'єднувальної смуги при розміщенні труб у ряд						
1	0,77	0,74	0,67	0,62	0,42	0,31	0,21
2	0,89	0,86	0,79	0,75	0,56	0,46	0,36
3	0,92	0,90	0,85	0,82	0,68	0,58	0,49
	Коефіцієнти використання з'єднувальної смуги при розміщенні труб у замкнутому контурі						
	1	0,45	0,40	0,36	0,34	0,27	0,24
	2	0,55	0,48	0,43	0,40	0,32	0,30
	3	0,70	0,64	0,60	0,56	0,45	0,41

Таблица 9.5 – Коефіцієнти використання η_2 для багатопроменевого заземлення, який складається з витягнутих протяжних одиночних заземлювачів, розміщених у радіальному напрямку

Довжина променя, м	Коефіцієнти використання при числі променів											
	3				4				6			
	і при діаметрі провідника променя, см											
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
2,5	0,76	0,74	0,72	0,71	0,63	0,61	0,59	0,58	0,50	0,48	0,46	0,45
5,0	0,78	0,76	0,74	0,73	0,67	0,65	0,63	0,62	0,53	0,51	0,49	0,48
10,0	0,81	0,79	0,77	0,76	0,70	0,69	0,67	0,66	0,57	0,55	0,53	0,51
15,0	0,82	0,80	0,78	0,76	0,72	0,70	0,68	0,66	0,59	0,57	0,55	0,53
30,0	0,84	0,82	0,80	0,78	0,75	0,73	0,71	0,69	0,62	0,60	0,58	0,56

Таблиця 9.6 – Коефіцієнти використання η_2 для багатоелектродних заземлювачів, які складаються зі смугово-листових заземлень, запаралелених між собою

Вид заземлення	n	Значення при η_2	
		$d = 4a$	$d = 2a$
	2	0,66	0,62
	4	0,52	0,38
	6	0,43	0,30
	8	0,40	0,27
	10	0,39	0,25
	2	0,75	0,67
	4	0,60	0,46
	6	0,55	0,38
	8	0,54	0,35
	10	0,52	0,32

9.2. Норми опору заземлень різних видів і призначень

Захист опор повітряних ліній зв'язку (ПЛЗ) виконується за допомогою блискавковідводів, установлених на вступних, кабельних, контрольних і перехідних опорах, а також на опорах, ушкоджених грозовими розрядами. Величини опорів заземлень повинні відповідати нормам, наведеним у таблиці 9.7.

Таблиця 9.7 – Норми величин опорів заземлень

$\rho_{\text{гр}}, \text{Ом}\cdot\text{м}$	до 100	101-200	201-400	401-500	501 і >
Опір заземлення, Ом	50	45	65	90	115

Біля станції лінійні споруди захищаються за допомогою каскадного захисту, який представляє собою іскрові розрядники, що включаються між проводом і землею на опорах ПЛЗ. Опір заземлень у цьому випадку повинен бути не більше значень, наведених у табл. 9.8.

Таблиця 9.8 – Значення опорів заземлення

Призначення заземлення	Питомий опір ґрунту, Ом·м			
	до 100	101-300	301-500	понад 500
Для іскрових розрядників ПЛЗ	20	30	35	45
Для іскрових розрядників, встановлюваних у кабельних шухлядах	5	7	9	12
Для заземлень АЗУ-1 і АЗУ-2, включених на лініях МТМ і СТМ	10	15	18	24

Опір заземлення для розрядників у кабельних шафах, установлюваних при кабельних вводах, повинен відповідати даним табл. 9.9.

Величини опорів робочого чи захисного заземлення, до яких по схемах захисту повинні підключатися розрядники типів ІР-0,2 чи ІР-0,3 каскадного захисту, повинні бути не більш 5 Ом.

Величина опору вимірювального заземлення повинна бути не більш 100 Ом.

Для НПП, що живляться дистанційно по системі “Провід-земля”, утворюють два заземлення – робоче і захисне (лінійно-захисне), значення R_z яких наведені в табл. 9.10.

Таблиця 9.9 – Опір заземлення для розрядників у кабельних шафах

Питомий опір ґрунту, Ом·м	При числі проводів, введених у кабельній шухляді			При будь-якому чи- слі жил морських і річкових кабелів
	до 10	11-20	21 і більше	
	Опір заземлення, Ом			
До 100 (чорнозем, торф, глина, суглинок)	30	16	13	6
101-300 (супісок)	40	20	17	7
301-500 (пісок)	50	30	24	10
500 і більш (каменистий ґрунт)	67	37	30	12

Таблица 9.10 – Значення опору заземлення для НПП

Вид заземлення	Питомий опір ґрунту, Ом·м	Норма опору, Ом
Робоче	< 100	10
	≥ 100	30
Захисне	< 300	10
	≥ 300	30

9.3 Розміри труб, які використовуються для заземлення

У м'яких і середніх ґрунтах застосовуються труби діаметром 25–40 мм, у твердих – 40-60 мм. Довжина труб – 1,5-3 м. Поперечні розміри труб наведені в табл. 9.11.

Таблица 9.11 – Поперечні розміри труб

Внутрішній діаметр труби	У дюймах	¾"	1"	1 ¼"	1 ½"	2"
	мм	20	25	32	40	60
Зовнішній діаметр труби	мм	26,75	33,5	42,25	48	70

Лабораторна робота № 4

ВІДБІР КАБЕЛЬНИХ ПАР ДЛЯ ЦИФРОВОГО УЩІЛЬНЕННЯ ЗВ'ЯЗКУ МЕРЕЖ АБОНЕНТСЬКОГО ДОСТУПУ

1. МЕТА РОБОТИ

Вивчити можливість використання низькочастотних телефонних кабельних ліній місцевих мереж зв'язку для передачі по ним цифрових потоків зі швидкостями 2,048 Мбіт/с і 8,192 Мбіт/с.

2. КЛЮЧОВІ ПИТАННЯ

2.1. Загальні положення

Різке збільшення останнім часом кількості і якості послуг зв'язку на мережах абонентського доступу викликало необхідність швидкого підвищення пропускної здатності транспортних мереж МТМ (міської телефонної мережі) і СТМ (сільської телефонної мережі). На цих мережах прокладені оптичні та електричні кабелі. Транспортні мережі з використанням електричних кабелів в більшості випадків реалізовані на низькочастотних кабелях типу ТПП. Ці кабелі, кросове обладнання, розподільчі шафи й розподільчі коробки – все це споконвічно розроблялося, вироблялося та експлуатувалося як низькочастотне обладнання. При цьому між парами кабельних ліній забезпечувалося значення перехідного загасання на ближньому кінці – не менш $A_0 = 70$ дБ на частоті 1 кГц. Засобом підвищення пропускної здатності кабельних ліній на базі кабелю ТПП є передача по ним цифрових потоків типу Е1 і Е2.

Таким чином, створюючи транспортні мережі МТМ та СТМ, використовують можливість передачі по найкращім парам кабелю ТПП широкосмугових сигналів зі швидкостями передачі 2,048 Мбіт/с і 8,192 Мбіт/с.

Як правило, число таких пар є 10 % від загального числа пар кабелю [8.1]. Тому відбір пар кабелю та визначення їх характеристик проводяться на підставі досліджень їх параметрів.

По технічному стану в процесі експлуатації кабельні лінії зв'язку МТМ та СТМ можна умовно розбити на три групи:

1. Лінії зв'язку, які повністю задовільняють технічним нормам на електричні характеристики.

2. Лінії зв'язку, в основному задовольняючі ТУ (занижений опір ізоляції $R_{із}$; завищена омична асиметрія R_a , до 2 % при нормі 0,5% від опору шлейфу $R_{шл}$).

3. Лінії зв'язку зі значно заниженими електричними характеристиками, тобто кабелі, що перебувають у передаварийному і аварійному стані.

Тільки перші дві групи ліній зв'язку на базі частини пар кабелю ТПП можуть бути використані для ВЧ передачі потоків Е1 і Е2 ущільнення.

Поки по одному кабелю працюють одна або дві системи цифрового ущільнення в межах припустимої довжини лінії, особливого впливу між парами може й не бути. При значному збільшенні кількості пар, які використовуються для цифрового ущільнення усередині одного кабелю, проблема електромагнітної сумісності таких пар висувається на перший план.

Задача зводиться до пошуку найбільш оптимальних варіантів розміщення пар, що ущільнюються. Найбільший вплив один на одного чинять пари, що ущільнюються однотипною апаратурою, при довжині лінії максимальної протяжності. Для ліній транспортних мереж це зазвичай до 5 км.

Сучасні системи цифрового ущільнення МТМ та СТМ працюють за однокабельною схемою у двохпровідному режимі. При цьому передавальна частина апаратури (високий рівень) і приймальна частина апаратури (низький рівень) розташовані на одній стороні лінії зв'язку, зазвичай в одному десятипарному елементарному пучку.

Таким чином, головним параметром, що визначає взаємні впливи між парами, на коротких лініях місцевих мереж є перехідне загасання на ближньому кінці – A_0 . «Ближніх кінців» у таких ліній два – на станційному боці та на протилежному.

Відбір пар для ущільнення починають з визначення необхідного перехідного загасання $A_0^{\text{необ}}$ або $A_\ell^{\text{необ}}$. Якщо система передачі працює за однокабельною схемою, при зустрічних режимах передачі, то нормується перехідне загасання на ближньому кінці лінії

$$A_0^{\text{необ}} \geq (24,7 + 10\lg N + \alpha \ell), \quad (1)$$

де

- 24,7 – необхідне значення захищеності між трактами ЦСП рівня Е1, дБ;
- N – число пар, що ущільнюються ЦСП;
- $\alpha \ell$ – власне загасання пари, що перекривається ЦСП.

Для апаратури ИКМ - 30 перекривається загасання, що $\alpha \ell = 32$ дБ, для ИКМ – 120 – 45 дБ [8.1]. При наявності між РАТС двох кабелів, ЦСП працює при збіговому режимі передачі. При цьому норма перехідного загасання на дальньому кінці лінії (дБ) буде визначатися з виразу:

$$A_\ell^{\text{необ}} \geq 24,7 + 10\lg N, \quad (2)$$

Так як НЧ кабелі міської мережі зв'язку випускаються великої ємності (до 1200 пар), вирішити проблему відбору пар методами прямого вимірювання перехідного загасання між всіма парами не має можливості, через великий обсяг вимірів. Так при ємності кабелю $M = 100$ пар число вимірів перехідного загасання між всіма парами в будь-якій комбінації складе $100(100-1) \approx 100^2 = 10^4$ вимірів. По цим вимірам треба вибрати комбінації пар, взаємні впливи між якими задовольняють вимогам ЦСП. У зв'язку з цим методика відбору пар, які використовуються для ущільнення ЦСП в НЧ кабелях місцевих мереж зв'язку, повинна забезпечувати максимально можливу кількість пар при мінімальному обсязі вимірювань. Не дивлячись на те, що перехідне загасання між парами НЧ кабелів місцевих мереж зв'язку в області високих частот є величиною випадко-

вою, значення A_0 групується в залежності від взаємного розташування пар в кабелі, параметру Q_c , який характеризує просторовий розподіл пар. Основним фактором, який впливає на перехідне загасання в цих кабелях, є просторовий розподіл пар.

Максимальна енергія спектру лінійного сигналу цифрових систем передачі сконцентрована в області частот близьких до напівтактової частоти системи передачі. Тому нормування, розрахунки та вимірювання електричних характеристик ліній виконуються на напівтактовій частоті конкретної ЦСП.

Вимір перехідних загасань між парами кабельної лінії МТМ та СТМ виконуються на напівтактовій частоті апаратури ЦСП (для рівня Е1 – це 1024 кГц, Е2 – 4096 кГц). За результатами вимірів визначають середні значення перехідних загасань і середньоквадратичні відхилення для різних випадків розташування пар.

У таблиці 1 наведені значення перехідного загасання на ближньому кінці для кабелю типу ТПП із різною конструкцією осердя (повивної і пучкової скрутки): на частотах 1 МГц та 4 МГц [8.1]. Для всіх випадків впливу значення A_0 розподілялися по нормальному закону.

Таблиця 1 – Значення A_0 для різних комбінацій пар кабелю ТПП

N п/п	Розташування взаємовпливових пар, μ	Середнє значення $A_{0\mu}$, дБ, на частоті, МГц		Середньоквадрати- чне відхилення σ_μ , дБ
		1,024	4,096	
Кабелі ТПП пучкової скрутки				
1	У середині елементарного			
	пучка (ЕП)	65	56	8,1
2	У суміжних ЕП	69	60	7,2
3	Через один ЕП	84	75	6,5
4	Через два ЕП	88	79	5,2
5	В ЕП суміжних повивів	75	66	7,7
Кабель ТПП повивної скрутки				
6	Суміжні в одному повиві	53	48	4,7
7	Через одну пару в повиві	65	54	5,5
8	Через дві пари в повиві	73	64	7,4
9	Через три парі в повиві	74	65	7,2
10	Сумісні повиви	68	59	5,2
11	Через один повив	75	64	5,6

μ – варіант розташування пар

2.2. Методика відбіру пар

Розглянемо методику відбору пар на прикладі однокабельної передачі, відбір пар ведеться в один або два етапи.

Перший етап відбору пар для ВЧ ущільнення починається з визначення необхідного значення на ближньому кінці.

$$\eta_{\mu} = (A_{0\mu} - A_0^{\text{необ}}) / \sigma_{\mu}, \quad (3)$$

де $A_{0\mu}$ – середнє значення перехідного загасання (табл. 1);

σ_{μ} – середньоквадратичне відхилення перехідного загасання пар.

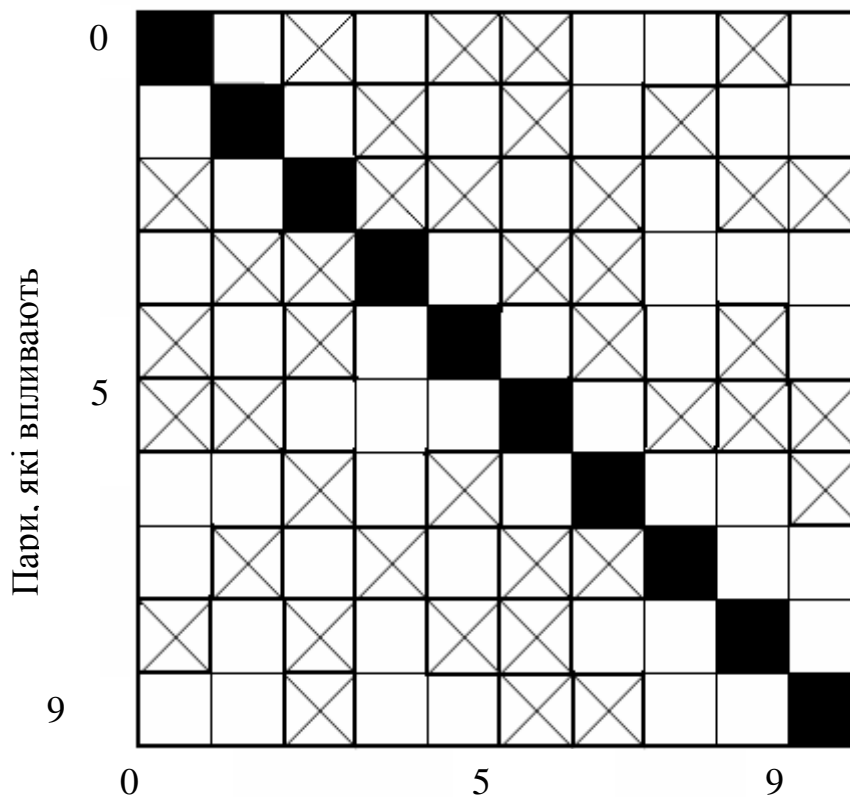
Якщо параметр $\eta_{\mu} > 2 \dots 2,5$, тоді ймовірність того, що виміряне значення перехідного загасання на ближньому кінці між парами $A_{0\text{вим}}$ буде більше, ніж $A_0^{\text{необ}}$, становить $0,95 \dots 0,99$, таким чином вона наближається до одиниці. Виходить, вимірювати A_0 й відбирати за цим значенням пари не треба, тому що всі пари при μ -м варіанті їхнього розташування в кабелі будуть придатні для ЦСП з більшою ймовірністю. При цьому треба перевірити число пар N_{μ} у кабелі, їх повинно бути більше або дорівнювати заданому значенню N .

Якщо ж $\eta_{\mu} < 2$ та зміна варіанта розташування μ не дозволяє збільшити $A_{0\mu}$, приступають до другого етапу відбору пар. При цьому вимірюють A_0 між обраними парами й за цими даними визначають оптимальну комбінацію пар, при якій число пар для ЦСП буде максимальним. Для цього дані вимірів перехідних загасань представляються у вигляді шахової таблиці (табл. 2). Комбінації пар, для яких захищеність виявилася нижче норми, відзначають хрестом. По вертикальній осі табл. 2 відмічаються номери пар зі сторони А, по горизонтальній – номери пар з сторони Б. У даному прикладі, приведену в табл. 2, число пар дорівнює 10. Для приведеного в табл. 2 розподілення значень перехідного загасання, значення параметру η_{μ} дорівнює приблизно 0,75.

Пошук оптимальної комбінації пар, призначених для ущільнення апаратурою ЦСП, робиться по даним табл. 2, починаючи з пари з найменшою кількістю хрестів. Позначають таку пару індексом m_1 . Після вибору цієї пари з подальшого розгляду виключається $(m_1 + 1)$ пара. Після першого кроку відбору пар залишається $q_1 = n - (m_1 + 1)$ пара, де n – загальне число пар, між якими вимірюлося перехідне загасання.

Таблица 2 – Дані вимірювання перехідних загасань представлені у виді шахової таблиці

Пари, які піддані впливу



Другим кроком і наступними буде відбір пар за критерієм мінімального числа «хрестів». Відібрані пари виключаються з подальшого розгляду. Після i -го кроку відбору, число пар, що залишилися q_i дорівнює:

$$q_i = n - i - (m_1 + m_2 + \dots + m_i).$$

Іншим способом збільшення числа пар, що ущільнюються, є зменшення довжини ділянки регенерації, тобто, $\alpha \ell$, що приводить до зменшення необхідного значення перехідного загасання, а, отже, до збільшення параметра η_μ та числа пар, що ущільнюються.

2.3. Методи виміру запасу завадозахищеності

Запас завадозахищеності може бути визначений для кожної пари, по якій передбачається передача цифрової інформації. Для xDSL ліній запас завадозахищеності може бути визначений, для необхідної швидкості передачі, через узагальнений показник, який враховує властивості прийомопередавача апаратури ЦСП (включаючи наявність неоднорідностей), відомості про спектр завад, що попадають у смугу переданих частот ЦСП.

Є інший підхід (розглянутий раніше), при якому оцінка запасу завадозахищеності залежить від довжини лінії, загасання або опору шлейфу. Надійність другого методу досить низька через відсутність додаткової інформації, а

помилки у виборі швидкості передачі ЦСП можуть досягати до 5 разів. Такі грубі методи оцінки позбавлені змісту, тому необхідно розробити методи вимірів запасу завадозахищеності на необхідній швидкості передачі для підвищення експлуатаційної надійності встановлюваних та вже працюючих ЦСП.

Робоче загасання, що визначає форму спектра корисного сигналу на вході приймального пристрою зростає зі збільшенням частоти. Але на вході приймального пристрою корисний сигнал підсумовується зі своїми копіями, затриманими в часі, викликаними відбиттями від неоднорідностей лінії зв'язку. Спектр корисного сигналу може при цьому мати коливальний характер.

Спектр завад теж є результатом взаємодії й підсумовування декількох сигналів і, насамперед перехідних перешкод від ЦСП, що працюють по сусіднім парам.

При взаємодії всіх цих факторів форма спектру сигналу є результатом взаємодії корисного сигналу, його відбиттів та перехідних перешкод, може бути вкрай нерівномірною, що знижує якість і точність вимірів робочого загасання й завадозахищеності пари на фіксованій робочій частоті.

Мінімальне значення запасу завадозахищеності в смузі частот (дБ) можна записати у вигляді:

$$\Delta R_{\text{xDSL}} = \min_{f=f_0 \div f_1} [R(f) - (R + \Delta A)],$$

де $R(f)$ – частотна характеристика завадозахищеності лінії, вимірювана як різниця спектрів корисного сигналу й завади. $R_{\min}$ – завадозахищеність ідеального приймача, що обчислюється за формулою Шенона.

$$R_{\min} = 10 \lg (2^K - 1), \text{ дБ},$$

де K – кратність модуляції прийомопередавача.

$$K = \frac{V}{f_1 + f_0},$$

V – необхідна швидкість передачі.

ΔA – запас неідеального приймача, в дБ, визначається експериментально, перебуває в межах 12...23 дБ; K змінюється в межах від 2 до 6.

У наш час можна рекомендувати наступні значення запасів завадозахищеності $\Delta R_{\min}$ ліній xDSL:

– 6 дБ при ущільненні однопарних кабелів;

– 12 дБ при ущільненні пари в пучку;

– 18 дБ при ущільненні пари в пучку, у якому ще немає цифрових ліній, але можуть з'явитися потім.

Це пов'язане з тим, що в процесі збільшення ресурсів мереж xDSL – доступу виходять із того, що:

1. Цифровізація будь-якої наступної пари багатопарного кабелю не повинна приводити до критичного зниження запасу завадозахищеності xDSL-ліній, що вже експлуатуються.

2. Вибір нормативного значення запасу завадозахищеності xDSL-ліній повинен ураховувати не тільки можливу деградацію характеристик кабелю, але й наступне введення в кабель додаткових xDSL-ліній.

3. КЛЮЧОВІ ПИТАННЯ

- 3.1. Які НЧ кабелі місцевих мереж зв'язку використовуються для ущільнення апаратурою ЦСП? Конструкція та маркування цих кабелів?
- 3.2. Які параметри кабелів визначають можливість відбору пар НЧ кабелів місцевих мереж зв'язку для ущільнення?
- 3.3. У чому полягає методика відбору пар, які використовуються для ущільнення ЦСП?
- 3.4. На яких частотах необхідно виконувати вимір перехідних загасань?
- 3.5. Що означає поняття запас завадозахищеності?
- 3.6. Від чого залежить величина запасу завадозахищеності?
- 3.7. Яка апаратура використовується для ущільнення НЧ кабелів місцевих мереж зв'язку?

