

**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  
за курсом "Лінії передачі"**

*Модуль IV*

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

**Одеса 2008**

УДК

План 2006/2007 у.р.

**Укладачі методичних вказівок до лабораторних робіт:**

**№ 1** – проф. Бондаренко О.В., доц. Панюта И.Н., доц. Костик Б.Я.;

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

**№ 3** – доц. Костик, Б.Я., доц. Савицька Н.М.;

**№ 4** – порф. Бондаренко О.В.

**Отв. редактор – проф. Бондаренко О.В.**

У збірнику методичних вказівок викладені методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з другої частини курсу "Лінії передачі", що стосується махисту кабелів зв'язку від зовнішніх впливів.

**СХВАЛЕНО**

на засіданні кафедри ВОЛЗ і  
рекомендовано до печатки  
Протокол № 4  
від 27.11.06 р.

**Редактор – Ращупкина И.В.**

**Комп'ютерне макетування – Кирдогло Т.В.**

## **Лабораторна робота № 1**

# **ВИВЧЕННЯ СХЕМ ЗАХИСТУ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАХИСНОГО ОБЛАДНАННЯ ПРИ ВВОДІ КІЛ ЛІНІЙ ЗВ'ЯЗКУ В СПОРУДИ ЗВ'ЯЗКУ**

## **1 МЕТА РОБОТИ**

Метою роботи є ознайомлення з обладнанням захисних приладів, які застосовуються для захисту кабельних та повітряних ліній зв'язку (КЛЗ та ПЛЗ) від зовнішніх електромагнітних впливів.

## **2 КЛЮЧОВІ ПОЛОЖЕННЯ**

### **2.1 Призначення та конструкція захисного обладнання**

Захист установок зв'язку від небезпечної дії перенапруги, викликані дією ліній електропередачі (ЛЕП), грозовими явищами, а також від небезпечних струмів, які виникають при контакті проводів зв'язку з проводами ЛЕП, виконується за допомогою розрядників та плавких запобіжників згідно ГОСТ – 35 – 58 та рекомендації ITU – Т К. 20 редакції 07/2003 „Стієкість комутаційного обладнання електрозв'язку до перенапруги і збиткових струмів”.

Для захисту від ЛЕП використовуються двох і трьохелектродні розрядники (рис. 2.1). Основним типом розрядників, які використовують, наприклад, на ПЛЗ є розрядники Р-350, двохелектродні, з напругою запалювання  $350 \pm 40$  В.

В системах каскадного захисту для збільшення надійності схеми використовують серію іскрових розрядників з повітряним проміжком в 0,3; 7; 10; 15; 20 мм (рис. 2.2).

На лініях зв'язку місцевих телефонних мереж (МТМ) для захисту обладнання АТС широко використовують вугільні розрядники ВР-500. Конструктивно він представляє собою дві вугільні пластини між якими знаходиться слюдяна прокладка (рис. 2.3).

Для ланцюгів дистанційного живлення використовуються влітові розрядники РВ – 500, РВ – 1000.

Крім вищезгаданих пристроїв, в схемах захисту апаратури ущільнення кіл ПЛЗ, використовують дренажну котушку (ДК). Дренажна котушка складається з двох напівобмоток, які намотані на загальному сердечнику. Кожну із напівобмоток включають послідовно з одним із розрядників, при цьому напрямок витків напівобмотки повинен бути таким, щоб під час спрацювання розрядника котушка вносила для струму розряду тільки невеликий активний опір.

При такому включенні напівобмоток, під час включення одного з розрядників струм, який проходить по одній із напівобмоток, за рахунок

індукції наводить в другій напівобмотці напругу, яка прискорює включення другого розрядника.

Отже, дренажна котушка, не тільки виключає коротке замикання кола зв'язку, в момент включення розрядника, але сприяє одночасності їх включення, що виключає можливість появи небажаних струмів, в апаратурі ущільнення. Якщо розрядники включені без дренажної котушки, то в момент включення розрядників двохпровідне коло замикається накоротко, що викликає спотворення в роботі тонального телеграфу та фототелеграфу.

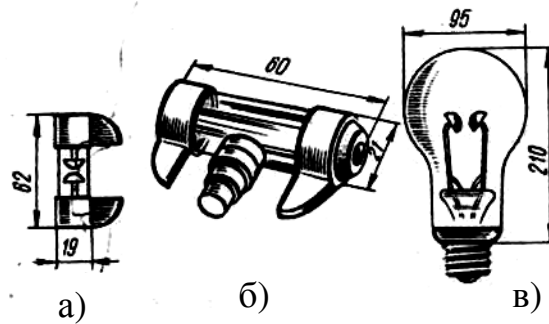


Рисунок 2.1 – Розрядники: а) двохелектродний Р-350; б) трьохелектродний ЗРББ-350; в) двохелектродний барієвий РБ-280

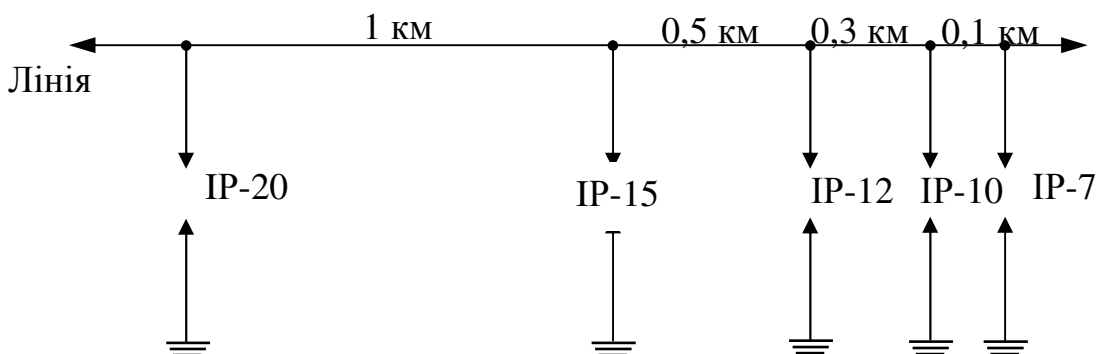


Рисунок 2.2 – Каскадний захист ПЛЗ

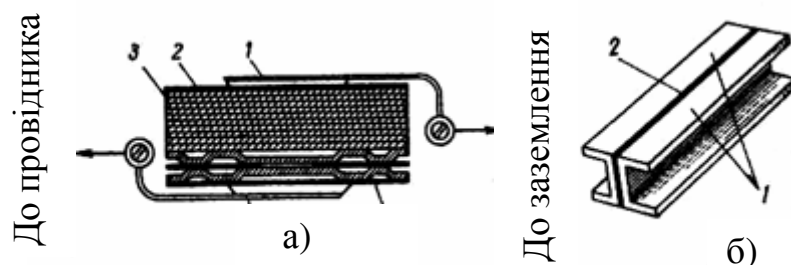


Рисунок 2.3 – Розрядники: а) вілітовий; б) вугільний

Крім того внаслідок деякої різниці опорів провідників, з яких складається коло й відмінності характеристик розрядників вони включаються не одночасно. В результаті цього через апаратуру, яка встановлена на кінцях кола, протікають

великі струми, які вирівнюють потенціали та вносять спотворення в сигнал, який передається й призводять до виникнення акустичних ударів.

Для зменшення взаємного впливу між виходом та входом підсилювачів ущільнених кіл, через треті двохпровідні кола та телеграфні проводи, а також від зовнішніх впливів застосовують запираючі котушки (ЗК).

Запираюча котушка складається з двох напівобмоток 1-2 та 3-4, які намотані на загальному сердечнику, виконаному з матеріалу з високою магнітною проникністю. Кожна напівобмотка включається в один з проводів двохпровідного кола так, щоб магнітні поля струмів одного напрямку (струми завади в напівобмотках ЗК) склалися, що в результаті дозволяє отримати великий індуктивний опір, а магнітні поля струмів протилежного напрямку (робочі струми сигналу в напівобмотках) були взаємно скомпенсовані. Тобто для струмів завади ЗК вносить значні втрати, а для робочих струмів – невеликі.

Запираючі котушки, що використовуються, вносять втрати для струмів спотворення: на частоті 30 кГц – 8,68 дБ (1 Нп) на частоті 120 кГц – 19,97 дБ (2,3 Нп); на частоті 150 кГц – 21,71 дБ (2,5 Нп). В той же час втрати для струмів сигналу (робочих струмів) складають не більш ніж 0,18 дБ (0,02 Нп) на частотах до 70 кГц та не більш ніж 0,26 дБ (0,03 Нп) на частотах більше 70 кГц.

Для узгодження характеристичних (хвильових) опорів кіл повітряних ліній зв'язку з кабельними вставками в місцях їх з'єднання встановлюють спеціальні узгоджувальні автотрансформатори.

За допомогою автотрансформатора є можливість узгодити тільки модулі хвильових опорів кіл зв'язку. Тому в ВЧ спектрі (більш 10 кГц), де хвильовий опір кіл повітряних ліній зв'язку та кабельних вставок має дуже малі фазові кути, ці кола легко піддаються узгодженню.

Рівень узгодження оцінюють величиною коефіцієнта відбиття  $\rho$  для повітряної чи кабельної лінії зв'язку:

$$\rho_{\text{лв}} = \frac{Z_{\text{лв}} - Z_{\text{каб}}}{Z_{\text{лв}} + Z_{\text{каб}}}; \quad \rho_{\text{каб}} = \frac{Z_{\text{каб}} - Z_{\text{лв}}}{Z_{\text{каб}} + Z_{\text{лв}}},$$

де  $Z_{\text{лв}}$  – хвильові (характеристичні) опори (див. табл. 2.4) ПЛЗ чи КЛЗ;

$Z_{\text{каб}}$  – виміряні значення входних опорів ПЛЗ чи КЛЗ.

Вхідний опір автотрансформатора як зі сторони повітряної лінії зв'язку, так і зі сторони кабельної лінії при відповідних навантаженнях протилежної сторони (180 та 550 або 140 та 550 Ом) забезпечує коефіцієнт відбиття не більш ніж 6% в діапазоні частот 30...160 кГц та не більш ніж 10% на частотах нижче 30 кГц.

Для узгодження кабельних вставок в ущільнених колах використовуються спеціальні автотрансформатори типу АТ-550/140 (для кабелів типу ТЗ), або АТ-550/180 (для кабелів типу МКС).

При використанні автотрансформатора для захисту обладнання та персоналу, від небезпечних струмів на абонентських лініях в розрив проводів вмикають запобіжники. Вони бувають лінійні та станційні:

– лінійні запобіжники типу СН-1 (спіральні з ножовими контактами) та СК (спіральні з конусними контактами) розраховані на величину струму в 1 А;

– станційні запобіжники – це термічні котушки, які встановлені на кросі.

Термічні котушки розраховані на струм 0,25 А (ТК-0,25) та 0,3 А (ТК-0,3). Вони відмикають обладнання міських телефонних станцій від проводів лінії зв'язку, якщо на останні попаде напруга з електричної мережі нижча, ніж напруга запалення встановлених розрядників. Термокотушки є запобіжниками багаторазової дії (рис. 2.4).

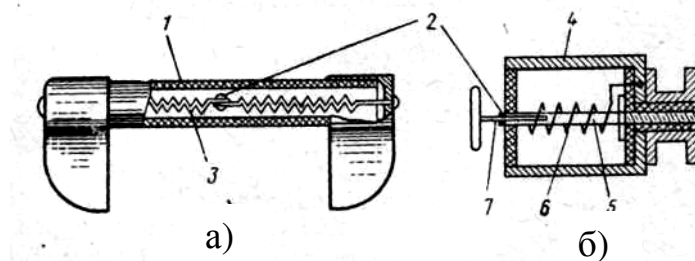


Рисунок 2.4 – Запобіжник типа СН (а) і термічна котушка (б)

На різного типу лініях передачі існує ряд схем захисту в залежності від виду зовнішнього впливу, наявності дистанційного живлення і типу апаратури. В якості приклада на (рис. 2.5) наведена схема захисту ущільнених до 150кГц кіл ПЛЗ при кабельному вводі.

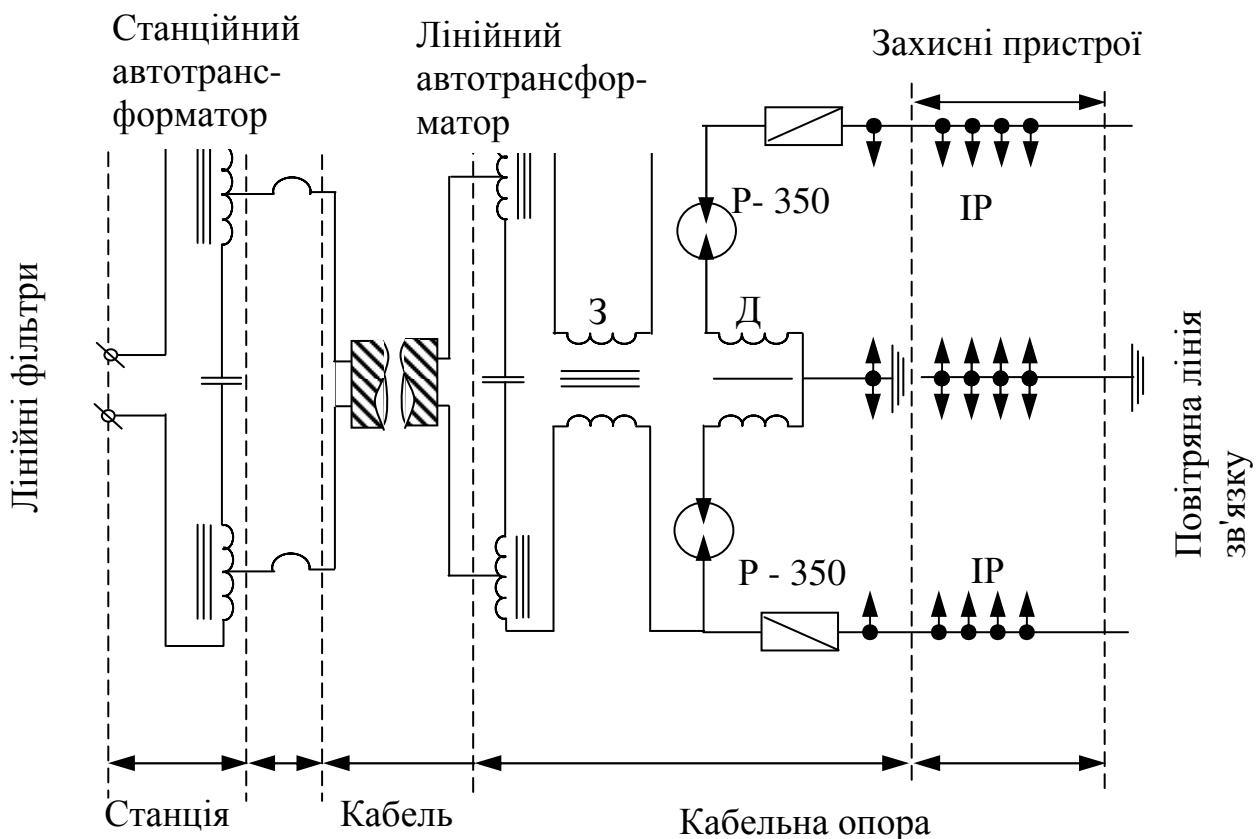


Рисунок 2.5 – Схема захисту ущільнених кіл ПЛЗ з кабельною вставкою

Електричний захист на кросі та на абонентських мережах потрібний при підземній прокладці кабелю на відкритій місцевості, при підвішуванні кабелю на опорах, а також, якщо використовуються змішані лінії зв'язку, які складаються з кабельних та повітряних ліній зв'язку. На повністю кабельованих абонентських мережах та на низькочастотних з'єднувальних лініях електричний захист обладнання на кросі не потрібний.

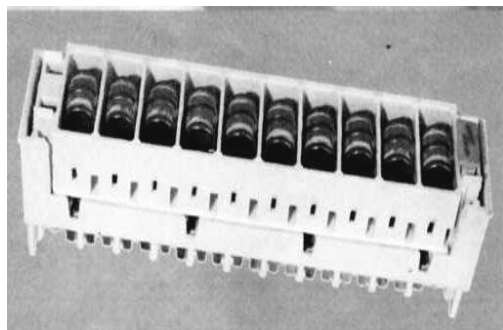
Необхідно відмітити, що у зв'язку з використанням на МТМ імпортного кросового обладнання та впровадження електронних АТС електричний захист на основі вугільних розрядників та термокотушок підлягає заміні на більш істотні захисні пристрої. Замість вугільних розрядників та запобіжників використовують двох та трьох електродні мініатюрні газонаповнені розрядники з напругою запалювання від 90 до 350 В. Ці розрядники мають контакти, які замикаються у вигляді плавких шайб, кілець чи пружинних контактів. Вони забезпечують в аварійній ситуації закорочення проводів зв'язку на землю.

Необхідно також відмітити, що електронні та квазі електронні АТС більш чутливі до зовнішньої напруги, порівняно з електромеханічними АТС, тому для них може бути передбачена друга, додаткова, ступінь захисту, яка реалізується безпосередньо в обладнанні станції. При цьому у складі системи комутації для захисту обладнання таких АТС від дії перенапруги і збиткових струмів передбачене захисне обладнання, яке відрізняється призначенням, технічними характеристиками та конструктивним виконанням.

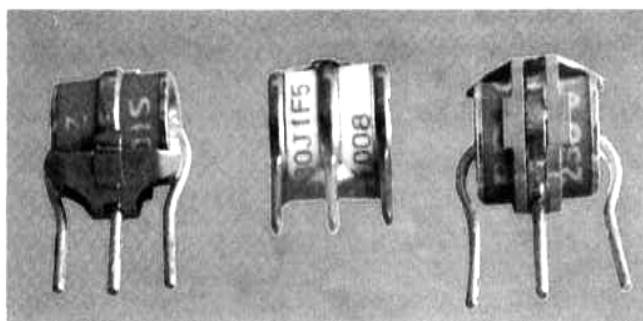
Вибір захисного обладнання для конкретної системи комутації виконується з урахуванням технічних характеристик обладнання АТС, абонентських та з'єднувальних ліній та умов експлуатації обладнання.

Так, наприклад, для захисту станційного обладнання від дії перенапруги, яка може виникнути при експлуатації в абонентських та з'єднувальних лініях використовуються магазини захисту (МЗ) (рис. 2.6,а).

В якості захисного елемента в МЗ використовуються трьохполюсні газорозрядники з термозамикаючою пластиною (рис. 2.6,б). Розрядники забезпечують найпростіший захист від напруги в повздовжньому (поміж проводами) і поперечному (між кожним проводом та корпусом каркаса кроса) напрямках та мають тепловий захист від займання обладнання.



а)



б)

Рисунок 2.6 – Магазин захисту станційного обладнання АТС від дії перенапруги:

а) – загальний вигляд МЗ; б) – трьохполюсний газорозрядник

При спрацюванні теплового захисту після зняття напруги потрібна заміна розрядника в МЗ.

Конструктивно розрядники встановлюються в одому корпусі (МЗ), який розташовується в комутаційному плінті кросового обладнання, виконуючи при цьому під'єднання:

- потенційних виводів розрядників до усіх кіл плінта;
- корпусних виводів усіх розрядників до монтажного хомута і каркасу кроса.

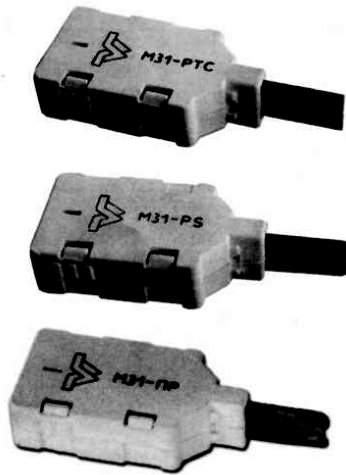


Рисунок 2.7 – Загальний вигляд МЗТ

Для захисту станційного обладнання від дії збиткових струмів, які можуть виникати при експлуатації в абонентських і з'єднувальних лініях використовуються модулі захисту по струму (МЗТ). Ці модулі бувають багаторазового та одноразового використання. Наприклад, модулі захисту вітчизняного виробництва МЗ1 – РТС і МЗ1 – PS являються пристроями багаторазового використання, так як вони реалізовані на елементах захисту, які після закінчення дії збиткових струмів відновлюють свій вихідний стан. Модуль захисту МЗ1 – ПР являється пристроєм одноразового використання, так, як його реалізовано на елементах захисту (плавкій вставці), яка після закінчення дії збиткових струмів виходить із ладу. Для подальшої експлуатації в обладнанні потрібна заміна або ремонт такого МЗТ (рис. 2.7).

Конструктивно МЗТ реалізовані в пластмасовому корпусі для підключення на одну двохпровідну лінію плінтів 2 x 10 і других плінтів на основі 2 x 10. Для захисту станційного обладнання від дії перенапруги, що може з'являтися при експлуатації в цифрових з'єднувальних лініях при дії грозових розрядів, впливу ЛЕП, контактів з промисловою електромережею напругою 220 В 50 Гц застосовуються модулі захисту МЗ1 – 2 Mbit/s, або МЗ1 – CLP.

В якості захисних елементів в модулі захисту МЗ1 – 2 Mbit/s використовуються:

- в поперечному напрямку трьохполюсні газорозрядники з термозамикаючою пластиною і для зменшення часу спрацювання – варистори;
- в повздовжньому напрямку для зменшення допустимої напруги – обмежувачі напруги.

Конструктивно цей МЗ реалізований в пластмасовому корпусі для підключення на одну двохпровідну лінію плінтів 2 x 10. Вони мають чотири потенційні виводи та один вивід (пружину) заземлення. При спрацюванні теплового захисту після зняття перенапруги потрібна заміна МЗ.

Особливістю модулів МЗ1 – CLP крім захисту станційного обладнання від перенапруги є також захист станційного обладнання і від збиткових струмів. Ці модулі застосовуються також на аналогових і цифрових абонентських та з'єднувальних лініях.

Тепловий захист в цих модулях передбачає відключення обладнання при тривалому попаданні в лінії збиткових напруг. При спрацюванні теплового захисту після зняття перенапруги МЗ1– *CLP* самовідновлюється і заміна не потребується.

В якості захисних елементів в модулі захисту використовуються:

- для захисту від перенапруг і збиткових токів спеціалізована мікросхема *CLP* 200 М;
- для теплового захисту і вимкнення обладнання при тривалому попаданні в лінії збиткових напруг – терморезистори РТС.

*Примітка:*

1. Всі типи розглянутих магазинів та модулів захисту по своїм електричним та експлуатаційним характеристикам відповідають вимогам рекомендації *ITU* – Т К. 20 редакції 07/2003 „Стієкість комунікаційного обладнання електрозв’язку до перенапруги і збиткових струмів”.

2. МЗ вкомплектовані розрядниками з напругою пробою 230 В  $\pm$  20% або 300 В  $\pm$  20% призначеними для захисту обладнання, номінальна робоча напруга якого не перевищує 170 В і 230 В, відповідно.

3. Номенклатура МЗ фірми КРОК – КН (Харківський державний приборобудівний завод ім. Т.Г. Шевченко) для систем комутації абонентських і з’єднувальних ліній АТС приведена в табл. 2.1.

4. Номенклатура МЗ1 цієї ж фірми приведена в табл. 2.2.

5. Технічні характеристики обладнання захисту приведені в табл. 2.3.

Таблиця 2.1 – Номенклатура магазинів захисту

| Найменування                | Децимальний номер                                     | Маркування                    | Тип плінта для підключення                                     | Примітка          |
|-----------------------------|-------------------------------------------------------|-------------------------------|----------------------------------------------------------------|-------------------|
| Магазин захисту             | ЯЕВИ. 301592.008                                      | –                             | НЗР – 2 х 10 – 004<br>НОЗ – 2 х 10 – 014<br>НЗН – 2 х 10 – 020 | На 10 розрядників |
| Магазин захисту 2 х 10      | ЯЕВИ. 301592.018<br>(1)                               | 2 х 10-18                     | НЗР – 2 х 10 – 004<br>НОЗ – 2 х 10 – 014<br>НЗН – 2 х 10 – 020 | На 10 розрядників |
| Магазин захисту 2 х 8       | ЯЕВИ. 301592.019<br>(1)                               | 2 х 10-19                     | НЗР – 2 х 10 – 004<br>НОЗ – 2 х 10 – 014<br>НЗН – 2 х 10 – 020 | На 8 розрядників  |
| Магазин захисту 2 х 5 (3х5) | ЯЕВИ. 301592.019<br>(1)<br>ЯЕВИ. 301592.019-01<br>(2) | 2х5(3х5)-27<br>2х5(3х5)-27-01 | НЗР – 2х5(3х5) –025<br>НОЗ– 2х5(3х5)–026                       | На 5 розрядників  |
| Магазин захисту 2 х 8 (3х8) | ЯЕВИ. 301592.030<br>(1)                               | 2 х 8 (3х8)-30                | НЗР – 2х5(3х5)–028<br>НОЗ– 2х5(3х5)–029                        | На 8 розрядників  |

Таблиця 2.2 – Номенклатура модулів захисту по току

| Найменування             | Децимальний номер | Маркування | Елемент захисту                                                                             |
|--------------------------|-------------------|------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|
| МОДУЛЬ ЗАХИСТУ МЗ1 – РТС | ЯЕВИ.468629.011   | МЗ1 – РТС  | 2 терморезистори РТС 33 Ом <i>PHILIPS</i>                                                   |
| МОДУЛЬ ЗАХИСТУ МЗ1 – PS  | ЯЕВИ.468629.014   | МЗ1 – PS   | 2 самовідновлюючихся запобіжника „ <i>Poliswitch</i> ”, що самовідновлюються TR – 250 – 120 |
| МОДУЛЬ ЗАХИСТУ МЗ1 – ПР  | ЯЕВИ.468629.017   | МЗ1 – ПР   | 2 швидко діючі плавкі вставки                                                               |

Таблиця 2.3 – Технічні характеристики обладнання захисту

| Технічні характеристики                   | Магазини захисту               | Модулі захисту |                   |                |                          |                           |
|-------------------------------------------|--------------------------------|----------------|-------------------|----------------|--------------------------|---------------------------|
|                                           |                                | МЗ1–РСТ        | МЗ1 – PS          | МЗ1 – ПР       | МЗ1 – 2 Mbit/s           | МЗ1 – CLP                 |
| Кількість захищаних ліній                 | В залежності від типу 10, 8, 5 | 1              | 1                 | 1              | 1                        | 1                         |
| Технічні характеристики                   | Магазини захисту               | Модулі захисту |                   |                |                          |                           |
| Номинальна робоча напруга, В, не більше   |                                |                |                   |                |                          |                           |
| – між А/В – S                             | 160                            | 200            | 400               | 400            | 160                      | 160                       |
| – між А – В                               | 160                            | 200            | 400               | 400            | 6                        | 160                       |
| Напруга пробою, В:                        | 1800 - 300                     | –              | –                 | –              | 180 - 270                | 200 - 290                 |
| між А/В – S                               | 360 - 600                      | –              | –                 | –              | 8 - 12                   | –                         |
| між А – В                                 |                                |                |                   |                |                          |                           |
| Максимальний робочий струм, мА, не більше | –                              | 90             | 120               | 100            | 200                      | 80                        |
| Захист по струму                          | Термо-замикачі                 | Терморезистор  | <i>Poliswitch</i> | Плавка вставка | Термо-замикаюча пластина | Мікросхема, терморезистор |

Закінчення таблиці 2.3

|                                              |                      |                    |                  |                    |                     |                      |
|----------------------------------------------|----------------------|--------------------|------------------|--------------------|---------------------|----------------------|
| Час спрацювання захисту                      |                      |                    |                  |                    |                     |                      |
| - по напрузі, с, не більше                   | $0,7 \times 10^{-6}$ | —                  | —                | —                  | $50 \times 10^{-9}$ | $0,6 \times 10^{-6}$ |
| - по струму, с, не більше                    | —                    | 5(при струмі 0,6А) | 2(при струмі 1А) | 5(при струмі 0,4А) | —                   | $0,6 \times 10^{-6}$ |
| - термозамикача при струмі 10А, с, не більше | 5                    | —                  | —                | —                  | 5                   | —                    |
| Опір ізоляції МОм, не більше                 | 100                  | 10000              | 10000            | 1000               | 10                  | 10                   |
| Опір вносимий в лінію, Ом, не більше         | 0                    | 40                 | 12               | 33                 | 5,5                 | 45                   |
| Робоча температура, °C                       | від - 40 до +70      | від - 40 до +70    | від - 40 до +70  | від - 40 до +70    | від - 40 до +70     | від - 40 до +70      |
| Гранична температура, °C                     | від - 60 до +80      | від - 60 до +80    | від - 60 до +80  | від - 60 до +80    | від - 60 до +80     | від - 60 до +80      |

## 2.2 Призначення МЗ – тестера для перевірки пристроїв захисту телекомунікаційного обладнання

МЗ – тестер призначений для перевірки роботоздібності усієї номенклатури пристроїв захисту системи комутації КРОК—КН і пристроїв захисту других фірм, які по своїм параметрам та конструкції відповідають пристроям захисту систем комунікації КРОК—КН.