4. ДОМАШНЄ ЗАВДАННЯ

У ході самостійної підготовки до лабораторної роботи необхідно:
Вивчити рекомендовану літературу.

- 4.1. Ознайомитися з методикою відбору пара НЧ кабелів місцевих мереж зв'язку.
- 4.2. Ознайомитися з методикою виміру:
 - робочого загасання пари кабелю;
 - рівня перехідних впливів на ближньому або далекому кінці.
- 4.3. Підготувати усні відповіді на ключові питання.
- 4.4. Підготувати бланк звіту.

5. ЛАБОРАТОРНЕ ЗАВДАННЯ

- 5.1. Ознайомитися з макетом лабораторної роботи.
- 5.2. Включити прилад ИПКЛ-15/30 (або його сучасний аналог – ДЕЛЬТА ПРО 1.3).
- 5.3. Підключити прилад до лінії (кабель типу ТПП 10х2х0.4).
- 5.4. Зробити вимір робочого загасання кожної (однієї) пари на напівтактовій частоті ЦСП.
- 5.5. Зробити вимір перехідних загасань для зазначених викладачем пар на ближньому й (або) дальньому кінці.
- 5.6. Зробити відбір пар для ущільнення апаратурою ЦСП.
- 5.7. Для відібраних пар визначити запас завадозахищеності.

6. АПАРАТУРА

- 6.1. Лінія зв'язку на базі кабелю ТПП 10х2х0.4 (або її макет).
- 6.2. Прилад ИПКЛ-15/30 (або його сучасний аналог).
- 6.3. Блок живлення приладу ИПКЛ.
- 6.4. Набір навантажень (опорів).

7. ЗМІСТ ПРОТОКОЛУ

- 7.1. Схема вимірів перехідних впливів.
- 7.2. Результати вимірів перехідних впливів для заданих пар.
- 7.3. Результати вимірів робочого загасання на напівтактовій частоті.
- 7.4. Для відібраних пар зробити вимір запасу завадозахищеності.

8. ЛІТЕРАТУРА

- 8.1. Гроднев И.И., Курбатов Н.Д. Линии связи. – М.: Связь, 1980. – С. 414.
- 8.2. Парфенов Ю.А., Мирошников Д.Г. Цифровые сети доступа. – М.: Эко-Трендз, 2005. – С. 288.

9. ДОДАТОК

- 9.1. Підготовка приладу ИПКЛ-15/30 до роботи.

9.1.1. Підключити ИПКЛ до блоку живлення 12 В. Перевірити заземлення блоку живлення!

9.1.2. Ввімкнути прилад ИПКЛ, ввімкнувши БП і віджавши кнопку шунт на ИПКЛ. Віджатій кнопці відповідає надпис над кнопкою, нажатій кнопці – надпис під нею.

- 9.1.3. Перевірити живлення, натиснувши кнопку КН.

- 9.1.4. Виміряти робоче загасання пари:

- перемикач режиму роботи перевести в положення РЗ;
- перемикач швидкостей перевести в положення, що відповідає обраній ЦСП;
- вхід пари приєднати до виходу ИПКЛ, вихід пари - до входу ИПКЛ;
- виміряти робоче загасання. Рисунок Д 1.

- 9.1.5. Вимір рівня перехідних загасань:

- перемикач режимів перевести в положення ПВ;
- перемикач швидкостей – у положення, що відповідає обраній ЦСП;
- при вимірі рівня перехідних впливів на ближньому кінці початок пари, що впливає, підключають до клем вихід ИПКЛ, а початок пари, підданий впливу, - до клем вхід ИПКЛ;

- до виходу обох пар приєднати навантаження, рівне 120 Ом (рис. Д 2).
- показання індикатора по шкалі ПВ є обмірюваним значенням рівня перехідного загасання на ближньому кінці.

9.1.6. Аналогічно виконується вимір перехідного загасання на дальньому кінці пари, тільки при цьому вхід пари, що впливає, приєднаний до клем «вихід» ИПКЛ, а вихід пари, підданої впливу, – до клем «вхід» ИПКЛ. Вільні кінці обох пар повинні бути навантажені на опори номіналом 120 Ом. При цьому на лабораторному макеті можливо використовувати один прибор ИПКЛ. Якщо вимірювання проводять на реальній лінії зв'язку, в якій ближній та дальні кінці рознесені в просторі необхідно використовувати два різних прилади ИПКЛ (рис. Д 3).

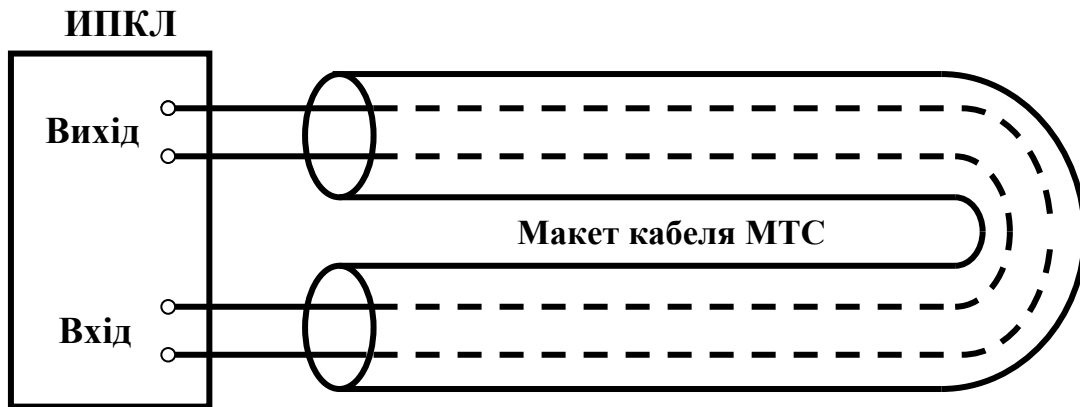


Рис. П1. Вимірювання робочого загасання

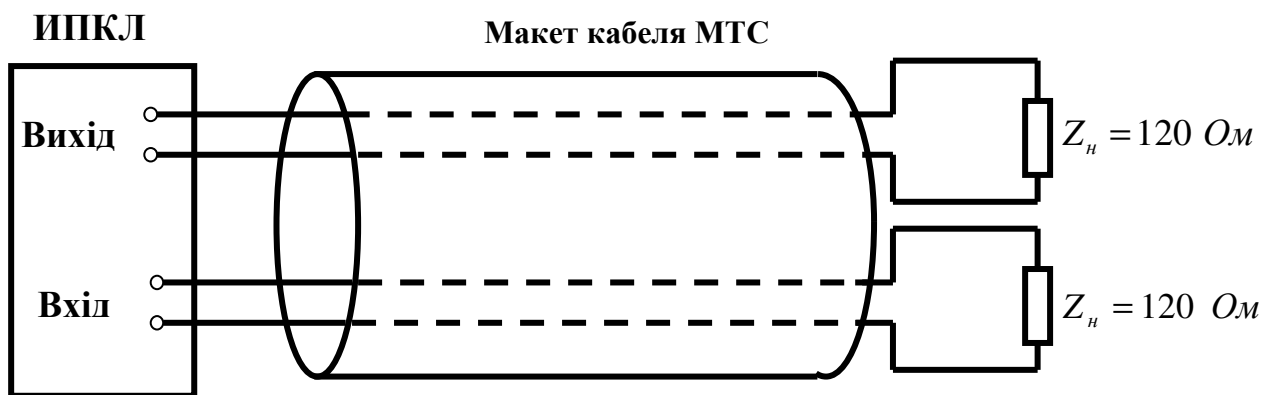


Рис. П 2. Вимірювання рівня перехідних загасагь на ближньому кінці

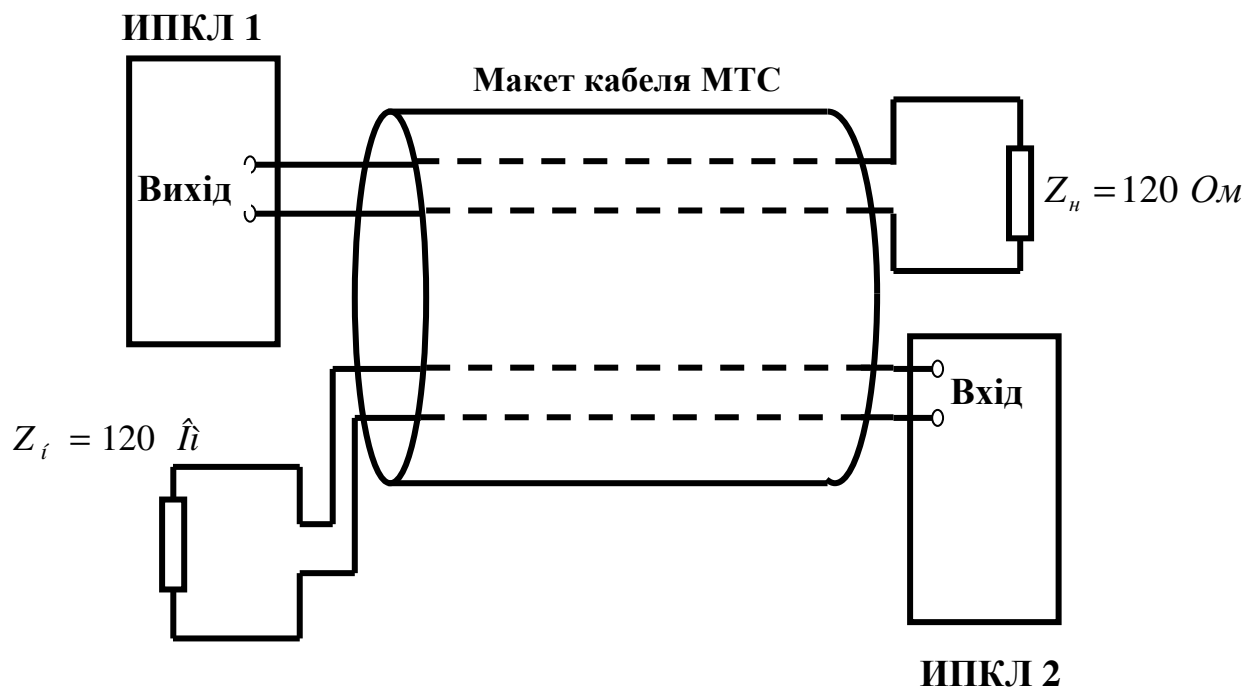


Рис. П 3. Вимірювання рівня перехідних загасань на дальньому кінці

ЗМІСТ

Лабораторна робота № 1	Вимірювання коефіцієнтів ємнісного зв'язку й ємнісної асиметрії та вибір оператора схрещування.	3
Лабораторна робота № 2	Дослідження перехідних загасань між колами кабельних ліній передавання.	17
Лабораторна робота № 3	Дослідження питомого опору однорідної землі та опору заземлень.	29
Лабораторна робота № 4	Відбір кабельних пар для цифрового ущільнення зв'язку мереж абонентського доступу.....	49

**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 III

**УТВЕРЖДЕНО
Методическим советом
академии
Протокол № 4
от 27.11.07 г.**

Одесса 2008

УДК

План 2006/2007 у.г.

Составители методических указаний к лабораторным работам:

№ 1 – проф. Одинцов Н. Н.;

№ 2 – проф. Одинцов Н. Н., преп. Болдырев Н. А.;

№ 3 – проф. Бондаренко О. В.;

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

Отв. редактор – проф. Бондаренко О. В.

В сборнике изложены методические указания к выполнению лабораторных работ по второй части курса "Линии передачи", которая посвящена взаимным влияниям в линиях передачи.

ОДОБРЕНО

на заседании кафедры ВОЛС и
рекомендовано к печати

Протокол № 4

от 18.12.2006 г.

Редактор – Ращупкина И. В.

Компьютерное макетирование – Кирдогло Т. В.

Лабораторная работа № 1

ИЗМЕРЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТОВ ЕМКОСТНОЙ СВЯЗИ И ЕМКОСТНОЙ АСИММЕТРИИ И ВЫБОР ОПЕРАТОРОВ СКРЕЩИВАНИЯ

1 ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Целью этой работы является изучение методики измерения первичных параметров влияния между цепями низкочастотного кабеля и выбор операторов скрещивания по результатам измерения коэффициентов емкостной связи и асимметрии.

Основной задачей работы является приобретение практических навыков по симметрированию, изучение схем измерений и применяемой при этом аппаратуры.

2 КЛЮЧЕВЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

2.1 Симметрирование низкочастотных кабелей

В низкочастотных кабелях влияния между цепями определяются в основном емкостными связями и асимметрией частичных емкостей жил цепи относительно земли. Асимметрия относительно земли сказывается, в первую очередь, на величине влияния внешних электромагнитных полей на цепи кабельных линий. Кроме того, на величине влияния между цепями будут сказываться также асимметрия сопротивлений, отклонение рабочих емкостей от среднего значения и др.

Величины, характеризующие емкостную связь внутри четвёрки, определяются по формулам:

$$\begin{aligned} k_1 &= (C_{ac} + C_{bd}) - (C_{ad} + C_{bc}); \\ k_2 &= (C_{ac} + C_{ad}) - (C_{bc} + C_{bd}); \\ k_3 &= (C_{ac} + C_{bc}) - (C_{ad} + C_{bd}), \end{aligned} \quad (1)$$

где k_1 – емкостная связь между основными цепями – I/II; k_2 – емкостная связь между первой основной цепью и искусственной – I/И; k_3 – емкостная связь между второй основной цепью и искусственной – II/И; C_{ac} , C_{bc} , C_{bd} , C_{ad} – частичные ёмкости между жилами (рис. 2.1). Емкостная асимметрия определяется по формулам:

$$\begin{aligned} e_1 &= C_{ae} - C_{be}; \\ e_2 &= C_{ce} - C_{de}; \\ e_3 &= (C_{ae} + C_{be}) - (C_{ce} + C_{de}), \end{aligned} \quad (2)$$

где e_1 – емкостная асимметрия первой цепи относительно земли I/3, e_2 – емкостная асимметрия второй цепи относительно земли – II/3; e_3 – емкостная асимметрия искусственной цепи – И/3; C_{ae} , C_{be} , C_{ce} , C_{de} –частичные ёмкости между жилами и землёй.

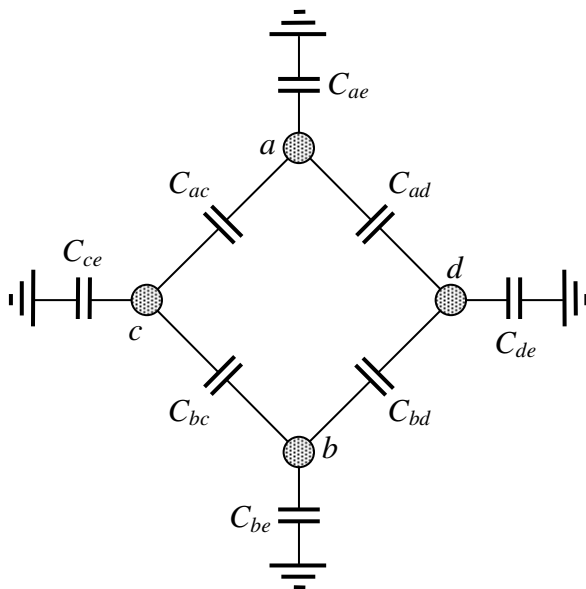


Рисунок 2.1 – Эквивалентная схема образования емкостных связей и емкостных асимметрий внутри четвёрки

Кроме того, различают также емкостные связи между искусственными цепями различных четвёрок – k_4 ; между основными цепями и искусственными разных четвёрок – k_5 , k_6 , k_7 , k_8 ; между основными цепями разных четвёрок – k_9 , k_{10} , k_{11} , k_{12} . Все они выражаются через частичные ёмкости.

Для того, чтобы помехи, вызываемые влиянием между цепями и от внешних источников, находились в допустимых пределах, величины параметров влияния в строительных длинах и на усилительных участках не должны превышать определённых значений, приведенных в приложении 9.1.

Симметрирование скрещиванием заключается в компенсации связей и асимметрии одного отрезка кабеля другим. Эта компенсация производится путём соединения цепей напрямую в случае разных знаков коэффициентов в соединяемых отрезках или путём соединения со скрещиванием в случае одинаковых знаков.

Результирующие значения асимметрий и связей вычисляются алгебраическим сложением коэффициентов.

Существует восемь схем скрещивания пар и жил симметрируемой четвёрки (табл. 2.1).

В таблице указано, какое изменение претерпевает знак коэффициента связи и асимметрии четвёрки со стороны Б, и даны условные обозначения схем скрещивания (операторы). Первый знак оператора (левый) показывает, как при данном операторе соединяются жилы первой пары, второй знак (средний) – как

соединяются жилы второй пары и третий (правый) – как соединяются пары четвёрки (искусственной цепи).

Таблица 2.1 – Сложение коэффициентов емкостной связи и асимметрии при симметрировании четвёрок скрещиванием

Номер схемы	Условное обозначение (оператор)	Схема скрещивания сторона А сторона Б	Значение суммарного коэффициента						Наимено- вание скрещен- ных цепей
			I/II	I/I	II/I	I/3	II/3	II/3	
			k_1	k_2	k_3	e_1	e_2	e_3	
1	• • •		$k'_1 + k''_1$	$k'_2 + k''_2$	$k'_3 + k''_3$	$e'_1 + e''_1$	$e'_2 + e''_2$	$e'_3 + e''_3$	–
2	X • •		$k'_1 - k''_1$	$k'_2 - k''_2$	$k'_3 + k''_3$	$e'_1 - e''_1$	$e'_2 + e''_2$	$e'_3 + e''_3$	1-я
3	• X •		$k'_1 - k''_1$	$k'_2 + k''_2$	$k'_3 - k''_3$	$e'_1 + e''_1$	$e'_2 - e''_2$	$e'_3 + e''_3$	2-я
4	X X •		$k'_1 + k''_1$	$k'_2 - k''_2$	$k'_3 - k''_3$	$e'_1 - e''_1$	$e'_2 - e''_2$	$e'_3 + e''_3$	1-я и 2-я
5	• • X		$k'_1 + k''_1$	$k'_2 + k''_2$	$k'_3 + k''_3$	$e'_1 + e''_1$	$e'_2 + e''_2$	$e'_3 - e''_3$	Иск.
6	X • X		$k'_1 - k''_1$	$k'_2 - k''_2$	$k'_3 + k''_3$	$e'_1 - e''_1$	$e'_2 + e''_2$	$e'_3 - e''_3$	1-я и иск.
7	• X X		$k'_1 - k''_1$	$k'_2 + k''_2$	$k'_3 - k''_3$	$e'_1 + e''_1$	$e'_2 - e''_2$	$e'_3 - e''_3$	2-я и иск.
8	X X X		$k'_1 + k''_1$	$k'_2 - k''_2$	$k'_3 - k''_3$	$e'_1 - e''_1$	$e'_2 - e''_2$	$e'_3 - e''_3$	1-я, 2-я и иск.

При симметрировании скрещиванием коэффициенты асимметрии обеих основных и искусственной цепи могут быть уменьшены при любом сочетании знаков с обеих сторон, а коэффициенты связи могут быть уменьшены только при условии нечётного числа знаков “+” и “–” с обеих сторон точки симметрирования. Это должно учитываться при выборе оператора. Для повышения эффективности симметрирования целесообразно соединять друг с другом четвёрки, имеющие наиболее близкие по величине значения коэффициентов связей, путём смешивания четвёрок. Количество положительных или отрицательных знаков у коэффициентов связи в соединяемых четвёрках должно быть нечётным.

Смешивание четвёрок допускается только внутри одного повива и для четвёрок одной системы связи. Для каждой симметрирующей муфты заполняется отдельная ведомость по форме табл. 2.2 (с примерным заполнением): в графы 1 и 14 записывают порядковые номера четвёрок, в графы 2 и 13 – знак и величину измеренных коэффициентов асимметрии со стороны А и со стороны Б, в графы 3 и 12 – соответственно знак и величину измеренных коэффициентов связи со стороны А и со стороны Б. Величины коэффициентов связей и асимметрий записываются в последовательности, соответствующей заголовкам тех же граф.

Таблица 2.2 – Ведомость симметрирования четвёрок скрещиванием

Прибор _____							Кабель_____						
Завода _____							Усилительный участок_____						
Техник _____							_____						
_____							Шаг пупинизации_____						
Дата “__”_____ 200__ г.							Муфта_____						
Сторона А				Сторона Б			Результаты				Сторона Б		
							Вычислен.		Измерен.				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
№ чет- вёрки	e_1'	k_2'	Схема соединения	k_2''	e_1''	№ чет- вёрки	k_2	e_1	k_2	e_1	k_2''	e_1''	№ чет- вёрки
	e_3'	k_1'		k_1''	e_3''		k_1	e_3	k_1	e_3	k_1''	e_3''	
	e_2'	k_3'		k_3''	e_2''		k_3	e_2	k_3	e_2	k_3''	e_2''	
1	-50 -150 0	0 -30 -25		+10 -35 +20	-30 +50 -70	2	-10 +5 -5	-20 -100 -70			+30 -70 0	+10 0 0	1
2	-95 -250 +90	+75 +85 -90		+20 -115 -115	+30 +250 -30	4	+55 -30 +25	-125 0 +120			+10 -35 +20	-30 +50 -70	2
3	-20 -250 +150	-120 -95 -25		+40 -105 -140	-80 -200 +60	3	+20 +10 +15	-80 -50 +70			+40 -105 -140	-80 -200 +60	3
4	+10 -80 +50	+20 -80 +20		+30 -70 0	+10 0 0	1	+20 -10 -10	+10 -80 +40			+20 -115 -115	+30 +250 -30	4
5													5
6													6
7													7
Связи		Средние		Максимальные		Асимметрии		Средние		Максимальные			
k_1 k_2, k_3						e_1, e_2 e_3							

Затем производят подбор четвёрок для компенсации емкостной связи. Выбор начинают с тех четверок, которые имеют наибольшую величину связи.

В левой стороне ведомости находят четверку с наибольшей емкостной связью, после чего подбирают в правой стороне ведомости четвёрку также с наибольшим значением емкостной связи. При этом сумма положительных и отрицательных знаков у коэффициентов связи сочетаемых четвёрок должна быть нечётной. Номер четвёрки, выбранной в правой стороне ведомости, и соответ-

ствующие ей коэффициенты связи и асимметрии записываются в графы 5, 6 и 7. Таким же образом поступают поочерёдно с остальными четвёрками в нисходящем порядке величин емкостной связи (k_1).