Технічні характеристики МЗ-тестера

Перевіряємі параметри пристроїв захисту:

- напруга пробою, В від 20 – 400
- опір, що вноситься в лінію, Ом від 0 – 99,9
- струм спрацювання захисту, мА не більше 170

Кількість пристроїв захисту, які підключаються для перевірки:

- магазин захисту на плінт 2х10 1
- модуль захисту на одну двохпровідну лінію плінта 2

Режим перевірки пристроїв захисту:

- автоматичний, при якому відбувається автоматична перевірка підключених пристроїв захисту;

- ручний при якому перевірка кожного наступного пристрою захисту (чи лінії магазину захисту) відбувається по команді оператора.

Прилад має режим самоконтролю своєї працездатності.

Виконання приладу – настільне з габаритами 220x220x120 мм.

Кліматичне виконання прибору – УХЛ4 по ГОСТ 15150.

Живлення–виробнича мережа 220В 50Гц.

### **2.3 Випробування розрядників на напругу, при якій починається їх загоряння**

Визначення напруги, при якій починається розряд здійснюється приладом ІР-3. Випробувач являє собою перетворювач низької постійної напруги у високу з контрольним вольтметром.

Після підключення розрядника до відповідних гнізд, та натискаючи кнопки “Вкл.” поворотом ручок “Регул. напр. грубо”, “Регул. напр. плавно” визначається величина напруги загоряння. Газонаповнений двохелектродний розрядник Р-350 вважається справним, якщо перепад напруги складає  $350 \pm 40$  В.

### **2.4 Визначення ефективності роботи дренажної котушки**

Відібравши два розрядника Р-350 з найбільшою різницею порогу загоряння, підключити їх в схеми захисту. З тієї сторони, яка йде від станції в лінію, ввімкнути головні телефони. Відімкнути від схеми дренажну котушку за допомогою спеціальної перемички, не відмикаючи “Землю” від розрядників. Ввімкнути прилад ІР-3 в коло каналу „блискавка–земля”, імітувати приладом розряд блискавки.

При наступному ввімкненні ДК у схему захисту відзначається зменшення рівня акустичного удару. Такий же ефект може бути досягнутий при ретельному підборі розрядників по номінальній напрузі загоряння.

### **2.5 Вимірювання вхідних опорів автотрансформатора**

Вимірювання вхідних опорів автотрансформатора виконується за схемами на рис. 2.8 та 2.9. Перша схема – це схема вимірювання вхідного опору з сторони повітряної лінії зв'язку, дуга – з сторони кабельної лінії зв'язку.

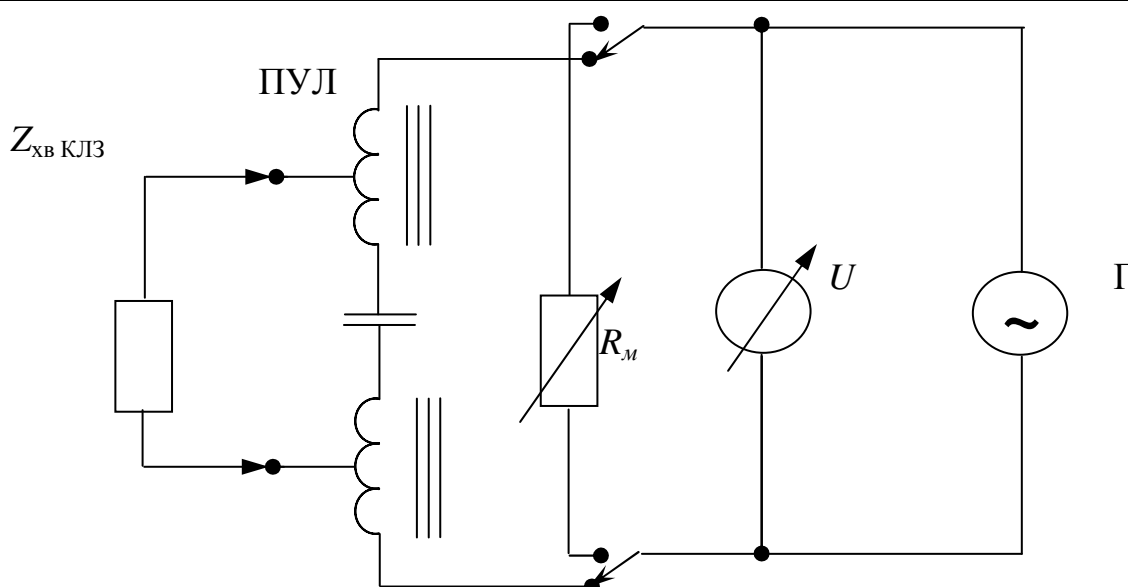


Рисунок 2.8 – Схема вимірювання вхідного опору автотрансформатора з боку повітряної лінії зв'язку

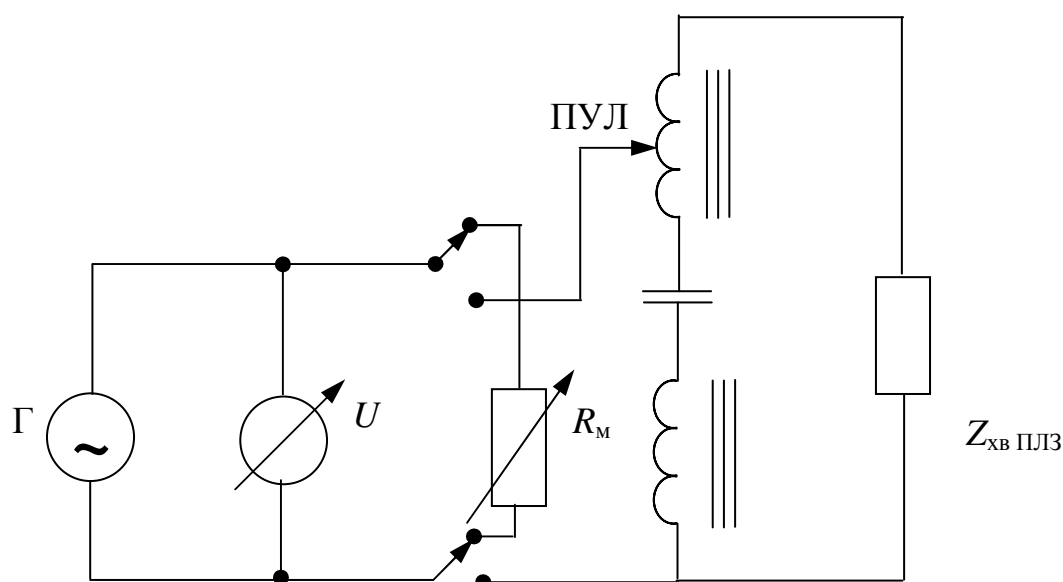


Рисунок 2.9 – Схема вимірювання вхідного опору автотрансформатора з боку кабельної лінії зв'язку

Порядок вимірювання вхідних опорів наступний:

2.1. Перевірити та, якщо це потрібно, ввімкнути прилади (генератор, індикатор) до системи електроживлення.

2.2. На генераторі встановити задану частоту з вихідним рівнем 13,02...17,37 дБ (1,5...2 Нп). Вихідний опір генератора встановлюють рівним 600 Ом. Вхідний опір індикатора – високоомний.

2.3. Підімкнути прилади в схему на об'єкт, який вимірюється, послідовно, спочатку від сторони ПЛЗ, потім від сторони кабельної вставки, підімкнувши відповідне навантаження на протилежний кінець узгоджуваного приладу ( $Z_{XB ПЛЗ}$  або  $Z_{XB КЛЗ}$ ). Беручи середнє значення хвильових опорів в діапазоні 30 – 150 кГц з

достатньою точністю можна ставити в схему опори  $Z_{\text{хвКЛЗ}} = 180 \text{ Ом}$  та  $Z_{\text{хвПЛЗ}} = 540 \text{ Ом}$ .

2.4. Виставити на індикаторі стрілку рівня сигналу в будь-яке положення в середній частині шкали (повертаючи ручку вихідного рівня на генераторі).

2.5. Потім перемкнути індикатор на магазин опору й повертаючи ручки магазину, домогтися тих же показників індикатора (порівнювальний метод).

2.6. По ручкам (курбелям) магазину опору провести відлік модуля вхідного опору автотрансформатора ( $Z_{\text{вхПЛЗ}}$ ;  $Z_{\text{вхКЛЗ}}$ ) для відповідної сторони входу автотрансформатора.

## 2.6 Розрахунок коефіцієнта відбиття

Для розрахунку коефіцієнта відбиття використовують формули:

$$\delta_{\text{іЕЦ}} = \frac{Z_{\text{аоіЕЦ}} - Z_{\text{оаіЕЦ}}}{Z_{\text{аоіЕЦ}} + Z_{\text{оаіЕЦ}}}; \quad \delta_{\text{ЕЕЦ}} = \frac{Z_{\text{аоЕЕЦ}} - Z_{\text{оаЕЕЦ}}}{Z_{\text{аоЕЕЦ}} + Z_{\text{оаЕЕЦ}}}.$$

Автотрансформатор забезпечує коефіцієнт відбиття в діапазоні частот до 30 кГц  $p \leq 0,2$ , на частотах до 150 кГц  $p \leq 0,1$ .

Паспортні значення хвильового опору кіл ПЛЗ та КЛЗ на окремих частотах наведені в табл. 2.4.

Таблиця 2.4 – Паспортні значення хвильового опору кіл ПЛЗ та КЛЗ

| $f$ , кГц | $Z_{\text{хвКЛЗ}}$ | $Z_{\text{хвПЛЗ}}$ |
|-----------|--------------------|--------------------|
| 30        | 191                | 544                |
| 60        | 184                | 543                |
| 120       | 180                | 542                |
| 150       | 179                | 542                |

## 2.7 Вимірювання ослаблення, які вносить замикаюча котушка

Вимірювання втрат, які вносить замикаюча котушка в колі завади, виконується методом різниці рівнів по схемі на рис. 2.10.

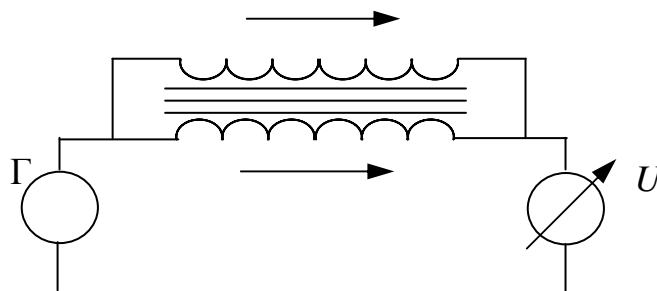


Рисунок 2.10 – Схема вимірювання втрат, які вносить запираюча котушка в коло завади

Порядок проведення вимірювання наступний:

1. Перевірити та ввімкнути прилади (генератор та індикатор) до системи електроживлення.
2. На генераторі встановити задану частоту з вихідним рівнем 13,02...17,37 дБ (1,5...2 Нп). Вихідний опір генератора та вхідний опір індикатора повинні бути 600 Ом.
3. Перевірити вихідний рівень генератора за допомогою індикатора прямим ввімкненням приладу. В разі потреби провести регулювання приладів.
4. Ввімкнути прилади до вимірюваного об'єкту так, як показано на рис. 2.10.

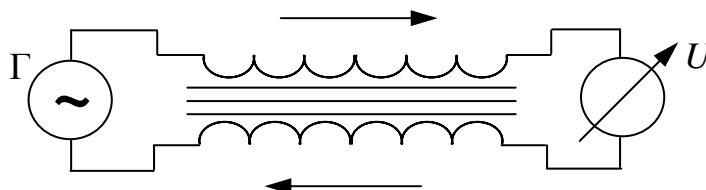


Рисунок 2.11 – Схема вимірювання втрат, які вносить запираюча котушка в коло сигналу

5. Методом різниці рівнів провести відлік внесених ЗК втрат. ( $\alpha_{кз}$ ).

Таким же чином провести вимірювання втрат, які вносить ЗК в коло сигналу ( $\alpha_{кс}$ ) по схемі на рис. 2.11.

Для порівняння в табл. 2.5 наведені паспортні дані внесених ЗК втрат в колі завади ( $\alpha_{кз}$ ) та в колі сигналу ( $\alpha_{кс}$ ) на окремих частотах.

Таблиця 2.5 – Паспортні дані внесених втрат ЗК в колі завади ( $\alpha_{кз}$ ) та в колі з сигналу ( $\alpha_{кс}$ ) на окремих частотах

| $f$ , кГц          | 5    | 10   | 30    | 100   | 120   | 150   |
|--------------------|------|------|-------|-------|-------|-------|
| дБ                 | 0,87 | 2,17 | 8,25  | 19,10 | 20,00 | 23,00 |
| $\alpha_{кз}$ , Нп | 0,10 | 0,25 | 0,95  | 2,20  | 2,30  | 2,64  |
| дБ                 | 0,09 | 0,09 | 0,09  | 0,26  | 0,280 | 0,360 |
| $\alpha_{кс}$ , Нп | 0,01 | 0,01 | 0,601 | 0,03  | 0,032 | 0,041 |

### 3 КЛЮЧОВІ ПИТАННЯ

- 3.1. Чому обмежується нижній поріг загоряння розрядників?
- 3.2. Чому ДК зменшують завади в каналах зв'язку?
- 3.3. До чого приводить неузгодження кабельних вставок з лініями зв'язку?
- 3.4. Для чого використовуються ЗК в колах захисту ПЛЗ?
- 3.5. Принципи роботи схем захисту повітряних та кабельних ліній зв'язку?
- 3.6. Призначення та основні типи розрядників, запобіжників, МЗ та МЗ1?
- 3.7. Основні можливості приладу МЗ – тестер?

## 4 ДОМАШНЄ ЗАВДАННЯ

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

- призначенням та видами захисного обладнання ліній зв'язку;
- порядком виконання лабораторної роботи.

4.2. Підготуватися до обговорення ключових питань розділу три.

4.3. Вивчити схеми захисту ліній зв'язку.

4.4. Підготувати бланк протоколу лабораторної роботи.

## 5 ЛАБОРАТОРНЕ ЗАДАННЯ

5.1. Ознайомитись та вивчити схеми захисту та конструкцію захисного обладнання при вводах кіл ПЛЗ.

5.2. Оцінити ефективність роботи дренажних котушок (ДК).

5.3. Виміряти вхідні опори автотрансформатора від сторони ПЛЗ та кабельного вводу на двох частотах – 30 кГц та 150 кГц. Та занести в таблицю за формою табл. 2.6.

5.4. Розрахувати коефіцієнт відбиття для цих частот. Та занести в таблицю за формою табл. 2.6.

5.5. Виміряти внесене ослаблення запираючої котушки (ЗК) в колі завад ( $\alpha_{кз}$ ) та в колі сигнала ( $\alpha_{кс}$ ) на шести частотах:  $f = 5; 10; 30; 100; 120; 150$  кГц та побудувати графіки залежності  $\alpha = \varphi(f)$ .

5.6. Виміряти за допомогою приладу МЗ – тестер напругу пробою магазину захисту.

5.7. Виміряти за допомогою приладу МЗ – тестер струм спрацьовування модулю захисту.

5.8. Виміряти за допомогою приладу МЗ – тестер додатковий опір, який вноситься в лінію модулем захисту.

Таблиця 2.6 – Дані вимірювання вхідних опорів автотрансформатора

| $f$ , кГц | $Z_{вх}$ із сторони ПЛЗ, Ом | $Z_{хв}$ ПЛЗ, Ом | $Z_{вх}$ із сторони, КЛЗ, Ом | $Z_{хв}$ КЛЗ, Ом | $\rho_{ПЛЗ}$ | $\rho_{КЛЗ}$ | Примітки |
|-----------|-----------------------------|------------------|------------------------------|------------------|--------------|--------------|----------|
| 30        |                             | 540              |                              | 180              |              |              |          |
| 150       |                             | 540              |                              | 180              |              |              |          |

5.9. Дані вимірювання внесеного ослаблення запираючою котушкою (ЗК) в колі завади ( $\alpha_{кз}$ ) та в колі сигнала ( $\alpha_{кс}$ ) вносяться в табл. 2.7.

Таблиця 2.7 – Дані вимірювання внесеного ослаблення запираючою котушкою

| $f$ кГц          | 5 | 10 | 30 | 100 | 120 | 150 | Примітки |
|------------------|---|----|----|-----|-----|-----|----------|
| $\alpha_{кз}$ дБ |   |    |    |     |     |     |          |
| $\alpha_{кс}$ дБ |   |    |    |     |     |     |          |

5.10. Оцінити дані про перевірку ефективності використання дренажної котушки в схемах захисту.

## 6 АПАРАТУРА

- 6.1. Генератор, який працює в діапазоні 0,3...300 кГц.
- 6.2. Вимірювач рівня сигналу в діапазоні 0,3...300 кГц.
- 6.3. Магазин опору.
- 6.4. Резистори навантаження.
- 6.5. Прилад МЗ – тестер.
- 6.6. Модулі захисту по струму.
- 6.7. Модуль захисту МЗ1 – 2 Mbit/s.
- 6.8. Модуль захисту МЗ1 – CLP.
- 6.9. Магазин захисту.

## 7 ЗМІСТ ПРОТОКОЛУ

- 7.1. Схема захисту апаратури провідного зв'язку при кабельному вводі ПЛЗ (по завданню керівника).
- 7.2. Принципові схеми вимірювання.
- 7.3. Дані вимірювання входних опорів автотрансформатора [узгоджувального пристрою ліній (УПЛ)] та розрахунок коефіцієнта відбиття, данні вимірів ослаблень ЗК, вимірів за допомогою МЗ – тестера (напруги пробую МЗ, струму спрацювання МЗ, додаткового опору МЗ).

## 8 ЛІТЕРАТУРА

- 8.1. Гроднев И. И., Курбатов Н. Д. Линии связи. – М.: Связь, 1980. – С. 307-315.
- 8.2. Строительство кабельных сооружений связи. Справочник / Под редакцией Барона Д.А. и др. – М.: Радио связь. 1988 – С. 620 – 640.
- 8.3. ITU – Т К.20 рекомендации 07/2003 «Стойкость коммутационного оборудования электросвязи к перенапряжениям, избыточным токам».

## Лабораторна робота № 2

### ДОСЛІДЖЕННЯ НЕБЕЗПЕЧНОГО МАГНІТНОГО ВПЛИВУ ЛЕП НА КАБЕЛЬНІ ЛІНІЇ ЗВ'ЯЗКУ

#### 1 МЕТА РОБОТИ

Метою роботи є ознайомлення з методами обчислення та вимірювання величини поздовжньої наведеної ЕРС в жилах кабелів зв'язку, визваної небезпечним магнітним впливом високовольтних ліній електропередавання (ЛЕП).

#### 2 КЛЮЧОВІ ПОЛОЖЕННЯ

До високовольтних ліній електропередавання належать ЛЕП та контактні мережі електрофікованих залізниць. Високовольтні лінії, що працюють на змінному струмі з  $f = 50$  Гц, мають напруги від 3 до 400 кВ і вище.

Трифазні ЛЕП можуть бути симетричними (що не мають залишкових струмів та напруг в землі) й несиметричними (в яких земля використовується як один з робочих проводів). Останні справляють на кабельні лінії передавання найбільший вплив.

При розгляданні впливів на лінії зв'язку розрізняють нормальний, вимушений та аварійний режими роботи ЛЕП. Під нормальним режимом розуміється режим, за якого лінія працює стало. Вимушений режим – це той, за якого лінія вимушена певний час працювати в режимі, відмінному від нормального, наприклад симетрична лінія працює в несиметричному (неповнофазному) режимі (ДПЗ – два проводи – земля). Аварійний режим виникає за порушення нормальної роботи ЛЕП, наприклад, за обривання й заземлення одного з фазових проводів. В цьому разі виникає струм короткого замикання, який на порядок може перевищувати робочий струм. При цьому ЛЕП справляє на кабелі небезпечний магнітний вплив.

Обчислення небезпечного магнітного впливу ЛЕП на лінію зв'язку (ЛЗ) виконують на етапі проектування. Обчислені сподівані значення наведеної ЕРС порівнюють з припустимими значеннями й обирають відповідні заходи захисту. Метод обчислення поздовжньої наведеної ЕРС називається методом проб. Полягає він у тому, що коротке замикання фазового проводу ЛЕП на землю за складної траси зближення відбувається послідовно, приміром, припускаємо, що в точках 0, 1, 2 і т. д. (рис. 2.1). При цьому ділянки косих зближень приводять до паралельних, які знаходяться на відстані:

$$a_{\text{екв}} = \sqrt{a_1 a_2}, \text{ м}$$

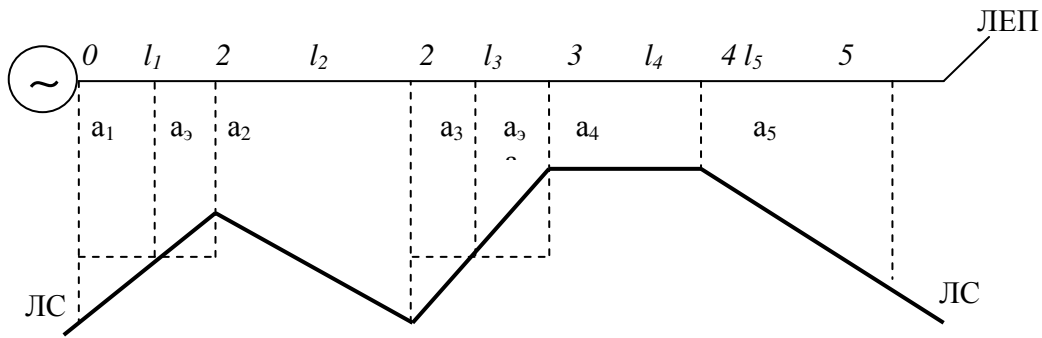


Рисунок 2.1 – Траса зближення

Наведена ЕРС визначається за ділянками  $l_1, l_2 \dots l_n$ , оскільки для кожної ділянки коефіцієнт взаємної індуктивності поміж проводом ЛЕП та проводом лінії зв'язку буде різний. Він залежить від провідності ґрунту  $\sigma_{\text{гр}}$  й ширини зближення  $a_{\text{екв}}$ . Сумарна наведена ЕРС (В) визначається за формулою:

$$E_{\text{на}} = \omega \sum_{i=1}^n I_{\text{кз}} \dot{I}_i \ell_i S_{\text{заг}},$$

де  $\omega$  – кругова частота впливового струму ( $f = 50$  Гц);  $I_{\text{кз}}$  – струм короткого замикання, А;  $n$  – кількість ділянок траси зближення;  $M_i$  – коефіцієнт взаємної індуктивності поміж проводом ЛЕП та жилою кабелю зв'язку на  $i$ -й ділянці зближення, визначається за номограмою Михайлова (рис. 2.2);

$S_{\text{заг}}$  – сумарний коефіцієнт екранувальної дії:

$$S_{\text{заг}} = S_{\text{к}} S_{\text{тр}},$$

$S_{\text{к}}$  – коефіцієнт екрануючої дії оболонки кабелю;  $S_{\text{тр}}$  – коефіцієнт екрануючої дії траса, підвішеного на ЛЕП вище за фазові проводи.

Впливи за аварійних режимів бувають короточасними, оскільки вони зникають з вимкненням ушкодженої лінії. Але для забезпечення безпеки обслуговуючого персоналу, а також для оберігання від ушкоджень апаратури й ліній зв'язку встановлено норми припустимих величин небезпечних струмів та напруги. Норми ці залежать від типу ліній зв'язку, використовуваної системи передавання, організації схеми дистанційного живлення, від часу вимикання ЛЕП. Нормуються ЕРС на гальванічно неподілену ділянку кола лінії зв'язку (тобто таку, яка не містить трансформаторів, підсилювачів та фільтрів).

Для симетричних кабельних ліній значення припустимих ЕРС в проводах зв'язку наведено в табл. 2.1.

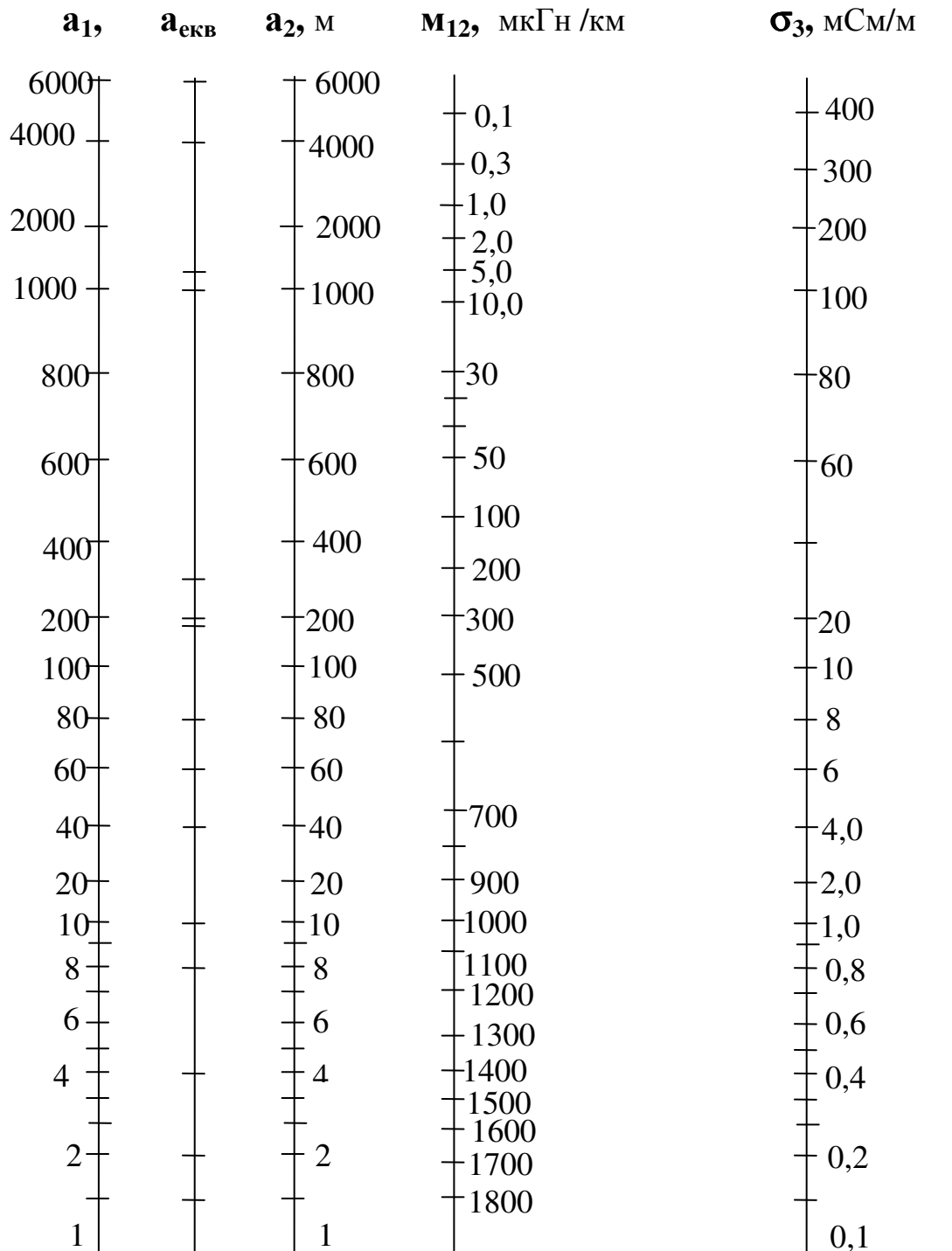


Рисунок 2.2 – Номограмма Михайлова

Таблиця 2.1 – Значення припустимих ЕРС в проводах зв'язку

| Система передавання | Коло            | Схема ДЖ        | Припустима поздовжня ЕРС, В |                     | Ділянка, до якої належить норма |
|---------------------|-----------------|-----------------|-----------------------------|---------------------|---------------------------------|
|                     |                 |                 | тривалий вплив              | короткочасний вплив |                                 |
| К-60П               | симетрична пара | провід – земля  | 200                         | 400                 | Підсилювальна ділянка           |
|                     |                 | провід – провід | 200                         | 530                 | Регенераційна ділянка           |

У табл. 2.2 наведено значення коефіцієнтів захисної дії тросів залежно від матеріалу й величини поперечного перерізу.

Таблиця 2.2 – Значення коефіцієнтів захисної дії тросів

| Матеріал троса | Величина $S_{тр}$ для тросів з поперечним перерізом, мм <sup>2</sup> |           |
|----------------|----------------------------------------------------------------------|-----------|
|                | 50...100                                                             | 101...200 |
| Мідь           | 0,60                                                                 | 0,50      |
| Алюміній       | 0,65                                                                 | 0,55      |
| Сталь          | 0,95                                                                 | 0,80      |

Якщо набуто за обчисленням значення ЕРС перевищує припустиме значення, слід обрати заходи захисту. Один з перших та переважних заходів – віднесення траси ЛЗ від ЛЕП, що впливає. Для цього треба обчислити  $a_{кр}$  – величину припустимого критичного зближення.

Якщо віднесення неможливо здійснити, то застосовуються електричні засоби захисту, які поділяються на заходи, здійснювані на ЛЕП, й заходи, здійснювані на лініях зв'язку.

### 3 КЛЮЧОВІ ЗАПИТАННЯ

3.1. Від чого залежить наведена в жилах кабелю ЕРС?

3.2. У яких режимах може працювати ЛЕП? Який з них є найбільш небезпечний для кабельної лінії зв'язку?

3.3. Який з варіантів стану проводу зв'язку за магнітного впливу є найбільш небезпечним:

- ізолюваний по кінцях;
- заземлений по кінцях;
- заземлений з одного кінця?

3.4. Від чого залежить коефіцієнт  $M_{12}$ ?

3.5. Що таке коефіцієнт екрануючої (захисної) дії? Від чого він залежить? У яких межах змінюється?

3.6 Як називається і в чому полягає метод обчислення поздовжньої наведеної ЕРС за небезпечного впливу ЛЕП на ЛЗ?

#### 4 ДОМАШНЄ ЗАВДАННЯ

4.1. За рекомендованою літературою ознайомитися з методом та порядком обчислення поздовжньої наведеної ЕРС в жилах кабелів зв'язку.

4.2. Вивчити заходи щодо захисту кабелів зв'язку від небезпечного впливу ЛЕП.

4.3. Підготувати бланк звіту з таблицею для записування результатів обчислення та вимірювань.

4.4. Підготуватися до обговорення з контрольних запитань.

#### 5 ЛАБОРАТОРНЕ ЗАВДАННЯ

5.1. Ознайомитися з макетом лабораторної роботи (рисунок 6.1).

5.2. Зібрати схему зближення ЛЕП та ЛЗ згідно із заданим викладачем варіантом.

5.3. Встановити за амперметром струм короткого замикання  $I_{кз}$  за вказівкою викладача.

5.4. Для заданої схеми зближення обчислити поздовжню наведену ЕРС (В) в аварійному режимі роботи ЛЕП за формулою:

$$E_{\text{нав}} = \omega \sum_{i=1}^n I_{\text{êç}} M_i l_i S_{\text{çäâ}}.$$

Обчислення звести в таблицю за наведеною формою (табл. 5.1).

Таблиця 5.1 – Обчислення поздовжньої наведеної ЕРС

| № точки | $a_1$ , м | $a_2$ , м | $a_{\text{екв}}$ , м | $M_{12} \cdot 10^{-6}$ , Гн/км | $l_i$ , км | $\omega M_{12} l_1$ | $\sum \omega M_i l_i$ | $I_{\text{кз}}$ , А | $S_{\text{заг}}$ | $E_{\text{розр.}}$ , В | $E_{\text{вим.}}$ , В |
|---------|-----------|-----------|----------------------|--------------------------------|------------|---------------------|-----------------------|---------------------|------------------|------------------------|-----------------------|
| 0       |           |           |                      |                                |            |                     |                       |                     |                  |                        |                       |
| 1       |           |           |                      |                                |            |                     |                       |                     |                  |                        |                       |
| 2       |           |           |                      |                                |            |                     |                       |                     |                  |                        |                       |

5.5. Виміряти величину наведеної ЕРС в точках 0, 1, 2.

5.6. Визначити припустиме значення ЕРС.

5.7. Побудувати графік залежності  $E_{\text{нав}} = f(l)$ . Нанести на графік пряму, відповідну  $E_{\text{прип.}}$ .

5.8. Порівняти  $E_{\text{нав. вим.}}$  з  $E_{\text{прип.}}$ . Обрати заходи захисту.

5.9. Для визначення  $a_{\text{кр}}$  (Гн/км) обчислити  $M_{\text{кр}}$  за формулою:

$$M_{\text{ед}} = \frac{\dot{A}_{\text{идіі}}}{\omega \sum I_{\text{еіі}} l_i S_{\text{ііі}}},$$

За значенням  $M_{\text{кр}}$  та  $\sigma_{\text{гр}}$  за номограмою (рисунок 2.2) визначити  $a_{\text{кр}}$ .

5.10. Віднести ЛЗ від ЛЕП на  $a > a_{\text{кр}}$ . Виміряти сумарну наведену ЕРС (точка 3), порівняти з  $E_{\text{прп.}}$ . Зробити висновки.

## 6 ОПИС ЛАБОРАТОРНОГО СТЕНДУ

На лабораторному стенді змакетовано високовольтну лінію електропередачі й кабельну лінію передавання на базі симетричного кабелю МКСБ 4х4х1,2 (рис. 6.1). На ЛЕП вище за фазові проводи підвищено захисний трос, мідний з поперечним перерізом  $S = 100 \text{ мм}^2$ . Схема зближення має дві косих ділянки  $l_1 = 4 \text{ км}$  та  $l_2 = 8 \text{ км}$ .

Аварія ЛЕП відбулася в точці 0. Коефіцієнт екрануючої дії кабелю МКСБ  $S_k = 0,41$ ,  $\rho_{\text{гр}}$  на трасі зближення дорівнює  $25 \text{ Ом} \cdot \text{м}$ . По кабелю зв'язку МКСБ-4х4х1,2 працює система передавання К-60П з дистанційним живленням підсилювачів за системою провід – земля.

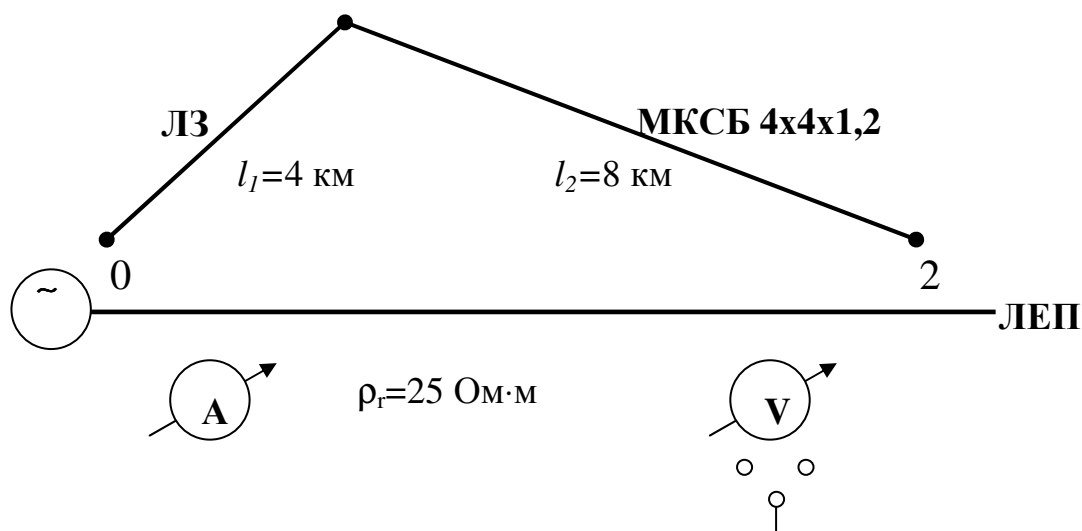


Рисунок 6.1 – Кабельна лінія передавання на базі симетричного кабелю МКСБ 4х4х1,2

## 7 ЗМІСТ ПРОТОКОЛУ

- 7.1. Назва та номер лабораторної роботи.
- 7.2. Назва лабораторії й дата виконання роботи.
- 7.3. Мета роботи.
- 7.4. Схема зближення ЛЕП з ЛЗ згідно із заданим варіантом.
- 7.5. Таблиця обчислених та виміряних значень  $E_{\text{нав}}$ .
- 7.6. Графік залежності  $E_{\text{нав}} = f(\ell)$  та порівняння з  $E_{\text{прп.}}$ .
- 7.7. Обчислення  $a_{\text{кр}}$  та виміряне значення  $E_{\text{нав}}$  після віднесення ЛЗ від ЛЕП.
- 7.8. Висновки.

## 8 ЛІТЕРАТУРА

8.1. **Гроднев И. И., Верник С. М.** Линии связи. – М.: Радио и связь, 1988. – С. 335-338, 342-343, 346-366.

8.2. **Михайлов М. И., Разумов Л. Д.** Защита кабельных линий связи от влияния внешних электромагнитных полей. – М.: Связь, 1978.

8.3. **Правила** защиты устройств проводной связи, железнодорожной сигнализации и телемеханики от опасного и мешающего влияния линий электропередач. Ч. 1. Опасные влияния. – М.: Связь, 1969.

## Лабораторна робота № 3

# ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ ЗАХИСТУ ПІДЗЕМНИХ ЛІНІЙНО-КАБЕЛЬНИХ СПОРУД ВІД КОРОЗІЇ

## 1 МЕТА РОБОТИ

Провести дослідження методів захисту підземних лінійно-кабельних споруд від корозії.

## 2 КЛЮЧОВІ ПОЛОЖЕННЯ

### 2.1 Визначення опору 1 м кабелю

Опір (Ом) 1 м кабелю визначається за формулою:

$$R = \rho \frac{4}{\pi(d_1^2 - d_2^2)}, \quad (2.1)$$

де  $\rho$  – питомий опір свинцю,  $\rho = 0,221 \times 10^{-6}, \frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}}$ ;

$d_1$  – зовнішній діаметр свинцевої оболонки кабелю, який дорівнює 16 мм;

$d_2$  – внутрішній діаметр свинцевої оболонки кабелю, що дорівнює 12,3 мм.

Якщо підставити відповідні значення величин до формули (2.1), дістанемо опір 1 м кабелю, який має вологозахисну оболонку зі свинцю. Щоби визначити опір 1 м кабелю, який має вологозахисну оболонку з інших металів, необхідно до формули (2.1) підставити відповідні значення питомого опору металу, з якого зроблено вологозахисну оболонку, та відповідні діаметри  $d_1$  та  $d_2$ .

### 2.2 Визначення напрямку та величини блукаючого струму в оболонці кабелю за методами компенсування та спаду напруги

Вимірювання провести для одного значення блукаючого струму.

2.2.1 Включити на макеті джерело блукаючого струму, для чого тумблер  $I_{\text{бл}}$  перевести у положення "ВКЛ".

2.2.2 Визначити напрямок блукаючого струму  $I_{\text{бл}}$ , для чого підімкнути мілівольтметр МВ, посередині шкали якого встановлено нуль, до двох точок кабелю ( $K_1$  та  $K_2$  на рис. 2.1). Відстань поміж цими двома точками становить 1 м. На мілівольтметрові виставити шкалу 75 мВ. Якщо стрілка мілівольтметра відхилиться праворуч, то блукаючий струм має напрямок від точки, підімкненої до "+", до точки, підімкненої до "-" на мілівольтметрі.

2.2.3 Величина блукаючого струму визначається як методом компенсування, так і методом спаду напруги. Схему вимірювання наведено на рис. 2.1.

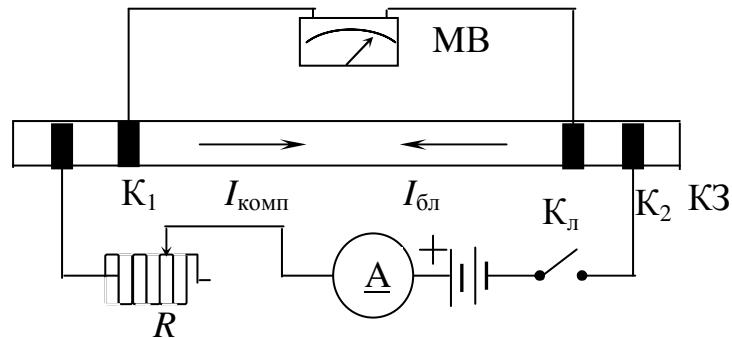


Рисунок 2.1 – Схема вимірювання  
за методами компенсування та спаду напруги

## 2.3 Метод компенсування

2.3.1 Зібрати схему вимірювання (рис. 2.1). Для цього підімкнути джерело постійного струму, як зазначено на рисунку. Це джерело постійного струму ввімкнено до схеми у такий спосіб, щоб струм від джерела мав напрямок, протилежний напрямкові блукаючого струму.

2.3.2 За допомогою реостата  $R$  змінювати величину струму від джерела постійного струму до того моменту, коли на шкалі мілівольтметра "75 мВ" встановиться значення "0". Це означатиме, що струм від джерела постійного струму повністю скомпенсував величину блукаючого струму.

2.3.3 На шкалі амперметра  $A$ , встановленого на макеті, визначити величину струму, яка дорівнюватиме величині блукаючого струму.

## 2.4 Метод спаду напруги

2.4.1 Скориставшись зібраною за рис. 2.1 схемою, вимкнути джерело струму компенсування. Для цього перевести тумблер  $K_4$  в положення "Викл." Стрілка мілівольтметра відхилиться. Це буде значення спаду напруги  $U$ , заміряне на 1 м довжини кабелю зі свинцевою вологозахисною оболонкою.

2.4.2 Величина блукаючого струму ( $A$ ) обчислюється за формулою:

$$I_{\text{бл}} = \frac{U}{Rl}, \quad (2.2)$$

де  $U$  – спад напруги, заміряний на 1 м довжини кабелю зі свинцевою вологозахисною оболонкою, В;

$R$  – опір 1 м кабелю зі свинцевою оболонкою, що визначається за формулою (2.1), Ом/м;

$l$  – відстань поміж точками вимірювання, яка дорівнює 1 м.

## 2.5 Вимірювання потенціалів на оболонці кабелю відносно землі (на макеті кабелю МТМ), побудова потенційної діаграми, визначення анодних та катодних зон

2.5.1 Накреслити схему кабельної каналізації й зазначити номери колодязів.

2.5.2 Виміряти потенціали на оболонці кабелю відносно землі у кожному колодязі. Значення потенціалів занести до табл. 2.1.

2.5.3 Визначити анодні та катодні зони.

2.5.4 Зафіксувати номер колодязя, в якому спостерігали знакозмінну зону.

2.5.5 Побудувати потенційну діаграму до захисту.

Таблиця 2.1 – Потенціали, виміряні на оболонці кабелю відносно землі

| № колодязя                            | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
|---------------------------------------|---|---|---|---|---|---|---|
| Потенціал, виміряний до захисту, В    |   |   |   |   |   |   |   |
| Потенціал, виміряний після захисту, В |   |   |   |   |   |   |   |

2.5.6 Визначити необхідні засоби захисту від корозії в окремих колодязях кабельної каналізації.

2.5.7 До кабелю в колодязі, де зафіксовано максимальну постійну анодну зону, для захисту кабельної каналізації підімкнути катодну станцію та за допомогою реостата  $R$  встановити у колодязі мінімальний захисний потенціал ( $-0,3$  В).

2.5.8 До кабелю у колодязі зі знакозмінною зоною підімкнути поляризований дренаж. (Підімкнення проводити відносно рейок трамвайної колії).

2.5.9 Виміряти після захисту потенціали на оболонці кабелю відносно землі в кожному колодязі. Значення потенціалів занести до табл. 2.1.

2.5.10 Побудувати потенційну діаграму після захисту.

## 3 КЛЮЧОВІ ПИТАННЯ

За самостійної підготовки до виконання лабораторної роботи необхідно:

3.1. Вивчити рекомендовану літературу.

3.2. Вивчити існуючі засоби захисту кабелів від корозії.

3.3. Ознайомитися з методами вимірювання на кабельних лініях передавання під час організації засобів захисту підземних кабелів від корозії.

3.4. Вивчити апаратуру, прилади та устаткування, що вони використовуються під час організації засобів захисту підземних кабелів від корозії.

3.5. Підготувати бланк звіту до лабораторної роботи (схеми, таблиці, рисунки, ескіз перерізу кабелю ТГ-50 х 2 х 0,5).

3.6. Підготувати усні відповіді на слідуючі запитання:

- види корозії та характер її дії;
- електричні засоби захисту кабелів від корозії;
- неелектричні засоби захисту кабелів від корозії;
- види вимірювання на підземних спорудах під час захисту кабелів від корозії;
- апаратура, прилади та устаткування, що вони застосовуються під час вимірювання для визначення засобів захисту лінійно-кабельних споруд від корозії.

#### **4 ДОМАШНЄ ЗАВДАННЯ**

- 4.1. Накреслити ескіз перерізу кабеля.
- 4.2. Визначити опір оболонки кабелю за її геометричними розмірами.
- 4.3. Навести норми захисного потенціалу для свинцю, алюмінію, сталі.

#### **5 ЛАБОРАТОРНЕ ЗАВДАННЯ**

- 5.1. Визначити опір оболонки кабелю за її геометричними розмірами.
- 5.2. Визначити напрямок блукаючого струму в оболонці кабелю.
- 5.3. Визначити величину блукаючого струму в оболонці кабелю:
  - а) методом компенсування;
  - б) методом спаду напруги.
- 5.4. Виміряти потенціали оболонки кабелю відносно землі (на макеті кабельної каналізації МТМ), побудувати потенційну діаграму та визначити анодні й катодні зони.
- 5.5. Встановити захист за допомогою катодної станції (на макеті кабельної каналізації МТМ) та повторити вимірювання потенціалів оболонки кабелю відносно землі із встановленим захистом за допомогою катодної станції.
- 5.6. Побудувати потенційну діаграму після встановлення захисту. Обидві діаграми будувати на одному графіку.
- 5.7. У знакозмінних зонах встановити захист за допомогою дренажу.
- 5.8. Ознайомитися з роботою катодної станції та дренажного устаткування.

#### **6 АПАРАТУРА**

- 6.1. Амперметр на 3 А.
- 6.2. Вимірювальна штанга зі свинцевим наконечником.
- 6.3. Макет лабораторної роботи.
- 6.4. Макет катодної станції типу КС-400.
- 6.5. Макет поляризованого дренажу типу ПГД-200.

## **7 ЗМІСТ ПРОТОКОЛУ**

- 7.1. Усе перелічене в пункті 3.5.
- 7.2. Усе перелічене в розділі 4.
- 7.3. Результати обчислень та вимірювань.
- 7.4. Потенційні діаграми до та після захисту.
- 7.5. Схеми: катодної станції, дренажного устаткування, захисту за допомогою електродів.
- 7.6. Висновки.

## **8 ЛІТЕРАТУРА**

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

## **9 ДОДАТОК**

### **9.1 Корозія кабелів та засоби захисту**

#### **9.1.1 Корозія внаслідок блукаючого струму**

Різні види корозії впливають на підземні лінійно-кабельні споруди, у тому числі на кабелі. Це призводить до необоротних наслідків. За статистичними даними ушкодження підземних лінійно-кабельних споруд внаслідок корозії посідає перше місце та становить 21,06 % від усіх видів ушкодження.

Одним із видів корозії є корозія, що вона виникає внаслідок блукаючого струму.

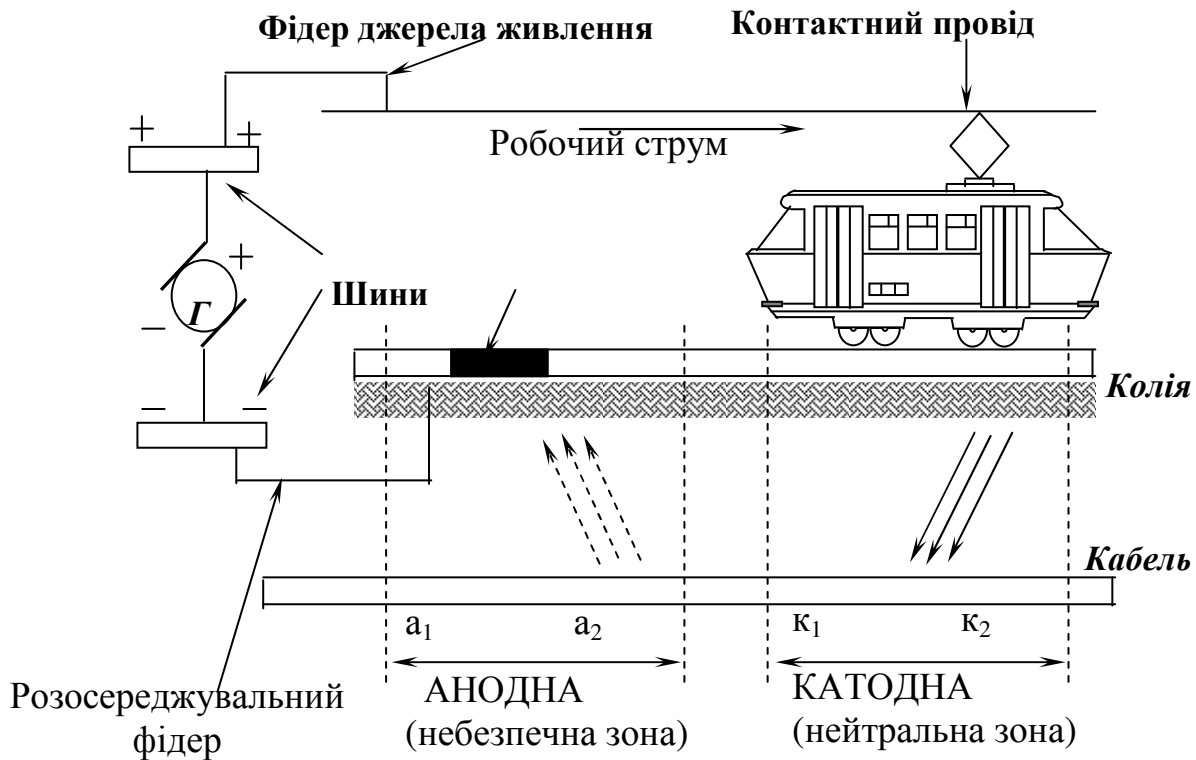


Рисунок 9.1 – Схема утворення блукаючого струму

Усі види електроустаткування постійного живлення, в якому "земля" використовується як другий зворотний полюс, можуть бути джерелами корозії внаслідок блукаючого струму. Блукаючий струм зустрічає на своєму шляху металеві вологозахисні оболонки кабелю, у певному місці входить у оболонку та продовжує свій шлях металевою оболонкою кабелю. У іншому місці металевої оболонки блукаючий струм виходить з неї, повертаючись до зворотного полюса джерела живлення. При цьому на оболонці кабелю виникають:

- катодна зона, в якій потенціал є нижче за нуль;
- анодна зона, в якій потенціал є вище за нуль. У цій зоні металева вологозахисна оболонка кабелю ушкоджується внаслідок впливу блукаючого струму.

## 9.2 Електричні засоби захисту

Сьогодні основні засоби захисту від корозії – електричні методи. Ці методи надають можливість утворювати на металевій вологозахисній оболонці кабелю замість анодної зони захисну – катодну.

### 9.2.1 Захист за допомогою дренажу

Захист за допомогою дренажу передбачає відведення блукаючого струму від підземної лінійно-кабельної споруди, яку він руйнує, до кола, яке створює цей блукаючий струм. Електричний дренаж підмикається до вологозахисної оболонки у середині анодної зони, тобто там, де спостерігається найвищий позитивний потенціал по відношенню до землі. Блукаючий струм за допомогою дренажного кабелю відводиться від вологозахисної оболонки кабелю, який необхідно захистити, до рейки трамвайної колії або до мінусового полюса джерела живлення.

За необхідності встановлюють декілька дренажів з метою утворення мінусового потенціалу на вологозахисній оболонці кабелю вздовж усієї траси зближення з трамвайною колією чи то електрифікованою залізницею. Такі дренажі називають прямими електричними дренажами. Прямий дренаж має двобічну провідність струму, тому його можна використовувати лише у стійких анодних зонах. Саме тому прямий дренаж підмикають разом з розосереджувальними фідерами.

Але можуть виникати зони, де потенціали на вологозахисній оболонці кабелю повсякчас змінюють свій знак відносно землі. Такі зони називають знакозмінними, і в таких зонах необхідно підмикати особливі дренажі, а саме – поляризовані. Поляризований дренаж відводить блукаючий струм лише в одному напрямку, а саме: від кабелю до трамвайної колії. Цей дренаж можна підмикати до знакозмінних зон.

Принципова схема одного з типів поляризованого дренажу ПЕД-58 зображена на рис. 9.2.

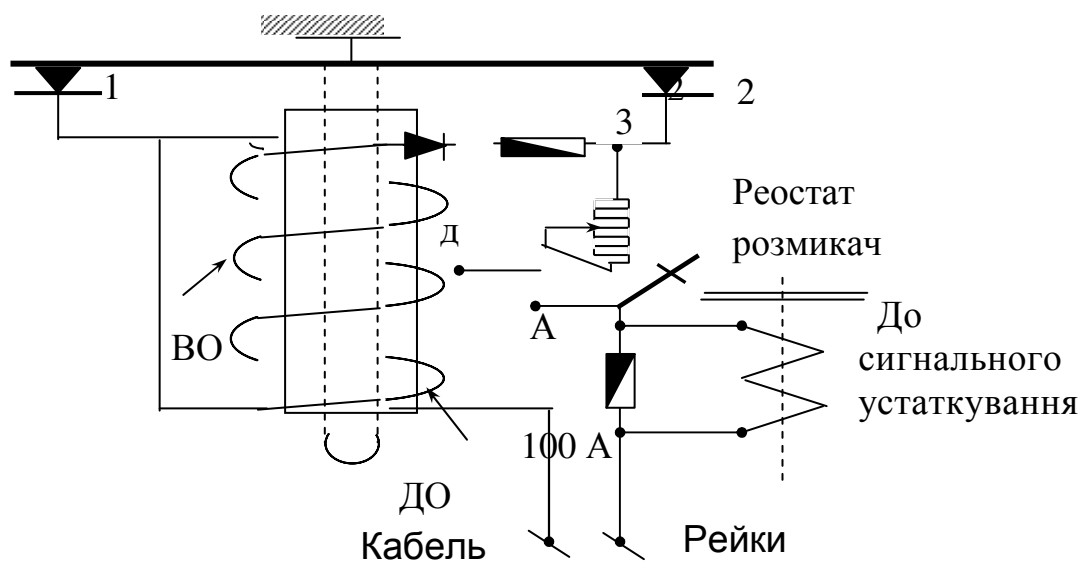


Рисунок 9.2 – Схема поляризованого дренажу ПЕД-58

Поляризовані дренажі працюють у такий спосіб. Коли різниця потенціалів поміж захищуваним кабелем та рейками трамвайної колії сягне значення 0,5 В, струм, що тече у колі дренажу від оболонки кабелю крізь дренажну обмотку ДО, обмотку ВО, випростовувальний пристрій з германію Д, запобіжник, реостат, розмикач, другий запобіжник до рейок трамвайної колії, змусить спрацювати дренажне реле, яке замкне контакти 1 та 2. Після цього струм потече через обмотку ДО, якір Я, розмикач, запобіжник до рейок трамвайної колії. Дренажне реле заблокується й утримуватиме якір до того часу, доки струм тектиме у цьому напрямку. Коли на рейках з'явиться потенціал вищий, аніж на вологозахисній оболонці кабелю, – струм у колі дренажу змінить напрямок, при цьому дренажне реле відпустить якір, контакти 1 та 2 розімкнуться, випростовувальний пристрій з германію не пропустить струм зворотного напрямку, тобто струм з рейок трамвайної колії до вологозахисної оболонки кабелю текти не буде.

Уся схема ПЕД-58 змонтована у металевому ящику, який може бути встановлено в колодязі, на стіні будинку та залізобетонному стовпчику поряд з місцем його під'єднання до вологозахисної оболонки кабелю.

Під'єднання до кабелю та рейок повинно провадитися добре ізольованим від землі кабелем, жили якого треба з'єднати паралельно у місцях підмикання до приладу та з'єднання поміж вологозахисною оболонкою кабелю (кабелі марок ТГ, ТБ, ТЗБ ) та рейками трамвайної колії.

Принципова схема дії поляризованого дренажу типу ПГД-200, який входить до лабораторного устаткування, зображена на рис. 9.3.