После этого производят выбор операторов в соединяемых четвёрках следующим образом: сравнивают коэффициенты k'_2 и k'_3 в левой стороне ведомости со связями k''_2 и k''_3 в правой стороне ведомости. Если $k'_2 \approx k''_2$ и $k'_3 \approx k''_3$, то пары в четвёрке соединяются напрямую; если $k'_2 \approx k''_3$ и $k'_3 \approx k''_2$, то пары в четвёрке скрещиваются.

Скрещивание жил в парах зависит от знаков компенсируемых коэффициентов связи. Если знаки разные, жилы в данной паре соединяются напрямую, если знаки одинаковые, жилы скрещиваются. В том случае, когда определить способ соединения по коэффициентам связи невозможно, это делается аналогичным способом по коэффициентам асимметрии.

После выбора оператора, пользуясь табл. 2.1, вычисляют результаты симметрирования и записывают их в графы 8 и 9. После соединения жил по выбранной схеме и вычисления результатов симметрирования производится контрольное измерение коэффициентов связи и асимметрии. При этом нумерация пар и жил считается по кабелю со стороны А. Результаты контрольного измерения записываются в графы 10 и 11. По величине и знакам результаты измерений и вычислений должны быть тождественны.

Примечание. Сложение коэффициентов связи и асимметрии в процессе симметрирования скрещиванием, не пользуясь таблица 2.1, можно производить, исходя из следующих правил:

1. При соединении основных цепей напрямую все коэффициенты суммируются (с их знаками).
2. При скрещивании основной цепи коэффициенты, связанные с этой цепью, отнимаются.
3. Если обе основные цепи скрещиваются, то коэффициенты, связанные с данными обеими цепями, суммируются.
4. При прямом соединении или скрещивании основных цепей коэффициенты e_3 всегда суммируются.
5. При скрещивании искусственной цепи между собой соединяются коэффициенты k'_1 и k''_1 , e'_3 и e''_3 , а коэффициенты k_2 , k_3 и e_1 , e_2 меняются местами, т. е. соединяются k'_2 с k''_3 , k'_3 с k''_2 , а e'_1 с e''_2 , e'_2 с e''_1 . Сложение знаков коэффициентов производится по правилам для основных цепей (пп. 1, 2, 3), а коэффициенты e'_3 с e''_3 всегда вычитаются.

Принцип *симметрирования конденсаторами* заключается в том, что если, например, коэффициент $k_1 = (C_{ac} + C_{bd}) - (C_{ad} + C_{bc})$ будет равен не нулю, а, допустим, +100 пФ, то это значит, что сумма емкостей $(C_{ac} + C_{bd})$ больше суммы емкостей $(C_{ad} + C_{bc})$ на 100 пФ. Очевидно, если к меньшей сумме подключить конденсатор ёмкостью 100 пФ, то коэффициент k_1 станет равным нулю.

Таблица 2.3 – Ведомость симметрирования четвёрок конденсаторами

Прибор № _____ Завода _____ Измерения производил _____ Дата “ ____ “ _____ 200__ г.												Кабель _____ Усилительный участок _____ Шаг пупинизации _____ Муфта № _____											
Результат первого контрольного измерения				Часть измеренного значения, которую необходимо вписать в чистую клетку				Ёмкость конденсаторов, которые необходимо включить между жилами и землёй				Результат второго контрольного измерения				Часть измеренного значения, которую необходимо вписать в чистую клетку				Ёмкость конденсаторов, которые необходимо включить между жилами			
Коэффициент	Знак	Величина						<i>a-e</i>	<i>b-e</i>	<i>c-e</i>	<i>d-e</i>	Коэффициент	Знак	Величина				<i>a-c</i>	<i>a-d</i>	<i>b-c</i>	<i>b-d</i>		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22		
e_1	–	125	1, ½, ½	125	63	63	63	k_1	–	30	½, ½	15			15								
	+		1, ½, ½						+		½, ½												
e_2	–		½, ½, 1					k_2	–		½, ½												
	+	120	½, ½, 1	60	60		120		+	55	½, ½								28	28	28		
e_3	–	0	½, ½	0	0			k_3	–		½, ½												
	+		½, ½						+	15	½, ½								8		8		
Сумма				185	60	63	183	Сумма				15	8	28	51								
Вычитается наименьшая величина				60	60	60	60	Вычитается наименьшая величина				8	8	8	8								
Остаток				125	0	3	123	Остаток				7	0	20	43								

Для того, чтобы не изменились коэффициенты k_2 и k_3 , дополнительную ёмкость необходимо подключить к каждой из ёмкостей меньшей суммы. В нашем примере между жилами ad и bc необходимо подключить по конденсатору 50 пФ, тогда $k_1 = 0$, а k_2 и k_3 не изменяются, так как ёмкости C_{bc} и C_{ad} входят в обе их суммы (см. формулы (1)).

Симметрирующие конденсаторы изготавливаются различной ёмкости, отличающейся на 5...10 пФ. Подключаются они к жилам при соединении отдельных кусков кабеля в конденсаторных муфтах. Выбор ёмкостей дополнительных конденсаторов производится по ведомости (таблица 2.3) с примерным заполнением. При заполнении формы измеренные результирующие значения коэффициентов записывают в графы 3 и 11 соответственно их знакам. Затем разносят в свободные клетки долями, обозначенными в графах 4 и 12, и суммируют вертикальные столбцы. Из сумм вычитается наименьшая, и, таким образом, получается необходимая величина ёмкости симметрирующих конденсаторов, которая записывается в нижней графе.

2.2 Симметрирование низкочастотных кабелей прибором 1725/S фирмы ORION

Для симметрирования НЧ кабелей в тональном спектре частот по измерению ёмкостных связей и асимметрии используется ряд приборов, построенных по принципу моста переменного тока.

Прибор 1725/S фирмы ORION (рис. 2.2) состоит из двух разъёмных частей – нижней (узкой), где смонтирован блок питания, и верхней (широкой), где смонтирован измеритель ёмкостных связей и асимметрии, переключатель четвёрок (Π_2) и переменная эталонная ёмкость до 1800 пФ, предназначенная для расширения пределов измерений прибором (Π_3).

Блок питания состоит из транзисторного генератора на 800 Гц и усилителя. В кассете блока питания размещается три элемента КБС (12 В) для питания генератора.

Измеритель связи соединяется с блоком питания с помощью двух соединительных гнездовых панелей.

Генератор и усилитель между собой и от измерительного моста отделены экраном.

Измерительные схемы для измерения коэффициентов связи k_1, k_2, k_3 и асимметрий e_1, e_2, e_3 создаются с помощью малогабаритного ступенчатого переключателя Π_1 , а также переключателей Π_2 и Π_3 . При измерении коэффициентов k и e между цепями внутри четвёрок переключатель Π_2 должен находиться всё время в положении $I_{e^{k_{1-3}}}$.

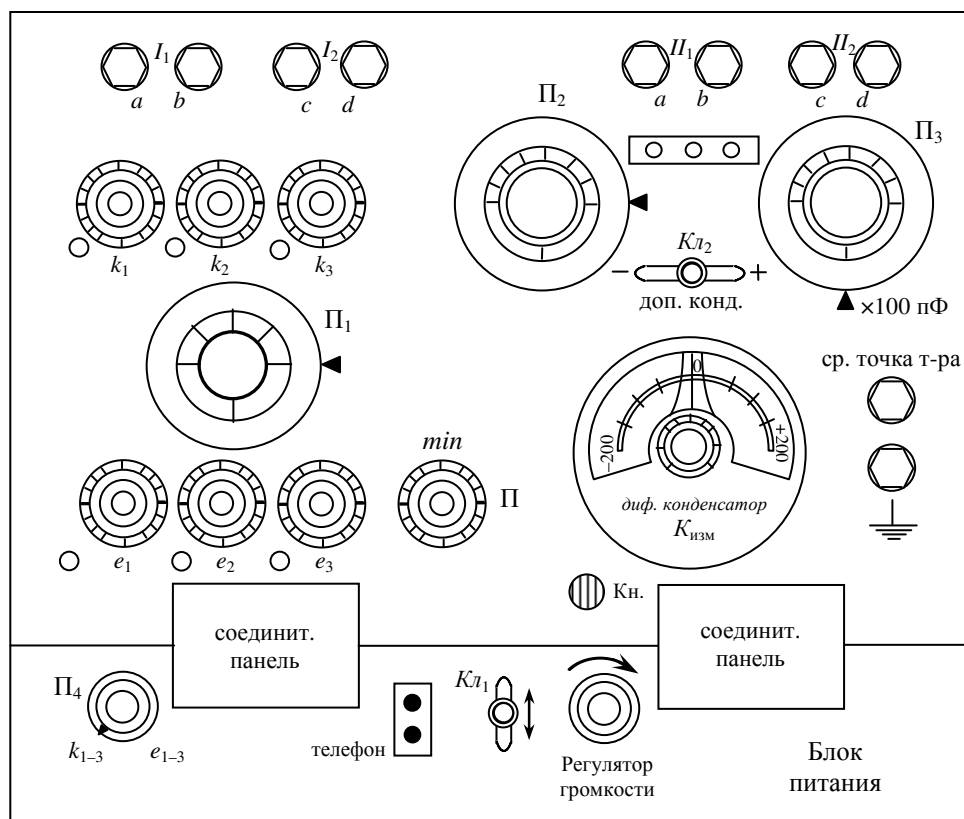


Рисунок 2.2 – Внешний вид прибора 1725/S сверху и размещение на нём деталей

С помощью переключателей Π_1 , Π_2 , Π_3 частичные ёмкости между жилами и жил относительно земли коммутируются в плечи моста так, что при уравнивании потенциалов в точках, к которым подключается телефон (минимальный уровень звука в телефоне), по положению измерительного конденсатора ($K_{изм}$) непосредственно отсчитываются значения измеряемых коэффициентов k и e . При измерении асимметрии e_1 , e_2 , e_3 в многочетвёрочных кабелях жилы четвёрок, не участвующих в схеме измерений, подключаются к середине дифференциального трансформатора. Средняя точка трансформатора выведена к зажиму “средн. точка т-ра” на передней панели.

Примечание. При измерении коэффициентов связи и асимметрии между цепями разных четвёрок k_4 ; $k_5 - k_8$; $k_9 - k_{12}$ пользуются переключателем Π_2 . Жилы измеряемых четвёрок при этом подключаются к левым (I_{1ab} , I_{2cd}) и правым (II_{1ab} , II_{2cd}) клеммам прибора. При этих измерениях переключатель Π_1 должен находиться всё время в положении k_1 .

2.2.1 Включение и настройка прибора для измерения коэффициентов емкостной связи и асимметрии

Перед началом измерений коэффициентов связи и асимметрии прибор должен быть отсимметрирован “на себя”, т. е. должны быть выравнены асимметрия самой измерительной схемы и емкостная асимметрия подключаемых к прибору шнуров. Для этого необходимо:

1. К левым клеммам (I_{1ab} , I_{2cd}) подключить измерительный шнур, строго соблюдая расцветку жил шнура (красная, белая, синяя, зеленая), либо нумерацию, нанесенную на штекерах (1, 2, 3, 4). Второй конец измерительного шнура должен находиться на диэлектрике, жилы не должны касаться между собой или земли.

2. Клемму “Земля” соединить с клеммой заземления на измерительном макете.

3. Переключатель Π_2 установить в положение I_{e1-3}^k .

4. Ключ K_{l2} поставить в среднее положение, в результате отключается дополнительная ёмкость 200-1800 пФ (Π_3).

5. Дифференциальный конденсатор $K_{изм}$ поставить в нулевое положение;

6. Переключатель Π_1 установить в положение k_1 .

7. Переключатель Π_4 установить в положение k_{1-3} .

8. Подключить телефон к гнездам с соответствующей надписью.

9. Включить в схему питание, поставив K_{l1} в положение “Вкл.”; громкость звука изменяется регулятором громкости.

10. Если прибор настроен, то звук в телефоне будет отсутствовать, или будет очень слабым.

11. Если прибор не настроен, то в телефоне будет прослушиваться сильный звук. В этом случае, ослабив стопорный винт и регулируя подстроечный конденсатор k_1 и потенциометр Π , добиваются острого минимума звука в телефоне. После этого необходимо зафиксировать положение конденсатора k_1 , слегка поджав стопорный винт. Контроль точности настройки осуществляется изменением на одно-два деления положения дифференциального конденсатора влево и вправо от 0, при этом уровень звука в телефоне резко увеличивается.

12. После настройки прибора для измерения коэффициента k_1 переключатель Π_1 устанавливают в положение k_2 и подстроечным конденсатором k_2 и потенциометром Π добиваются острого минимума звука в телефоне.

13. Аналогично настраивается прибор для измерения коэффициента k_3 .

Поставив переключатель Π_4 в положение e_{1-3} , переключатель Π_1 последовательно в положение e_1 , e_2 , e_3 , пользуясь для каждого положения соответствующими подстроечными конденсаторами e_1 , e_2 , e_3 и потенциометром Π , прибор настраивают (по минимуму уровня звука) для измерения всех емкостных асимметрий. На этом настройка прибора заканчивается.

2.2.2 Измерение коэффициентов емкостной связи и асимметрии

Измерение коэффициентов связи и асимметрии выполняется в следующем порядке:

1. Вторым концом измерительного шнура, строго соблюдая соответствие расцветок (или номеров) проводов шнура и жил кабеля, подключить к жилам кабеля со стороны А в муфте А₁ (рис. 5.1).

2. Последовательно устанавливая переключатель П₁ в положение k_1, k_2, k_3 (П₄ – в положение k_{1-3}), затем в положение e_1, e_2, e_3 (П₄ – в положение e_{1-3}) и пользуясь потенциометром П, измеряют величины всех коэффициентов связей и асимметрий с их знаками дифференциальным конденсатором $K_{изм}$. Отсчёт производится по положению дифференциального конденсатора при получении минимального уровня звука в телефоне.

3. Если измеряемая величина коэффициентов мала, то более точно их можно измерить, нажав на кнопку «Кн. ± 40 пФ». При этом изменяется коэффициент трансформации приёмного трансформатора и предел измерения дифференциального конденсатора становится равным 40 пФ.

4. Если значение измеряемого коэффициента более ± 200 пФ, то нажатием ключа $K_{л2}$ в положение “+” либо “–” (в зависимости от знака измеряемого коэффициента, полученного по дифференциальному конденсатору) последовательно изменяют положение переключателя П₃ от 200 до 1800 пФ и добиваются минимального уровня звука в телефоне. Острого минимума добиваются дополнительной регулировкой дифференциального конденсатора. Значение измеряемого коэффициента при этом получают, складывая ёмкость по дифференциальному конденсатору и ёмкость П₃.

Например: П₃ находится в положении 6, ключ $K_{л2}$ – в положении “+”, а дифференциальный конденсатор – в положении “+30”, тогда значение коэффициента равно +630. Это же значение можно получить, установив П₃ в положение 8, ключ $K_{л2}$ в положение “+”, а дифференциальный конденсатор – в положение “–170”.

Измеренные значения коэффициентов $k_1, k_2, k_3, e_1, e_2, e_3$ записываются с их знаками в графы 2 и 3 табл. 2.2 в соответствии с порядком, указанным в графах.

5. Затем измерительный шнур переключается к соответствующим по расцветке жилам правой стороны кабеля (сторона Б), аналогично предыдущему измеряются коэффициенты k_1, k_2, k_3 и e_1, e_2, e_3 и записываются в графы 5 и 6 табл. 2.2.

Исходя из измеренных значений всех коэффициентов, выбирают оператор скрещивания жил для данной четвёрки, зарисовывают его в графе 4, рассчитывают результирующие коэффициенты связи и асимметрии и записывают их в графах 8 и 9.

6. На макете в муфте A_1 четвёрки соединяют по выбранному оператору и путём измерения результирующих коэффициентов контролируют правильность установленной схемы соединения и расчётов.

При контрольном измерении, после установления схемы соединения в муфте A_1 проводники шнура от прибора должны подключаться строго в соответствии с расцветкой жил к стороне А (рис. 2.3).

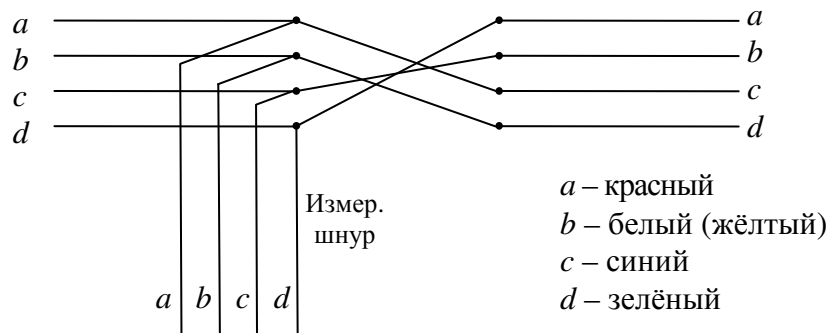


Рисунок 2.3 – Подключение измерительного шнура к жилам кабеля

7. Данные контрольных измерений заносятся в графы 10 и 11 табл. 2.2 и результаты измерений сравнивают с рассчитанными значениями в графах 8 и 9, они должны совпадать.

8. При трёхточечной схеме симметрирования (см. рис. 5.1) аналогично производят измерения, записи, подбор операторов, их установление и последующий контроль в муфте A_2 , а затем в муфте С.

9. После симметрирования скрещиванием в муфте С измеренные результирующие значения коэффициентов связи и асимметрии на шаге симметрирования (шаг пупинизации) расписываются в соответствующие графы бланка для симметрирования кабеля конденсаторами и путём расчета определяют, какие ёмкости должны быть включены между жилами и жилами и землёй для окончательного доведения коэффициентов до установленных норм.

10. Подбираются необходимые симметрирующие конденсаторы и подключаются к жилам кабеля в соответствии с данными расчёта по ведомости симметрирования четвёрок конденсаторами. При этом необходимо строго соблюдать расцветку и счёт жил кабеля, соответствие подключения конденсаторов и проводников измерительного шнура.

После подключения конденсаторов производят контрольные измерения результирующих коэффициентов на шаге симметрирования. При точном подборе конденсаторов коэффициенты должны быть равными нулю. При отличии значений подключаемых конденсаторов от рассчитанных результирующие коэффициенты могут и не быть равными нулю, однако они не должны превышать установленных норм на шаг симметрирования (приложение 9.1).

3 КЛЮЧЕВЫЕ ВОПРОСЫ

- 3.1. Типы и особенности конструкций применяемых низкочастотных кабелей.
- 3.2. Электрические свойства, характеристики и нормы низкочастотных кабелей.
- 3.3. Правила выбора операторов скрещивания.
- 3.4. Порядок заполнения бланков и расчёта коэффициентов емкостной связи и асимметрии при симметрировании скрещиванием.
- 3.5. То же при симметрировании конденсаторами.
- 3.6. Общий принцип работы прибора 1725/S и порядок пользования им.
- 3.7. Устройство и монтаж конденсаторной муфты.

4 ДОМАШНЕЕ ЗАДАНИЕ

- 4.1. Изучить рекомендованную литературу.
- 4.2. Изучить устройство и правила пользования прибором 1725/S.
- 4.3. Изучить порядок выбора операторов скрещивания по измеренным коэффициентам емкостной связи и асимметрии.
- 4.4. Подготовить устные ответы на контрольные вопросы.
- 4.5. Подготовить бланки отчета (схемы, таблицы) и усвоить порядок пользования ведомостями симметрирования четвёрок скрещиванием и конденсаторами.

5 ЛАБОРАТОРНОЕ ЗАДАНИЕ

- 5.1. Уточнить порядок расположения жил в четвёрках на макете кабельной линии.
- 5.2. Собрать схему измерения.
- 5.3. С разрешения руководителя включить напряжение.
- 5.4. Отсимметрировать одну четвёрку на длине шага по трёхточечной схеме (рис. 5.1). Для этого вначале симметрируются муфты A_1 и A_2 только скрещиванием, а затем – муфта C скрещиванием и конденсаторами. В результате симметрирования коэффициенты k и e должны быть приведены к норме. Общий порядок пользования прибором 1725/S и порядок заполнения ведомостей при симметрировании скрещиванием и конденсаторами даны в пп. 2.1, 2.2.
- 5.5. Сравнить полученные результаты измерения с допускаемыми нормами на шаг симметрирования (k и e).



Рисунок 5.1 – Трёхточечная схема симметрирования

6 АППАРАТУРА

- 6.1. Макет кабельной линии (на длине одного шага симметрирования).
- 6.2. Прибор 1725/S.
- 6.3. Набор симметрирующих конденсаторов.

7 СОДЕРЖАНИЕ ПРОТОКОЛА

- 7.1. Принципиальная схема измерений.
- 7.2. Заполненные ведомости результатов симметрирования четвёрок (скрещиванием и конденсаторами).
- 7.3. Схема подключения конденсаторов к жилам четверки.
- 7.4. Сравнение полученных результатов с допускаемыми нормами (k и e) на строительные длины кабеля и шаг симметрирования.

8 ЛИТЕРАТУРА

- 8.1. Гроднев И. И., Курбатов Н. Д. Линии связи. – М.: Связь, 1988. – С. 304–311.
- 8.2. Справочник строителя кабельных сооружений связи / Под. ред. Д.А. Барон и др. – М.: Радио и связь, 1988. – С. 555–559.

9 ПРИЛОЖЕНИЕ

9.1 Электрические нормы на низкочастотные кабели

- 9.1.1 Допустимые значения емкостных связей и асимметрий на строительных длинах 230/425 м приведены в табл. 9.1.

Таблица 9.1 – Допустимые значения коэффициентов емкостной связи и асимметрии на строительную длину

Наименование коэффициентов емкостной связи и асимметрии	Допустимое значение коэффициентов емкостной связи и асимметрии на строительную длину кабеля 230/425 м, пФ	
	Среднее	Максимальное
k_1	40/55	150/275
k_2, k_3	75/130	375/700
k_4	60/80	225/415
$k_5 - k_{12}$	60/80	225/415
e_1, e_2	150/275	600/1100
e_3	300/555	1200/2200

9.1.2 Допускаемые значения параметров влияния на длине участка симметрирования низкочастотных кабелей приведены в табл. 9.2.