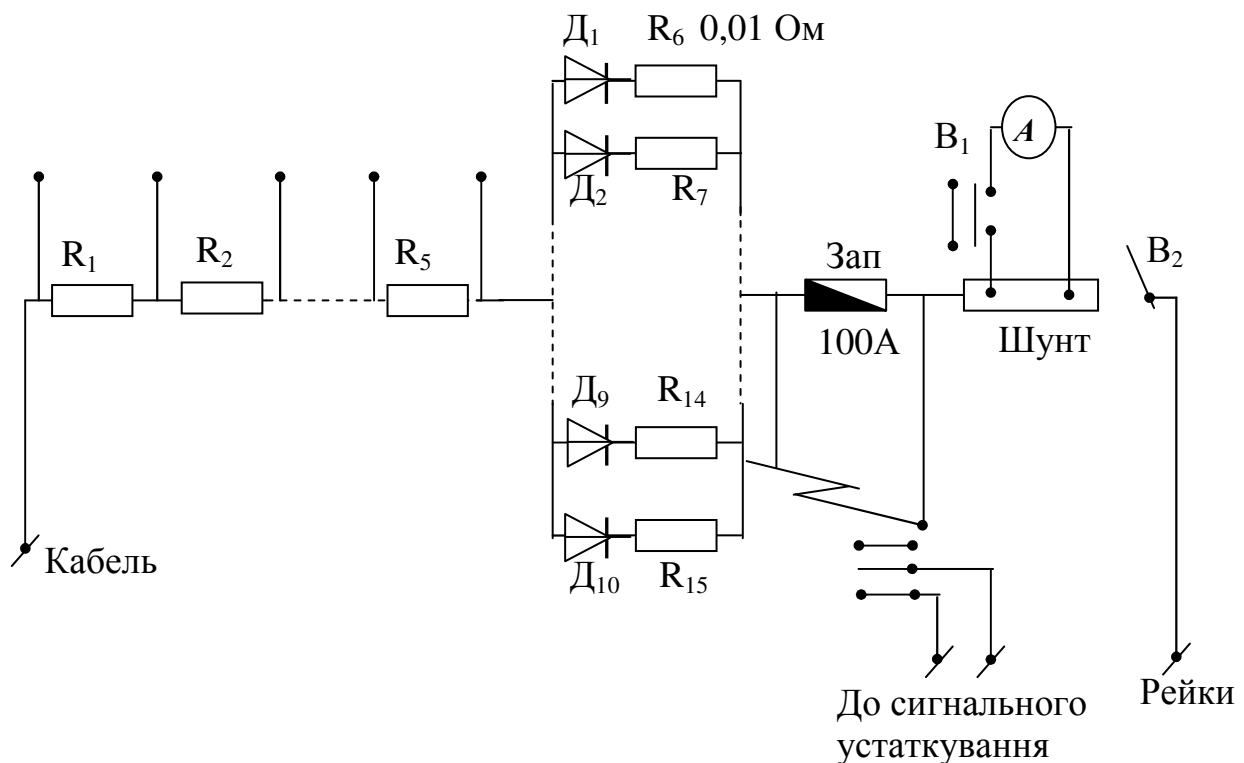


Рисунок 9.3 – Принципова схема дії поляризованого дренажу типу ПГД-200

До кола дренажу входять: вентиль, діоди або поляризоване реле, що воно має однобічну провідність. Внаслідок цього струм тече лише від оболонки кабелю до джерела живлення підстанції електрифікованої залізниці чи трамвайної колії. Дренажне устаткування має спеціальне реле, яке вмикається у паралель із запобіжником. Під час перегорання запобіжника реле спрацьовує, замикає контактну групу і на станцію чи контрольний пункт надходить сигнал про ушкодження дренажного устаткування.

Для кабелів зв'язку використовують поляризовані дренажі типу ПГД-200, ПГД-100, ПГД-60, які мають максимальний струм дренажу відповідно 200, 100 та 60 А. Максимально припустима зворотна напруга становить 50, 100 та 150 В відповідно. Значення максимального струму дренажу та максимально припустимої зворотної напруги залежать від типу діодів, що вони використовуються у схемах дренажного устаткування.

### 9.2.2 Захист за допомогою катодного устаткування

Принцип захисту підземних лінійно-кабельних споруд за допомогою катодного устаткування полягає у компенсуванні позитивного потенціалу на вологозахисній оболонці кабелю (анодна зона) негативним потенціалом від джерела постійного струму, на оболонці створюється необхідний негативний потенціал. При цьому позитивний потенціал джерела постійного струму треба заземлити.

Катодне устаткування містить такі складові частини: катодні станції, джерела електропостачання, контрольні та регулювальні прилади, заземлення та з'єднувальні (дренажні) кабелі.

Принципову схему катодної станції КС-400 наведено на рис. 9.4.

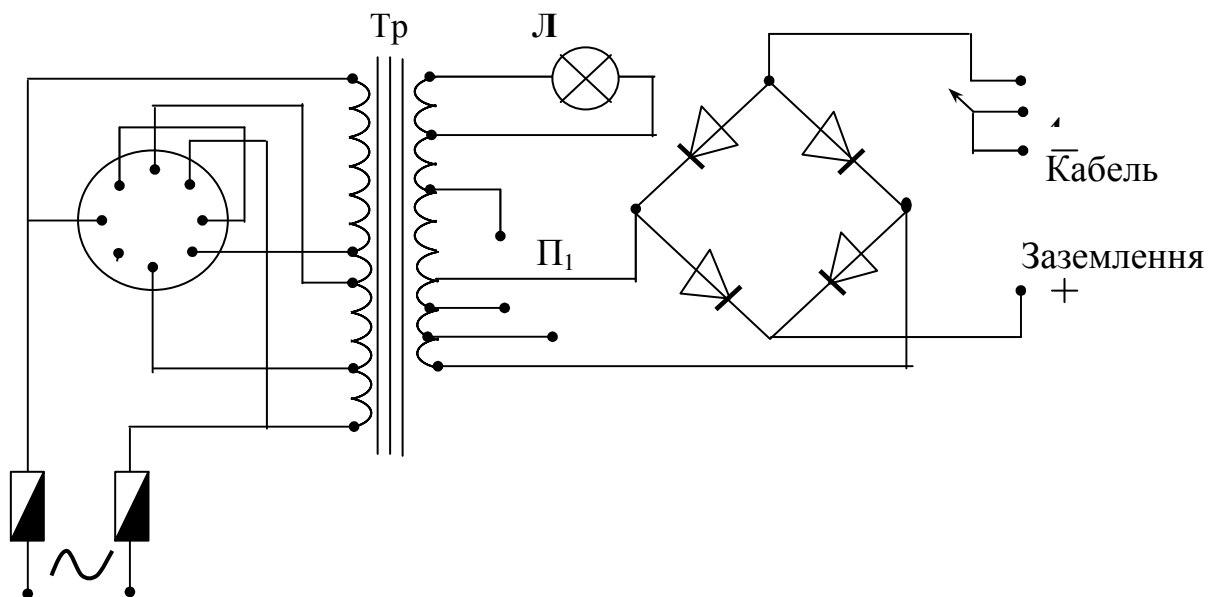


Рисунок 9.4 – Принципова схема катодної станції

Випростовувальний міст, зібраний за допомогою діодів з германію чи то кремнію, використовується як джерело постійного струму. Випростовувальний міст перетворює змінний струм на постійний. У містах джерелом живлення є електромережа міста, яка має напругу 220 В. У польових умовах можна використовувати генератори постійного струму з повітряними двигунами.

Є різні типи катодних станцій: КС-400, КСГ-500, КСГ-1200, які мають максимальну потужність випростаного струму 400, 500 та 1200 Вт відповідно. Для досягнення необхідного захисту зазвичай використовують дві-три катодні станції на довжині підсилювальної чи то регенераційної ділянки.

Окрім вищезгаданої конструкції, існують катодні станції з автоматичним контролем верхньої границі негативного потенціалу на підземній лінійно-кабельній споруді, яку необхідно захистити. У схемах таких катодних станцій поляризоване реле розмикає коло живлення катодної станції, коли різниця потенціалів поміж вологозахисною оболонкою кабелю та землею сягне значення  $U_{з\text{ макс}}$ . Для підтримання необхідного захисного потенціалу на оболонці кабелю у відповідних межах ( $U_{з\text{ мін}} - U_{з\text{ макс}}$ ) використовується більш досконала автоматична катодна станція на базі магнітного підсилювача.

### 9.2.3 Електродний захист (протектори)

За своєю суттю електродний захист є такий самий, як і захист за допомогою катодного устаткування, але в даному разі для створення негативного потенціалу на вологозахисній оболонці кабелю використовується не побічне джерело постійного струму, а струм, що він виникає за рахунок різниці електрохімічних потенціалів під час з'єднання різних металів. Цей струм спрямовано від вищого потенціалу до нижчого. Внаслідок цього руйнується метал, який має нижчий потенціал. Зазвичай для протекторних електродів використовують магнієві сплави МЛ, що вони складаються з магнію, алюмінію та цинку. Електрод являє собою циліндр довжиною 600...900 мм, діаметром 150...240 мм з контактними сталевими стрижнями. Використовуються три типи протекторів: ПМ-5У, ПМ-10У, ПМ-20У. Для зменшення корозії самого електроду його розміщують у різних заповнювачах (деполяризаторах), таких, наприклад, як вапно, гіпс та інші. Схему захисту оболонки кабелю за допомогою протекторних електродів зображено на рис. 9.5.

Принцип захисту за допомогою протекторів полягає в тому, що катодна зона на вологозахисній оболонці кабелю створюється внаслідок з'єднання ізольованим проводом вологозахисної оболонки та заземленого протекторного електрода, який має нижчий електрохімічний потенціал, аніж потенціал заземленої вологозахисної оболонки кабелю. Такий електрод стає анодом, – і струм тепер виходитиме з електрода в землю. У такий спосіб, руйнуватиметься електрод, а оболонка кабелю стає катодом й, отже, є захищена від впливу корозії.

Протекторні електроди переважно використовують для захисту від ґрунтової корозії. Їх встановлюють по два-три на підсилювальну чи регенераційну ділянку, а також на самих необслуговуваних підсилювальних та регенераційних пунктах. Відстань поміж електродами та кабелем має бути не менше за 2...6 м, а глибина закопування 0,6...1,8 м. Протектор має підмикатися через контрольно-випробувальні пункти (КВП).

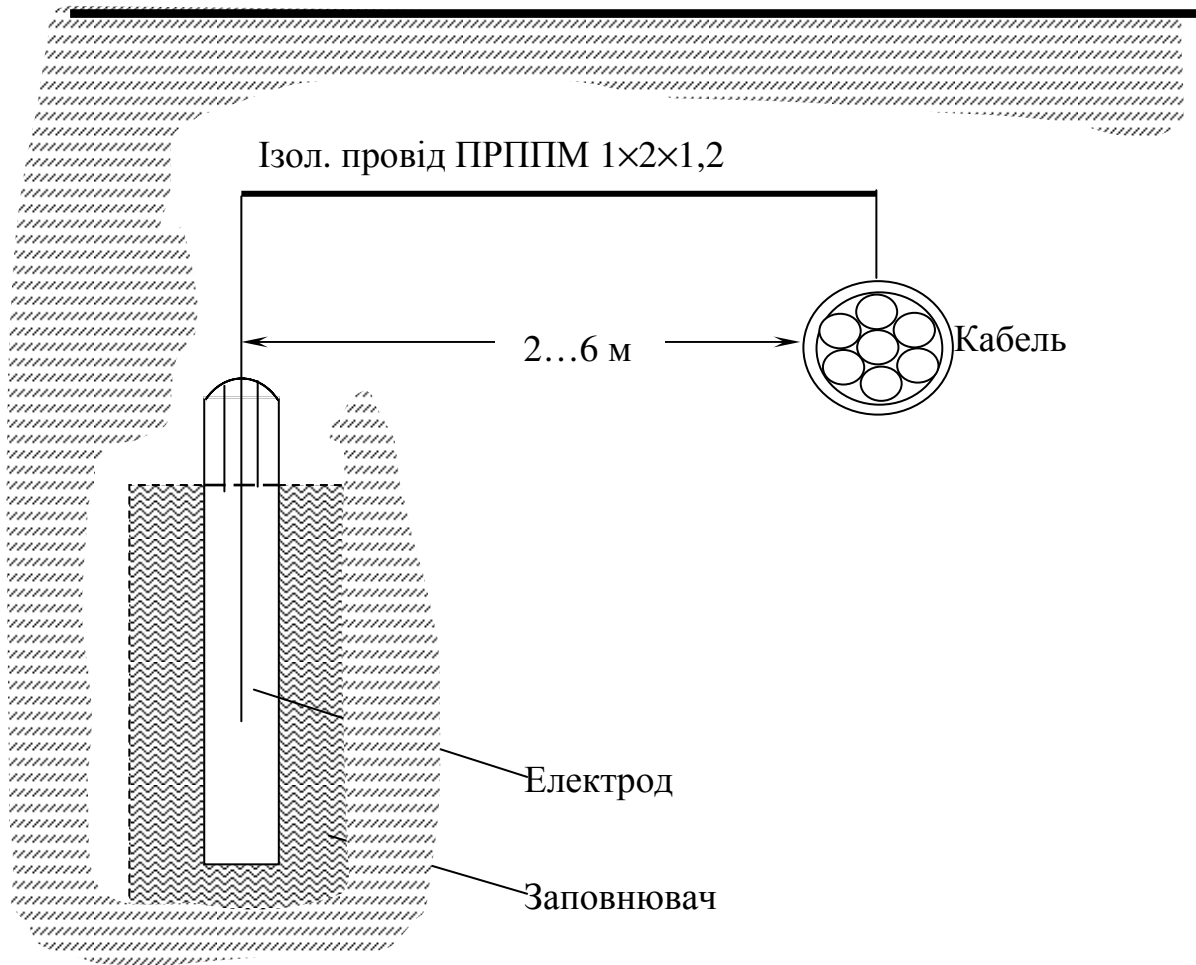


Рисунок 9.5 – Схема захисту оболонки кабелю за допомогою протекторних електродів

### 9.3 Неелектричні засоби захисту

9.1 Використання неметалевих вологозахисних оболонок кабелю.

9.2 Гідроізоляційне покриття металевих вологозахисних оболонок та броні пластикатами, такими як поліетилен, полівінілхлорид. Комплексне використання гідроізоляційного покриття разом із захистом за допомогою протекторних електродів та катодного устаткування.

9.3 Бітумне покриття кабелю.

9.4 Використання ізолювальних муфт разом з протекторними електродами.

9.5 Максимальна ізоляція рейок трамвайної колії та електрифікованої залізниці від землі.

9.6 Використання ресорного підвішування кабелю під час транспортування.

9.7 Прокладання кабелю у слабо агресивних ґрунтах.

## Лабораторна робота № 4

### ДОСЛІДЖЕННЯ ПИТОМОГО ОПОРУ НЕОДНОРІДНОЇ ЗЕМЛІ Й ОПОРУ ЗАЗЕМЛЕНЬ

#### I МЕТА РОБОТИ

Вивчення методів виміру і розрахунку питомого опору багатошарового ґрунту. Визначення опору заземлень з урахуванням реальної геологічної структури ґрунту.

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

#### 2 КЛЮЧОВІ ПОЛОЖЕННЯ

При дослідженнях електромагнітних впливів на лінії зв'язку, а також при проектуванні заземлювальних пристроїв зв'язку важливо знати величину питомого  $\rho_z$  опору землі (ґрунту). Величину  $\rho_z$ , необхідно знати і при деяких випробуваннях, які проводяться періодично на лініях зв'язку. Наприклад, норми гранично допустимих величин опорів заземлень на лініях зв'язку даються в залежності від величини  $\rho_z$ .

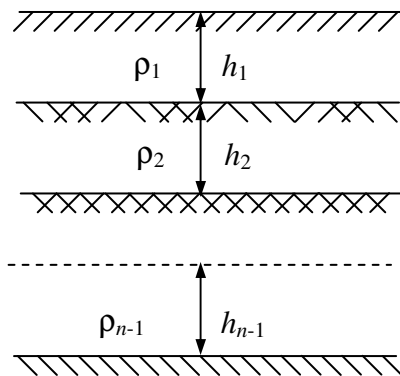


Рисунок 2.1 – Електрична структура багатошарової землі

Електрична структура землі неоднорідна по  $\rho$ . Величина  $\rho_z$  землі змінюється по глибині. Прийнято вважати, що земля являє собою півпростір з горизонтальними шарами, причому  $\rho$  в межах кожного шару незмінний. У реальних умовах бувають дво-, три- і багатошарові структури ґрунту, але найчастіше – тришарові. Однорідна структура землі зустрічається вкрай рідко. Електрична структура землі характеризується числом шарів, однорідних за  $\rho$ , потужністю  $h_i$  і величиною  $\rho_i$  кожного шару (рис. 2.1).

Шари землі є середовищами дуже складними за своїм складом. Основними складовими частинами шарів землі являються тверді частки неорганічного й органічного походження і вода.

Найбільш часто зустрічаються ґрунти:– піщаний, глинистий і перегнійний, які сильно відрізняються між собою за структурою і складом. Завдяки тому, що глинистий і перегнійний ґрунти багаті електролітами і є більш вологоємними, ніж пісок, їхній питомий опір при однакових атмосферних умовах завжди значно нижчий і більш стабільний. Тому заземлювачі переважно розміщати в цих ґрунтах.

На електричні параметри заземлювачів впливає не тільки шар ґрунту, де вони розміщені, але й які залягають нижче.

У загальному випадку ґрунт, у якому розміщені заземлювачі, є неоднорідним по глибині унаслідок своєї геологічної структури, залягання вод тощо. Крім того, протягом року в зв'язку зі зміною атмосферних умов змінюється температура землі, зміст і фізичний стан вологи в землі, насиченість її різних шарів. Тому питомий опір землі на глибині декількох метрів від поверхні землі в так називаному шарі сезонних змін сильно коливається, збільшуючись через промерзання зимою.

Проектування заземлювальних пристроїв повинне вестися з урахуванням неоднорідності ґрунту. Для цього на підставі результатів безпосередніх вимірів за методом вертикального електричного зондування (ВЕЗ) [8.1] визначається питомий опір різних шарів землі по глибині.

## 2.1 Визначення питомого опору землі за методом ВЕЗ

Існує ряд методів виміру питомого опору землі  $\rho_z$ , але в основному користуються двома:– індукційним, із застосуванням перемінного струму, і методом чотирьох електродів, із застосуванням постійного струму. За індукційного методу виміри ведуться або на двох однопровідних лініях (впливової і підданої впливу), або на одній однопровідній (впливової) лінії і рамці, підданої впливу цієї лінії [8.2]. Однак ці індукційні способи виміру  $\rho_z$  громіздкі і незручні, тому що вони вимагають наявності впливової лінії довжиною 2–3 км, генератора і спеціальних вимірювальних приладів. Цих недоліків не має метод чотирьох електродів (метод ВЕЗ). Він дозволяє визначити електричні властивості ґрунту аж до великих глибин, забезпечуючи при цьому цілком добрі результати.

Фізична сутність методу ВЕЗ заснована на існуючій залежності між розподілом питомого опору по глибині землі і розподілом по поверхні землі потенціалів, створюваних електричним струмом у землі від точкового джерела (у даному випадку – електродів).

За рахунок протікання електричного струму між живильними (струмовими) електродами  $A$  і  $B$  (рис. 2.2 а) викликаються потенціали в різних точках поверхні землі. У двох інших точках поверхні землі, де розміщені приймальні (потенційні) електроди  $M$  і  $N$ , створюється різниця потенціалів  $U$ , що дозволяє визначити  $\rho_z$ .

Заміряний питомий опір  $\rho_z$  обчислюється наступним співвідношенням:

$$\rho_z = k_y \frac{U}{I} = k_y R_{\text{ввм}}, \quad (1)$$

де  $\rho_z$  – заміряний питомий опір землі, Ом·м;

$R_{\text{ввм}}$  – показання приладу, Ом;

$U$  – різниця потенціалів, заміряна між середніми електродами  $M$  і  $N$ ;

$I$  – заміряна величина струму;

$k_y$  – коефіцієнт установки, який залежить від відстані між електродами.



Рисунок 2.2 – Схема для ВЕЗ з вимірювачем заземлень М – 416:  
а – Шлюмберже, б – Веннера,  
в – ВНДІЕСХ

Величина коефіцієнта  $k$  визначається з виразу:

$$k_y = \pi \frac{AM \cdot AN}{MN}, \quad (2)$$

де  $AM$ ,  $AN$ ,  $MN$  – відстань між відповідними електродами.

При однорідній структурі землі вираз (1) дає істинне значення  $\rho_z$ . У випадку неоднорідної землі результат являє собою деяку умовну величину, названу удаваним електричним питомим опором землі ( $\rho_k$ ). Величина  $\rho_k$  землі має складну залежність від розносу електродів, питомих провідностей і потужностей шарів у межах вимірюваної ділянки.

Під вертикальним електричним зондуванням розуміється проведення в одному і тому самому місці ряду вимірів  $\rho_k$  за чотирипровідною схемою при різних відстанях між живильними електродами. Застосовують різні чотирипровідні схеми, що відрізняються відстанями між електродами. Найбільш розповсюдженими є схеми Шлюмберже, Веннера і ВНДІЕСХ [8.1]. У схемі Шлюмберже відстань між приймальними електродами приймається визначеною ( $b = MN \leq AB/3$ ) і вимір проведуть, розносячи тільки живильні електроди. Після кожного наступного виміру за схемою Шлюмберже показання приладу зменшуються значно швидше, ніж при роботі за схемою Веннера, що збільшує похибку виміру. Тому в більшості випадків на схему Веннера переходять при досягненні відстані між струмовими електродами  $A$  і  $B$ , яка дорівнює 20–50 м. Таким чином, метод Шлюмберже дає високу точність при малих відстанях між електродами. Удаваний питомий опір землі при вимірах за схемою Шлюмберже (див. рис. 2.2,а) визначається за формулою (1), у якій

$$k_y = \frac{\pi (\ell^2 - b^2)}{4b}, \quad (3)$$

де  $\ell = \frac{AB}{2}$ ,  $b = \frac{MN}{2}$  – відстань від центра симетрії до струмових і потенційних електродів, м.

При вимірі в схемі Веннера (рис. 2.2, б) кожен вимір виконується при іншому розносі електродів, однак відстань між електродами завжди залишається однаковою ( $AM = MN = MB = b$ ). Для симетричної установки електродів за схемою Веннера  $k$  приймається рівним:

$$k_y = 2\pi b. \quad (4)$$

Схема Веннера незручна тим, що після кожного виміру приходиться переміщати всі чотири електроди щодо центра вимірів.

При вимірі ґрунту за допомогою практичної двохелектродної схеми ВЕЗ, розробленою ВНДІЕСХ (рис. 2.2 в), переміщають тільки один електрод у лівий чи правий бік від електрода  $A$ . При цьому відстань  $H_1A$  може змінюватися в межах від 0,5 до  $2L$ , м, а відстань  $MA$  – від 0,5 до  $0,4L$ , м. Схема ВНДІЕСХ є більш економічною.

При вимірі  $\rho_k$  за схемою ВНДІЕСХ  $k$  приймається рівним при переміщенні електрода  $H_1$  у лівий бік від електрода  $A$

$$k_{\text{л}} = 2\pi r \left( 1 - \frac{r}{L} \right), \quad (5)$$

при переміщенні електрода  $H_1$  в правий бік від електрода  $A$

$$k_{\text{п}} = 2\pi r \left( 1 - \frac{r}{L-2r} \right), \quad (6)$$

де  $r'$ ,  $r$ ,  $L$  – відстані, м, які показані на схемі рис. 2.2, в.

Визначення  $\rho_z$  проводиться в два етапи:

- 1) роблять електричні виміри на поверхні землі і за даними цих вимірів будують криву ВЕЗ;
- 2) шляхом інтерпретації (розшифровки) кривої ВЕЗ визначають електричну структуру землі: число шарів землі, однорідних за  $\rho$ , потужність (товщину) і величину  $\rho_i$  кожного шару.

З метою одержання достатньої кількості даних необхідно робити виміри при наступних відстанях між електродами:

$A$  і  $B$ : 1,5; 2,1; 3; 4,5; 6; 9; 12; 15; 21; 50; 45; 60; 90; 120; 150; 210; 300; ... м у випадку використання схем Веннера і Шлюмберже;

$M$  і  $A$ : 0,5; 0,7; 0,9; 1,2; 1,6 м тощо при застосуванні схеми ВНДІЕСХ.

При проведенні ВЕЗ за допомогою вимірювача заземлень П-416 повинні бути виконані усі вимоги щодо опорів зовнішніх кіл і регулювань.

## 2.2 Визначення електричних параметрів багат шарової землі

Обробка результатів ВЕЗ повинна починатися відразу ж після закінчення вимірів, тому що може виникнути необхідність у повторних чи додаткових вимірах.

У результаті проведених обчислень  $\rho_k$  впливають наступні залежності:

– при вимірах за схемою Шлюмберже

$$\rho_k = f(AB/2) = f(l),$$

– при вимірах за схемою Веннера

$$\rho_k = f_1(AB/3) = f_1(1,5 b),$$

– при вимірах за схемою ВНДІЕСХ

$$\rho_k = f_2(r).$$

Ці залежності для наступної обробки зображують графічно в прямокутних координатах з логарифмічним масштабом по кожній з осей. Графіки експериментальної залежності

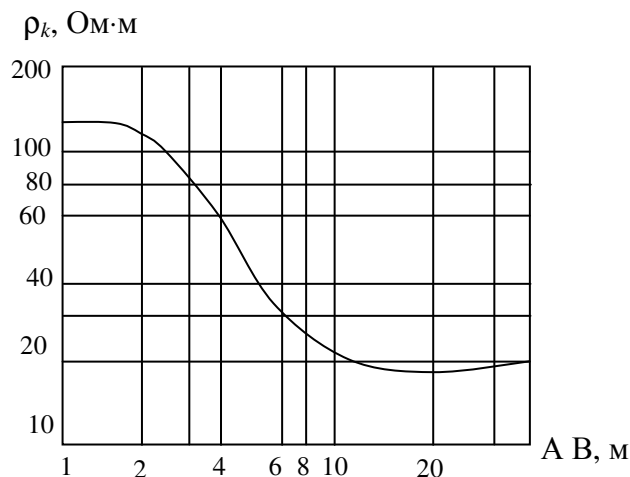


Рисунок 2.3 – Крива ВЕЗ

$\rho_k = f(l)$ ;  $\rho_k = f_1(1,5 b)$  і  $\rho_k = f_2(r)$  називаються кривими ВЕЗ. Для їхньої побудови приймається білогарифмічний папір зі стандартним масштабом (довжина логарифмічної одиниці дорівнює 6,25 см). Зразок побудови кривої ВЕЗ показаний на рис. 2.3.

Для визначення електричної структури землі роблять інтерпретацію отриманої експериментальної кривої ВЕЗ. Для цього криву ВЕЗ порівнюють з набором теоретичних кривих, розрахованих для заздалегідь відомих електричних структур землі. Такі набори кривих називаються палетками. Існують двошарові, тришарові та інші палетки. Наприклад, у тришарових палетках в індексі кожної палетки, крім букви, що позначає серію палетки, вказані значення  $\rho_2/\rho_1$  і  $\rho_3$ . Цифри біля кожної кривої вказують значення, які відповідають  $h_2/h_1$ ; наприклад, у палетці  $A-3/2-\infty$  крива 2:  $A$  – означає серію палетки,  $3/2$  – відношення  $\rho_2/\rho_1$ ,  $\infty$  – значення  $\rho_3$  і  $2$  – відношення  $h_2/h_1$ . Якщо крива ВЕЗ збігається із однією з розрахункових кривих (наприклад, двошарової палетки) чи може бути закономірно розміщена між двома сусідніми кривими, значить слід вважати, що досліджувана ділянка землі має двошарову електричну структуру.

Інтерпретацію кривої ВЕЗ виконують у наступному порядку. Кальку з нанесеною на ній кривою ВЕЗ, координатними осями і масштабами закладають на палетку. Зберігаючи паралельність осей кривої ВЕЗ і палетки, переміщують кальку доти, поки крива ВЕЗ співпадає з однією із розрахункових кривих або розміститься між двома сусідніми кривими (рис. 2.4). Тоді горизонтальна вісь 3

палетки відітне на вертикальній осі кривої ВЕЗ значення питомого опору  $\rho_1$  верхнього шару, а вертикальна вісь 4 палетки відітне на горизонтальній осі кривої ВЕЗ значення потужності  $h_1$  верхнього шару.

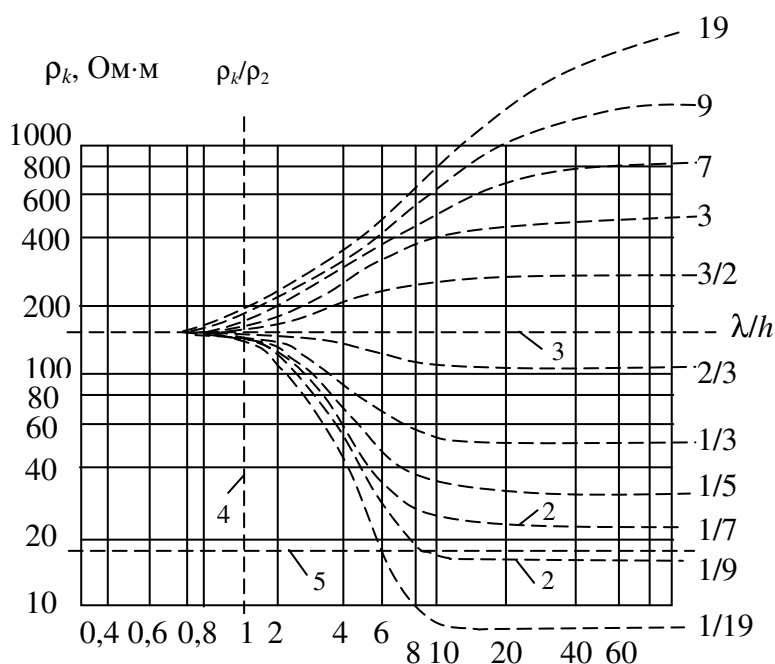


Рисунок 2.4 – Визначення параметрів ґрунту по кривих ВЕЗ за допомогою палеток для двошарової електричної структури: 1 – крива ВЕЗ, 2 – палетки, 3 – вісь абсцис, 4 – вісь ординат палеток, 5 – асимптота

ми, то величини  $\rho_1, h_1$  визначаються також, як це було показано вище, а величини  $\rho_2, \rho_3$  до  $h_2$  знаходяться інтерполяцією між значеннями  $\rho$  до  $h$  двох сусідніх палеточних кривих.