Таблица 9.2 – Значения параметров влияния на длине участка симметрирования

Наименование параметра	Допустимое значение на шаг симметрирования		Единица измерения
	Среднее	Максимальное	
k_1	10	20	пФ
k_2, k_3	10	20	пФ
k_4	30	80	пФ
$k_5 - k_8$	20	60	пФ
$k_9 - k_{12}$	10	30	пФ
e_2, e_3	100/130	300/400	пФ
$\Delta r_1, \Delta r_2$	–	0,1	Ом
Δr_3	–	0,05	Ом
$\Delta C/C$	–	1,5	%
$\Delta L/L$	–	1,5	%

Примечание. Если длина отрезка кабеля l не равна строительной длине L , то величины k и e не должны превышать следующих значений:

а) средние значения $k_1, k_4 - k_{12}$ должны быть умножены на $\sqrt{\frac{l}{L}}$;

б) максимальные значения $k_1, k_4 - k_{12}$, а также средние и максимальные значения k_2, k_3, e_1, e_2 и e_3 должны быть умножены на l/L .

9.1.3 Асимметрия сопротивления жил в паре с постоянным током в строительных длинах кабеля не должна превышать 1% сопротивления шлейфа пары ($\Delta R_1, \Delta R_2$).

Асимметрия сопротивления искусственной цепи в строительной длине не должна превышать 2% сопротивления шлейфа четверки (ΔR_3).

Отклонение рабочих емкостей цепей в строительных длинах от средних значений не должно превышать в среднем 4% и максимально 12,5%.

9.1.4 Номинальные значения характеристических сопротивлений пупинизированных цепей при $f = 800$ Гц должны быть: для основных цепей – 1500 Ом, для искусственных цепей – 750 Ом, для радиовещательных – 500 Ом (при 5 кГц). За номинальное значение принимается средняя измеренная величина.

9.1.5 Асимметрия сопротивления постоянному току на длине усилительного участка основной и искусственной цепи должны быть не более $\frac{0,23}{d^2} \sqrt{l}$ Ом, где l – длина усилительного участка, км; d – диаметр жил, мм.

Лабораторная работа № 2

ИССЛЕДОВАНИЕ ПЕРЕХОДНЫХ ЗАТУХАНИЙ МЕЖДУ ЦЕПЯМИ КАБЕЛЬНЫХ ЛИНИЙ ПЕРЕДАЧИ

1 ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Приобретение практических навыков по измерению переходных затуханий между цепями кабелей и ознакомление с применяемой измерительной аппаратурой.

2 КЛЮЧЕВЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Одним из важнейших условий надежной связи по кабельным линиям большой длины является высокая помехозащищенность цепей линий.

Качество и дальность связи предопределяются не столько собственным затуханием цепи, сколько взаимными влияниями между соседними цепями. Причиной взаимных влияний являются электромагнитные поля, которые возникают вокруг цепи при передаче по ним электромагнитных волн. Для уменьшения влияния между цепями следует принимать специальные меры.

Комплекс мероприятий, которые используют при монтаже кабеля с целью уменьшения взаимных влияний между цепями, называется симметрированием. Симметрирование кабельных магистралей осуществляется по усилительным участкам, которые являются законченными объектами симметрирования. Этапы симметрирования ВЧ кабелей описаны в [8.1].

В лабораторных условиях создан макет усилительного участка одночетверочного кабеля, на котором есть три муфты, отдаленные одна от другой на одинаковые расстояния, а также гнезда боксов (ПП). Для достижения возможной более высокой защищенности цепей внутри четверки в отмеченных трех муфтах одновременно перебирают схемы скрещивания по результатам измерения защищенности цепей на дальнем конце:

- в каждой муфте включают переключатель схем скрещивания (в данной работе в среднюю муфту включен переключатель операторов, а в крайних муфтах схемы скрещивания подбираются с помощью проводников)

- подготавливают прибор ВИЗ-2Б (или ВИЗ-600) к работе и собирают схему измерения защищенности на дальнем конце (рис. 2.1).

- устанавливают операторы скрещивания ●●● в трех муфтах. Измеряют и записывают значение $A_3 1/2$ и $A_3 2/1$. Потом осуществляют перебор комбинаций операторов скрещивания в соответствии с протоколом измерения (приложение 9.1) Потом комбинацию операторов скрещивания в трех муфтах, которая дает наибольшее значение A_3 , возобновляют.

- если симметрирование скрещиванием не обеспечивает получение нормы защищенности (приложение 9.2), то осуществляют концентрированное

симметрирование с помощью контура противосвязи (рис. 2.1). Подключение контура осуществляется с помощью специальных шнуров с колодками в свободные гнезда "Линия 1" и "Линия 2" индикатора ВИЗ-2Б. Обратите внимание на соответствие номеров и гнезд.

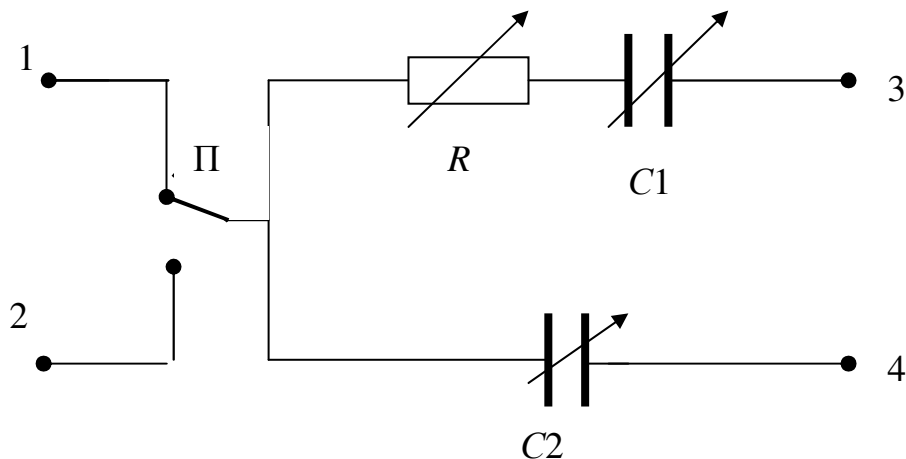


Рисунок 2.1 – Концентрированное симметрирование при помощи контура противосвязи

Сопротивления и емкости контура устанавливают на минимальные значения. Потом постепенно увеличивают емкость в одной ветви и, если при этом защищенность увеличивается, то подбирают такое значение, которое обеспечивает наибольшую защищенность цепей. Если же при увеличении емкости первого конденсатора защищенность снижается, то устанавливают минимальный размер этого конденсатора и увеличивают емкость второго конденсатора до получения наибольшего значения защищенности. После манипуляций с емкостями увеличивают сопротивление в той цепи, в которую введен конденсатор. В случае уменьшения защищенности при изложенных манипуляциях переключатель П (рис. 2.1) переводят в другое положение и повторяют описанный раньше процесс подбора элементов противосвязи.

Значения емкостей конденсаторов постоянных контуров противосвязи отсчитывают по шкале конденсаторов C_1 и C_2 , а значение сопротивления – по положению переключателей магазина сопротивления.

По окончании концентрированного симметрирования осуществляют контрольные измерения защищенности на дальнем конце, переходного затухания на конце ближнего с помощью прибора ВИЗ-2Б (или ВИЗ-600) с изменением мест цепи, которые влияют и подвергаются влиянию (A_{12} и A_{21}).

В протоколе отчета необходимо начертить частотную характеристику A_3 и A_0 .

Провести измерение A_3 на промежуточных частотах 50, 100, 150, 200 кГц и результаты занести в таблицу (приложение 9.1).

2.1 Основные сведения о принципе действия прибора ВИЗ-2Б

Панорамный (визуальный) измеритель переходного затухания ВИЗ предназначен для быстрых измерений частотных характеристик переходного затухания между двумя цепями в симметричном кабеле. Им можно измерять переходное затухание на ближнем и защищенность на дальнем конце при симметрировании кабеля в диапазоне до 300 кГц (ВИЗ-2Б) и до 600 кГц (ВИЗ-600).

Приборы ВИЗ используются преимущественно при строительстве кабельных магистралей, а также могут быть применены при проведении контрольных профилактических измерений.

Принцип действия прибора может быть объяснен таким образом (рис. 2.2).

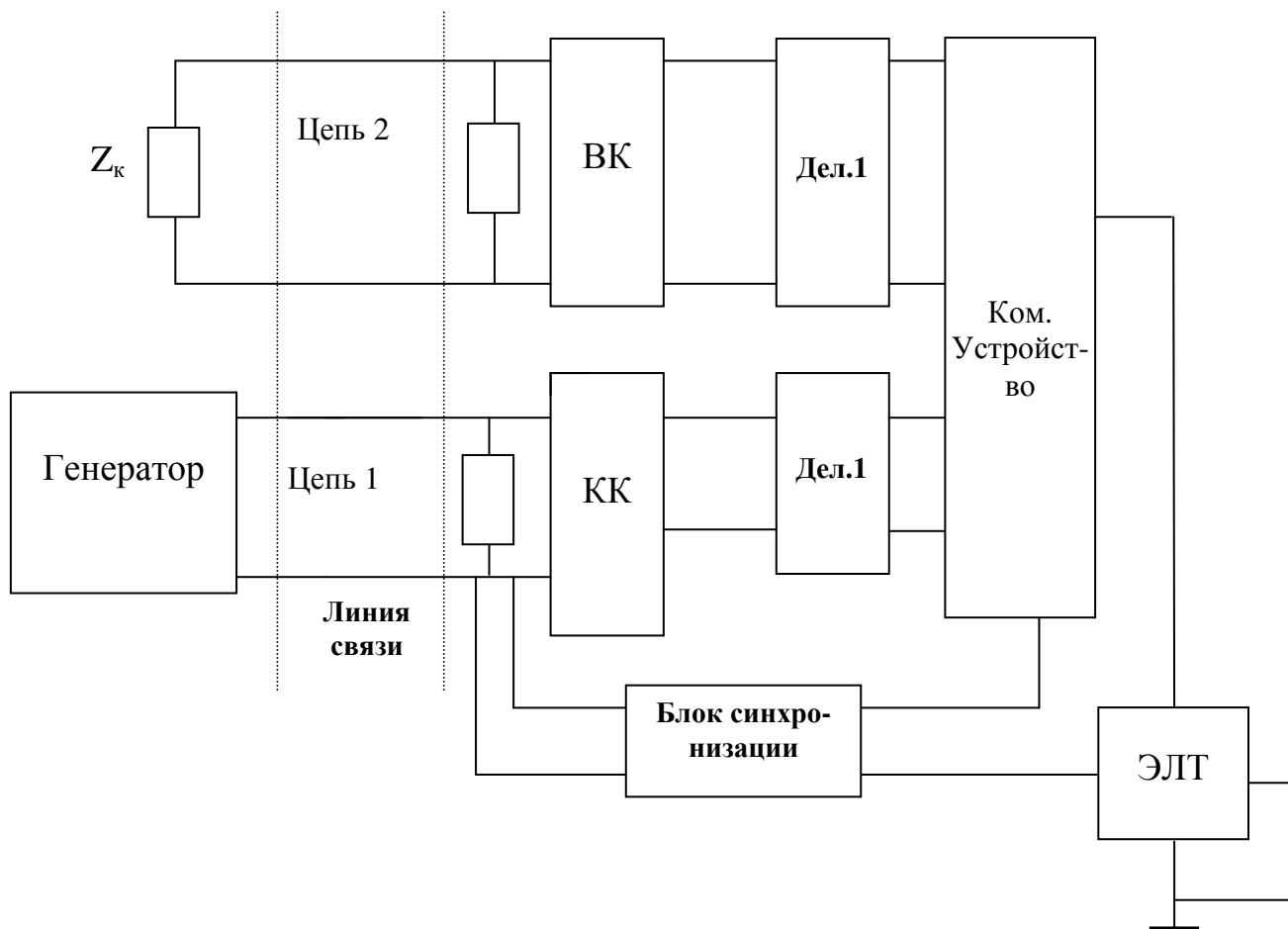


Рисунок 2.2 – Блок-схема прибора ВИЗ и его подключение при измерении защищенности на дальнем конце

Луч электронно-лучевой трубки (ЭЛТ) ощущает по горизонтали действие генератора развертки (ГР), которое выдает напряжение, которое линейно зависит от времени. Этим же напряжением управляется и изменение частоты в генераторе качающейся частоты (ГКЧ). ГКЧ подает неизменные по амплитуде, но переменные по частоте колебания на вход измеряемого объекта (ИО), который подавляет амплитуды разных частот в разной мере. Если из сигнала на выходе ИО выделить огибающую с помощью детектора Д и подать ее на вертикальные пластины ЭЛТ, то на экране будет нанесена частотная зависимость затухания измеряемого участка. Но такая схема непосредственного измерения затухания недостаточно точна. Поэтому в ВИЗ-2Б (или ВЕЗ-600) используется метод сравнения (рис. 2.2), то есть в приборе создается дополнительный контрольный канал (КК), затухание которого можно установить произвольно и сравнивать с затуханием ИО. Для того чтобы увеличить помехозащищенность измеряемого сигнала, вводят дополнительную модуляцию сигнала по амплитуде. Как следствие, на выходе генератора, сконструированного в отдельном от индикатора блоке, возникает сложный сигнал: изменение частоты по линейному закону с одновременным изменением амплитуды по синусоидальному закону с частотой 1 кГц, потом короткий перерыв и повторение сигнала. Этот сложный сигнал генератора подается на вход влияющей цепи 1. Приемная часть индикатора имеет два канала – измерительный и контрольный. Контрольный канал "Линия 1" подключается или непосредственно к генератору (при настройке и измерении переходного затухания на ближнем конце – рис. 2.4), или к выходу влияющей цепи (при измерении защищенности на дальнем конце – рис. 2.5).

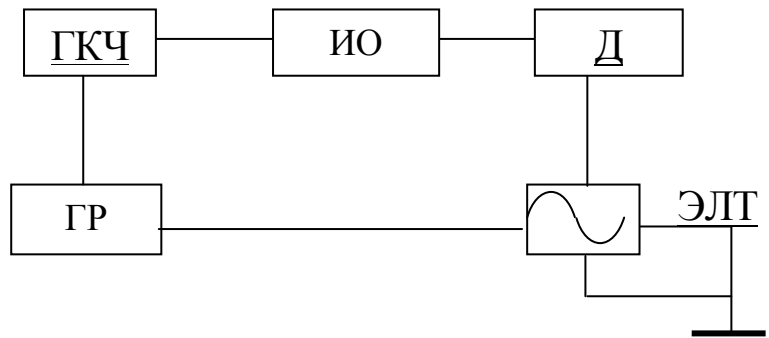


Рисунок 2.3 – Принцип действия прибора ВИЗ

Измерительный канал "Линия 2" подключается или ко входу цепи, которая подвергается влиянию (при измерении переходного затухания на ближнем конце – рис. 2.4), или к ее выходу (при измерении защищенности на дальнем конце – рис. 2.5).

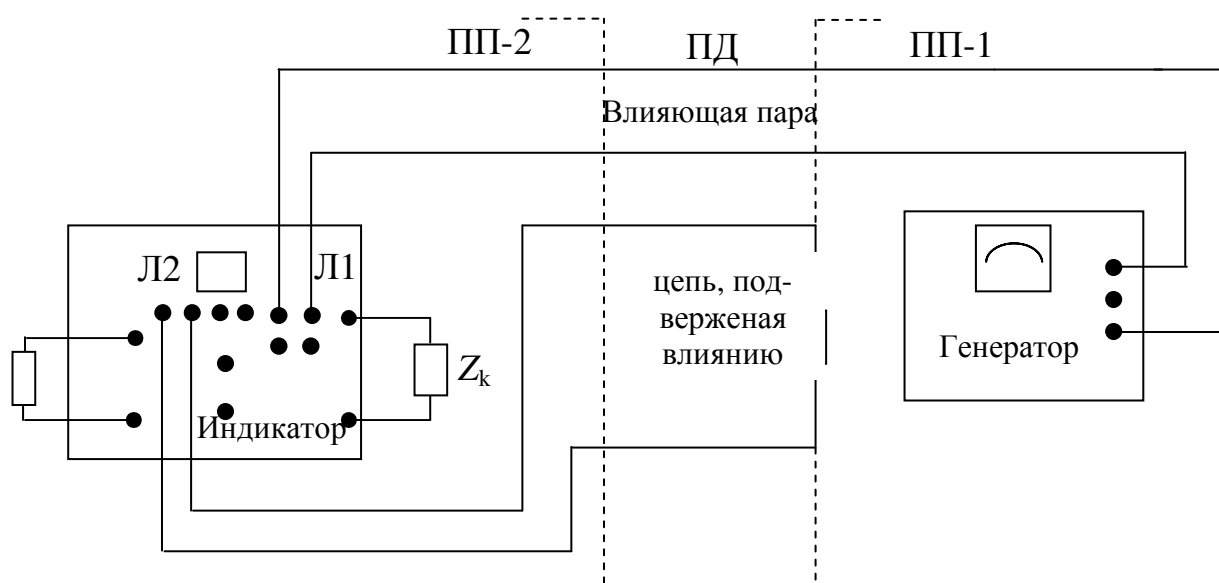


Рисунок 2.4 – Схема измерения переходного затухания на ближнем конце

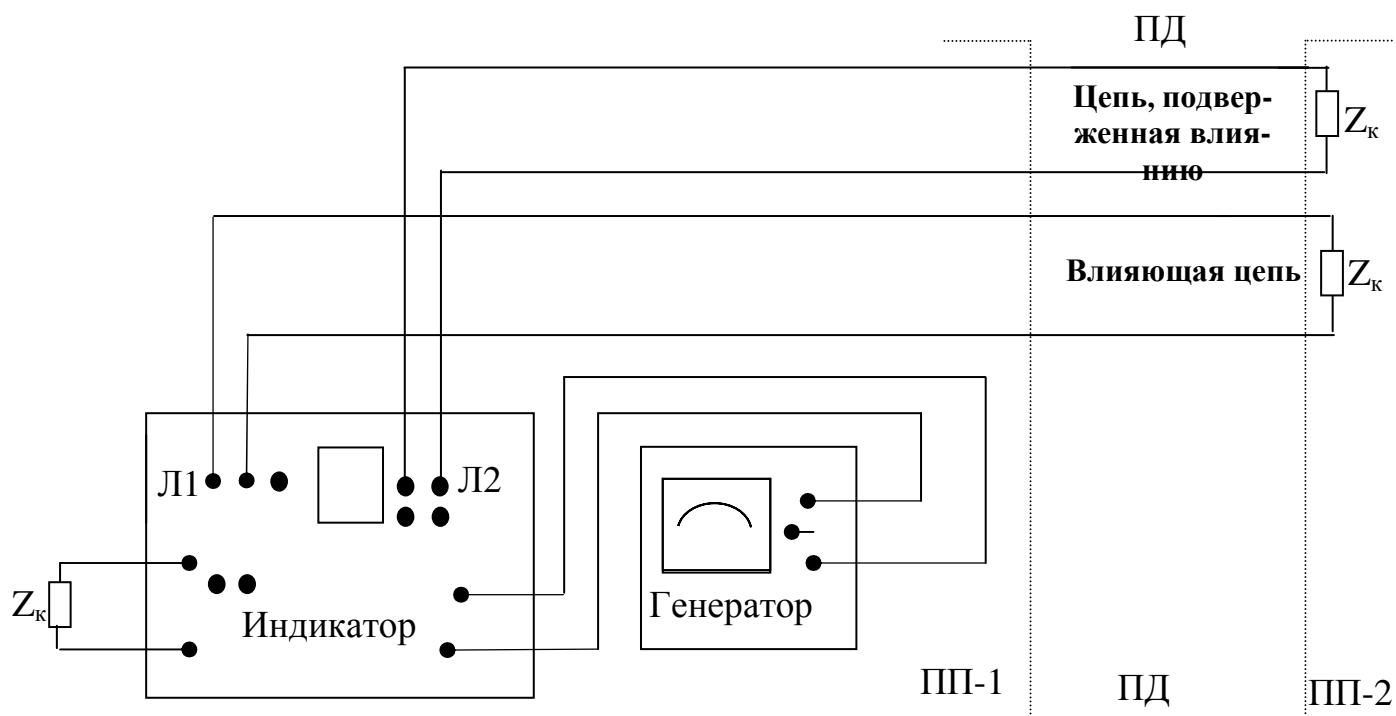


Рисунок 2.5 – Схема измерения защищенности на дальнем конце

Известно, что в первом приближении, при передаче амплитудно-модулируемого колебания, затухание на несущей частоте равняется затуханию выделенной огибающей этого колебания. Следовательно, если колебание частоты, которая изменяется по линейному закону, промодулировано колебанием низкой частоты и передано через ИО, то огибающая колебания низкой частоты будет от-

вечать частотной характеристике ИО. Эту огибающую колебания можно пропустить через узкополосный фильтр, который значительно уменьшит влияние шумов. После повторного детектирования колебания постоянная составляющая подается на вертикально отклоняющие пластины ЭЛТ. Луч ЭЛТ отклоняется от своей горизонтальной оси пропорционально напряжению сигнала или помехи, в зависимости от того, какой канал с помощью коммутируемого устройства "Ком." подключается к ЭЛТ. Потому расстояние между двумя лучами будет определять помехозащищенность сигнала на той или иной частоте (рис. 2.6).

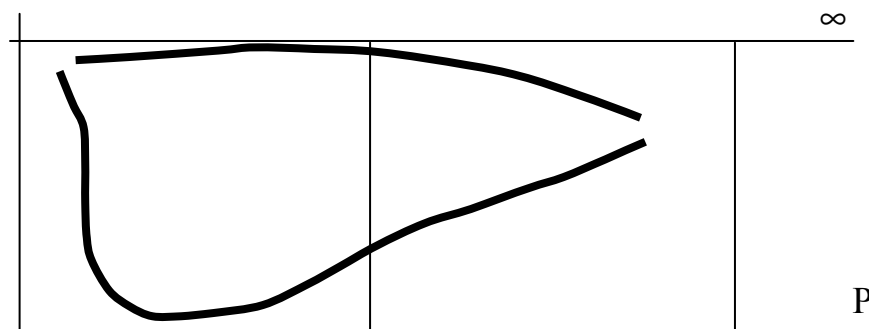


Рисунок 2.6 – Расстояние между двумя лучами помехозащищенности сигнала на той или иной частоте

величина переходного затухания определяется разницей показателей делителей напряжения (Дел. 1, Дел. 2) с учетом разницы уровней, отсчитанных между соответствующими точками характеристик, видимых на экране трубки. Если соединить в заданной точке кривые контрольного и измерительного каналов, то измерение будет точнее, потому что в этом случае размер переходного затухания отсчитывается по показателям делителей напряжения.

При симметрировании точный отсчет обычно нужен лишь для определения минимального размера переходного затухания.

Синхронизация переключения каналов проводится теми же синхроимпульсами, которые используются для синхронизации генераторов развертки.

При измерении длинных усилительных участков измерительная характеристика быстро поднимается вверх, размещаясь на половине диаметра ЭЛТ. Для того, чтобы сделать характеристику более наклонной, применяют корректирующие контуры.

Для получения частотных оценок (частотного масштаба) в приборе есть два маркерных устройства. Маркерное устройство содержит шесть резонансных контуров, настроенных на частоты 15, 50, 100, 150, 200 и 250 кГц, которые включаются в схему кнопкой. При включении контуров на контрольной характеристике появляются всплески (контрольные отметки), которые отвечают упомянутым частотам.

2.2 Правила пользование прибором ВИЗ-2Б

Общие сведения

Измеритель переходного затухания панорамный (визуальный), предназначен для быстрых измерений частотных характеристик переходного затухания между двумя цепями симметричного кабеля, как на ближнем, так и на дальнем концах.

Возможно, также использовать прибор для измерения переходного затухания между цепями ВЛС.

Основные технические характеристики прибора:

- рабочий диапазон частот измерителя 12 ... 150 и 15 ... 300 кГц;
- максимально измеряемое значение переходного затухания 139 дБ (16 Нп);
- погрешность измерения затухания не превышает 1,74 дБ ($\pm 0,2$ Нп);
- питание измерителя осуществляется или от аккумуляторных батарей 220 и 6,5 В, от аккумуляторных батарей 12 В с использованием преобразователя напряжения типа ПН-12/220, или от сети переменного тока 110, 127, 220 В с допустимыми колебаниями ± 10 %;
- конструктивно измеритель состоит из двух переносных блоков: генератора и индикатора.

2.3 Органы управления прибором

На передней панели генератора расположены основные органы управления его работой:

- 2.3.1 Выключатель питания с сигнальной лампочкой;
- 2.3.2 Переключатель диапазонов;
- 2.3.3 Регулятор входного уровня;
- 2.3.4 Колодка с входными гнездами, расположенная в верхнем правом углу;
- 2.3.5 Двойной тумблер для включения корректирующего контура, который размещен в правой части генератора, сбоку;
- 2.3.6 Стрелочный прибор, который отмечает в среднем положение ключа, который находится под прибором, уровень сигнала на выходе генератора. В крайних положениях ключа измеряются напряжение накаливания и анодное напряжение. Напряжение накаливания регулируется с помощью ступенчатого регулятора, который расположен слева от стрелочного прибора;
- 2.3.7 Под переключателем диапазонов размещены ручки сопротивлений регулировки ширины сдвига частот диапазонов, а также регулировки частоты развертки; эти ручки закрыты крышкой.

На передней панели индикатора в верхней части находится экран трубки. На этой же панели размещены ручки управления лучом (яркость и фокусировка), частотой развертки и вертикального масштаба.

Ниже расположен тумблер включения питания с неоновой лампочкой и тумблер включения внешнего маркера.

На нижней вертикальной части панели расположены входные гнезда и ручки делителей напряжения – левая ручка принадлежит делителю измерительного канала, две правых ручки – делителю контрольного канала. Ниже делителей расположены шесть кнопок резонансных контуров маркерного устройства. В правом нижнем углу есть клеммы для подключения внешнего генератора. Между входными колодками находится стрелочный прибор, который измеряет напряжение накала, анода.

2.4 Порядок подключения и проверка работы прибора

(Выполняется по указанию преподавателя)

2.4.1 Подключить к генератору и индикатору шнуры питания, включить приборы тумблерами питания, при этом должны засветиться неоновые лампочки.

2.4.2 Проверить напряжения накаливания и анодное напряжение. Напряжение накаливания должно быть $6,3 \pm 10 \%$; анодное напряжение – $220 \text{ В} \pm 10\%$.

2.4.3 Через 1–2 минуты после включения на экране трубки должна появиться светлая линия. Следует установить необходимую яркость свечения луча и сфокусировать луч с помощью ручек "Яркость" и "Фокус".

2.4.4 Соединить исходные гнезда генератора с исходными гнездами "Генератор" на индикаторе. В гнездо "Линия 1" вставить нагрузочное сопротивление "ВІЗ-2-170 Ом".

2.4.5 Поставить оба делителя контрольного канала в положение "0", а делитель измерительного канала – в положение "+4". При этом на экране трубки должны появиться две линии: одна должна проходить по линии шкалы " ∞ ", вторая (контрольная характеристика) – по линии "0 Нп". Если это не выполняется, то регулируют сначала положение характеристики, которая проходит по линии " ∞ " ручкой "Сдвиг вертикали", которая содержится на правой стороне индикатора, потом ручкой "Масш. Непер" регулируется контрольная характеристика, таким способом, чтобы она проходила приблизительно по линии "0 Нп".

2.4.6 Проверить диапазон частот генератора, для чего нажать кнопки резонансных контуров на индикаторе "15 кГц" и "150 кГц" для I диапазона при соответствующем положении переключателя диапазонов генератора. Потом, переключив переключатель диапазонов, нажать кнопки "15 кГц" и "250 кГц" для II диапазона. На контрольной характеристике должны появиться всплески в начале и в конце характеристики.

Если диапазон окажется сдвинутым по частоте или полоса частот не соответствует номиналу, провести регулировку диапазонов ручками "Ширина" и "Сдвиг" генератора для соответствующего диапазона. Сначала регулировка осуществляется ручкой "Ширина", а затем ручкой "Сдвиг".

Для возобновления синхронизации частоты развертки генератора и индикатора необходимо ручку "Част. развертки" в индикаторе поставить в крайнее левое положение. Ручкой "Част. развертки" в генераторе отрегулировать частоту развертки до получения стойкой синхронизации по длине линии на экране трубки около 80 ... 90 мм (в пределах вертикальной отметки). Вращением ручки "Част. развертки" в индикаторе вправо получить длину линии развертки до 100 мм.

2.4.7 Включить градуировочный удлинитель (с колодкой 8,5 Нп) между гнездами "Линия 1" и "Линия 2". При этом нагрузочное сопротивление "ВИЗ-2-170 Ом" должно быть переставлено в гнездо "Нагрузка".

2.4.8 Переключателями делителей напряжения добиться совпадения характеристик на экране трубки. Сумма показателей всех делителей должна быть $8,5 \text{ Нп} \pm 0,1 \text{ Нп}$. На этом проверка работы измерителя завершается.

2.5 Измерение переходного затухания на ближнем конце

2.5.1 Снять градуировочный удлинитель. Гнездо "Линия 1" соединить шнуром со входом влияющей цепи, гнездо "Линия 2" – с цепью, подверженной влиянию. Нагрузочное сопротивление с надписью "ВИЗ-2-170 Ом", которое отвечает размеру волнового сопротивления линии, должно быть включено в гнезда "Нагрузка". На дальнем конце обе линии также должны быть нагружены на сопротивления, соответствующие сопротивлению линии.

2.5.2 Установить на генераторе необходимый диапазон частот измерения. Отсоединить корректирующий контур тумблером "Корр. конт.". Установить на выходе генератора мощность +5 Нп.

2.5.3 Делитель измерительного канала поставить в положение "+4 Нп". Контрольная характеристика должна проходить по линии "0 Нп". (Регулировка осуществляется ручкой "Масш. Непер." и ручкой правого делителя контрольного канала). Второй делитель контрольного канала поставить в положение "0".

2.5.4 Проверить диапазон частот генератора по маркерам нажатием кнопок, в случае необходимости подрегулировать, как было описано в п. 6 предыдущего раздела.

2.5.5 Переключателем делителя измеряемого канала (левый переключатель) установить размер сигнала таким способом, чтобы изображение измеряемой частотной характеристики, находилось внутри экрана и не опускалось ниже линии "0 Нп".

2.5.6 Регулированием делителя контрольного канала (средний делитель) добиться совпадения частотных характеристик затухания, определение размера затухания при этом выполняется путем алгебраического суммирования показаний всех три делителей.

2.6 Измерение защищенности на дальнем конце

2.6.1 Выходные гнезда генератора соединить со входом влияющей цепи, на УП₁ установить на генераторе необходим диапазон частот.

2.6.2 На УП₂ соединить выход влияющей цепи с гнездами индикатора "Линия 1", а выход цепи, подверженной влиянию – с гнездами "Линия 2".

2.6.3 В гнезда индикатора "Генератор" и "Нагрузка" включить сопротивление "ВИЗ-2-170 Ом". Дальний конец влияющей линии и ближний конец цепи, подверженной влиянию, нагрузить на сопротивления, равные волновому сопротивлению линии.

2.6.4 Уровень на выходе генератора установить + 5 Нп.

2.6.5 Регулировкой делителя контрольного канала установить изображение контрольной характеристики внутри экрана. Последующие операции по измерению защищенности проводятся аналогично пп. 5 и 6 предыдущего раздела.

3 КЛЮЧЕВЫЕ ВОПРОСЫ

3.1. Какие физические явления приводят к влиянию между цепями ВЧ кабелей?

3.2. Что такое переходное затухание на ближнем и дальнем концах?

3.3. В чем заключается физическая суть защищенности?

3.4. Как отличить конец А строительной длины кабеля от конца Б?

3.5. С какой целью осуществляется скрещивание в цепи кабеля?

3.6. Нормы переходного затухания на ближнем конце и защищенности на дальнем конце.

3.7. Что такое симметрирование?

3.8. Какие методы симметрирования ВЧ кабелей Вы знаете?

3.9. Почему необходимо в ходе симметрирования цепей, которые являются взаимновлияющими, менять их местами?

3.10. Какой метод измерений используется в приборе ВИЗ-2Б?

3.11. Как проводятся измерения переходного затухания на ближнем конце?

3.12. Как и где, можно включить контур противосвязи при измерении Аз?

3.13. Чем объяснить положительное действие контура противосвязи?

4 ДОМАШНЕЕ ЗАДАНИЕ

Пользуясь рекомендованной литературой, изучить:

4.1. Причины взаимных влияний и параметры влияний между цепями кабельных линий передачи.

4.2. Методы измерений переходных затуханий.

4.3. Нормы переходного затухания между цепями на строительные длины и усилительные участки.

4.4. Методы уменьшения взаимного влияния между цепями.

4.5. Ознакомление с принципом действия прибора ВИЗ-2Б и пользования им в ходе измерений.

5 ЛАБОРАТОРНОЕ ЗАДАНИЕ

- 5.1. Ознакомиться с оборудованием данной лабораторной работы.
- 5.2. Проверить и в случае необходимости, настроить прибор ВИЗ-2Б.
- 5.3. Собрать схему измерения защищенности на дальнем конце.
- 5.4. Измерять значение A_3 1/2 и A_3 2/1 для двух разных комбинаций операторов скрещивания в трех муфтах.
- 5.5. Выбрать оптимальную комбинацию операторов, которые обеспечивают максимальное значение защищенности.
- 5.6. Начертить частотную характеристику A_3 1/2 и A_3 2/1 до и после скрещивания.
- 5.7. Если скрещиваниям нельзя добиться выполнения нормы, то провести симметрирование РС контуром. Для этого контур включить в свободные гнезда колодок "Линия 1" и "Линия 2". Определить элементы контура и жилы, к которым они подключаются.
- 5.8. Подобрать соответствующие резисторы и конденсаторы, подключить их к средней муфте. Проверить значение A_3 1/2 и A_3 2/1.
- 5.9. Собрать схему измерения переходного затухания на ближнем конце. Измерить A_0 с двух концов усилительного участка.
- 5.10. Сравнить измеренные значения A_3 и A_0 с нормами.
- 5.11. Начертить частотную характеристику A_0 .

6 АППАРАТУРА

- 6.1. Прибор ВИЗ.
- 6.2. Переключатель скрещивания.
- 6.3. Контур противосвязи.
- 6.4. Нагрузочные сопротивления.
- 6.5. Макет усилительного участка кабеля, на котором выделены на лицевой части панели симметрирующие муфты и гнезда боксов УЛ.

7 СОДЕРЖАНИЕ ПРОТОКОЛА

- 7.1. Схемы измерения A_3 и A_0 .
- 7.2. Ведомость измерения A_3 для двух разных комбинаций операторов.
- 7.3. Графика зависимости A_3 и A_0 от частоты.
- 7.4. Схема контура противосвязи, его включения и величины элементов.
- 7.5. Выводы.

8 ЛИТЕРАТУРА

8.1. Гроднев И. И., Верник С. М. Линии связи. – М.: Радио и связь, 1988. – С. 544.

8.2. Гроднев И. И. Линейные сооружения связи. – М.: Радио и связь, 1987. – С. 304.

8.3. Инженерно-технический справочник по электросвязи. Кабельные и воздушные линии связи. – М.: Связь, 1966. – С. 671.

9.2 Нормы электрических характеристик ВЧ симметричных кабелей на переменном токе

№ № п п	Наименование характеристик	Диапазон частот	Количе- ство ком- бинаций	Н о р м а %		
				100	90	65
1	Распределение значений за- щищенности на дальнем конце, дБ (Нп), не меньше	12...252 (К...60)				
	а) кабель емкостью – 4×4	12...108	56	71,22 (8,2)	73,83	78,17
	б) кабель емкостью – 7×4		182	72,96 (8,4)	(8,5) 74,70	(9,0) 78,17
	в) кабель – 1×4 (для зоновой связи)		2	75,57 (8,7)	(8,6)	(9,0)
2	Распределение защищенно- сти на ближнем конце, дБ (Нп)	12...252 (К...60)				
	не меньше	12...108	28	59,06	60,08	
	а) кабель емкостью – 4×4		91	59,06	60,08	
	б) кабель емкостью – 7×4		1	59,06	60,08	
	в) кабель емкостью – 1×4					

Лабораторная работа № 3**ИССЛЕДОВАНИЕ УДЕЛЬНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ
ОДНОРОДНОЙ ЗЕМЛИ И СОПРОТИВЛЕНИЯ ЗАЗЕМЛЕНИЙ****1 ЦЕЛЬ РАБОТЫ**

Изучение оборудования заземляющих устройств, применяемых в технике связи, и методов определения удельного сопротивления однородной земли и сопротивлений заземлений.

Материалы данной работы могут быть использованы для проведения лабораторной работы, учебно-исследовательской работы и в дипломном проектировании.

2 КЛЮЧЕВЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Свойства земли как проводника тока, характеризуются величиной электрического удельного сопротивления земли ρ_z (Ом·м), которое представляет собой сопротивление, оказываемое 1 м³ земли прохождению тока от одной грани куба к другой; оно зависит от структуры земли, ее влажности и температуры, наличия растворимых химических веществ (кислот, щелочей, продуктов гниения и др.).

Определение удельного сопротивления земли проводится для оценки ее агрессивности, расчета блуждающих токов, для оценки коррозионного состояния подземных кабелей и других металлических сооружений, находящихся в земле. Сопротивление грунта является также одним из главных параметров при оценке возможности повреждения кабеля в результате попаданий молнии, при определении влияний внешних электромагнитных полей и выборе мер защиты от них.

Удельное сопротивление земли является одним из параметров, определяющих величину сопротивления заземления:

- установок проводной связи, которые служат для работы аппаратуры по цепи, составной частью которой является земля;
- молниеотводов, разрядников, металлических устройств связи;
- металлических оболочек, экранов кабелей и экранов аппаратуры.

Земля (почва и грунты) является проводником электрического тока, который имеет огромные размеры. Она широко используется при работе различного рода электроустановок.

Электрическая связь между частями электроустановок и землей осуществляется с помощью заземляющих устройств. Заземляющее устройство представляет собой совокупность заземлителей – проводников, находящихся в непосредственном контакте с землей и используемых для соединений с ней частей электроуста-

новки, и заземляющих проводников – металлических проводников, предназначенных для соединения частей электроустановки с заземлителем.

Заземлением любой части электрической установки называется преднамеренное соединение ее с заземляющим устройством, с целью сохранения на ней необходимого потенциала и обеспечения нормальной работы системы или ее элементов в выбранном для них режиме.

Телефонные, телеграфные и междугородные станции, а также усилительные или регенерационные пункты и радиотрансляционные узлы оборудуются специальными станционными заземлениями, основными видами которых являются: рабочее, защитное, линейно-защитное и измерительное.

Виды, количество и величина сопротивления станционных заземлений определяются в соответствии с нормативными документами в зависимости от типа станции, системы питания аппаратуры, вида линейных сооружений и способа их ввода в станцию, удельного сопротивления земли и других факторов.

2.1 Измерение удельного сопротивления земли прибором МС-08

Схема измерения представлена на рисунке 2.1. Для измерения необходимо выполнить следующие условия:

- расстояние между электродами a должно быть не менее, чем двойная глубина залегания кабеля H (0,8–1,2 м): $a \geq 2H$;
- глубина размещения электродов в почве h должна быть не менее $1/20$ расстояния между электродами ($h \geq a/20$, где h – глубина погружения электродов в грунт).

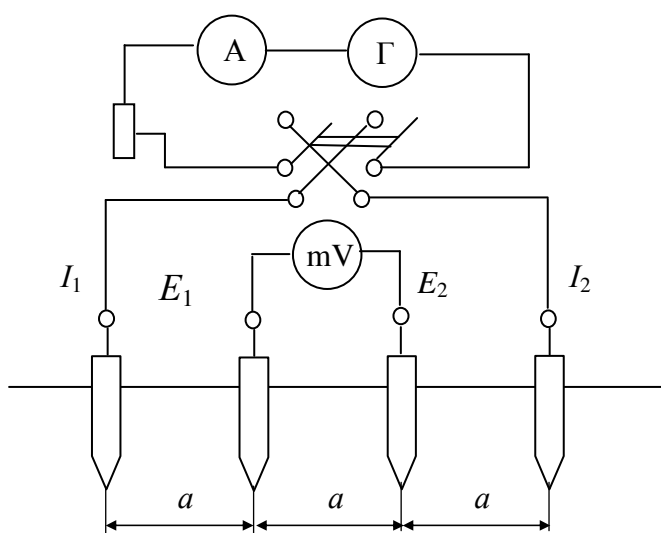


Рисунок 2.1 – Схема измерения удельного сопротивления земли прибором МС-08

Порядок измерения:

2.1.1. Внешние электроды (токовые) присоединить к зажимам I_1 и I_2 , а внутренние (потенциальные) – к зажимам E_1 и E_2 .

2.1.2. Снять перемычку между зажимами I_1 и E_1 .

2.1.3. Провести установку стрелки прибора на красную черточку с помощью реостата в положении переключателя «Рег.» и вращение ручки со скоростью, которая приблизительно равна 135 об/мин.

2.1.4. Добившись совпадения стрелки с красной черточкой шкалы, перевести переключатель границ измерения в одно из положений:

«х 1» (при $R \geq 100 \text{ Ом}$), «х 0,1» (при $R < 100 \text{ Ом}$) или «х 0,01» (при $R < 10 \text{ Ом}$).

2.1.5. При вращении ручки генератора со скоростью 135 об/мин снять и записать показание прибору с учетом множителя. Рассчитать удельное сопротивление земли по формуле:

$$\rho_z = 2\pi R a, \quad (2.1)$$

где ρ_z – рассчитанное значение удельного сопротивления земли, Ом·м;

R – показание прибора, Ом;

a – расстояние между заземлениями, м.

Примечание. Измерение необходимо повторить несколько раз при разных значениях a . Это позволит определить структуру земли в районе измерений.

Изменяя расстояние между электродами, то есть, увеличивая длины питающей и измерительной цепей, можно получать те или другие значения ρ_z . Если эти величины приблизительно равны между собой, то это значит, что почва однородна на разных глубинах; если полученные величины отличаются одни от других, то мнимое значение удельного сопротивления земли стоит определять по специальным кривым (палеткам).

2.2 Измерение сопротивления заземления прибором МС-08

Для измерения нужны вспомогательное заземление и зонд, размещенные согласно рисунку 2.2. Заземление R_x , которое испытывается, подключается к зажимам I_1 и E_1 , соединенными перемычкой. К зажимам I_2 и E_2 подсоединяются вспомогательное заземление ВЗ и зонд 3.

Перед измерением стоит сделать компенсацию сопротивления зонда, для чего переключатель режимов устанавливается в положение «Рег.», и, вращая ручку генератора со скоростью 135 об/мин, ручкой реостата поставить стрелку прибора на красную отметку шкалы.

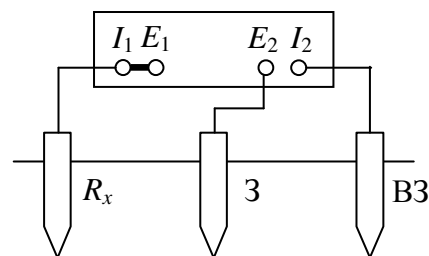


Рисунок 2.2 – Схема измерения сопротивления заземления прибором МС-08

ВНИМАНИЕ! Нельзя вращать ручку генератора в положении переключателя «Рег.» и отключенных заземлениях. Начинать вращение нужно медленно, наблюдая за стрелкой, потому что в случае обрыва потенциальной цепи стрелка резко ударится об упор, что может привести к повреждению прибора.

Если при крайнем положении реостата установить стрелку на красную черточку не удастся, а схема измерений собрана правильно, значит сопротивление зонда больше 1000 Ом (что возможно, например, в сухой песчаной почве). В этом случае сопротивление зонда необходимо уменьшить.

После компенсации сопротивления зонда переключатель переводят в положение «×1», то есть граница 1000 Ом, и делают измерение, вращая ручку генератора со скоростью 135 об/мин. При малом отклонении стрелки переходят

последовательно на шкалы 100 Ом ($\times 0,1$) или 10 ($\times 0,01$). Отсчет проводится непосредственно по шкале в Ом с учетом выбранного множителя.

2.3 Измерение удельного сопротивления земли прибором М-416

Схема измерения представлена на рис. 2.3. При этом необходимо выполнять условия измерения, изложенные в разд. 2.1 данного методруководства.