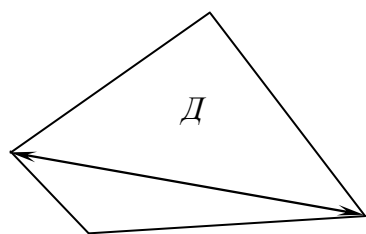


Рисунок 2.5 – Схема розміщення електродів складного багатоелектродного заземлювача

Помноживши  $\rho_1$  на відношення  $\rho_2/\rho_1$  (указане в індексі обраної палетки), одержимо значення питомого опору другого шару. Значення  $\rho_3$  також указане в індексі обраної палетки.

Глибина другого шару  $h_2$  знаходиться множенням  $h_1$  на індекс кривої (указаний у кільці), а  $h_3$  приймається рівною  $\infty$  для тришарового ґрунту. У випадку двошарового ґрунту  $h_2 = \infty$ .

Якщо вимірювана крива не збігається з жодною з палеточних кривих, а виявиться між двома сусідніми кривими,

Вертикальне електричне зондування проводять доти, поки не буде досягнута потрібна глибина зондування  $H$ , отримана чітко виражена крива ВЕЗ або вичерпана чутливість приладу. Приблизно вважають, що

$$H = \frac{1}{3} AB. \quad (7)$$

Для складного заземлювача необхідна глибина зондування приблизно дорівнює  $1,5 D$  (рис. 2.5), де  $D$  – більша діагональ контуру заземлювача.

### 2.3. Розрахунок опору заземлювачів у багат шарових ґрунтах

У реальних умовах земля має багат шарову будову, однак, для практичних розрахунків досить уявити землю у виді двошарової структури. Для цього другий і що залягають нижче шари землі зводяться до еквівалентного шару за допомогою формули (9) і методу послідовного зведення від двох нижніх реальних шарів до однорідного еквівалентного, а потім від цього еквівалентного і наступного реального до нового еквівалентного і т.д. Якщо ґрунт у місці установки заземлення має явно виражену двошарову структуру або зведений до двошарової структури з еквівалентним другим шаром, то при розрахунку опорів заземлень необхідно застосовувати діючий питомий опір ґрунту і користуватися формулами, наведеними в табл. 2.1 для однорідного ґрунту. Графіки значень діючого питомого опору ґрунту для трубчастих заземлювачів наведені на рис. 2.6, а для горизонтальних заземлювачів на рис. 2.7 і 2.8 при різних значеннях  $\rho_1/\rho_2$  і  $k = (\rho_2 - \rho_1)/(\rho_1 + \rho_2)$ .

Досвід роботи з заземлювачами, що лежать у шаруватих ґрунтах, показує, що заземлювач використовується тим краще, чим вище провідність ґрунту, у якому він розміщений. Ефективність заземлювача при правильному виборі його розміщення може бути підвищена в 3 – 5 і більше разів. При провідності нижнього шару в 3 – 10 разів більше, ніж верхнього, варто застосовувати дуже довгі труби, причому одна така труба може виявитися ефективніше більшого числа труб меншої довжини. У цих випадках доцільно використовувати заглибленні (від 5 до 10 м) і глибинні (понад 10 м) заземлювачі, що призводить до істотної економії засобів, праці та матеріалів.

Таблиця 2.1 – Розрахункові формули опору заземлювачів

| Тип електрода                                               | Глибина укладання | Перетин електрода                                                                                                         |                                                                                |
|-------------------------------------------------------------|-------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------|
|                                                             |                   | круглий (діаметр $d$ )                                                                                                    | прямокутний (ширина $b$ )                                                      |
| 1                                                           | 2                 | 3                                                                                                                         | 4                                                                              |
| Вертикальний довжиною $l$ в однорідному ґрунті              | $h = 0$           | $R = \frac{\rho_{\text{ä}}}{2\pi l} \ln \frac{4l}{d}, \hat{\text{H}}$                                                     | -                                                                              |
|                                                             | $h \neq 0$        | $R = \frac{\rho_{\text{ä}}}{2\pi l} \left( \ln \frac{2l}{d} + \frac{1}{2} \ln \frac{4l+7h}{l+7h} \right), \hat{\text{H}}$ | -                                                                              |
| Горизонтальний променевою довжиною $l$ в однорідному ґрунті | $h = 0$           | $R = \frac{\rho_{\text{ä}}}{\pi l} \ln \frac{2l}{d}, \hat{\text{H}}$                                                      | $R = \frac{\rho_{\text{ä}}}{\pi l} \ln \frac{4l}{b}, \hat{\text{H}}$           |
|                                                             | $h \neq 0$        | $R = \frac{\rho_{\text{ä}}}{\pi l} \ln \frac{l}{\sqrt{dh}}, \hat{\text{H}}$                                               | $R = \frac{\rho_{\text{ä}}}{\pi l} \ln \frac{1,5l}{\sqrt{bh}}, \hat{\text{H}}$ |

Таблиця 2.1 (закінчення)

| 1                                                             | 2          | 3                                                                                                                                                                                         | 4                                                                                            |
|---------------------------------------------------------------|------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|
| Горизонтальний кільцевий діаметром $D_1$ в однорідному ґрунті | $h \neq 0$ | $R = \frac{\rho_{\text{з}}}{\pi^2 \ddot{A}_1} \ln \frac{5 \ddot{A}_1}{\sqrt{dh}}, \hat{\Pi}$                                                                                              | $R = \frac{\rho_{\text{з}}}{\pi^2 \ddot{A}_1} \ln \frac{7 \ddot{A}_1}{\sqrt{bh}}, \hat{\Pi}$ |
| Вертикальний довжиною $l$ в двошаровому ґрунті                | $h = 0$    | $R = \frac{\rho_1}{2\pi l} \cdot \frac{1+k}{1+k\left(\frac{2h_1}{l}-1\right)} \cdot \left[ \ln \frac{4l}{d} + \sum_{n=1}^{\infty} k^n \ln \frac{l+2h_1n}{l+2h_1(n-1)} \right], \text{Ом}$ | —                                                                                            |

*Примітка.* У формулах, приведених у табл. 2.1, прийняті позначення:  $\rho_{\text{з}}$  – питомий опір землі, Ом·м;  $l$  – довжина заземлювача, м;  $d$  – зовнішній діаметр труби, м;  $b$  – ширина сторони заземлювача з кутової сталі, м;  $D_1$  – діаметр кільцевого заземлювача, м;  $h_1$  – глибина першого шару, м;  $\rho_i$  – питомий опір  $i$ -го шару, Ом·м;  $k$  – коефіцієнт неоднорідності,  $k = (\rho_2 - \rho_1)/(\rho_2 + \rho_1)$ .

Для смугових заземлювачів в вирішального значення набуває глибина закладення смуги. При відповідній глибині закладення одна коротка смуга за своєю провідністю може виявитися еквівалентною смугі в 4 рази більшою за довжиною.

Опір глибинного однострижневого заземлювача, що починається від поверхні землі при двошаровій її структурі, визначається за формулою, приведеною в табл. 2.1, при орієнтованих розрахунках за виразом:

$$R_{\text{з}} = \frac{1}{2\pi \left[ \frac{h_1}{\rho_1} + (l - h_1) \frac{1}{\rho_2} \right]} \ln \frac{4l}{d}, \quad (8)$$

де  $R_{\text{з}}$  – опір заземлювача, Ом;

$\rho_1, \rho_2$  – питомий опір верхнього і нижнього шарів відповідно, Ом·м;

$h_1$  – глибина верхнього шару, м;

$l$  – довжина заземлювача, м;

$d$  – діаметр заземлювача, м.

Формула (8) дає добрі результати за умови  $l/n \geq 1,5$ .

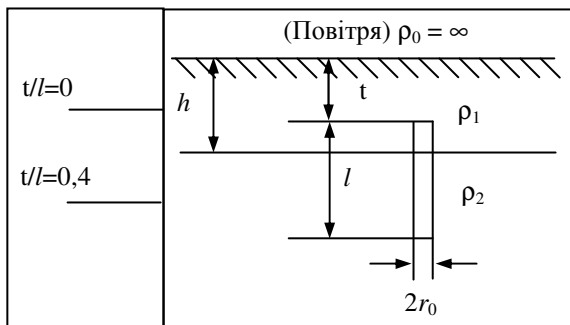
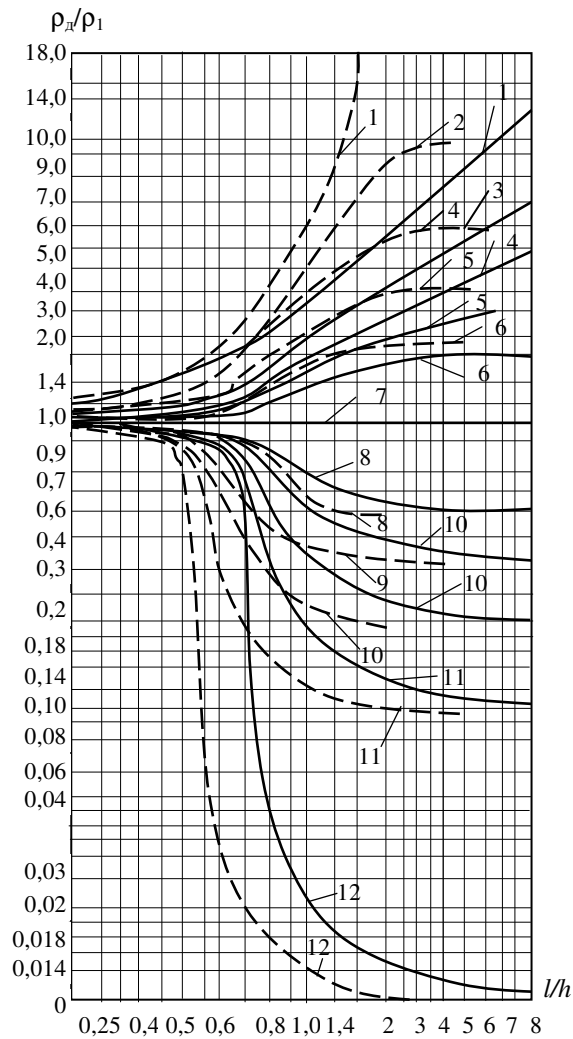


Рисунок 2.6 – Графік значень діючого питомого опору ґрунту для трубчастих заземлювачів

- $$1 - \frac{\rho_1}{\rho_2} = \frac{1}{100} \quad \text{при } k = 0,98;$$
- $$2 - \frac{\rho_1}{\rho_2} = \frac{1}{10} \quad \text{при } k = 0,818;$$
- $$3 - \frac{\rho_1}{\rho_2} = \frac{1}{10} \quad \text{при } k = 0,667;$$
- $$4 - \frac{\rho_1}{\rho_2} = \frac{1}{5} \quad \text{при } k = 0,667;$$
- $$5 - \frac{\rho_1}{\rho_2} = \frac{1}{3} \quad \text{при } k = 0,500;$$
- $$6 - \frac{\rho_1}{\rho_2} = \frac{1}{2} \quad \text{при } k = 0,333;$$
- $$7 - \frac{\rho_1}{\rho_2} = 1 \quad \text{при } k = 0;$$
- $$8 - \frac{\rho_1}{\rho_2} = 2 \quad \text{при } k = -0,333;$$
- $$9 - \frac{\rho_1}{\rho_2} = 3 \quad \text{при } k = -0,500;$$
- $$10 - \frac{\rho_1}{\rho_2} = 5 \quad \text{при } k = -0,667;$$
- $$11 - \frac{\rho_1}{\rho_2} = 10 \quad \text{при } k = -0,818;$$
- $$12 - \frac{\rho_1}{\rho_2} = 100 \quad \text{при } k = -0,98.$$

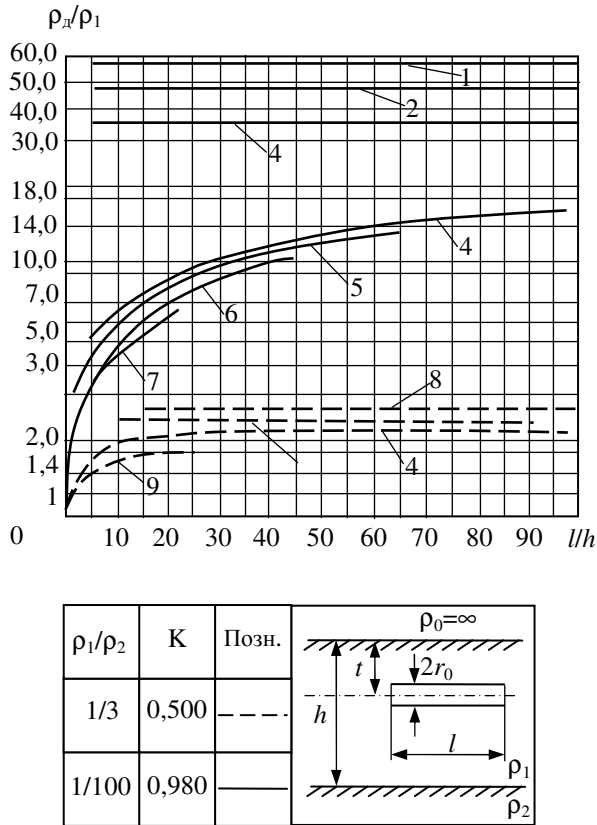


Рисунок 2.7 – Графік значень діючого питомого опору ґрунту для горизонтальних заземлювачів при різних відношеннях  $t/h$  і  $k>0$ :

- 1 –  $t/h = 2$ ; 2 –  $t/h = 1,5$ ;  
 3 –  $t/h = 1,1$ ; 4 –  $t/h = 1$ ;  
 5 –  $t/h = 0,8$ ; 6 –  $t/h = 0,4$ ;  
 7 –  $t/h = 0,2$ ; 8 –  $t/h \geq 1,5$ ;  
 9 –  $t/h \leq 0,4$ .

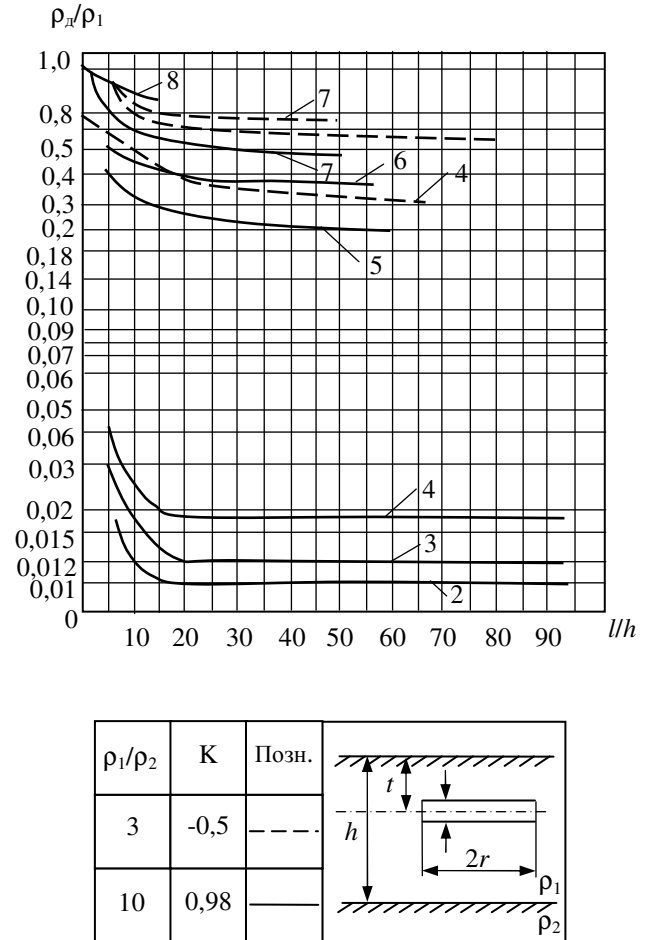


Рисунок 2.8 – Графік значень діючого питомого опору ґрунту для горизонтальних заземлювачів при різних відношеннях  $t/h$  и  $k<0$ :

2 –  $t/h \geq 1,5$ ; 3 –  $t/h = 1,1$ ;  
 4 –  $t/h = 1,0$ ; 5 –  $t/h = 0,9$ ;  
 6 –  $t/h = 0,8$ ; 7 –  $t/h = 0,4$ ;  
 8 –  $t/h = 0,05$ .

### 3 КЛЮЧОВІ ПИТАННЯ

- 3.1. Фізична сутність методу вертикального електричного зондування ґрунту.
- 3.2. Схеми вимірів застосовувані при ВЕЗ.
- 3.3. Порядок інтерпретацій кривої ВЕЗ.
- 3.4. Метод визначення діючого питомого опору землі.
- 3.5. Порядок розрахунку заглиблених заземлювачів.
- 3.6. Метод розрахунку глибинного заземлювача в багат шаровій землі.

## 4 ДОМАШНЄ ЗАВДАННЯ

4.1. По літературі, рекомендованій в лабораторній роботі і даному керівництві, ознайомитися:

- з конструкціями заземлювальних пристроїв на лініях зв'язку;
- с принципом дії і правилами користування приладом М-416.

#### 4.2. Вивчити :

- порядок виміру  $\rho_k$  й інтерпретації кривої ВЕЗ;
- порядок розрахунку заземлювальних пристроїв у багатошаро-вій землі.

#### 4.3. Підготуватися до обговорення ключових питань розд. 3.

## 5 ЛАБОРАТОРНЕ ЗАВДАННЯ

5.1. Виміряти удаваний питомий опір землі за допомогою приладу М-416. Вимір питомого опору землі виконується за будь-якою схемою рис. 2.2.

Вимір проводиться в наступному порядку:

- 1) перемикач ВІ установити в положення "ХІ";

2) натиснути кнопку і, обертаючи ручку "Реохорд", домогтися максимального наближення стрілки індикатора до нуля;

- 3) результат вимірів дорівнює добутку показання шкали реохорда на тиск. Якщо вимірюваний опір виявиться більше 10 Ом, перемикач повинен бути в положення "X5" або "X100" і проробити операції, що відповідають першому і другому пунктам. Результати вимірів звести в табл. 5.1.

5.2. Визначити за вимірюваним значенням  $\rho_k$  електричну структуру землі, скориставшись прикладеними до роботи палетками.

5.3. На підставі вихідних даних, заданих викладачем, розрахувати опір заземлення в двошаровій або  $n$ -шаровій землі для:

- а) заглибленого заземлювача,  
б) глибинного одноелектродного заземлювача.

5.4. На основі розрахунків вибрати конструкцію заземлювального пристрою.

5.5. Досліджуючи залежність  $R_3$  горизонтального чи вертикального заземлювачів від діючого питомого опору землі, побудувати графіки  $R_3 = f(\rho_a)$ .

5.6. Досліджуючи  $R_3$  глибинного заземлювача в залежності від  $\rho_1, \rho_2, l, h_1$  до  $d$ , побудувати графіки  $R_3 = f(\rho_1, \rho_2, l, h_1 \text{ до } d)$ .

Таблиця 5.1 – Результати ВЕЗ ґрунту за схемою Веннера, Шлюмберже

[illegible]

## 6 АППАРАТУРА

У роботі використовується прилад М-4І6 і лабораторний макет. Вимірювач опору заземлень М-4І6 призначений для виміру питомого опору землі й опору заземлювальних пристроїв. Межа вимірів 0,1-1000 Ом.

## 7 ЗМІСТ ПРОТОКОЛУ

- 7.1. Принципові схеми вимірів.
- 7.2. Дані вимірів  $\rho_k$  (див. табл. 5.1).
- 7.3. Дані за електричною структурою землі в районі вимірів.
- 7.4. Розрахунок заземлювального пристрою.
- 7.5. Графіки побудовані за результатами досліджень, указаних у п. 5.5 і 5.6 методичного керівництва.

## 8 ЛІТЕРАТУРА

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

8.2 Михайлов М.И., Разумов Л.Д., Соколов С.А. Электромагнитные влияния на сооружения связи. – М.:Связь, 1979.

## 9 ДОДАТОК

### 9.1 Сезонні коефіцієнти землі і заземлювачів

Як вказувалося в розд. 2, проектування заземлювальних пристроїв повинно проводитися з урахуванням неоднорідності ґрунту. У випадку, якщо результати ВЕЗ приводять до наявності, з урахуванням шару сезонних змін, більш двох шарів землі, виникає необхідність використання методу зведення їх до двошарової електричної моделі землі згідно з п. 2.3 за такою формулою:

$$\rho_e = \frac{1 + 4\tau \cos \alpha + \tau^2 (4 - 2 \cos 2\alpha) + 4\tau^3 \cos \alpha + \tau^4}{\sigma_a (1 - 2\tau^2 \cos 2\alpha + \tau^4)}, \quad (9)$$

$$\text{де } \tau = N e^{-\sqrt{2} m_a h_a}; \quad N = \frac{1 - \sqrt{\frac{\sigma_i}{\sigma_a}}}{1 + \sqrt{\frac{\sigma_i}{\sigma_a}}}; \quad m_a = \sqrt{\omega \mu_a \sigma_a}; \quad \sigma_i; \sigma_a - \text{питомі провідності}$$

відповідно нижнього і верхнього шарів землі, См/м;

$\mu_a$  – магнітна проникність землі, у першому наближенні дорівнює  
 $4\pi \cdot 10^{-7}$  Гн/м;

$h_b$  – глибина верхнього шару землі, м;

$\alpha$  – кут, рівний  $\frac{180}{\pi} \sqrt{2} m_a \cdot h_a$ , рад.

При остаточному визначенні розрахункових параметрів двошарової електричної моделі землі за  $\rho$  ґрунту шару сезонних змін варто приймати його можливе максимальне значення. Тому, якщо ВЕЗ проводиться не в розрахунковий найбільш важкий період року, вимірюване  $\rho$  шару сезонних змін (товщиною  $h_c$ ) варто привести до розрахункового значення  $\rho_{lm} = K_i \rho_{\text{літні}}$ , де  $K_i$  – сезонний коефіцієнт землі. Величини  $K_i$  та  $h_c$  залежать від кліматичної зони, у якій проектується заземлювальний пристрій. На території країн СНД розрізняють три кліматичні зони, що відповідають північній, середній і південній смугі Європейської частини колишнього СРСР (табл. 9.1).

Таблиця 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   |

Розрахункове значення питомого опору землі в нижньому (другому еквівалентному) шарі приймається рівним  $\rho_e$ .

Опір заземлювачів  $R_3$  виміряється в періоди найменшої провідності ґрунту: узимку при найбільшому його промерзанні чи влітку при найбільшому просиханні. Не допускається робити виміри в сиру погоду або безпосередньо після періоду дощів.

У відповідності з вимогами [1], опір заземлювального пристрою не повинен перевищувати нормованої величини в будь-яку пору року. Для одержання максимально можливого протягом року опору заземлення, вимірювану у даний момент величину  $R_3$  варто помножити на сезонний коефіцієнт заземлення  $K_i'$ . Залежно від вологості землі, у шарі сезонних змін приймають коефіцієнти  $K_1'$ ,  $K_2'$  та  $K_3'$ , коли вимірювання проводяться відповідно у вологому, середньої вологості і сухому ґрунтах (табл. 9.2).

Таблиця 9.2 – Сезонні коефіцієнти заземлювачів

| Вертикальні заземлювачі             |                   |        |        |           |        |        |
|-------------------------------------|-------------------|--------|--------|-----------|--------|--------|
| Довжина<br>заземлювача<br>, $l$ , м | $h = 0,7...0,8$ м |        |        | $h = 0$   |        |        |
|                                     | $K_1'$            | $K_2'$ | $K_3'$ | $K_1'$    | $K_2'$ | $K_3'$ |
| 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   |
| Горизонтальні заземлювачі           |                   |        |        |           |        |        |
| Довжина<br>заземлювача<br>, $l$ , м | $h = 0,7...0,8$ м |        |        | $h = 0,5$ |        |        |
|                                     | $K_1'$            | $K_2'$ | $K_3'$ | $K_1'$    | $K_2'$ | $K_3'$ |
| 5,0                                 | 4,3               | 3,6    | 2,9    | 8,0       | 6,2    | 4,4    |
| 20,0                                | 3,6               | 3,0    | 2,5    | 6,5       | 5,2    | 3,8    |

## ЗМІСТ

|                                                                                                                                         |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Лабораторна робота № 1<br>ВИВЧЕННЯ СХЕМ ЗАХИСТУ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАХИСНОГО<br>ОБЛАДНАННЯ ПРИ ВВОДІ КІЛ ЛІНІЙ ЗВ'ЯЗКУ В СПОРУДИ ЗВ'ЯЗКУ .. | 3  |
| Лабораторна робота № 2<br>ДОСЛІДЖЕННЯ НЕБЕЗПЕЧНОГО<br>МАГНІТНОГО ВПЛИВУ ЛЕП НА КАБЕЛЬНІ ЛІНІЇ ЗВ'ЯЗКУ .....                             | 18 |
| Лабораторна робота № 3<br>ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ ЗАХИСТУ<br>ПІДЗЕМНИХ ЛІНІЙНО-КАБЕЛЬНИХ СПОРУД ВІД КОРОЗІЇ .....                           | 25 |
| Лабораторна робота № 4<br>ДОСЛІДЖЕННЯ ПИТОМОГО ОПРУ<br>НЕОДНОРІДНОЇ ЗЕМЛІ Й ОПОРУ ЗАЗЕМЛЕНЬ .....                                       | 36 |

## СОДЕРЖАНИЕ

|                                                                                                                                                   |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Лабораторная работа № 1<br>ИЗУЧЕНИЕ СХЕМ ЗАЩИТЫ<br>И ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАЩИТНОГО ОБОРУДОВАНИЯ<br>ПРИ ВВОДЕ ЦЕПЕЙ ЛИНИЙ СВЯЗИ В СООРУЖЕНИЯХ СВЯЗИ ..... | 53 |
| Лабораторная работа № 2<br>ИССЛЕДОВАНИЕ ОПАСНОГО<br>МАГНИТНОГО ВЛИЯНИЯ ЛЭП НА КАБЕЛЬНЫЕ ЛИНИИ СВЯЗИ .....                                         | 69 |
| Лабораторная работа № 3<br>ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ ЗАЩИТЫ ПОДЗЕМНЫХ<br>ЛИНЕЙНО-КАБЕЛЬНЫХ СООРУЖЕНИЙ ОТ КОРРОЗИИ .....                                | 76 |
| Лабораторна робота № 4<br>ИССЛЕДОВАНИЕ УДЕЛЬНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ НЕОДНОРОДНОЙ<br>ЗЕМЛИ И СОПРОТИВЛЕНИЯ ЗАЗЕМЛЕНИЙ .....                             | 87 |

**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 IV*

**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. Бондаренко О.В., доц. Панюта И.Н., доц. Костик Б.Я.;**№ 2** – доц. Кокарев В.В., доц. Костик Б.Я.;**№ 3** – доц. Костик, Б.Я., доц. Савицкая Н.М.;**№ 4** - проф. Бондаренко О.В.**Отв. редактор – проф. Бондаренко О.В.**

В сборнике методических указаний изложены методические указания к выполнению лабораторных работ по второй части курса "Линии передачи", которая касается защиты кабелей связи от внешних влияний.

**ОДОБРЕНО**на заседании кафедры ВОЛЗ и  
рекомендовано к печати

Протокол № 4

от 27.11. 06 г.

**Редактор – Ращупкина И.В.****Компьютерное макетирование – Кирдогло Т.В.**

---

## Лабораторная работа № 1

# ИЗУЧЕНИЕ СХЕМ ЗАЩИТЫ И ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАЩИТНОГО ОБОРУДОВАНИЯ ПРИ ВВОДЕ ЦЕПЕЙ ЛИНИЙ СВЯЗИ В СООРУЖЕНИЯХ СВЯЗИ

## 1 ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Целью работы является ознакомление с оборудованием защитных устройств, которые применяются для защиты кабельных и воздушных линий связи (КЛС и ВЛС) от внешних электромагнитных влияний.

## 2 КЛЮЧЕВЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

### 2.1 Назначение и конструкция защитного оборудования

Защита установок связи от опасного действия перенапряжения, вызванного действием линий электропередачи (ЛЭП), грозowymi явлениями, а также от опасных токов, которые возникают при контакте проводов связи с проводами ЛЭП, выполняется с помощью разрядников и плавких предохранителей согласно ГОСТ – 35 – 58 и рекомендации ITU – Т К. 20 в редакции 07/2003 „Стойкость коммутационного оборудования электросвязи к перенапряжению и избыточным токам”.

Для защиты от ЛЭП используются двух и трехэлектродные разрядники (рис. 2.1). Основным типом разрядников, которые используют, например, на ВЛС являются разрядники Р-350, двухэлектродные, с напряжением зажигания  $350 \pm 40$  В.