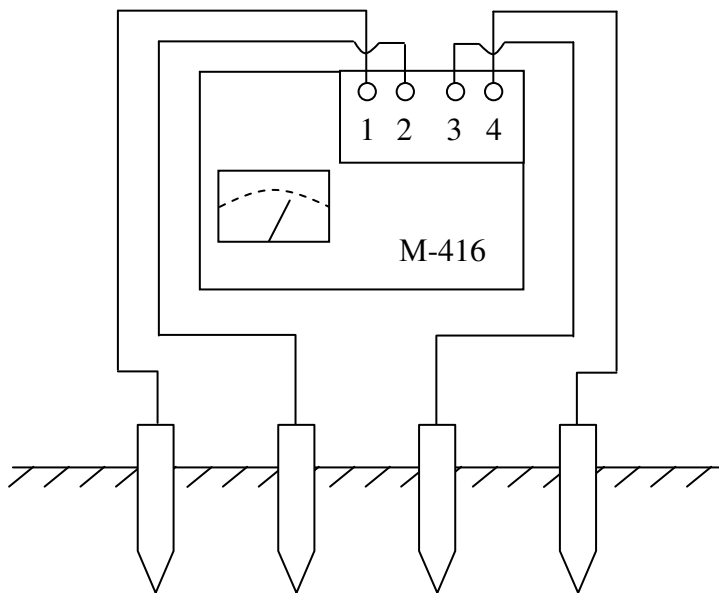


Рисунок 2.3 – Схема измерения удельного сопротивления земли прибором М-416

Перед измерением необходимо подготовить прибор к работе. При этом установить переключатель В1 в положение «Контроль 5», нажать кнопку и вращением ручки «Реохорд» добиться установления стрелки индикатора на нулевую отметку. На шкале реохорда должно быть показание $5,0 \pm 0,3$ Ом.

Порядок измерения:

2.3.1 Переключатель В1 установить в положение «х 1».

2.3.2. Нажать кнопку и, вращая ручку «Реохорд», добиться максимального приближения стрелки индикатора к нулевой отметке на шкале.

2.3.3. Результат измерения равняется произведению показания

шкалы реохорда на множитель, который соответствует положению переключателя В1. Если измеряемое сопротивление окажется больше 10 Ом, то переключатель поставить в положение «х 5», «х 20» или «х 100» и проделать операции в соответствии с п. 2 и 3.

Получив показание прибора, расчет удельного сопротивления земли выполняют по формуле (1) с учетом примечания, изложенного в разд. 2.1.

В исключительных случаях для оценки определения удельного сопротивления земли используют следующую формулу:

$$\rho_z = 2,73R_e \frac{h}{\lg \frac{4h}{d}}, \quad (2.2)$$

где R_e – сопротивление электрода известных размеров (может быть получено измерением по схемой, представленной на рисунке 2.2, с использованием приборов типа МС-08, П-416 и тому подобное), Ом;

h – глубина погружения электрода при измерениях, м;

d – диаметр электрода, м;

ρ_z – удельное сопротивление земли на глубине расположения электрода, Ом·м.

2.4. Измерение сопротивления заземления прибором М-416

Измеряемый заземлитель, вспомогательный электрод и зонд подключаются к прибору согласно с рис. 2.4, а, или с рис. 2.4, б. При измерении по схеме, представленной на рис. 2.4, а, в результат измерения входит и сопротивление провода, которое соединяет зажим с R_x . Потому такое включение используется, когда не нужно точное измерение или при измерении сравнительно больших (больше 1 Ом) сопротивлений.

Измерение при любой схеме осуществляется в том же порядке, что и при измерении удельного сопротивления земли (см. разд. 2.3).

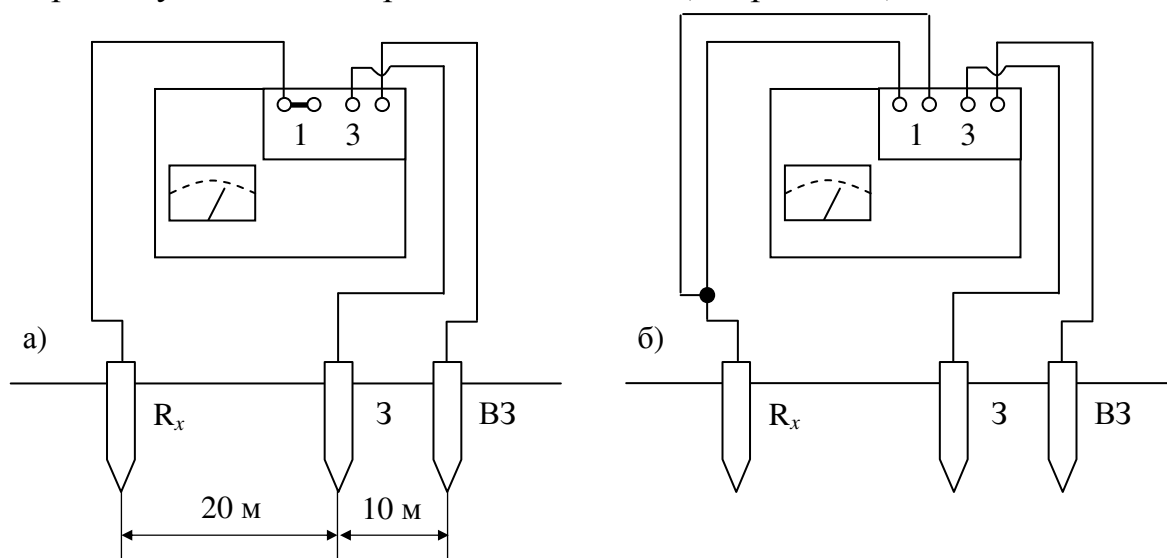


Рисунок 2.4 – Схема измерения сопротивления заземления прибором М-416

2.5 Оценка погрешности измерения сопротивления заземлений

Обычно определяют погрешность, выраженную в процентах от действительного значения измеряемой величины (относительная погрешность).

Если все требования к измерениям выполнены, относительная погрешность измерения определяется из выражения:

$$\delta = \delta_1 + \delta_{\text{эцл}} , \quad (2.3)$$

где δ – общая относительная погрешность измерения;

δ_1 – 5-процентная погрешность, обусловленная малыми расстояниями измерительных электродов;

$\delta_{\text{изм}}$ – относительная погрешность измерения, обусловленная измерителем заземления.

Относительная погрешность измерения определяется выражением:

$$\delta_{\text{изм}} = \frac{+\Delta R_3}{R_3} \cdot 100, \quad (2.4)$$

где ΔR_3 – погрешность прибора (погрешность прибора МС-08 не превышает $\pm 1,5\%$ всей длины шкалы, а в М-416 – $\pm 5\%$);

R_3 – измеренное значение сопротивления заземления.

Размещение измерительных электродов в плане имеет определяющее влияние на результат измерения R_3 и является главным в измерениях. Для измерения сопротивления сложных заземлений, а также заземлений в виде одиночных горизонтальных полос стоит применять схемы размещения электродов, изображенные на рис. 2.5, 2.6.

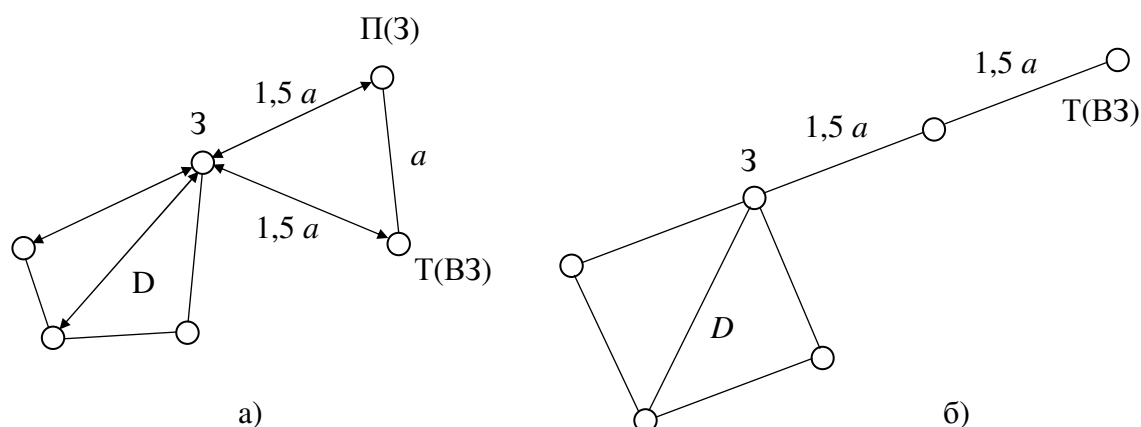


Рисунок 2.5 – Схемы размещения электродов при измерениях сопротивлений составных заземлителей и одиночных горизонтальных полос:

а – двулучевые, б – однолучевые

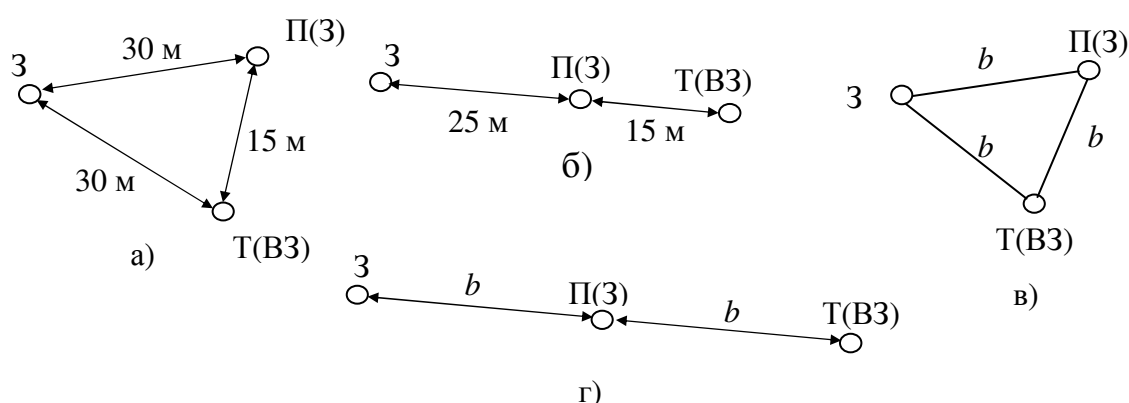


Рисунок 2.6 – Схемы размещения электродов при измерении сопротивлений одиночных вертикальных заземлителей:

а, в – двулучевые; б, г – однолучевые

За размер D стоит принимать: для заземлительных сеток и для заземлений, которые состоят из заземлительных сеток или контура и вертикальных электродов, – длину большей диагонали; для заземлений, которые состоят из вертикальных электродов, размещенных в ряд и объединенных горизонтальной полосой, – длину полосы; для заземлений в виде одиночной горизонтальной полосы – длину полосы. Размер a стоит принимать в зависимости от размера D , исходя из следующих соотношений: $D > 20$ м, $a \geq D$; $40\text{м} \geq D > 10\text{м}$, $a \geq 40\text{м}$; $10\text{м} \geq D$, $a \approx 20\text{м}$.

При измерении сопротивлений одиночных вертикальных заземлений длиной до 6 м стоит применять схемы размещения электродов, изображенные на рис. 2.5, а, б, а для заземлений длиной свыше 6 м – схему на рис. 2.6, в, г. Расстояние b стоит принимать не меньше $3D$, где D – длина вертикального заземления.

Относительная погрешность измерения, предопределенная малыми расстояниями между электродами, при использовании схем, приведенных на рис. 2.5 и 2.6, не превышает $\pm 5\%$.

Расстояния электродов между собой и от заземлителя необходимо отмерять как можно точнее, пользуясь, рулеткой длиной 10 метров и более. В случае несоблюдения этих условий появляются дополнительные погрешности измерений.

Количество штырей в одном электроде зависит от необходимого сопротивления электрода и от удельного сопротивления поверхностного слоя земли. Для укладки потенциального электрода в большинстве случаев достаточно одного штыря. Для укладки токового электрода в сухих песчаных или мерзлых почвах может понадобиться три – четыре и больше соединенных электродов. Штыри стоит забивать в плотную (ненасыпную) почву на глубину не менее 0,5 м. В почвах с большим удельным сопротивлением места забивки штырей увлажняют водой, раствором соли, кислоты или уплотняют.

2.6 Учет сезонных изменений удельного сопротивления земли и сопротивление заземлений

Измерение ρ_z проводится, как правило, при благоприятных грунтовых условиях в теплое время года. Однако летом при наибольшем высыхании земли и зимой при наибольшем ее промерзании величина ρ_z в слое сезонных измерений оказывается максимальной. Эта максимальная расчетная величина ρ_m и используется при проектировании. Ее определяют по формулой:

$$\rho_m = K_i \rho_z, \quad (2.5)$$

где ρ_z – измеренная величина удельного сопротивления земли;

K_i – сезонный коэффициент земли, i – номер климатической зоны.

В свою очередь, сопротивление заземления зависит от величины удельного сопротивления в слое сезонных измерений ρ_{zc} . Последнее не остается постоянным в течение всего года, а изменяется в зависимости от состояния земли.

Как ρ_3 , так и сопротивление заземлений достигают наибольшего своего значения летом и зимой.

В соответствии с требованиями стандарта, сопротивление заземления (заземляющего устройства) не должно превышать нормируемой величины в любое время года. Для получения максимально возможного на протяжении года сопротивления заземления (R_m) измеряемую в данный момент величину R стоит умножить на сезонный коэффициент заземления K'_i .

В зависимости от влажности в слое сезонных измерений принимают коэффициенты: K_1, K'_1 – измерение проводится при влажной почве или когда моменту измерения предшествовало большое количество осадков; K_2, K'_2 – в случае средней влажности почвы и нормального количества осадков; K_3, K'_3 – при сухой почве и незначительном количестве осадков.

Сезонные коэффициенты земли и расчетная мощность слоя сезонных измерений h_c имеют определенную величину для каждой климатической зоны (табл. 9.1).

Климатические зоны характеризуются средними многолетними температурами января ($t^{\circ}C$). К первой климатической зоне относятся районы из ($t^{\circ}C$) в границах от -20° к -15° , ко второй – от -14° к -10° , третьей – от -10° до $0^{\circ}C$. Практически ко второй зоне относится средняя полоса европейской части СНГ, а к первой и третьей зонам соответственно ее северные и южные районы (указанное не относится к районам вечной мерзлоты, горной местности и пустыни).

Сезонные коэффициенты зависят от типов и размеров заземлений и глубины прокладки горизонтальных полос. Естественно, что сопротивления поверхностных заземлений в большей мере поддаются сезонным изменениям, чем углубленные.

Значение сезонных коэффициентов одиночных вертикальных заземлений в зависимости от их длины (l) и расстояния от поверхности земли к верхней точке заземления (h) и значения сезонных коэффициентов одиночных горизонтальных полос длиной l , заземлительных сеток площадью S и комбинированными заземлениями, которые состоят из заземлительной сетки и размещенных по цепи n вертикальных электродов длиной 5 м в зависимости от глубины прокладки полос h , приведены в табл. 9.2.

Если характеристики используемого заземления не совпадают с характеристиками, приведенными в табл. 9.2, то из таблицы берут сезонный коэффициент того заземления, тип и размеры которого ближе всего подходят к испытываемому.

2.7 Расчет заземляющего устройства и выбор его конструкции

Величина сопротивления заземляющего устройства зависит от удельного сопротивления земли и площади контакта заземлителей с землей.

Для заземлений используют вертикальные и горизонтальные электроды, проложенные на глубине 0,5 – 1 м от поверхности земли (рис. 2.7).

Как вертикальные электроды используются стальные трубы, угловая и круглая (прутик) сталь длиной $l = 2 \dots 10$ м. Наименьшие поперечные размеры допускаются: у круглых электродов диаметром $d = 6$ мм, толщина полок угловой стали $b = 4$ мм и толщина стенок стальных труб $b = 3,5$ мм.

Горизонтальные полосовые заземлители в виде лучей, колец или контуров используются в качестве самостоятельных заземлителей или как элементы сложного заземлителя из горизонтальных и вертикальных электродов. Для горизонтальных заземлителей применяется полосовая сталь сечением не меньше 48 мм^2 и толщиной 4 мм, и круглая сталь диаметром не меньше 10 мм

Наименьшие поперечные размеры электродов диктуются необходимостью надежной работы заземления при коррозии и могут быть увеличены при условии достаточной механической прочности при размещении их в почве.

На практике чаще применяются трубчатые заземлители (рис. 2.7), сопротивление которых определяется по формуле

$$R_z = \hat{E}_z' \frac{\rho_z}{2\pi l} \left(\ln \frac{2l}{d} + \frac{1}{2} \ln \frac{4l+7h}{l+7h} \right), \quad (2.6)$$

где R_z – сопротивление трубчатого вертикального заземлителя, Ом;

l – длина трубы, м;

d – внешний диаметр трубы, м;

h – расстояние от поверхности земли к верхнему концу трубы, м;

ρ_z – удельное сопротивление земли, Ом·м;

$\hat{E}_z'$ – коэффициент промерзания, который учитывает сезонные колебания температуры почвы, зависит от климатической зоны, его числовое значение находится в границах от 1,15 до 3,8 (табл. 9.2).

Сопротивление вертикального заземления из угловой стали определяется по этой же формуле, но при этом эквивалентный диаметр определяется из выражения $d_e = 0,95b$, м, где b – ширина стороны угольника, м.

Сопротивление горизонтального заземления в виде вытянутой металлической полосы, размещенной на глубине h , м, определяется по формуле:

$$R_z = \hat{E}_z' \frac{\rho_z}{\pi l} \ln \frac{1,5l}{\sqrt{bh}}, \quad (2.7)$$

где R_z – сопротивление полосового заземления, Ом;

l – длина заземления, м;

b – ширина полосы, м;

h – глубина прокладки полосы, м;

ρ_z – удельное сопротивление земли, Ом·м;

$\hat{E}_z'$ – коэффициент промерзания почвы для разных климатических зон принимается в границах от 1,8 до 8,0 (табл. 9.2).

Сопротивление вертикального и горизонтального электродов в однородной земле определяется по формулам табл. 2.1.

В реальных условиях с целью получения малых значений сопротивления заземлителя, особенно в почвах с большим удельным сопротивлением, одного заземлителя (трубы, стержни, полосы, кольца, пластины и тому подобное) бывает недостаточно. Потому придется выполнять заземление из нескольких одиночных заземлителей, включенных параллельно. Заземляющее устройство при этом называется многоэлектродным.

Таблица 2.1 – Расчетные формулы сопротивления электродов

Тип электрода	Сечение электрода	
	Круглый (диаметр d)	Прямоугольный (ширина b)
Вертикальный длиной l	$R = \hat{E}'_s \frac{\rho_{\text{с}}}{2\pi l} \left(\ln \frac{2l}{d} + \frac{1}{2} \ln \frac{4l+7h}{l+7h} \right),$ Ом $h \neq 0$	
Горизонтальный лучевой длиной l	$R = \hat{E}'_s \frac{\rho_{\text{с}}}{\pi l} \cdot \ln \frac{l}{\sqrt{dh}}, \text{ Ом}$ $l \gg d, h \gg d$	$R = \hat{E}'_s \frac{\rho_{\text{с}}}{\pi l} \cdot \ln \frac{1,5l}{\sqrt{bh}}, \text{ Ом}$ $l \gg b, h \gg b$
Горизонтальный кольцевой диаметром D	$R = \hat{E}'_s \frac{\rho_{\text{с}}}{\pi^2 D} \cdot \ln \frac{5D}{\sqrt{dh}}, \text{ Ом}$ $h \neq 0$	$R = \hat{E}'_s \frac{\rho_{\text{с}}}{\pi^2 D} \cdot \ln \frac{7D}{\sqrt{dh}}, \text{ Ом}$ $h \neq 0$
Горизонтальный пластинчатый диаметром D	$R = \hat{E}'_s \frac{\rho_{\text{с}}}{4\pi D} \left(1 - \frac{2}{\pi} \arcsin \frac{D}{3h} \right), \text{ Ом}$ $h \neq 0$	$R = \hat{E}'_s \frac{\rho_{\text{с}}}{4\pi D_e}$ $\left(1 - \frac{2}{\pi} \arcsin \frac{D_e}{3h} \right),$ де $D_e = 2\sqrt{\frac{S}{\pi}}, \text{ м};$ S – площадь пластины, кв.м

При параллельном соединении одиночных заземлителей необходимо принимать во внимание эффект взаимного экранирования заземлителей, который проявляется в том, что общее сопротивление заземления уменьшается не пропорционально числу заземлителей, соединенных параллельно, а немного меньше. Экранирование проявляется тем более, чем ближе один ко второму размещены одиночные заземлители. Полное сопротивление параллельно соединенных заземлителей одинакового сопротивления определяется по формуле

$$R_{\text{общ}} = \frac{R}{n\eta_2}, \quad (2.8)$$

где $R_{обц}$ – полное сопротивление многоэлектродного заземления, Ом;

R – сопротивление одиночного заземлителя, Ом;

n – количество заземлителей;

η_2 – коэффициент использования, который зависит от конфигурации и размещения заземлителей (табл. 9.3, 9.5 и 9.6).

Полное сопротивление нескольких вертикальных заземлителей одинакового сопротивления, соединенных параллельно с помощью горизонтальных заземлителей (полос или провода), определяется по формуле

$$R_{\text{вс}} = \frac{R_1 R_2}{\eta_1 R_2 + \eta_2 R_1 n}, \quad (2.9)$$

где $R_{обц}$ – полное сопротивление многоэлектродного заземлителя, Ом;

R_1 – сопротивление горизонтального заземлителя (соединительной полосы, провода или шины), Ом;

R_2 – сопротивление одного вертикального заземлителя, Ом;

η_1, η_2 – коэффициенты использования соединительного проводника и заземлителей соответственно (табл. 9.3 – 9.6);

n – количество заземлителей.

Сопротивление многолучевого заземлителя, который состоит из вытянутых протяжных одиночных заземлителей, размещенных в радиальном направлении возле поверхности земли, рассчитывается за формулой

$$R_3 = \hat{E}'_3 \frac{\rho_{\text{з}}}{\pi n l} \left[\ln \frac{4l}{d} - 1 + N(n) \right], \quad (2.10)$$

где l – длины луча, м;

$\rho_{\text{з}}$ – удельное сопротивление земли, Ом·м;

d – диаметр провода, из которого сделаны лучи, м;

n – количество лучей;

$N(n)$ – функция, которая зависит от n (табл. 2.2).

Таблица 2.2 – Зависимость значения функции N от числа лучей многоэлектродного заземлителя

n	2	3	4	6	8	12	100
$N(n)$	0,7	1,53	2,45	4,42	6,5	11,0	116

Порядок выбора конструкции заземляющего устройства, следующий.

По условиям, заданным руководителем, необходимо определить в соответствии с ГОСТ 464-68 величину сопротивления заземляющего устройства (табл. 9.7 – 9.11). Потом выбрать на основании расчетов экономичную конструкцию заземляющего устройства с сопротивлением, более малым или равным сопротивлению нормы. В почвах с малым удельным сопротивлением выбор конструкции заземлительного устройства можно выполнять по формулам для одиночных электродов разной конструкции (табл. 2.1) при одинаковых значе-

ниях l, b, d, h . В почвах с большим удельным сопротивлением или в тех случаях, когда одиночные электроды не обеспечивают норму сопротивления заземляющего устройства выбор конструкции стоит выполнять по формулам для многоэлектродных заземлений (2.8) – (2.10) при одинаковых значениях l, b, d, n, h . При расчетах $R_{общ}$ по формуле (2.9) величину сопротивления заземления соединительной полосы или провода стоит определять из выражений для горизонтального лучевого электрода (табл. 2.1).

Для соединения заземлителей необходимо использовать стальную полосу сечением 40×4 мм или стальной провод диаметром 4,5 или 6 мм.

Если по результатам расчетов $R_{общ}$ оказалось больше нормы, то необходимо увеличить число электродов или длину электрода, а если $R_{общ}$ гораздо меньше нормы, то стоит уменьшить число электродов или длину электрода и повторить расчет. В однородной земле глубина прокладки электродов и диаметр электрода мало влияют на снижение сопротивления заземлителя, потому изменять значение h и d при пересчете $R_{общ}$ не следует.

3 КЛЮЧЕВЫЕ ВОПРОСЫ

- 3.1. Виды и назначения заземлений на линиях связи.
- 3.2. Нормы сопротивлений заземления.
- 3.3. Особенности измерения сопротивления заземления приборами МС-08 и М-416.
- 3.4. Устройство молниеотводов и заземлений на линиях связи.
- 3.5. Особенности измерения удельного сопротивления однородной земли.
- 3.6. Периоды измерения удельного сопротивления земли и сопротивления заземлителей.
- 3.7. Коэффициенты использования горизонтальных и вертикальных электродов. Их зависимости от расстояния между электродами и проводимости земли.

4 ДОМАШНЕЕ ЗАДАНИЕ

Используя рекомендуемую литературу к лабораторной работе и данное руководство ознакомиться с:

- назначением, видами и конструкциями заземляющих устройств на линиях связи;
 - принципом действия и правилами пользования приборами МС-08 и М-416 (разд. 6).
- 4.2. Выучить порядок расчета заземляющих устройств (разд. 2.2).
 - 4.3. Подготовиться к обсуждению ключевых вопросов разд. 2.3.

5 ЛАБОРАТОРНОЕ ЗАДАНИЕ

5.1. Измерить удельное сопротивление земли с помощью приборов МС-08 и М-416 при разных значениях расстояний между электродами. Результаты измерений свести в табл. 5.1 в соответствии с приведенной формой.

5.2. Определить приближенное (оценочное) значение удельного сопротивления земли на глубине размещения электрода по результатам измерения сопротивления эталонного (известных размеров) заземления. Измерение выполнять прибором МС-08 или М-416 с оценкой погрешности измерения.

Таблица 5.1 – Данные измерений и подсчетов удельного сопротивления земли

№ измерения	1	2	3	4	5	6
Расстояние между заземлителями, a						
Показание прибора, R , Ом						
Значение удельного сопротивления земли, ρ_z , Ом·м						

5.3. Измерить сопротивление круглых вертикального и горизонтального заземлителей с помощью приборов МС-08 или М-416 при:

- закапывании заземлителей в почву с разными значениями удельного сопротивления земли;
- закапывании заземлителей на разную глубину от поверхности однородной земли;
- разных размерах (d и l) электродов.

По данным измерений построить график зависимости сопротивлений заземления указанных заземлений от ρ_z , h , d , l .

5.4. Рассчитать сопротивление заземления вертикального, горизонтального лучевого, горизонтального кольцевого и горизонтального пластинчатого электродов по заданию руководителя. В данных расчетах длину заземлений стоит принимать равной одной и той же величине. Диаметры кольцевого и пластинчатого электродов стоит определять по формуле $D = l/\pi$.

5.5. По условиям, заданным преподавателем, рассчитать сопротивление заземлительного устройства и выбрать конструкцию заземлительного устройства.

6 АППАРАТУРА

В работе используют прибор МС-08 или М-416 и лабораторный макет. Упрощенная схема прибора МС-08 показана на рис. 6.1.

Измеритель сопротивления МС-08 предназначен для измерения сопротивления заземляющего устройства и удельного сопротивления земли. Он может быть использован и для измерения сопротивления проводников. Границы измерения сопротивлений 0,1-1000 Ом.

В приборе использован метод амперметра – вольтметра с применением вспомогательного заземления и потенциального электрода (зонда), удаленных от испытываемого заземления не менее чем на 20 м.

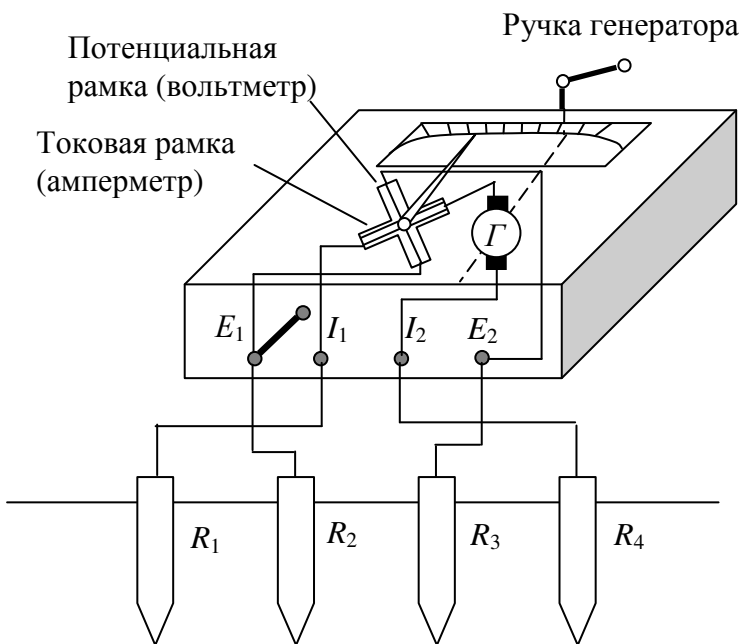


Рисунок 6.1 – Упрощенная схема прибора МС-08

Источник питания – генератор постоянного тока, встроенный в прибор, который приводится во вращение вручную. На вале генератора смонтированы два синхронных коммутатора (механические преобразователи тока), которые преобразовывают постоянный ток в переменный, – для внешней цепи и обратно; переменный ток в постоянный – для цепи индикатора. Следовательно, в цепи измеряемого заземления протекает переменный ток, который исключает влияние на результаты изме-

рения блуждающих токов и явления электролиза. В цепи измерительного прибора протекает постоянный ток, что позволяет использовать высокочувствительную систему магнитоэлектрического логометра.

Измеритель сопротивления М-416 предназначен для измерения сопротивления заземляющих приборов, активных сопротивлений и удельного сопротивления земли. Граница измерений 0,1 – 1000 Ом.

Принцип действия прибора основан на компенсационном методе измерения с применением вспомогательного заземления и потенциального электрода (зонда).

7 СОДЕРЖАНИЕ ПРОТОКОЛА

- 7.1. Принципиальные схемы измерений.
 7.2. Данные измерений удельного сопротивления земли, сведенные в таблицу.
 7.3. Графика зависимости сопротивлений заземления горизонтального и вертикального заземлителей от ρ_z, h, d, l полученные по результатам измерений.
 7.4. Расчет сопротивлений заземления для четырех разных видов электродов.
 7.5. Расчеты, которые подтверждают правильный выбор конструкции заземляющего устройства.

8 ЛИТЕРАТУРА

- 8.1. Гроднев И. И., Курбатов Н.Д. Линии связи. – М.: Связь, 1980. – С. 314-315.
 8.2. Справочник строителя кабельных сооружений связи /Под ред. И.С. Равича и др. – М.: Связь. 1977. – С. 626-635.
 8.3. Руководство по проектированию, строительству и эксплуатации заземлений в установках проводной связи и радиотрансляционных узлов. – М.: Связь, 1971. – С. 88.

9 ПРИЛОЖЕНИЕ**9.1 Коэффициенты использования многоэлектродных заземлителей**

Таблица 9.1 – Сезонные коэффициенты земли и расчетная мощность слоя сезонных изменений

Климатическая зона	h_c м	K_1	K_2	K_3
Первая	2,2	7,0	4,0	2,7
Вторая	2,0	5,0	2,7	1,9
Третья	1,8	4,0	2,0	1,5

Таблица 9.2 – Сезонные коэффициенты заземлений

Одиночные вертикальные заземления						
Длина заземления l , м	$h = 0,7 \dots 0,8$ м			$h = 0$		
	K'_1	K'_2	K'_3	K'_1	K'_2	K'_3
1	2	3	4	5	6	7
2,5	2,00	1,75	1,50	3,80	3,00	2,30
3,5	1,60	1,40	1,30	2,10	1,90	1,60
5,0	1,30	1,23	1,15	1,60	1,45	1,30

Продолжение таблицы 9.2

1	2	3	4	5	6	7	
Сложные заземления							
Тип заземления	Размеры заземления	$h = 0,7 \dots 0,8 \text{ м}$			$h = 0,5 \text{ м}$		
		K_1'	K_2'	K_3'	K_1'	K_2'	K_3'
Горизонтальная полоса	$l = 5 \text{ м}$	4,3	3,6	2,9	8,0	6,2	4,4
	$l = 20 \text{ м}$	3,6	3,0	2,5	6,5	5,2	3,8
Заземлительная сетка или контур	$S = 400 \text{ кв.м}$	2,6	3,3	2,0	4,6	3,8	3,2
	$S = 900 \text{ кв.м}$	2,2	2,0	1,8	3,6	3,0	2,7
	$S = 3600 \text{ кв.м}$	1,8	1,7	1,6	3,0	2,6	2,3
Тип заземления	Размеры заземления	$h = 0,7 \dots 0,8 \text{ м}$			$h = 0,5 \text{ м}$		
		K_1'	K_2'	K_3'	K_1'	K_2'	K_3'
Заземлительная сетка или контур с вертикальными электродами $l = 5 \text{ м}$	$S = 900 \text{ кв.м}$ $n \geq 10 \text{ шт.}$	1,6	1,5	1,4	2,1	1,9	1,8
	$S = 3600 \text{ кв. м}$ $n \geq 15 \text{ шт.}$	1,5	1,4	1,3	2,0	1,9	1,7

Таблица 9.3 – Коэффициенты использования η_2 для многоэлектродных заземлений (без учета влияния соединительной полосы), которые состоят из вертикальных электродов

Отношение расстояния между трубами к их длине a/l	Многоэлектродные заземления			
	Размещенные в ряд		Размещенные по замкнутому контуру	
	число труб (уголков) n	η_2	число труб (уголков) n	η_2
1	2	3	4	5
1	2	0,84-0,87	4	0,66-0,72
	3	0,76-0,80	6	0,58-0,65
	5	0,67-0,72	10	0,52-0,58
	10	0,56-0,62	20	0,44-0,50
	15	0,51-0,56	60	0,36-0,42
	20	0,47-0,52	100	0,33-0,39
2	2	0,90-0,92	4	0,76-0,80
	3	0,85-0,88	6	0,71-0,75
	5	0,79-0,83	10	0,66-0,71
	10	0,72-0,77	20	0,61-0,66
	15	0,66-0,73	60	0,52-0,58
	20	0,65-0,70	100	0,49-0,55

Продолжение таблицы 9.3

1	2	3	4	5
3	2	0,93-0,95	4	0,84-0,86
	3	0,90-0,92	6	0,78-0,82
	5	0,85-0,88	10	0,74-0,78
	10	0,79-0,83	20	0,68-0,73
	15	0,76-0,80	60	0,62-0,67
	20	0,74-0,79	100	0,59-0,65

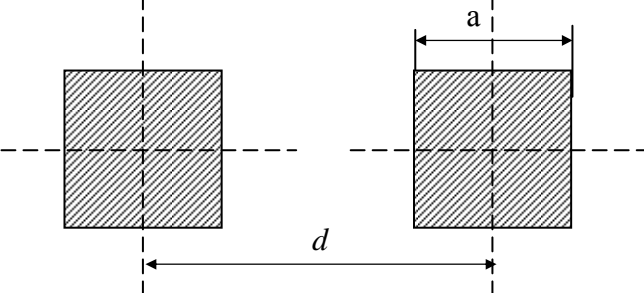
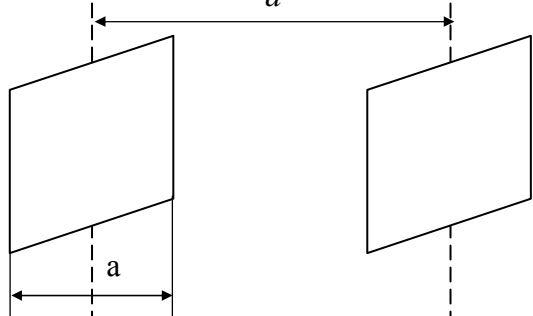
Таблица 9.4 – Коэффициент использования η_1 соединительной полосы в ряду из вертикальных заземлителей и в замкнутом контуре

Отношение расстояния между трубами (уголками) к их длине a/l	Число труб в ряду или контуре						
	4	5	8	10	20	30	50
	Коэффициенты использования соединительной полосы при размещении труб в ряд						
1	0,77	0,74	0,67	0,62	0,42	0,31	0,21
2	0,89	0,86	0,79	0,75	0,56	0,46	0,36
3	0,92	0,90	0,85	0,82	0,68	0,58	0,49
	Коэффициенты использования соединительной полосы при размещении труб в замкнутом контуре						
	1	0,45	0,40	0,36	0,34	0,27	0,24
	2	0,55	0,48	0,43	0,40	0,32	0,30
	3	0,70	0,64	0,60	0,56	0,45	0,41

Таблица 9.5 – Коэффициенты использования η_2 для многолучевого заземления, который состоит из вытянутых протяжных одиночных заземлений, размещенных в радиальном направлении

Длина луча м	Коэффициенты использования при числе лучей											
	3				4				6			
	и при диаметре проводника луча, см											
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
2,5	0,76	0,74	0,72	0,71	0,63	0,61	0,59	0,58	0,50	0,48	0,46	0,45
5,0	0,78	0,76	0,74	0,73	0,67	0,65	0,63	0,62	0,53	0,51	0,49	0,48
10,0	0,81	0,79	0,77	0,76	0,70	0,69	0,67	0,66	0,57	0,55	0,53	0,51
15,0	0,82	0,80	0,78	0,76	0,72	0,70	0,68	0,66	0,59	0,57	0,55	0,53
30,0	0,84	0,82	0,80	0,78	0,75	0,73	0,71	0,69	0,62	0,60	0,58	0,56

Таблица 9.6 – Коэффициенты использования η_2 для многоэлектродных заземлителей, которые состоят из полосно-листовых заземлителей, запаралелеленных между собой

Вид заземления	n	Значение при η_2	
		$d = 4a$	$d = 2a$
	2	0,66	0,62
	4	0,52	0,38
	6	0,43	0,30
	8	0,40	0,27
	10	0,39	0,25
	2	0,75	0,67
	4	0,60	0,46
	6	0,55	0,38
	8	0,54	0,35
	10	0,52	0,32

9.2. Нормы сопротивления заземлений разных видов и назначений

Защита опор воздушных линий связи (ВЛС) выполняется с помощью молниеотводов, установленных на вводных, кабельных, контрольных и переходных опорах, а также на опорах, ранее поврежденных грозовыми разрядами. Величины сопротивлений заземлений должны удовлетворять нормам, приведенным в табл. 9.7.

Таблица 9.7 – Нормы величин сопротивлений заземлений

$\rho_{\text{гр}}$ Ом·м	до 100	101-200	201-400	401-500	501 $i >$
Сопротивление заземления, Ом	50	45	65	90	115

Возле станции линейные сооружения защищаются с помощью каскадной защиты, которая представляет собой искровые разрядники, которые включают-

ся между проводом и землей на опорах ВЛС. Сопротивление заземлений в этом случае должно быть не больше значений, приведенных в табл. 9.8.

Таблица 9.8 – Значение сопротивлений заземления

Назначение заземления	Удельное сопротивление почвы, Ом·м			
	до 100	101-300	301-500	свыше 500
Для искровых разрядников ВЛС	20	30	35	45
Для искровых разрядников, устанавливаемых в кабельных ящиках	5	7	9	12
Для заземлений АЗУ-1 и АЗУ-2, включенных на линиях ГТС и СТС	10	15	18	24

Сопротивление заземления для разрядников в кабельных шкафах, устанавливаемых при кабельных вводах, должно отвечать данным табл. 9.9.

Величины сопротивлений рабочего или защитного заземления, к которым по схемам защиты должны подключаться разрядники типов ИР-0,2 или ИР-0,3 каскадной защиты, должны быть не более 5 Ом.

Величина сопротивления измерительного заземления должна быть не более 100 Ом.

Для НРП, которые питаются дистанционно по системе “Провод-земля”, образуют два заземления – рабочее и защитное (линейно защитное), значения R_z которых приведены в табл. 9.10.

Таблица 9.9 – Сопротивление заземления для разрядников в кабельных шкафах

Удельное сопротивление почвы, Ом·м	При числе проводов, введенных в кабельном ящике			При любом числе жил морских и реч- ных кабелей
	до 10	11-20	21 и больше	
	Сопротивление заземления, Ом			
До 100 (чернозем, торф, глина, суглинок)	30	16	13	6
101-300 (супесок)	40	20	17	7
301-500 (песок)	50	30	24	10
500 и более (каменистая почва)	67	37	30	12

Таблица 9.10 – Значение сопротивления заземления для НРП

Вид заземления	Удельное сопротивление почвы, Ом·м	Норма сопротивления, Ом
Рабочее	< 100	10
	≥ 100	30
Защитное	< 300	10
	≥ 300	30

9.3 Размеры труб, которые используются для заземления

В мягких и средних почвах применяются трубы диаметром 25-40 мм, в твердых – 40-60 мм. Длина труб – 1,5-3 м. Поперечные размеры труб приведены в табл. 9.11.

Таблица 9.11 – Поперечные размеры труб

Внутренний диаметр трубы	В дюймах	¾"	1"	1 ¼ "	1 ½ "	2"
	мм	20	25	32	40	60
Внешний диаметр трубы	мм	26,75	33,5	42,25	48	70

Лабораторная работа № 4

ОТБОР КАБЕЛЬНЫХ ПАР ДЛЯ ЦИФРОВОГО УПЛОТНЕНИЯ СВЯЗИ СЕТЕЙ АБОНЕНТСКОГО ДОСТУПА

1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Изучить возможность использования низкочастотных телефонных кабельных линий местных сетей связи для передачи по ним цифровых потоков со скоростями 2,048 Мбит/с и 8,192 Мбит/с.

2. КЛЮЧЕВЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

2.1 Общие положения

Резкое увеличение в последнее время количества и качества услуг связи на сетях абонентского доступа вызвало необходимость быстрого повышения пропускной способности транспортных сетей ГТС и СТС. На этих сетях проложены оптические и электрические кабели. Транспортные сети с использованием электрических кабелей в большинстве случаев реализованы на низкочастотных кабелях типа ТПП. Эти кабели, кроссовое оборудование, распределительные шкафы и распределительные коробки изначально разрабатывались, производились и эксплуатировались как низкочастотное оборудование. При этом между цепями кабельных линий обеспечивалось значение переходного затухания на ближнем конце – не менее $A_0 = 70\text{дБ}$ на частоте 1 кГц. Средством повышения пропускной способности кабельных линий на базе кабеля ТПП является передача по ним цифровых потоков типа E_1 и E_2 .

Таким образом, создавая транспортные сети ГТС и СТС, используют возможность передачи по лучшим парам кабеля ТПП широкополосных сигналов со скоростями передачи 2,048 Мбит/с и 8,192 Мбит/с.

Как правило, число таких пар составляет 10 % от общего числа пар кабеля [8.1]. Поэтому отбор пар кабеля и определение их характеристик проводится на основании исследований их параметров.

По техническому состоянию в процессе эксплуатации кабельные линии связи ГТС и СТС можно условно разбить на три группы:

1. Линии связи, полностью удовлетворяющие техническим нормам на электрические характеристики.
2. Линии связи, в основном удовлетворяющие ТУ (заниженное сопротивление изоляции $R_{из}$; завышенная омическая асимметрия R_a , до 2% при норме 0,5% от сопротивления шлейфа $R_{шл}$).

3. Линии связи со значительно заниженными электрическими характеристиками, то есть кабели, находящиеся в предаварийном и аварийном состоянии.

Только первые две группы линий связи на базе части пар кабеля ТПП могут быть использованы для ВЧ передачи потоков E_1 и E_2 уплотнения.

Пока по одному кабелю работают одна или две системы цифрового уплотнения в пределах допустимой длины линии, особого влияния между цепями может и не быть. При значительном увеличении количества цепей линий, используемых для цифрового уплотнения внутри одного кабеля, проблема электромагнитной совместимости таких цепей выдвигается на первый план.

Задача сводится к поиску наиболее оптимальных вариантов размещения уплотняемых цепей. Наибольшее влияние друг на друга оказывают цепи, уплотняемые однотипной аппаратурой, при длине линии максимальной протяженности. Для линий транспортных сетей это обычно до 5 км.

Современные системы цифрового уплотнения ГТС и СТС работают по однокабельной схеме в двухпроводном режиме. При этом передающая часть аппаратуры (высокий уровень) и приемная часть аппаратуры (низкий уровень) расположены на одной стороне линии связи, обычно в одном десятипарном элементарном пучке.

Таким образом, главным параметром, определяющим взаимные влияния между цепями, на коротких линиях местных сетей является переходное затухание на ближнем конце – A_0 . «Ближних концов» у таких линий два – на стационарной стороне и на противоположной.