В системах каскадной защиты для увеличения надежности схемы используют серию искровых разрядников с воздушным зазором в 0,3; 7; 10; 15; 20 мм (рис. 2.2).

На линиях связи городских телефонных сетей (ГТС) для защиты оборудования АТС широко используют угольные разрядники ВР-500. Конструктивно он представляет собой две угольные пластины, между которыми находится слюдяная прокладка (рис. 2.3).

Для цепей дистанционного питания используются вилитовые разрядники РВ – 500; РВ – 1000.

Кроме вышеупомянутых устройств, в схемах защиты аппаратуры уплотнения цепей ВЛС, используют дренажную катушку (ДК). Дренажная катушка состоит из двух полуобмоток, которые намотаны на общем сердечнике. Каждую из полуобмоток включают последовательно с одним из разрядников, при этом направление витков полуобмотки должно быть таким, чтобы во время срабатывания разрядника катушка вносила для тока разряда только небольшое активное сопротивление.

При таком включении полуобмоток, во время включения одного из разрядников ток, который проходит по одной из полуобмоток, за счет индукции

наводит во второй полуобмотке напряжение, которое ускоряет включение второго разрядника.

Следовательно, дренажная катушка, не только исключает короткое замыкание цепи связи, в момент включения разрядника, но способствует одновременности их включения, что исключает возможность появления нежелательных токов, в аппаратуре уплотнения. Если разрядники включены без дренажной катушки, то в момент включения разрядников двухпроводная цепь замыкается накоротко, что вызывает искажение в работе тонального телеграфа и фототелеграфа.

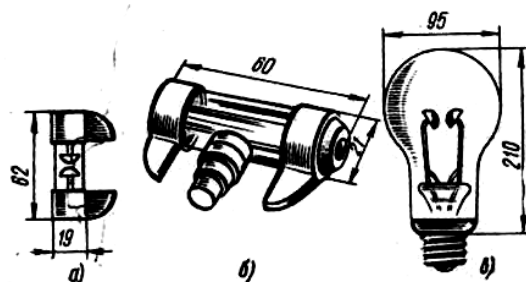


Рисунок 2.1 – Разрядники: а) двухэлектродный Р-350; б) трехэлектродный ЗРББ-350; в) двухэлектродный бариевый РБ-280

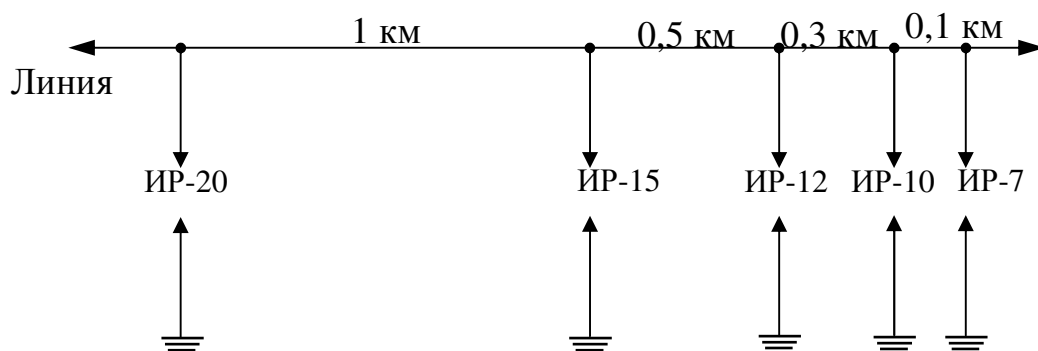


Рисунок 2.2 – Каскадная защита ВЛС

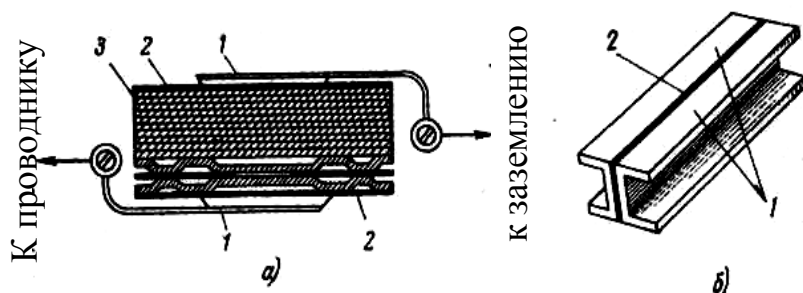


Рисунок 2.3 – Разрядники: а) вилитовый; б) угольный

Кроме того, в результате некоторой разницы сопротивлений проводников, из которых состоит цепь, и отличия характеристик разрядников они включаются не одновременно. В результате этого через аппаратуру, которая установлена в конце цепи, протекают большие токи, которые выравнивают потенциалы и вносят искажение в передаваемый сигнал, который передается, и приводят к возникновению акустических ударов.

Для уменьшения взаимного влияния между выходом и входом усилителей уплотненных цепей, через третьи двухпроводные цепи и телеграфные провода, а также от внешних влияний применяют запирающие катушки (ЗК).

Запирающая катушка состоит из двух полуобмоток 1-2 и 3-4, которые намотаны на общем сердечнике, выполненном из материала с высокой магнитной проницаемостью. Каждая полуобмотка включается в один из проводов двухпроводной цепи так, чтобы магнитные поля токов одного направления (токи помехи в полуобмотках ЗК) складывались и в результате можно получить большое индуктивное сопротивление, а магнитные поля токов противоположного направления (рабочие токи сигнала в полуобмотках) были взаимно скомпенсированы. То есть для токов помехи ЗК вносят значительное затухание, а для рабочих токов – небольшое.

Запирающие катушки, которые используются, вносят затухание для токов помех: на частоте 30 кГц – 8,68 дБ (1 Нп) на частоте 120 кГц – 19,97 дБ (2,3 Нп); на частоте 150 кГц – 21,71 дБ (2,5 Нп). В то же время потери для токов сигнала (рабочих токов) составляют не более чем 0,18 дБ (0,02 Нп) на частотах до 70 кГц и не более чем 0,26 дБ (0,03 Нп) на частотах больше 70 кГц.

Для согласования характеристических (волновых) сопротивлений цепей воздушных линий связи с кабельными вставками в местах их соединения устанавливают специальные согласующие автотрансформаторы.

С помощью автотрансформатора есть возможность согласовать только модули волновых сопротивлений цепей связи. Потому в ВЧ области спектра (более 10 кГц), где волновое сопротивление цепей воздушных линий связи и кабельных вставок имеет очень малые фазовые углы, эти цепи легко поддаются согласованию.

Уровень согласования оценивают величиной коэффициента отражения  $\rho$  для воздушной или кабельной линии связи:

$$\rho_{\text{ВЛС}} = \frac{Z_{\text{вх}} - Z_{\text{волн}}}{Z_{\text{вх}} + Z_{\text{волн}}}; \quad \rho_{\text{КЛС}} = \frac{Z_{\text{вх}} - Z_{\text{волн}}}{Z_{\text{вх}} + Z_{\text{волн}}},$$

где  $Z_{\text{волн}}$  – волновые (характеристические) сопротивления (смотреть табл. 1) ВЛС или КЛС;

$Z_{\text{вх}}$  – измеренные значения входных сопротивлений ВЛС или КЛС.

Входное сопротивление автотрансформатора, как со стороны воздушной линии связи, так и со стороны кабельной линии при соответствующих нагрузках противоположной стороны (180 и 550 или 140 и 550 Ом) обеспечивает коэффициент отражения не более чем 6% в диапазоне частот 30 ... 160 кГц и не более чем 10% на частотах ниже 30 кГц.

Для согласования кабельных вставок в уплотненных цепях используются специальные автотрансформаторы типа АО-550/140 (для кабелей типа ТЗ), или АО-550/180 (для кабелей типа МКС).

При использовании автотрансформатора для защиты оборудования и персонала, от опасных токов на абонентских линиях в разрыв проводов включают предохранители. Они бывают линейные и станционные:

– линейные предохранители типа СН-1 (спиральные с ножевыми контактами) и СК (спиральные с конусными контактами) рассчитаны на величину тока в 1 А;

– стационарные предохранители – это термические катушки, которые установлены на кроссе.

Термические катушки рассчитаны на ток 0,25 А (ТК-0,25) и 0,3 А (ТК-0,3). Они отключают оборудование городских телефонных станций от проводов линии связи, если на последние попадет напряжение из электрической сети, меньше, чем напряжение запала установленных разрядников. Термокатушки являются предохранителями многократного действия (рис. 2.4).

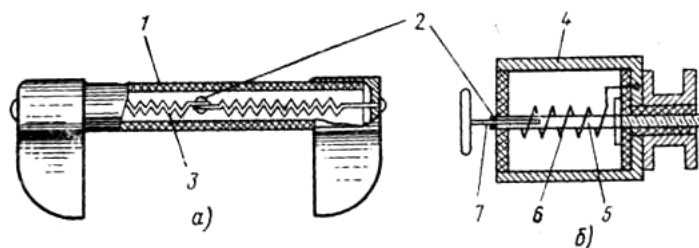


Рисунок 2.4 – Предохранитель типа СН (а) и термическая катушка (б)

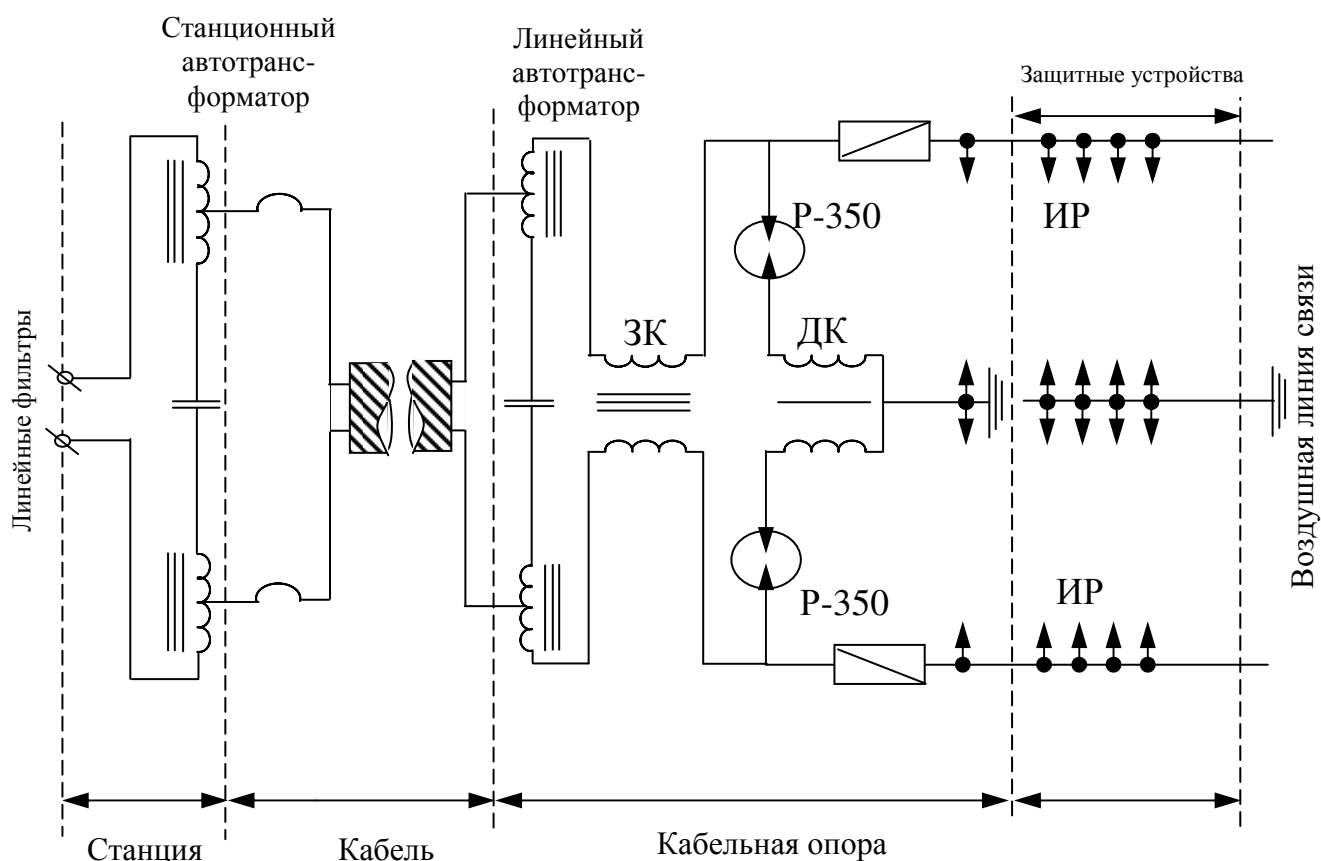


Рисунок 2.5 – Схема защиты уплотненных цепей ВЛС с кабельной вставкой

На разного типа линиях передачи существует ряд схем защиты в зависимости от вида внешнего влияния, наличия дистанционного питания и типа аппаратуры. В качестве примера на (рис. 2.5) приведена схема защиты уплотненных до 150кГц цепей ВЛС при кабельном вводе.

Электрическая защита на кроссе и на абонентских сетях нужна при подземной прокладке кабеля на открытой местности, при подвеске кабеля на опорах ВЛС, а также, если используются смешанные линии связи, которые состоят из кабельных и воздушных линий связи. На полностью кабелированных абонентских сетях и на низкочастотных соединительных линиях электрическая защита оборудования на кроссе не нужна.

Необходимо отметить, что в связи с использованием на ГТС импортного кроссового оборудования и внедрения электронных АТС электрическая защита на основе угольных разрядников и термокатушек подлежит замене на более существенные защитные устройства. Вместо угольных разрядников и предохранителей используют двух и трех электродные миниатюрные газонаполненные разрядники с напряжением запала от 90 до 350 В. Эти разрядники имеют контакты, которые замыкаются в виде плавких шайб, колец или пружинных контактов. Они обеспечивают в аварийной ситуации закорачивание проводов связи на землю.

Необходимо также отметить, что электронные и квазиэлектронные АТС более чувствительны к внешнему напряжению, по сравнению с электромеханическими АТС, поэтому для них может быть предусмотрена вторая, дополнительная, степень защиты, которая реализуется непосредственно в оборудовании станции. При этом в составе системы коммутации для защиты оборудования таких АТС от действия перенапряжения и избыточных токов предусмотрены защитные устройства, которые отличаются назначением, техническими характеристиками и конструктивным выполнением.

Выбор защитных устройств для конкретной системы коммутации выполняется с учетом технических характеристик оборудования АТС, абонентских и соединительных линии и условий эксплуатации оборудования.

Так, например, для защиты станционного оборудования от действия перенапряжения, которое может возникнуть при эксплуатации в абонентских и соединительных линиях используются магазины защиты (МЗ) (рис. 2.6,а).

В качестве защитного элемента в МЗ используются трехполюсные газоразрядники с термозамыкающей пластиной (рис. 2.6,б). Разрядники обеспечивают самую простую защиту от напряжения в продольном (между проводами) и поперечном (между каждым проводом и корпусом каркаса кросса) направлениях и имеют тепловую защиту от возгорания оборудования.

При срабатывании тепловой защиты после снятия напряжения нужна замена разрядника в МЗ.

Конструктивно разрядники устанавливаются в одном корпусе (МЗ), который располагается в коммутационном плинте кроссового оборудования, выполняя при этом подсоединение:

- потенциальных выводов разрядников ко всем цепям плинта;
- корпусных выводов всех разрядников к монтажному хомуту и каркасу кросса.

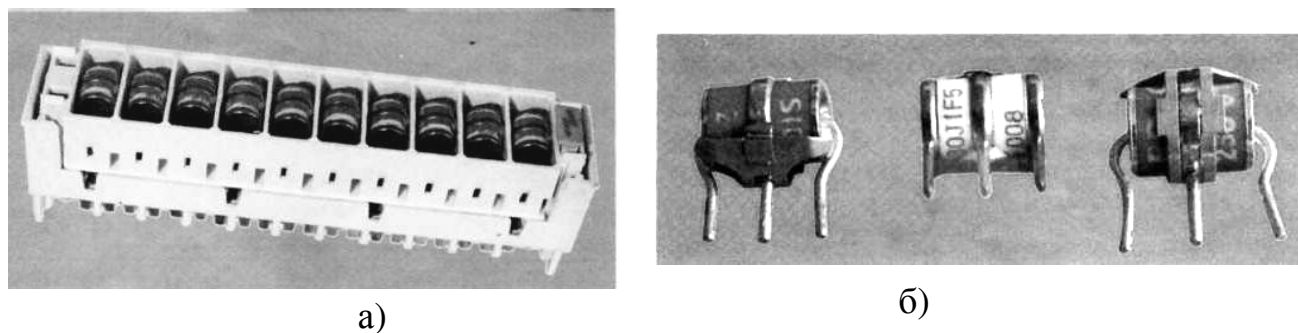


Рисунок 2.6 – Магазин защиты стационарного оборудования АТС  
от действия перенапряжения:  
а) общий вид МЗ; б) трехполюсный газоразрядник

Для защиты стационарного оборудования от действия избыточных токов, которые могут возникать при эксплуатации в абонентских и соединительных линиях, используются модули защиты по току (МЗТ). Эти модули бывают многоразового и одноразового использования. Например, модули защиты

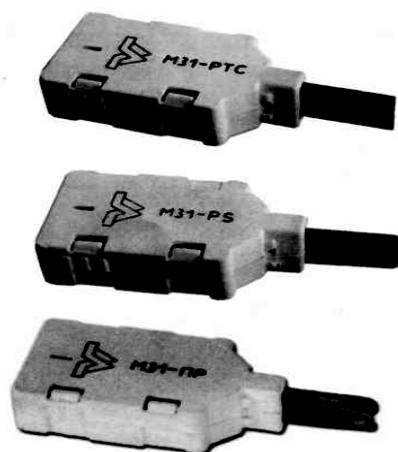


Рисунок 2.7 – Общий вид МЗТ

отечественного производства М31 – РТС и М31 – PS являются устройствами многоразового использования, так как они реализованы на элементах защиты, которые по окончании действия избыточных токов возобновляют свое исходное состояние. Модуль защиты М31 – PP является устройством одноразового использования, так, как он реализован на элементах защиты (плавкой вставке), которая по окончании действия избыточных токов выходит из строя. Для последующей эксплуатации в оборудовании нужна замена или ремонт такого МЗТ (рис. 2.7).

Конструктивно МЗТ реализованы в пластмассовом корпусе для подключения на одну двухпроводную линию плинтов 2×10 и других плинтов на основе плинтов 2×10. Для защиты стационарного оборудования от действия перенапряжения, которое может появиться при эксплуатации в цифровых соединительных линиях при действии грозовых разрядов, влиянии ЛЭП, контактов с промышленной электросетью напряжением 220 В 50 Гц применяются модули защиты М31-2Mbit/s или М31-CLP.

В качестве защитных элементов в модуле защиты М31 – 2 Mbit/s используется:

- в поперечном направлении трехполюсные газоразрядники с термозапирающей пластиной и для уменьшения времени срабатывания – варисторы;

– в продольном направлении для уменьшения допустимого напряжения – ограничители напряжения.

Конструктивно МЗТ реализован в пластмассовом корпусе для подключения на одну двухпроводную линию плинтос 2×10. Они имеют четыре потенциальных вывода и один вывод (пружину) заземления. При срабатывании тепловой защиты после снятия перенапряжения нужна замена МЗ.

Особенностью модулей МЗ1 – *CLP* кроме защиты стационарного оборудования от перенапряжения является защита стационарного оборудования и от избыточных токов. Эти модули применяются также и на аналоговых цифровых абонентских и соединительных линиях.

Тепловая защита в этих модулях предусматривает отключение оборудования при длительном попадании в линию избыточных напряжений. При срабатывании тепловой защиты после снятия перенапряжения МЗ1– *CLP* самовосстанавливается и замена не нужна.

В качестве защитных элементов в модуле защиты используются:

- для защиты от перенапряжений и избыточных токов специализированная микросхема *CLP 200 M*;
- для тепловой защиты и выключения оборудования при длительном попадании в линию избыточных напряжений – терморезисторы РТС.

*Примечание:*

1. Все типы рассмотренных магазинов и модулей защиты по своим электрическим и эксплуатационным характеристикам отвечают требованиям рекомендации *ITU – Т К.20* в редакции 07/2003 „Стойкость коммуникационного оборудования электросвязи к перенапряжению и избыточным токам”.

2. МЗ укомплектованы разрядниками с напряжением пробоя 230 В ± 20% или 300 В ± 20%, предназначенными для защиты оборудования, номинальное рабочее напряжение которого не превышает 170 В и 230 В, соответственно.

3. Номенклатура МЗ фирмы КРОК – КН (Харьковский государственный приборостроительный завод им. Т.Г. Шевченко) для систем коммутации абонентских и соединительных линий АТС приведена в табл. 2.1.

4. Номенклатура МЗТ этой же фирмы приведена в табл. 2.2.

5. Технические характеристики оборудования защиты приведены в табл. 2.3.

Таблица 2.1 – Номенклатура магазинов защиты

| Наименование          | Децимальный номер       | Маркировка  | Тип плинта для подключения                                     | Примечание        |
|-----------------------|-------------------------|-------------|----------------------------------------------------------------|-------------------|
| 1                     | 2                       | 3           | 4                                                              | 5                 |
| Магазин защиты        | ЯЕВИ. 301592.008        | –           | НЗР – 2 × 10 – 004<br>НОЗ – 2 × 10 – 014<br>НЗН – 2 × 10 – 020 | На 10 разрядников |
| Магазин защиты 2 × 10 | ЯЕВИ. 301592.018<br>(1) | 2 × 10 – 18 | НЗР – 2 × 10 – 004<br>НОЗ – 2 × 10 – 014<br>НЗН – 2 × 10 – 020 | На 10 разрядников |

Таблица 2.1 (окончание)

| 1                                | 2                                                     | 3                             | 4                                                              | 5                |
|----------------------------------|-------------------------------------------------------|-------------------------------|----------------------------------------------------------------|------------------|
| Магазин защиты<br>2 × 8          | ЯЕВИ. 301592.019<br>(1)                               | 2 × 10 – 19                   | НЗР – 2 × 10 – 004<br>НОЗ – 2 × 10 – 014<br>НЗН – 2 × 10 – 020 | На 8 разрядников |
| Магазин защиты<br>2 × 5<br>(3×5) | ЯЕВИ. 301592.019<br>(1)<br>ЯЕВИ. 301592.019-01<br>(2) | 2×5(3×5)–27<br>2×5(3×5)–27-01 | НЗР – 2×5(3×5)–025<br>НОЗ– 2×5(3×5)–026                        | На 5 разрядников |
| Магазин защиты<br>2 × 8<br>(3×8) | ЯЕВИ. 301592.030<br>(1)                               | 2 × 8 (3×8) – 30              | НЗР – 2×5(3×5)–028<br>НОЗ– 2×5(3×5)–029                        | На 8 разрядников |

Таблица 2.2 – Номенклатура модулей защиты по току

| Наименование               | Децимальный номер   | Маркировка | Элемент защиты                                                                                                  |
|----------------------------|---------------------|------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Модуль защиты<br>МЗ1 – РТС | ЯЕВИ.468629.0<br>11 | МЗ1 – РТС  | 2 терморезистора РТС 33 Ом<br><i>PLIPS</i>                                                                      |
| Модуль защиты<br>МЗ1 – PS  | ЯЕВИ.468629.0<br>14 | МЗ1 – PS   | 2 самовосстанавливающихся предохранителя „ <i>Poliswitch</i> ”, которые самовосстанавливаются<br>TR – 250 – 120 |
| Модуль защиты<br>МЗ1 – ПР  | ЯЕВИ.468629.0<br>17 | МЗ1 – ПР   | 2 быстро действующие плавкие вставки                                                                            |

Таблица 2.3 – Технические характеристики оборудования защиты

| Технические характеристики                  | Магазины защиты                   | Модули защиты |          |          |                   |           |
|---------------------------------------------|-----------------------------------|---------------|----------|----------|-------------------|-----------|
|                                             |                                   | МЗ1 – РСТ     | МЗ1 – PS | МЗ1 – ПР | МЗ1 – 2<br>Mbit/s | МЗ1 – CLP |
| Количество защищаемых линий                 | В зависимости от типа<br>10, 8, 5 | 1             | 1        | 1        | 1                 | 1         |
| Номинальное рабочее напряжение, В не больше |                                   |               |          |          |                   |           |
| - между А/В – S                             | 160                               | 200           | 400      | 400      | 160               | 160       |
| - между А – В                               | 160                               | 200           | 400      | 400      | 6                 | 160       |

Таблица 2.3 (окончание)

| 1                                                                                                                                                       | 2                            | 3                                        |                                        |                                          |                                         |                                      |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------|------------------------------------------|----------------------------------------|------------------------------------------|-----------------------------------------|--------------------------------------|
| Напряжение пробоя, В:<br>между А/В – S –<br>между А – В                                                                                                 | .<br><br>1800–300<br>360–600 | –<br>–                                   | –<br>–                                 | –<br>–                                   | 180–270<br>8–12                         | 200–290<br>–                         |
| Максимальный<br>рабочий ток, мА,<br>не больше                                                                                                           | –                            | 90                                       | 120                                    | 100                                      | 200                                     | 80                                   |
| Защита по току                                                                                                                                          | Термозамыка<br>тели          | Термо<br>резис-<br>тор                   | Poli<br>swich                          | Плавкая<br>вставка                       | Термоза<br>мыкаю<br>щая<br>пластин<br>а | Микросх<br>ема<br>термо-<br>резистор |
| Время<br>срабатывания<br>защиты<br>- по напряжению,<br>с, не больше<br>- по току, с, не<br>больше<br>- термозамыкатель<br>при токе 10А, с, не<br>больше | 0,7 × 10-6<br><br>–<br><br>5 | –<br><br>5(при<br>токе<br>0,6А)<br><br>– | –<br><br>2(при<br>токе<br>1А)<br><br>– | –<br><br>5(при<br>токе<br>0,4А)<br><br>– | 50×10-9<br><br>–<br><br>5               | 0,6×10-6<br><br>0,6×10-6<br><br>–    |
| Сопротивление<br>изоляции МОм, не<br>больше                                                                                                             | 100                          | 10000                                    | 10000                                  | 1000                                     | 10                                      | 10                                   |
| Сопротивление<br>вносимое в линию,<br>Ом, не больше                                                                                                     | 0                            | 40                                       | 12                                     | 33                                       | 5,5                                     | 45                                   |
| Рабочая<br>температура, С                                                                                                                               | от -40<br>к +70              | от -40 к<br>+70                          | от -40<br>к +70                        | от -40 к<br>+70                          | от -40<br>к +70                         | от -40<br>к +70                      |
| Граничная<br>температура, С                                                                                                                             | от -60<br>к +80              | от -60 к<br>+80                          | от -60<br>к +80                        | от -60 к<br>+80                          | от -60<br>к +80                         | от -60<br>к +80                      |

## 2.2 Назначения МЗ – тестера для проверки устройств защиты телекоммуникационного оборудования

МЗ – тестер, предназначенный для проверки работоспособности всей номенклатуры устройств защиты системы коммутации КРОК-КН и устройств защиты других фирм, которые по своим параметрам и конструкции соответствуют устройствам защиты систем коммутации КРОК-КН.

Технические характеристики МЗ- тестера

Проверяемые параметры устройств защиты:

---

|                                         |             |
|-----------------------------------------|-------------|
| – напряжение пробоя, В                  | от 20 – 400 |
| – сопротивление, вносимое в линию, Ом   | от 0 – 99,9 |
| – ток срабатывания защиты, мА не больше | 170         |

Количество устройств защиты, подключаемых для проверки:

|                                                    |   |
|----------------------------------------------------|---|
| – магазин защиты на плинт 2×10                     | 1 |
| – модуль защиты на одну двухпроводную линию плинта | 2 |

Режим проверки устройств защиты:

– автоматический, при котором происходит автоматическая проверка подключенных устройств защиты;

– ручной, при котором проверка каждого следующего устройства защиты (линии или магазина защиты) происходит по команде оператора.

Прибор имеет режим самоконтроля своей работоспособности.

Исполнение прибора – настольное с габаритами 220×220×120 мм

Климатическое исполнение прибора – УХЛ4 по ГОСТ 15150.

Питание – промышленная сеть 220В 50Гц.

## **2.3 Испытание разрядников на напряжение, при котором начинается их загорание**

Определение напряжения, при котором начинается разряд, осуществляется прибором ИР-3. Испытатель представляет собой преобразователь низкого постоянного напряжения в высокое с контрольным вольтметром.

После подключения разрядника к соответствующим гнездам, и нажимая кнопки “Вкл.” поворотом ручек “Регул. напр. грубо”, “Регул. напр. плавно” определяется величина напряжения запала. Газонаполненный двухэлектродный разрядник Р-350 считается исправным, если перепад напряжения составляет  $350 \pm 40$  В.