Отбор цепей для уплотнения начинают с определения требуемого переходного затухания $A_0^{\delta\delta}$ или $A_\ell^{\delta\delta}$. Если система передачи работает по однокабельной схеме при встречных режимах передачи, то нормируется переходное затухание на ближнем конце линии

$$A_0^{\delta\delta} \geq (24,7 + 10\lg N + \alpha \ell), \quad (1)$$

где

- 24,7 – требуемое значение защищенности между трактами ЦСП уровня E_1 , дБ;
- N – число цепей, уплотняемых ЦСП;
- $\alpha \ell$ – собственное затухание цепи, перекрываемое ЦСП.

Для аппаратуры ИКМ – 30 перекрываемое затухание $\alpha \ell = 32$ дБ, для ИКМ – 120 – 45 дБ [8.1]. При наличии между РАТС двух кабелей ЦСП работает при совпадающем режиме передачи. При этом нормируемое переходное затухание на дальнем конце линии (дБ) будет определяться из выражения:

$$A_\ell^{\delta\delta} \geq 24,7 + 10\lg N, \quad (2)$$

Так как НЧ кабели местных сетей связи выпускаются большой емкости (до 1200 пар), решить проблему отбора цепей методами прямого измерения переходного затухания между всеми цепями не представляется возможным из-за большого объема измерений. Так при емкости кабеля $M = 100$ пар число изме-

рений переходного затухания между всеми цепями в любой комбинации составит $100 \cdot (100-1) \approx 100^2 = 10^4$ измерений. По этим измерениям надо выбрать комбинации цепей, взаимные влияния между которыми удовлетворяют требованиям ЦСП. В связи с этим методика отбора пар, используемых для уплотнения ЦСП в НЧ кабелях ГТС, должна обеспечивать максимально возможное количество пар при минимальном объеме измерений. Несмотря на то, что переходное затухание между парами НЧ кабелей ГТС в области высоких частот есть величина случайная, значения A_0 группируются в зависимости от взаимного расположения цепей в кабеле, параметра Q_c характеризующего пространственное разделение цепей. Основным фактором, влияющим на переходное затухание в этих кабелях, является пространственное разделение цепей.

Максимальная энергия спектра линейного сигнала цифровых систем передачи сконцентрирована в области частот близких к полутактовой частоте системы передачи. Поэтому нормирование, расчеты и измерения электрических характеристик линий выполняются на полутактовой частоте конкретной ЦСП.

Измерения переходных затуханий между цепями кабельной линии ГТС и СТС выполняют на полутактовой частоте аппаратуры ЦСП (для уровня E_1 – это 1024 кГц, E_2 – 4096 кГц). По результатам измерений определяют средние значения переходных затуханий и среднеквадратичные отклонения для различных случаев расположения пар.

В табл. 1 приведены значения переходного затухания на ближнем конце для кабеля типа ТПП с различной конструкцией сердечника (повивной и пучковой скрутки): на частотах 1 МГц и 4 МГц [8.1]. Для всех случаев влияний значения A_0 распределялись по нормальному закону.

Таблица 1 – Значение A_0 для разных комбинаций пар кабеля ТПП

N п/п	Расположение взаимовлияющих пар, μ	Среднее значение $A_{0\mu}$, дБ, на частоте, МГц		Среднеквадратичное отклонение σ_μ , дБ
		1,024	4,096	
Кабели ТПП пучковой скрутки				
1	Внутри элементарного пучка (ЭП)	65	56	8,1
2	В смежных ЭП	69	60	7,2
3	Через один ЭП	84	75	6,5
4	Через два ЭП	88	79	5,2
5	В ЭП смежных повивов	75	66	7,7
Кабель ТПП повивной скрутки				
6	Смежные в одном повиве	53	48	4,7

Продолжение табл. 1

7	Через одну пару в повиве	65	54	5,5
8	Через две пары в повиве	73	64	7,4
9	Через три пары в повиве	74	65	7,2
10	Смежные повивы	68	59	5,2
11	Через один повив	75	64	5,6

μ – вариант расположения пар.

2.2 Методика отбора пар

Рассмотрим методику отбора пар на примере однокабельной передачи, отбор пар ведется в один или два этапа.

Первый этап отбора пар для ВЧ уплотнения начинается с определения требуемого значения $A_0^{\delta\delta}$ для линий длиной ℓ и числом пар – N. При этом по выражению (3) рассчитывается значение параметра η_μ и по выражению (1) – требуемое значение переходного затухания на ближнем конце.

$$\eta_\mu = (\dot{A}_{0\mu} - A_0^{\delta\delta}) / \sigma_\mu, \quad (3)$$

где $A_{0\mu}$ – среднее значение переходного затухания (таблица 1);

σ_μ – среднеквадратичное отклонение переходного затухания для μ -го варианта расположения пар.

Если параметр $\eta_\mu \geq 2 \dots 2,5$, то вероятность того, что измеренное значение переходного затухания на ближнем конце между цепями $A_{0\text{изм}}$ будет больше, чем $A_0^{\delta\delta}$, составляет 0,95...0,99, т.е. она приближается к единице. Значит, измерять A_0 и отбирать по этому значению пары не надо, так как все пары при μ -м варианте их расположения в кабеле будут пригодны для ЦСП с большей вероятностью. При этом надо проверить число пар N_μ в кабеле, которое должно быть больше или равно заданному значению N.

Если же $\eta_\mu < 2$ и изменение варианта расположения μ не позволяет увеличить $A_{0\mu}$, приступают ко второму этапу отбора пар. При этом измеряют A_0 между выбранными парами и по этим данным определяют оптимальную комбинацию пар, при которой число цепей для ЦСП будет максимальным. Для этого данные измерений переходных затуханий представляются в виде шахматной таблицы (табл. 2). Комбинации пар, для которых защищенность оказалась ниже нормы, отмечают крестом. По вертикальной оси табл. 2 отмечают номера пар со стороны линии А, по горизонтальной – номера пар со стороны линии Б. В примере, приведенном в табл. 2, число пар равно 10. Для приведенного в табл. 2 распределения значений переходного затухания значение параметра η_μ составляет примерно 0,75.

Таблица 2 – Данные измерений переходных затуханий представленных в виде шахматной таблицы

Подверженные влиянию пары

0	■	□	×	□	×	×	□	□	×	□
	□	■	□	×	□	×	□	×	□	□
	×	□	■	×	×	□	×	□	×	×
	□	×	×	■	□	×	×	□	□	□
	×	□	×	□	■	□	×	□	×	□
5	×	×	□	□	□	■	□	×	×	×
	□	□	×	□	×	□	■	□	×	×
	□	×	□	×	□	×	×	■	□	□
9	×	□	×	□	×	×	□	□	■	□
	□	□	×	□	□	×	×	□	□	■
	0			5				9		

Влияющие пары

Поиск оптимальной комбинации цепей, предназначенных для уплотнения аппаратурой ЦСП, производится по данным табл. 2, начиная с пары с наименьшим количеством крестов. Обозначают такую пару индексом m_1 . После выбора этой пары из дальнейшего рассмотрения исключается $(m_1 + 1)$ пара. После первого шага отбора пар остается $q_1 = n - (m_1 + 1)$ пара, где n – общее число пар, между которыми измерялось переходное затухание.

Вторым шагом и последующими будет отбор пар по критерию минимального числа «крестов». Отобранные пары исключаются из дальнейшего рассмотрения. После i -го шага отбора, число оставшихся пар q_i равно:

$$q_i = n - i - (m_1 + m_2 + \dots + m_i).$$

Другим способом увеличения числа уплотняемых пар является уменьшение длины участка регенерации, т. е., $\alpha \ell$, что приводит к уменьшению требуемого значения переходного затухания, а, следовательно, к увеличению параметра η_μ и числа уплотняемых цепей.

2.3 Методы измерения запаса помехозащищенности

Запас помехозащищенности может быть определен для каждой пары, по которой предполагается передача цифровой информации. Для xDSL линий запас помехозащищенности может быть определен, для требуемой скорости передачи, через обобщенный показатель, который учитывает свойства приемопередатчика аппаратуры ЦСП, характеристики кабельной линии связи (включая наличие неоднородностей), сведения о спектре помех, попадающих в полосу передаваемых частот ЦСП.

Есть другой подход (рассмотренный ранее), при котором оценка запаса помехозащищенности зависит от длины линии, затухания или сопротивления шлейфа. Надежность второго метода довольно низкая из-за отсутствия дополнительной информации, а ошибки в выборе скорости передачи ЦСП могут достигать до 5 раз. Такие грубые методы оценки лишены смысла, поэтому необходимо разрабатывать методы измерений запаса помехозащищенности на необходимой скорости передачи для повышения эксплуатационной надежности устанавливаемых и уже работающих ЦСП.

Рабочее затухание, определяющее форму спектра полезного сигнала на входе приемного устройства, возрастает с увеличением частоты. Но на входе приемного устройства полезный сигнал суммируется со своими копиями, задержанными во времени, вызванными отражениями от неоднородностей линии связи. Спектр полезного сигнала может при этом иметь колебательный характер.

Спектр помех тоже является результатом взаимодействия и суммирования нескольких сигналов и, прежде всего переходных помех от ЦСП, работающих по соседним парам.

При взаимодействии всех этих факторов форма спектра сигнала, являющегося результатом взаимодействия полезного сигнала, его отражений и переходных помех, может быть крайне неравномерной, что снижает качество и точность измерений рабочего затухания и помехозащищенности цепи на фиксированной рабочей частоте.

Минимальное значение запаса помехозащищенности в полосе частот передачи (дБ) можно записать в виде:

$$\Delta R_{\text{xDSL}} = \min_{f=f_0+f_1} [R(f) - (R_{\min} + \Delta A)],$$

где $R(f)$ – частотная характеристика помехозащищенности линии, измеряемая как разность спектров полезного сигнала и помех. $R_{\min}$ – помехозащищенность идеального приемника (дБ), вычисляемая по формуле Шеннона.

$$R_{\min} = 10 \lg (2^K - 1), \text{ дБ},$$

где K – кратность модуляции приемопередатчика

$$K = \frac{V}{f_1 + f_0},$$

V – необходимая скорость передачи.

ΔA – запас неидеального приемника, в дБ, определяется экспериментально, находится в пределах 12...23 дБ; K меняется в пределах от 2 до 6.

В настоящее время можно рекомендовать следующие значения запасов помехозащищенности $\Delta R_{\min}$ линий xDSL:

- 6 дБ при уплотнении однопарных кабелей;
- 12 дБ при уплотнении пары в пучке;
- 18 дБ при уплотнении пары в пучке, в котором еще нет цифровых линий, но могут появиться потом.

Это связано с тем, что в процессе увеличения ресурсов сетей xDSL – доступа исходят из того, что:

1. Цифровизация любой последующей пары многопарного кабеля не должна приводить к критическому снижению запаса помехозащищенности уже эксплуатируемых xDSL-линий.

2. Выбор нормативного значения запаса помехозащищенности xDSL-линий должен учитывать не только возможную деградацию характеристик кабеля, но и последующее введение в кабель дополнительных xDSL-линий.

3. КЛЮЧЕВЫЕ ВОПРОСЫ

3.1. Какие НЧ кабели местных сетей связи используются для уплотнения аппаратурой ЦСП? Конструкция и маркировка этих кабелей.

3.2. Какие параметры кабелей определяют возможность выбора пар НЧ кабелей местных сетей связи для уплотнения?

3.3. В чем заключается методика отбора пар, используемых для уплотнения ЦСП?

3.4. На каких частотах необходимо выполнять измерения переходных затуханий?

3.5. Что означает понятие запас помехозащищенности?

3.6. От чего зависит величина запаса помехозащищенности?

3.7. Какая аппаратура используется для уплотнения НЧ кабелей местных сетей связи?

4. ДОМАШНЕЕ ЗАДАНИЕ

В ходе самостоятельной подготовки к лабораторной работе необходимо:

4.1. Изучить рекомендованную литературу и данное методическое руководство.

4.2. Ознакомиться с методикой отбора пар НЧ кабелей местных сетей связи.

4.3. Ознакомиться с методикой измерения:

- рабочего затухания пары кабеля;
- уровня переходных влияний на ближнем или дальнем конце.

4.4. Подготовить устные ответы на ключевые вопросы.

4.5. Подготовить бланк отчета.

5. ЛАБОРАТОРНОЕ ЗАДАНИЕ

- 5.1. Ознакомиться с макетом лабораторной работы.
- 5.2. Включить прибор ИПКЛ-15/30 (либо его современный аналог ДЕЛЬТА-ПРО 1.3).
- 5.3. Подключить прибор к линии (кабель типа ТПП 10х2х0.4).
- 5.4. Произвести измерение рабочего затухания каждой (одной) пары на полутактовой частоте ЦСП.
- 5.5. Произвести измерение переходных затуханий для указанных преподавателем пар на ближнем и (или) дальнем конце.
- 5.6. Произвести отбор пар для уплотнения аппаратурой ЦСП.
- 5.7. Для отобранных цепей определить запас помехозащищенности.

6. АППАРАТУРА

- 6.1. Линия связи на базе кабеля ТПП 10х2х0.4 (либо ее макет).
- 6.2. Прибор ИПКЛ-15/30 (либо его современный аналог).
- 6.3. Блок питания прибора ИПКЛ.
- 6.4. Набор нагрузок (сопротивлений).

7. СОДЕРЖАНИЕ ПРОТОКОЛА

- 7.1. Схема измерений переходных влияний.
- 7.2. Результаты измерений переходных влияний для заданных пар.
- 7.3. Результаты измерений рабочего затухания на полутактовой частоте.
- 7.4. Для отобранных пар произвести измерение запаса помехозащищенности.

8. ЛИТЕРАТУРА

- 8.1. Гроднев И.И., Курбатов Н.Д. Линии связи. – М.: Связь, 1980. – С. 414.
- 8.2. Парфенов Ю.А., Мирошников Д.Г. Цифровые сети доступа. – М.: Эко-Трендз, 2005. – С. 288.

9. ПРИЛОЖЕНИЕ

- 9.1. Подготовка прибора ИПКЛ-15/30 к работе.
 - 9.1.1. Подключить ИПКЛ к блоку питания 12В. Проверить заземление блока питания!
 - 9.1.2. Включить прибор ИПКЛ, включив БП и отжать кнопку шунт на ИПКЛ. Отжатой кнопке соответствует надпись над кнопкой, нажатой кнопке – надпись под ней.

9.1.3. Проверить питание, нажав кнопку КН.

9.1.4. Измерить рабочее затухание пары:

- переключатель режима работы перевести в положение РЗ;
- переключатель скоростей перевести в положение, соответствующее выбранной ЦСП;
- вход пары присоединить к выходу ИПКЛ, выход пары – к входу ИПКЛ;
- измерить рабочее затухание. Рисунок П 1.

9.1.5. Измерение уровня переходных затуханий:

- переключатель режимов перевести в положение ПВ;
- переключатель скоростей - в положение, соответствующее выбранной ЦСП;
- при измерении уровня переходных затуханий на **ближнем** конце начала влияющей пары подключают к клеммам выход ИПКЛ, а начало пары, подверженной влиянию, – к клеммам вход ИПКЛ;
- к выходу обеих цепей подсоединить нагрузку, равную 120 Ом. Рисунок П 2.
- показания индикатора по шкале ПВ являются измеренным значением уровня переходного затухания на ближнем конце.

9.1.6. Аналогично производится измерение переходного затухания на **дальнем** конце цепи, только при этом вход влияющей пары подсоединен к клеммам «выход» ИПКЛ, а выход пары, подверженной влиянию, – к клеммам «вход» ИПКЛ. Свободные концы обеих пар должны быть нагружены на сопротивления номиналом 120 Ом. При этом на лабораторном макете можно использовать один прибор ИПКЛ. Если же измерения проводят на реальной линии связи, в которой ближний и дальний концы разнесены в пространстве, необходимо использовать два разных прибора ИПКЛ (рис. П 3).

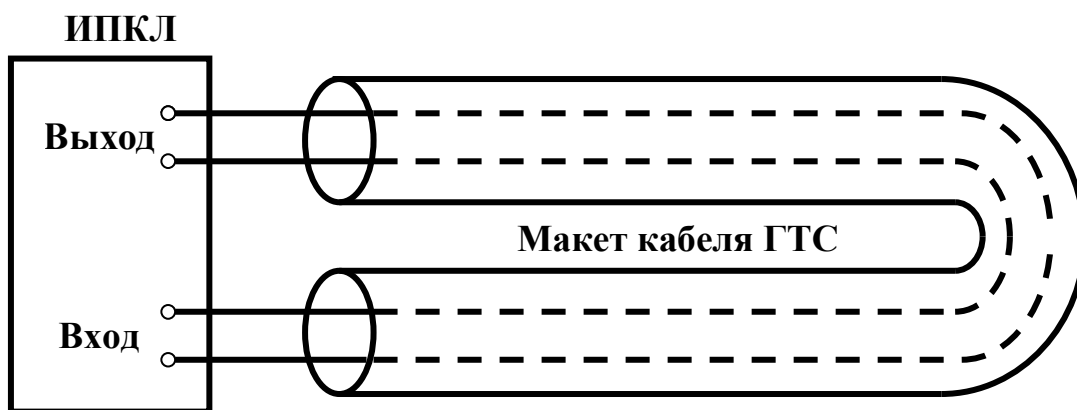


Рис. П1. Измерение рабочего затухания

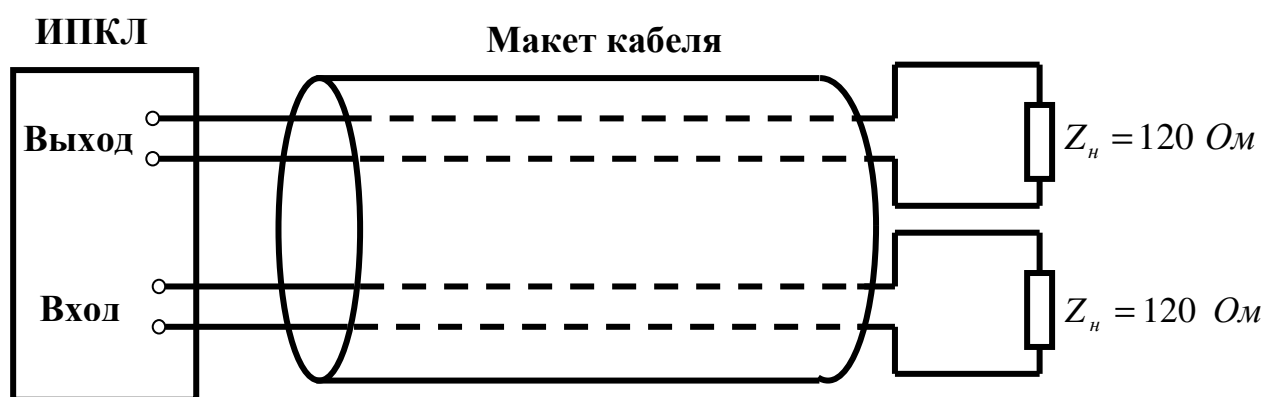


Рис. П 2. Измерение уровня переходных затуханий на ближнем конце

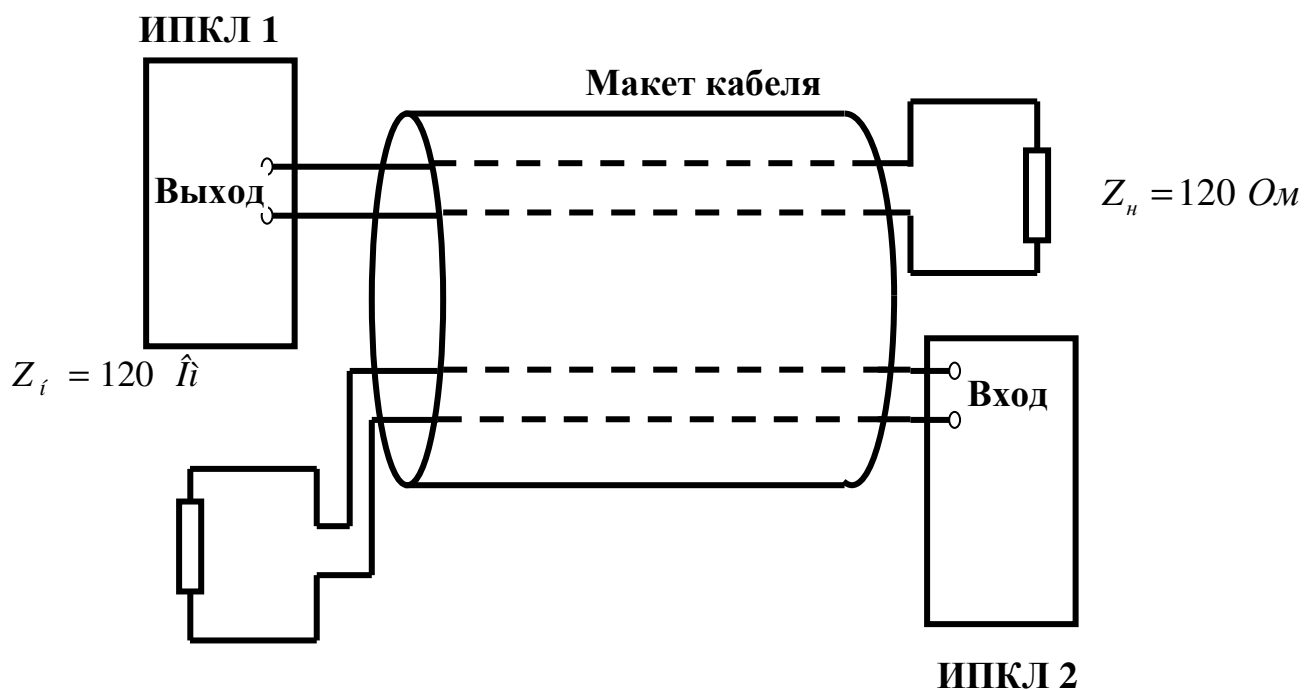


Рис. П 3. Измерение уровня переходных затуханий на дальнем конце

СОДЕРЖАНИЕ

Лабораторная работа № 1	Измерение коэффициентов емкостной связи и емкостной асимметрии и выбор операторов скрещивания	61
Лабораторная работа № 2	Исследование переходных затуханий между цепями кабельных линий передачи.	76
Лабораторная работа № 3	Исследование удельного сопротивления однородной земли и сопротивления заземлений.	88
Лабораторная работа № 4	Отбор кабельных пар для цифрового уплотнения связи сетей абонентского доступа	108