## **2.4 Определение эффективности работы дренажной катушки**

Подобрав два разрядника Р-350 с наибольшей разницей порога зажигания, подключить их в схемы защиты. С той стороны, которая идет от станции в линию, включить головные телефоны. Отключить от схемы дренажную катушку с помощью специальной перемычки, не отключая “Землю” от разрядников. Включить прибор ИР-3 в цепь канала „молния–земля”, симитировать прибором разряд молнии.

При последующем включении ДК в схему защиты отмечается уменьшение уровня акустического удара. Такой же эффект может быть достигнут при тщательном подборе разрядников по номинальному напряжению зажигания.

## 2.5 Измерение входных сопротивлений автотрансформатора

Измерение входных сопротивлений автотрансформатора выполняется по схемам на рис. 2.8 и 2.9. Первая схема – это схема измерения входного сопротивления со стороны воздушной линии связи, вторая со стороны кабельной линии связи.

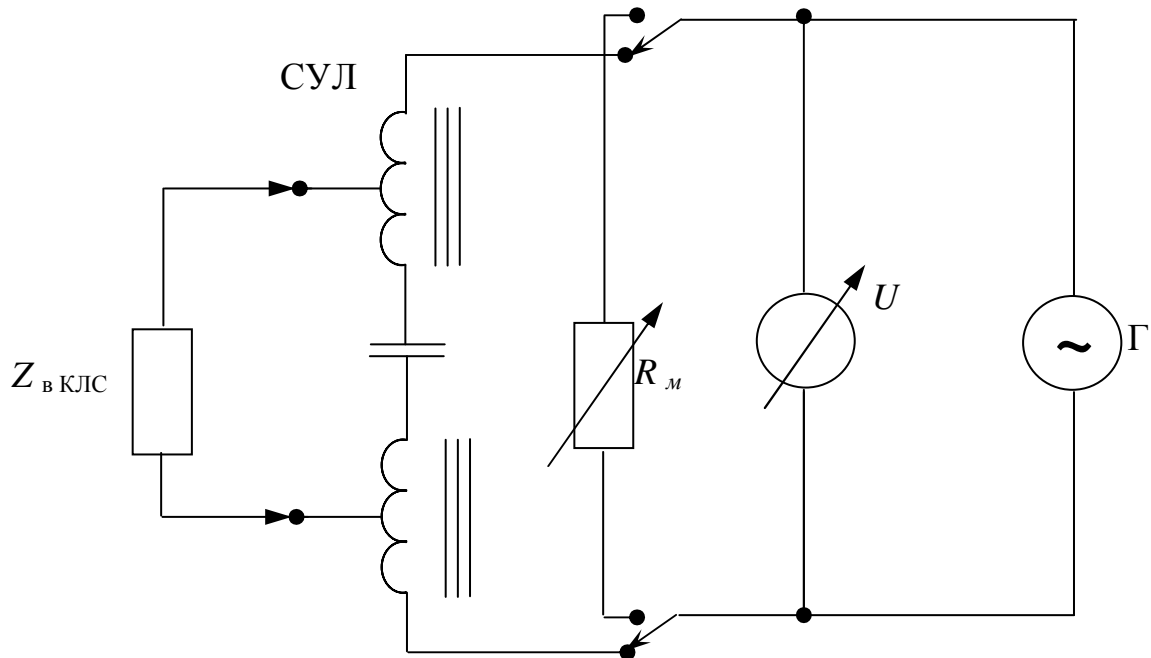


Рисунок 2.8 – Схема измерения входного сопротивления автотрансформатора со стороны воздушной линии связи

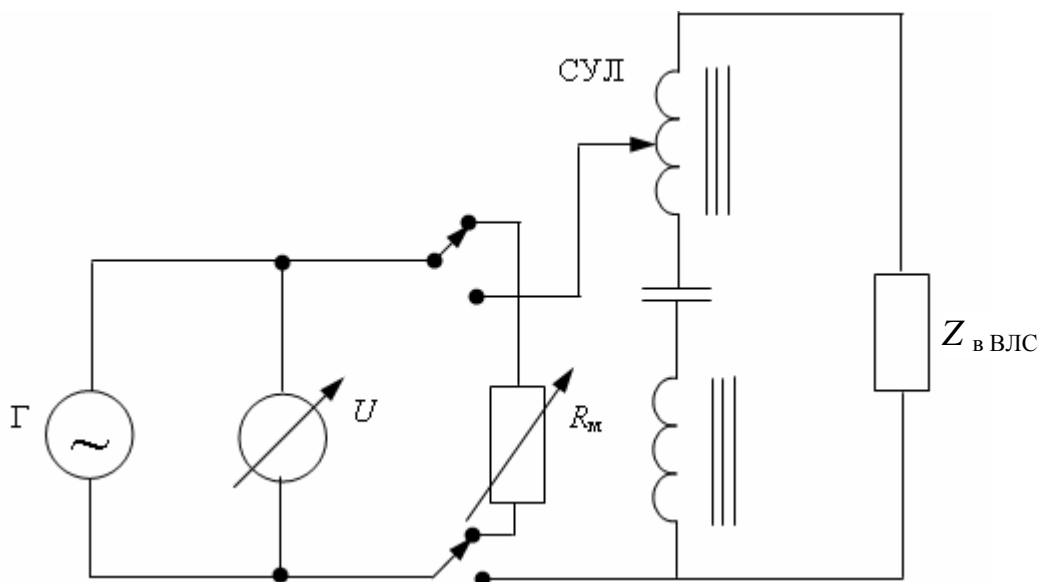


Рисунок 2.8 – Схема измерения входного сопротивления автотрансформатора со стороны кабельной линии связи

Порядок измерения входных сопротивлений следующий:

2.1 Проверить и, если это нужно, подключить приборы (генератор, индикатор) к системе электропитания.

2.2 На генераторе установить заданную частоту с исходным уровнем 13,02...17,37 дБ (1,5...2 Нп). Выходное сопротивление генератора устанавливают равным 600 Ом. Входное сопротивление индикатора – высокоомное.

2.3 Подключить приборы к измеряемому объекту, который измеряется, последовательно, сначала со стороны ВЛС, потом со стороны кабельной вставки, подключив соответствующую нагрузку на противоположный конец согласующего устройства ( $Z_{вВЛС}$  или  $Z_{вКЛС}$ ). Беря среднее значение волновых сопротивлений в диапазоне 30 – 150 кГц с достаточной точностью можно ставить в схему сопротивления  $Z_{вКЛС} = 180$  Ом и  $Z_{вВЛС} = 540$  Ом.

2.4 Выставить на индикаторе стрелку уровня сигнала в любое положение в средней части шкалы (вращая ручку выходного уровня на генераторе).

2.5 Потом переключить индикатор на магазин сопротивлений и вращая ручки магазина, добиться тех же показателей индикатора (метод сравнения).

2.6 По ручкам (курбелям) магазина сопротивлений провести отсчет модуля входного сопротивления автотрансформатора ( $Z_{вхВЛС}$ ;  $Z_{вхКЛС}$ ) для соответствующей стороны входа автотрансформатора.

## 2.6 Расчет коэффициента отражения

Для расчета коэффициента отражения используют формулы:

$$\delta_{\text{ВЛС}} = \frac{Z_{\text{вВЛС}} - Z_{\text{аВЛС}}}{Z_{\text{вВЛС}} + Z_{\text{аВЛС}}}; \quad \delta_{\text{КЛС}} = \frac{Z_{\text{вКЛС}} - Z_{\text{аКЛС}}}{Z_{\text{вКЛС}} + Z_{\text{аКЛС}}}.$$

Автотрансформатор обеспечивает коэффициент отражения в диапазоне частот до 30 кГц  $p \leq 0,2$ , на частотах до 150 кГц  $p \leq 0,1$ .

Паспортные значения волнового сопротивления цепей ВЛС и КЛС на отдельных частотах приведены в табл. 2.4.

Таблица 2.4 – Паспортные значения волнового сопротивления цепей ВЛС и КЛС

| $f$ , кГц | $Z_{вКЛС}$ | $Z_{вВЛС}$ |
|-----------|------------|------------|
| 30        | 191        | 544        |
| 60        | 184        | 543        |
| 120       | 180        | 542        |
| 150       | 179        | 542        |

## 2.7 Измерение ослабления, которые вносит запирающая катушка

Измерение потерь, которые вносит запирающая катушка в цепь помехи, выполняется методом разности уровней по схеме на рис. 2.10.

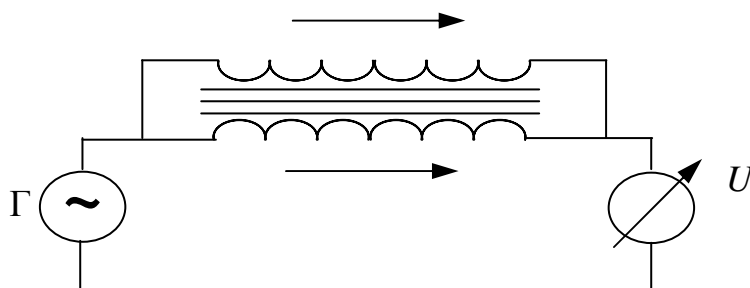


Рисунок 2.10 – Схема измерения потерь, вносимых запирающей катушкой в цепь помехи

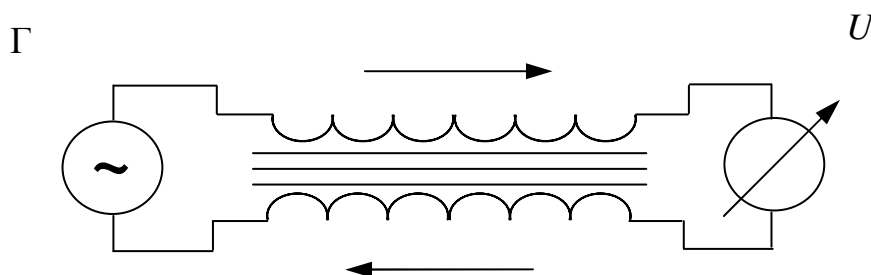


Рисунок 2.11 – Схема измерения потерь, вносимых запирающей катушкой в цепь сигнала

Порядок проведения измерения следующий:

1. Проверить и подключить приборы (генератор и индикатор) в систему электропитания.

2. На генераторе установить заданную частоту с выходящим уровнем 13,02 ... 17,37 дБ (1,5 ... 2 Нп). Выходное сопротивление генератора и входное сопротивление индикатора должны быть 600 Ом.

3. Проверить выходной уровень генератора с помощью индикатора прямым включением прибора. В случае потребности провести регулировку приборов.

4. Подключить приборы к измеряемому объекту так, как показано на рис. 2.10.

5. Методом разности уровней провести отсчет внесенных ЗК потерь ( $\alpha_{цп}$ ).

Таким же образом провести измерение потерь, которые вносит ЗК в цепь сигнала ( $\alpha_{цс}$ ) по схеме на рис. 2.11.

Для сравнения в табл. 2.5 приведены паспортные данные внесенных ЗК потерь в цепь помехи ( $\alpha_{цп}$ ) и в цепи сигнала ( $\alpha_{цс}$ ) на разных частотах.

Таблица 2.5 – Паспортные данные внесенных потерь ЗК в цепи помехи ( $\alpha_{цп}$ ) и в цепи сигнала ( $\alpha_{цс}$ ) на разных частотах

| $f$ , кГц          | 5    | 10   | 30    | 100   | 120   | 150   |
|--------------------|------|------|-------|-------|-------|-------|
| дБ                 | 0,87 | 2,17 | 8,25  | 19,10 | 20,00 | 23,00 |
| $\alpha_{цп}$ , Нп | 0,10 | 0,25 | 0,95  | 2,20  | 2,30  | 2,64  |
| дБ                 | 0,09 | 0,09 | 0,09  | 0,26  | 0,280 | 0,360 |
| $\alpha_{цс}$ , Нп | 0,01 | 0,01 | 0,601 | 0,03  | 0,032 | 0,041 |

### 3 КЛЮЧЕВЫЕ ВОПРОСЫ

- 3.1. Почему ограничивается нижний порог запала разрядников?
- 3.2. Как ДК уменьшают помехи в каналах связи?
- 3.3. К чему приводит несогласование кабельных вставок с линиями связи?
- 3.4. Для чего используются ЗК в цепи защиты ВЛС?
- 3.5. Принципы работы схем защиты воздушных и кабельных линий связи.
- 3.6. Назначение и основные типы разрядников, предохранителей, МЗ и МЗТ.
- 3.7. Основные возможности прибора МЗ – тестер.

### 4 ДОМАШНЕЕ ЗАДАНИЕ

- 4.1. Используя рекомендованную литературу к лабораторной работе и данное руководство ознакомиться с:
- 4.2. Назначением и видами защитного оборудования линий связи;
- 4.3. Порядком выполнения лабораторной работы.
- 4.4. Подготовиться к обсуждению ключевых вопросов раздела три.
- 4.5. Выучить схемы защиты линий связи.
- 4.6. Подготовить бланк протокола лабораторной работы.

### 5 ЛАБОРАТОРНОЕ ЗАДАНИЯ

- 5.1. Ознакомиться и выучить схемы защиты и конструкцию защитного оборудования при вводах цепей ВЛС.
- 5.2. Оценить эффективность работы дренажных катушек (ДК).
- 5.3. Измерить входные сопротивления автотрансформатора со стороны ВЛС и кабельного входа на двух частотах – 30 кГц и 150 кГц. Занести в таблицу по форме таблицы 2.6
- 5.4. Рассчитать коэффициент отражения для этих частот. Занести в таблицу по форме табл. 2.6.
- 5.5. Измерять внесенное ослабление запирающей катушки (ЗК) в цепи помехи ( $\alpha_{\text{шп}}$ ) и в цепи сигнала ( $\alpha_{\text{сг}}$ ) на шести частотах:  $f = 5; 10; 30; 100; 120; 150$  кГц и построить график зависимости  $\alpha = \varphi(f)$ .
- 5.6. Измерить с помощью прибора МЗ – тестер напряжение пробоя магазина защиты.
- 5.7. Измерить с помощью прибора МЗ – тестер ток срабатывания модуля защиты.
- 5.8. Измерить с помощью прибора МЗ – тестер дополнительное сопротивление, вносимое в линию модулем защиты.

Таблица 2.6 – Даны измерения входных сопротивлений автотрансформатора

| $f$ кГц | $Z_{вх}$ со стороны ВЛС, Ом | $Z_{в}$ ВЛС, Ом | $Z_{вх}$ со стороны КЛС, Ом | $Z_{в}$ КЛС, Ом | $p_{ВЛС}$ | $p_{КЛС}$ | Примечания |
|---------|-----------------------------|-----------------|-----------------------------|-----------------|-----------|-----------|------------|
| 30      |                             | 540             |                             | 180             |           |           |            |
| 150     |                             | 540             |                             | 180             |           |           |            |

- 5.9. Даны измерения внесенного ослабления запирающей катушкой (ЗК) в цепь помехи ( $\alpha_{цп}$ ) и в цепь сигнала ( $\alpha_{цс}$ ) заносятся в таблицу 2.7.

Таблица 2.7 – Даны измерения внесенного ослабления запирающей катушкой

| $f$ кГц          | 5 | 10 | 30 | 100 | 120 | 150 | Примечания |
|------------------|---|----|----|-----|-----|-----|------------|
| $\alpha_{цп}$ дБ |   |    |    |     |     |     |            |
| $\alpha_{цс}$ дБ |   |    |    |     |     |     |            |

- 5.10. Оценить данные о проверке эффективности использования дренажной катушки в схемах защиты.

## 6 АППАРАТУРА

- 6.1. Генератор, работающий в диапазоне 0,3 ... 300 кГц.
- 6.2. Измеритель уровня сигнала в диапазоне 0,3 ... 300 кГц.
- 6.3. Магазин сопротивлений.
- 6.4. Резисторы нагрузки.
- 6.5. Прибор МЗ – тестер.
- 6.6. Модули защиты по току.
- 6.7. Модуль защиты МЗ1 – 2 Mbit/s.
- 6.8. Модуль защиты МЗ1 – CLP.
- 6.9. Магазин защиты.

## 7 СОДЕРЖАНИЕ ПРОТОКОЛА

- 7.1. Схема защиты аппаратуры проводной связи при кабельном вводе ВЛС (по заданию руководителя).
- 7.2. Принципиальные схемы измерения.
- 7.3. Данные измерения входных сопротивлений автотрансформатора согласующего устройства линии (СУЛ) и расчет коэффициента отражения, данные измерения ослабления ЗК, измерения с помощью МЗ – тестера (напряжения пробоя МЗ, тока срабатывания МЗТ, дополнительного сопротивления МЗ).

## 8 ЛИТЕРАТУРА

8.1. Гроднев И. И., Курбатов Н. Д. Линии связи. – М.: Связь, 1980. – С. 307-315.

8.2. Строительство кабельных сооружений связи. Справочник / Под редакцией Барона Д.А. и др. – М.: Радио связь. 1988. – С. 620 – 640.

8.3. *ITU – Т К.20* рекомендации 07/2003 “Стойкость коммутационного оборудования электросвязи к перенапряжениям, избыточным токам”.

## Лабораторная работа № 2

# ИССЛЕДОВАНИЕ ОПАСНОГО МАГНИТНОГО ВЛИЯНИЯ ЛЭП НА КАБЕЛЬНЫЕ ЛИНИИ СВЯЗИ

## 1 ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Целью работы является ознакомление с методами вычисления и измерения величины продольной наведенной ЭДС в жилах кабелей связи при опасном магнитном влиянии высоковольтных линий электропередачи (ЛЭП).

## 2 КЛЮЧЕВЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

К высоковольтным линиям электропередачи принадлежат ЛЭП и контактные сети электрифицированных железных дорог. Высоковольтные линии, которые работают на переменном токе на  $f = 50$  Гц, имеют напряжения от 3 до 400 кВ и выше.

Трехфазные ЛЭП могут быть симметричными, (такие, что не имеют остаточных токов и напряжений в земле) и несимметричными, (в которых земля используется в качестве одного из рабочих проводов). Последние оказывают на кабельные линии передачи наибольшее влияние.

При рассмотрении влияний на цепь связи различают нормальный, вынужденный и аварийный режимы работы ЛЭП. Под нормальным режимом понимается режим, при котором линия работает стабильно. Вынужденный режим – это режим, при котором линия вынуждена определенное время работать в режиме, отличном от нормального, например симметричная линия работает в несимметричном (неполнофазном) режиме (ДПЗ – два провода – земля). Аварийный режим возникает при нарушении нормальной работы ЛЭП, например, при обрыве и заземлении одного из фазовых проводов. В этом случае возникает ток короткого замыкания, который на порядок может превышать рабочий ток. При этом ЛЭП оказывает на кабель опасное магнитное влияние.

Вычисление опасного магнитного влияния ЛЭП на линию связи (ЛС) выполняют на этапе проектирования. Вычисленные ожидаемые значения наведенной ЭДС сравнивают с допустимыми значениями и выбирают соответствующие мероприятия защиты. Метод вычисления продольной наведенной ЭДС называется методом проб. Заключается он в том, что короткое замыкание фазового провода ЛЭП на землю при сложной трассе сближения происходит последовательно, например, допустим, что в точках 0, 1, 2 и т.д. (рис. 2.1). При этом участки косых сближений приводят к параллельным, которые находятся на расстоянии:

$$a_{\text{уеа}} = \sqrt{a_1 \cdot a_2} \quad \text{и} \quad .$$

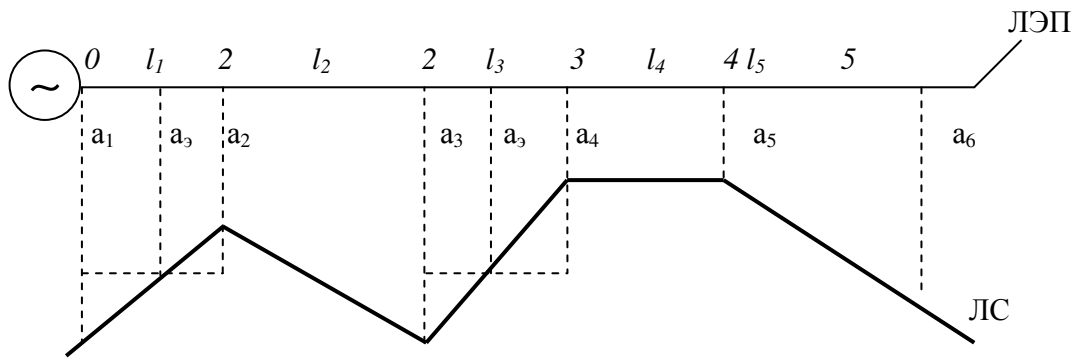


Рисунок 2.1 – Трасса сближения

Наведенная ЭДС определяется по участкам  $l_1, l_2 \dots l_n$ , так как для каждого участка коэффициент взаимной индуктивности между проводом ЛЭП и проводом линии связи будет разным. Он зависит от проводимости почвы  $\sigma_{гр}$  и ширины сближения  $a_{экв}$ . Суммарная наведенная ЭДС (В) определяется по формуле:

$$\dot{A}_{\hat{a}\hat{a}} = \omega \sum_{i=1}^n I_{\hat{e}\hat{z}} M_i l_i S_{\hat{a}\hat{u}},$$

где  $\omega$  – круговая частота влияющего тока ( $f = 50$  Гц);  $I_{кз}$  – ток короткого замыкания, А;  $n$  – количество участков трассы сближения;  $M_i$  – коэффициент взаимной индукции между проводом ЛЭП и жилой кабеля связи на  $i$ -м участке сближения, определяется по номограмме Михайлова (рис. 2.2);

$S_{общ}$  – суммарный коэффициент экранирующего действия:

$$S_{общ} = S_{\kappa} S_{mp},$$

где  $S_{\kappa}$  – коэффициент экранирующего действия влияния оболочки кабеля;  $S_{mp}$  – коэффициент экранирующего действия влияния троса, подвешенного на ЛЭП выше чем фазовые проводов. Влияния при аварийных режимах ЛЭП бывают кратковременными, так как они исчезают с выключением поврежденной линии. Но для обеспечения безопасности обслуживающего персонала, а также для защиты от повреждений аппаратуры и линий связи установлены нормы допустимых величин опасных токов и напряжения. Нормы эти зависят от типа линий связи, используемой системы передачи, организации схемы дистанционного питания, от времени выключения ЛЭП. Нормируется ЭДС на гальванически неразделенный участок цепи линии связи (то есть такая, которая не содержит трансформаторов, усилителей и фильтров).

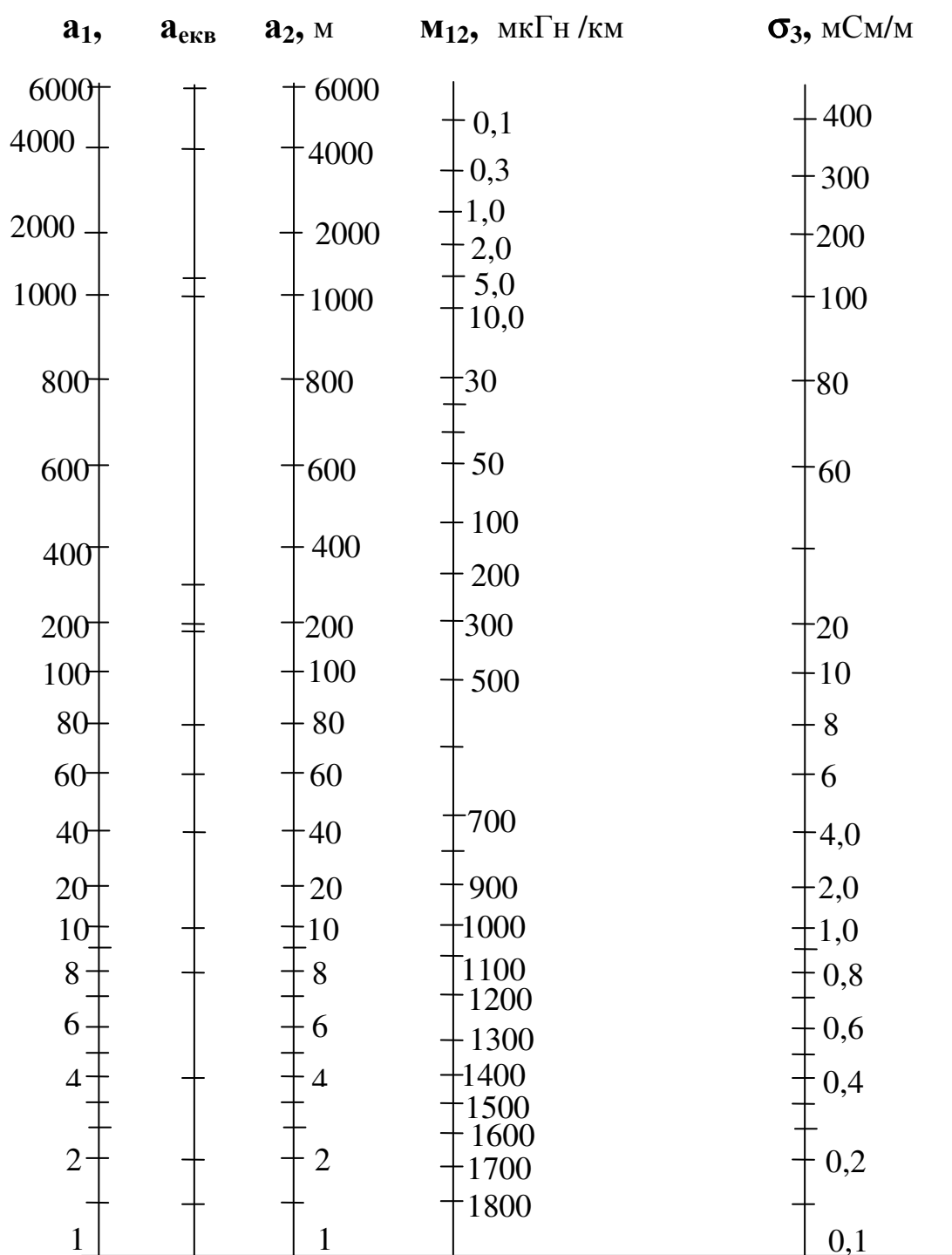


Рисунок 2.2 – Номограмма Михайлова

Для симметричных кабельных линий значения допустимых ЭДС в проводах связи приведены в табл. 2.1.

Таблица 2.1 – Значения допустимых ЭДС в проводах связи

| Система передачи | Цепь              | Схема ДП        | Допустимая продольная ЭДС, В |                         | Участок, к которому относится норма |
|------------------|-------------------|-----------------|------------------------------|-------------------------|-------------------------------------|
|                  |                   |                 | Длительное влияние           | Кратковременное влияние |                                     |
| К-60П            | Симметричная пара | провод – земля  | 200                          | 400                     | Усилительный участок                |
|                  |                   | провод – провод | 200                          | 530                     | Регенерационный участок             |

В табл. 2.2 приведены значения коэффициентов защитного действия тросов в зависимости от материала и величины поперечного сечения.

Таблица 2.2 – Значения коэффициентов защитного действия тросов

| Материал троса | Величина $S_{тр}$ для тросов с поперечным сечением, мм <sup>2</sup> |             |
|----------------|---------------------------------------------------------------------|-------------|
|                | 50 ... 100                                                          | 101 ... 200 |
| Медь           | 0,60                                                                | 0,50        |
| Алюминий       | 0,65                                                                | 0,55        |
| Сталь          | 0,95                                                                | 0,80        |

Если вычисленное значение ЭДС превышает допустимое значение, следует выбрать мероприятия защиты. Одно из первых и преимущественных мероприятий – отнесение трассы ЛС от влияющей ЛЭП. Для этого необходимо вычислить  $a_{кр}$  – величину допустимого критического сближения.

Если отнесение невозможно осуществить, то применяются электрические средства защиты, которые разделяются на мероприятия, осуществляемые на ЛЭП, и мероприятия, осуществляемые на линиях связи.

### 3 КЛЮЧЕВЫЕ ВОПРОСЫ

3.1. От чего зависит наведенная в жилах кабеля ЭДС?

3.2. В каких режимах может работать ЛЭП? Какой из них наиболее опасен для кабельной линии связи?

3.3. Какой из вариантов заземления цепи ЛС при магнитном влиянии наиболее опасным:

- изолированный по концам;
- заземленный по концам;
- заземленный с одного конца?

3.4. От чего зависит коэффициент  $M_{12}$ ?

3.5. Что такое коэффициент экранирующего (защитного) действия? От чего он зависит? В каких диапазонах изменяется?

3.6. Как называется и в чем заключается метод вычисления продольной наведенной ЭДС при опасном влиянии ЛЭП на ЛС?

## 4 ДОМАШНЕЕ ЗАДАНИЕ

- 4.1. Используя рекомендованную литературу ознакомиться с методом и порядком вычисления продольной наведенной ЭДС в жилах кабелей связи.
- 4.2. Выучить мероприятия по защите кабелей связи от опасного влияния ЛЭП.
- 4.3. Подготовить бланк отчета с таблицей для записи результатов вычислений и измерений.
- 4.4. Подготовиться к обсуждению контрольных вопросов.

## 5 ЛАБОРАТОРНОЕ ЗАДАНИЕ

- 5.1. Ознакомиться с макетом лабораторной работы (рисунок 6.1).
- 5.2. Собрать схему сближения ЛЭП и ЛС согласно заданному преподавателем варианту.
- 5.3. Установить по амперметру ток короткого замыкания  $I_{кз}$  по указанию преподавателя.
- 5.4. Для заданной схемы сближения вычислить продольную наведенную ЭДС (В) в аварийном режиме работы ЛЭП по формуле

$$E_{\text{на}} = \omega \sum_{i=1}^n I_{\text{éc}} M_i l_i S_{\text{ia}} ;$$

Вычисления свести в таблицу по приведенной форме (табл. 5.1).

Таблица. 5.1 – Расчёт продольной наведенной ЕРС

| № точки | $a_1$ , м | $a_2$ , м | $a_{\text{эвб}}$ , м | $M_{12} \cdot 10^{-6}$<br>Гн/км | $l_i$<br>км. | $\omega M_{12} l_i$ | $\sum \omega M_i l_i$ | $I_{\text{кз}}$ , А | $S_{\text{общ}}$ | $E_{\text{расч}}$ , В | $E_{\text{изм}}$ , В |
|---------|-----------|-----------|----------------------|---------------------------------|--------------|---------------------|-----------------------|---------------------|------------------|-----------------------|----------------------|
| 0       |           |           |                      |                                 |              |                     |                       |                     |                  |                       |                      |
| 1       |           |           |                      |                                 |              |                     |                       |                     |                  |                       |                      |
| 2       |           |           |                      |                                 |              |                     |                       |                     |                  |                       |                      |

- 5.5. Измерить величину наведенной ЭДС в точках 0, 1, 2.
- 5.6. Определить допустимое значение ЭДС.
- 5.7. Построить график зависимости  $E_{\text{нав}} = f(l)$ . Нанести на график прямую, соответствующую  $E_{\text{доп}}$ .
- 5.8. Сравнить  $E_{\text{нав.изм.}}$  с  $E_{\text{доп}}$ . Избрать мероприятия защиты.
- 5.9. Для определения  $a_{\text{кр}}$  вычислить  $M_{\text{кр}}$  (Гн/км) по формуле:

$$M_{\text{ед}} = \frac{\dot{A}_{\text{aif}}}{\omega \sum I_{\text{éc}} l_i S_{\text{ia}}}$$

По значениям  $M_{кр}$  и  $\sigma_{гр}$  по номограмме (см. рис. 2.2) определить  $a_{кр}$ .

5.10. Отнести ЛС от ЛЭП на  $a > a_{кр}$ . Измерить суммарную наведенную ЭДС (точка 3), сравнить с  $E_{доп}$ . Сделать выводы.

## 6 ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОГО СТЕНДА

На лабораторном стенде выполнен макет сближения высоковольтной линии электропередачи и кабельной линии передачи на базе симметричного кабеля МКСБ–4×4×1,2 (рис. 6.1). На ЛЭП выше фазовых проводов подвешен защитный трос, медный с поперечным сечением  $S = 100 \text{ мм}^2$ . Схема сближения имеет два косых участка  $l_1 = 4 \text{ км}$  и  $l_2 = 8 \text{ км}$ .

Авария ЛЭП состоялась в точке 0. Коэффициент экранирующего действия кабеля МКСБ  $S_K = 0,41$ ;  $\rho_{гр}$  на трассе сближения равняется  $25 \text{ Ом} \cdot \text{м}$ . По кабелю связи МКСБ–4×4×1,2 работает система передачи К-60П с дистанционным питанием усилителей по системе провод – земля.

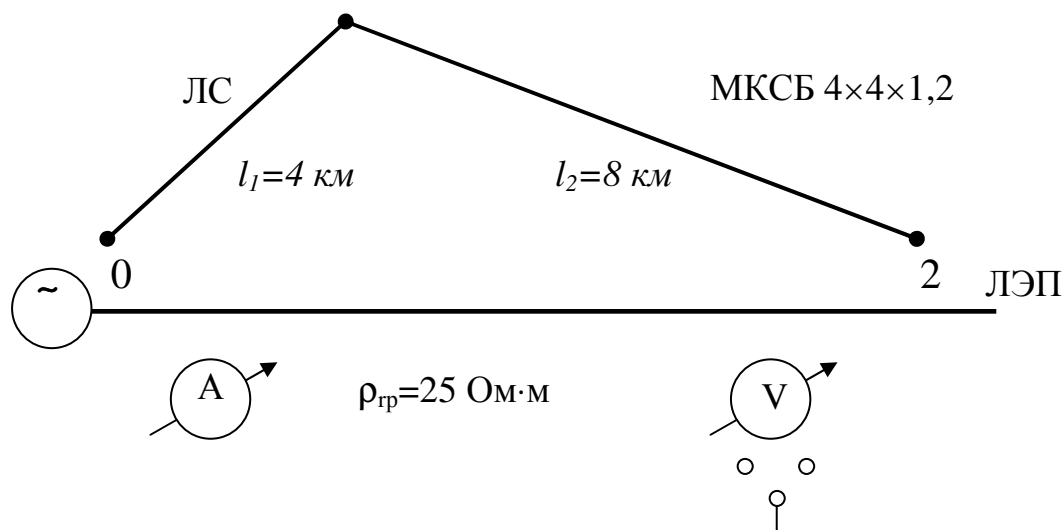


Рисунок 6.1 – Кабельная линия передачи на базе симметричного кабеля МКСБ 4×4×1,2

## 7 СОДЕРЖАНИЕ ПРОТОКОЛА

- 7.1. Название и номер лабораторной работы.
- 7.2. Название лаборатории и дата выполнения работы.
- 7.3. Цель работы.
- 7.4. Схема сближения ЛЭП и ЛС согласно с заданным вариантом.
- 7.5. Таблица вычисленных и измеренных значений  $E_{нав}$ .
- 7.6. График зависимости  $E_{нав} = f(l)$  и сравнение с  $E_{доп}$ .
- 7.7. Вычисление  $a_{кр}$  и измерение значения  $E_{нав}$  после отнесения ЛС от ЛЭП.
- 7.8. Выводы.

## 8 ЛИТЕРАТУРА

8.1. **Гроднев И. И., Верник С. М.** Линии связи. – М.: Радио и связь, 1988. – С. 335-338, 342-343, 346-366.

8.2. **Михайлов Г. И., Разумов Л. Д.** Защита кабельных линий связи от влияния внешних электромагнитных полей. – М.: Связь, 1978.

8.3. **Правила** защиты устройств проводной связи, железнодорожной сигнализации и телемеханики от опасного и мешающего влияния линий электропередач. Ч. 1. Опасные влияния. – М.: Связь, 1969.

### Лабораторная работа № 3

## ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ ЗАЩИТЫ ПОДЗЕМНЫХ ЛИНЕЙНО-КАБЕЛЬНЫХ СООРУЖЕНИЙ ОТ КОРРОЗИИ

### 1 ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Провести исследование методов защиты подземных линейно кабельных сооружений от коррозии.

### 2 КЛЮЧЕВЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

#### 2.1 Определение сопротивления 1 м кабеля

Сопротивление  $R$  (Ом) 1 м кабеля определяется по формуле

$$R = \rho \frac{4}{\pi(d_1^2 - d_2^2)}, \quad (2.1)$$

где  $\rho$  – удельное сопротивление свинца,  $0,221 \times 10^{-6} \frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}}$ ;

$d_1$  – внешний диаметр свинцовой оболочки кабеля, равный 16 мм;

$d_2$  – внутренний диаметр свинцовой оболочки кабеля, равный 12,3 мм

Если подставить соответствующие значения величин в формулу (2.1), получим сопротивление 1 м кабеля, который имеет влагозащитную оболочку из свинца. Чтоб определить сопротивление 1 м кабеля, который имеет влагозащитную оболочку из других металлов, необходимо в формулу (2.1) подставить соответствующие значения удельного сопротивления металла, из которого сделана влагозащитная оболочка, и соответствующие диаметры  $d_1$  и  $d_2$ .

#### 2.2 Определение направления и величины блуждающего тока в оболочке кабеля методами компенсации и падения напряжения

Измерение провести для одного значения блуждающего тока.

2.2.1 Включить на макете источник блуждающего тока, для чего тумблер  $I_{bl}$  перевести в положение «ВКЛ».

2.2.2 Определить направление блуждающего тока  $I_{bl}$ , для чего подключить милливольтметр МВ, с нулем посередине шкалы, к двум точкам кабеля ( $K_1$  и  $K_2$  на рисунке 2.1). Расстояние между этими двумя точками составляет 1 м. На милливольтметре выставить шкалу 75 мВ. Если стрелка милливольтметра отклонится вправо, то блуждающий ток имеет направление от точки, подключенной к "+", к точке, подключенной к "—" на милливольтметре.

2.2.3 Величина блуждающего тока определяется как методом компенсации, так и методом падения напряжения. Схема измерения приведена на рис. 2.1.

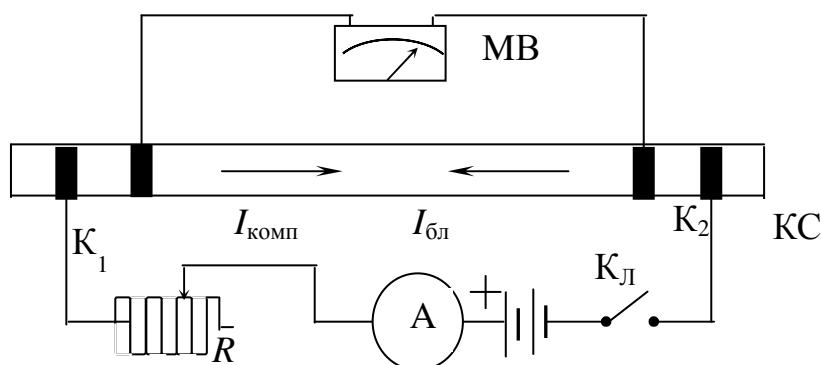


Рисунок 2.1 – Схема измерения методами компенсации и падения напряжения

## 2.3 Метод компенсации

2.3.1 Собрать схему измерения (рис. 2.1). Для этого подключить источник постоянного тока, как отмечено на рисунке. Это источник постоянного тока включен к схеме таким образом, чтобы ток от источника имел направление, противоположное направлению блуждающего тока.

2.3.2 С помощью реостата  $R$  изменяют величину тока от источника постоянного тока до того момента, когда на шкале милливольтметра "75 мВ" установится значение "0". Это будет значить, что ток от источника постоянного тока полностью скомпенсировал величину блуждающего тока.

2.3.3 На шкале амперметра  $A$ , установленного на макете, определить величину тока, которая будет равняться величине блуждающего тока.

## 2.4 Метод падения напряжения

2.4.1 Воспользовавшись собранной по рис. 2.1 схемой, выключить источник тока компенсации. Для этого перевести тумблер  $K_{\text{л}}$  в положение "Выкл." Стрелка милливольтметра отклонится. Это будет значение падения напряжения, измеренное на 1 м длины кабеля со свинцовой влагозащитной оболочкой.

2.4.2 Величина блуждающего тока ( $A$ ) вычисляется по формуле:

$$I_{\text{бл}} = \frac{U}{Rl}, \quad (2.2)$$

где  $U$  – падение напряжения, измеренное на 1 м длины кабеля со свинцовой влагозащитной оболочкой, В;

$R$  – сопротивление 1 м кабеля со свинцовой оболочкой, которое определяется по формуле (2.1), Ом/м;

$l$  – расстояние между точками измерения, равное 1 м.

## **2.5 Измерение потенциалов на оболочке кабеля относительно земли (на макете кабеля ГТС), построение потенциальной диаграммы, определение анодных и катодных зон**

2.5.1 Начертить схему кабельной канализации и отметить номера колодцев.

2.5.2 Измерить потенциалы на оболочке кабеля относительно земли в каждом колодце. Значение потенциалов занести в табл. 2.1.

2.5.3 Определить анодные и катодные зоны.

2.5.4 Зафиксировать номер колодца, в котором наблюдали знакопеременную зону, если такая есть.

2.5.5 Построить потенциальную диаграмму до защиты.

Таблица 2.1 – Потенциалы, измеренные на оболочке кабеля относительно земли

| № колодца                             | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
|---------------------------------------|---|---|---|---|---|---|---|
| Потенциал, измеренный к защите, В     |   |   |   |   |   |   |   |
| Потенциал, измеренный после защиты, В |   |   |   |   |   |   |   |

2.5.6 Определить необходимые средства защиты от коррозии в отдельных колодцах кабельной канализации.

2.5.7 К кабелю в колодце, где зафиксирована максимальная постоянная анодная зона, для защиты кабельной канализации подключить катодную станцию и с помощью реостата  $R$  установить в колодце минимальный защитный потенциал ( $-0,3$  В).

2.5.8 К кабелю в колодце со знакопеременной зоной подключить поляризованный дренаж. (Подключения проводить относительно рельсов трамвайной колеи).

2.5.9 Измерить после защиты потенциалы на оболочке кабеля относительно земли в каждом колодце. Значение потенциалов занести в табл. 2.1.

2.5.10 Построить потенциальную диаграмму после защиты.

## **3 КЛЮЧЕВЫЕ ВОПРОСЫ**

При самостоятельной подготовке к выполнению лабораторной работы необходимо:

3.1. Выучить рекомендованную литературу.

3.2. Выучить существующие средства защиты кабелей от коррозии.

3.3. Ознакомиться с методами измерений на кабельных линиях передачи во время организации средств защиты подземных кабелей от коррозии.

- 3.4. Выучить аппаратуру, приборы и оборудование, которые используются во время организации средств защиты подземных кабелей от коррозии.
- 3.5. Подготовить бланк отчета к лабораторной работе (схемы, таблицы, рисунки, эскиз поперечного сечения кабеля ТГ-50 × 2 × 0,5).
- 3.6. Подготовить устные ответы на следующие вопросы:
  - виды коррозии и характер ее действия;
  - электрические средства защиты кабелей от коррозии;
  - неэлектрические средства защиты кабелей от коррозии;
  - виды измерений на подземных сооружениях во время защиты кабелей от коррозии;
  - аппаратура, приборы и оборудование, которые применяются во время измерения для определения мер защиты линейно-кабельных сооружений от коррозии.

#### **4 ДОМАШНЕЕ ЗАДАНИЕ**

- 4.1. Начертить эскиз поперечного сечения кабеля.
- 4.2. Определить сопротивление оболочки кабеля по ее геометрическим размерам.
- 4.3. Привести нормы защитного потенциала для свинца, алюминия, стали.

#### **5 ЛАБОРАТОРНОЕ ЗАДАНИЕ**

- 5.1. Определить сопротивление оболочки кабеля по ее геометрическим размерам.
- 5.2. Определить направление блуждающего тока в оболочке кабеля.
- 5.3. Определить величину блуждающего тока в оболочке кабеля:
  - а) методом компенсации;
  - б) методом падения напряжения.
- 5.4. Измерить потенциалы оболочки кабеля относительно земли (на макете кабельной канализации ГТС), построить потенциальную диаграмму и определить анодные и катодные зоны.
- 5.5. Установить защиту с помощью катодной станции (на макете кабельной канализации ГТС) и повторить измерение потенциалов оболочки кабеля относительно земли с установленной защитой с помощью катодной станции.
- 5.6. Построить потенциальную диаграмму после установки защиты. Обе диаграммы строить на одном графике.
- 5.7. В знакопеременных зонах установить защиту с помощью дренажа.
- 5.8. Ознакомиться с работой катодной станции и дренажного оборудования.

## **6 АППАРАТУРА**

- 6.1. Амперметр на 3 А.
- 6.2. Измерительная штанга со свинцовым наконечником.
- 6.3. Макет лабораторной работы.
- 6.4. Макет катодной станции типа КС-400.
- 6.5. Макет поляризованного дренажа типа ПГД-200.

## **7 СОДЕРЖАНИЕ ПРОТОКОЛА**

- 7.1. Все перечисленное в пункте 3.5.
- 7.2. Все перечисленное в разделе 4.
- 7.3. Результаты вычислений и измерений.
- 7.4. Потенциальные диаграммы до и после защиты.
- 7.5. Схемы: катодной станции, дренажного оборудования, защиты с помощью электродов.
- 7.6. Выводы.

## **8 ЛИТЕРАТУРА**

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

## **9 ДОПОЛНЕНИЕ**

### **9.1 Коррозия кабелей и средства защиты**

#### **9.1.1 Коррозия в результате блуждающего тока**

Разные виды коррозии влияют на подземные линейно-кабельные сооружения, в том числе на кабели. Это приводит к необратимым последствиям.

По статистическим данным повреждения подземных линейно-кабельных сооружений в результате коррозии занимают первое место и составляют 21,06 % от всех видов повреждения.

Одним из видов коррозии является коррозия, которая возникает вследствие блуждающего тока.

Все виды электрооборудования, питающегося от источников постоянного тока, в которых «земля» используется в качестве второго обратного провода, могут быть источниками коррозии в результате блуждающего тока. Блуждающий ток встречает на своем пути металлические влагозащитные оболочки кабеля, в определенном месте входит в оболочку и продолжает свой

путь по металлической оболочке кабеля. В другом месте металлической оболочки блуждающий ток выходит из нее, возвращаясь к обратному полюсу источника питания. При этом на оболочке кабеля возникают:

- катодная зона, в которой потенциал ниже нуля;
- анодная зона, в которой потенциал выше нуля. В этой зоне металлическая влагозащитная оболочка кабеля повреждается в результате влияния блуждающего тока.

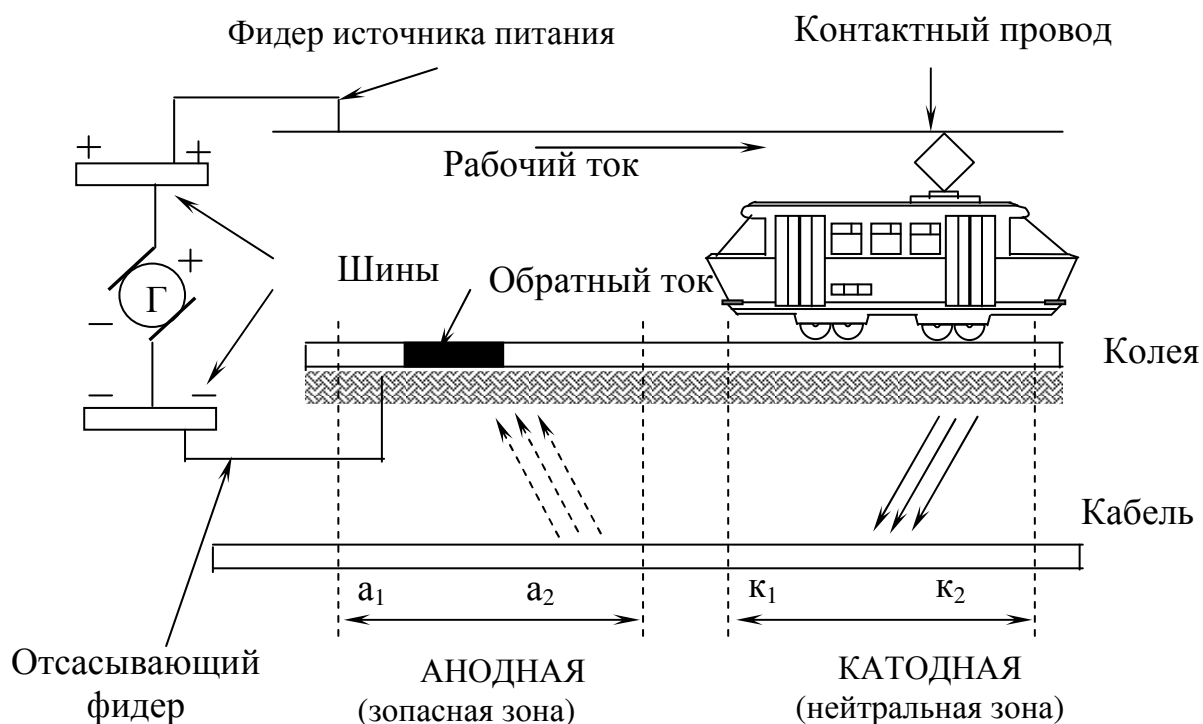


Рисунок 9.1 – Схема образования блуждающего тока

## 9.2 Электрические средства защиты

Сегодня основные средства защиты от коррозии – электрические методы. Эти методы предоставляют возможность образовывать на металлической влагозащитной оболочке кабеля вместо анодной зоны защитную (катодную).

### 9.2.1 Защита с помощью дренажа

Защита с помощью дренажа предусматривает отведение блуждающего тока от подземного линейно-кабельного сооружения, которое он разрушает, в цепи, которая создает этот блуждающий ток. Электрический дренаж подключается к влагозащитной оболочке в середине анодной зоны, то есть там, где наблюдается наивысший позитивный потенциал по отношению к земле. Блуждающий ток с помощью дренажного кабеля отводится от влагозащитной

оболочки кабеля, который необходимо защитить, к рельсам трамвайного пути или к минусовому полюсу источника питания.

При необходимости устанавливают несколько дренажей с целью образования минусового потенциала на влагозащитной оболочке кабеля вдоль всей трассы сближения с трамвайными путями или электрифицированной железной дорогой. Такие дренажи называют прямыми электрическими дренажами. Прямой дренаж имеет двустороннюю проводимость тока, поэтому его можно использовать лишь в устойчивых анодных зонах. Именно поэтому прямой дренаж подключают вместе с отсасывающими фидерами.

Но могут возникать зоны, где потенциалы на влагозащитной оболочке кабеля периодически изменяют свой знак относительно земли. Такие зоны называют знакопеременными, и в таких зонах необходимо подключать особенные дренажи, а именно – поляризованные. Поляризованный дренаж отводит блуждающий ток лишь в одном направлении, а именно: от кабеля к трамвайному пути. Этот дренаж можно подключать в знакопеременных зонах.

Принципиальная схема одного из типов поляризованного дренажа ПЭД-58 изображена на рис. 9.2.

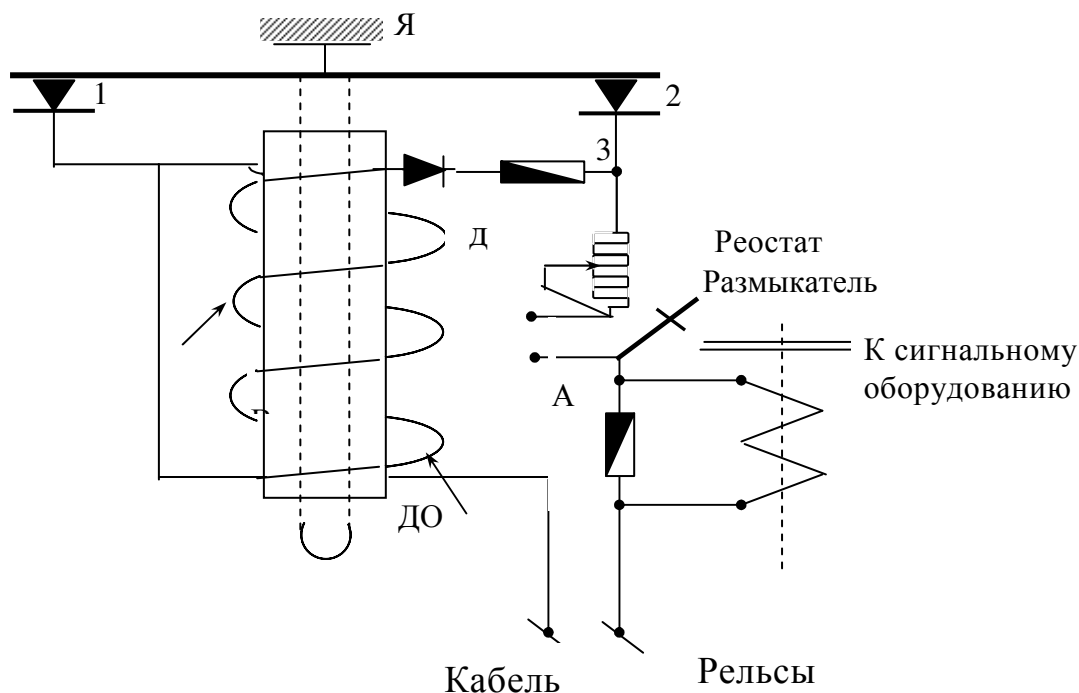


Рисунок 9.2 – Схема поляризованного дренажа ПЭД-58

Поляризованные дренажи работают следующим образом: когда разница потенциалов между защищаемым кабелем и рельсами трамвайного пути достигнет значения 0,5 В, ток, который течет в цепи дренажа от оболочки кабеля сквозь дренажную обмотку К, обмотку ДО, обмотку ВО, выпрямительное устройство из германия Д, предохранитель, реостат, размыкание, второй предохранитель к рельсам трамвайного пути, вынудит сработать дренажное реле, которое замкнет контакты 1 и 2. После этого ток потечет через обмотку К, якорь Я, размыкатель, предохранитель к рельсам трамвайного пути. Дренажное реле блокируется и будет удерживать якорь до

той поры, пока ток будет течь в этом направлении. Когда на рельсах появится потенциал больший, чем на влагозащитной оболочке кабеля, – ток в цепи дренажа изменит направление, при этом дренажное реле отпустит якорь, контакты 1 и 2 разомкнутся, выпрямительное устройство из германия не пропустит ток обратного направления, то есть ток с рельсов трамвайного пути к влагозащитной оболочке кабеля течь не будет.

Вся схема ПЭД-58 смонтирована в металлическом ящике, который может быть установлен в колодце, на стене дома или железобетонном столбике рядом с местом его подключения к влагозащитной оболочке кабеля.

Подключение к кабелю и рельсам должно осуществляться хорошо изолированным от земли кабелем, жилы которого необходимо соединить параллельно в местах подключения к прибору и присоединению к влагозащитной оболочке кабеля (кабели марок ТГ, ТВ, ТЗБ) и рельсами трамвайного пути.

Принципиальная схема действия поляризуемого дренажа типа ПГД-200, который входит в лабораторное оборудование, изображена на рис. 9.3.

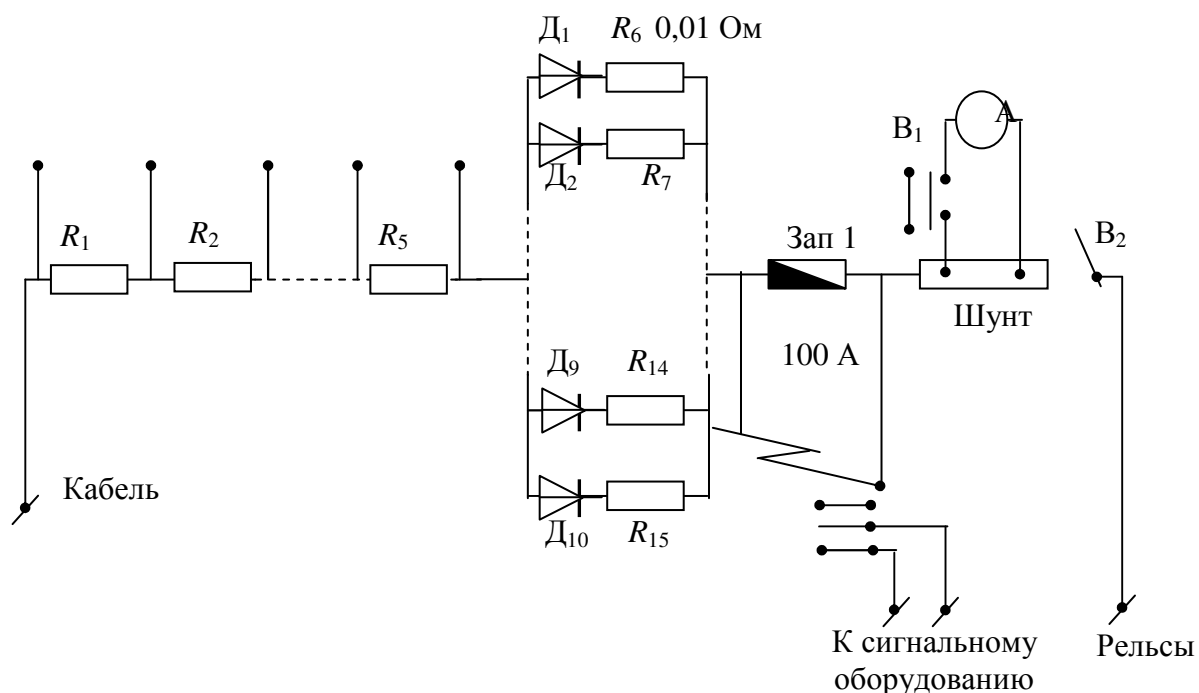


Рисунок 9.3 – Принципиальная схема действия поляризованного дренажа типа ПГД-200

В цепь дренажа входят: вентиль, диоды или поляризованное реле, которое имеет одностороннюю проводимость. Вследствие этого ток течет лишь от оболочки кабеля к источнику питания подстанции электрифицированной железной дороги или трамвайного пути. Дренажное оборудование имеет специальное реле, которое включено в параллель с предохранителем. Во время перегорания предохранителя реле срабатывает, запирает контактную группу и на станцию или контрольный пункт поступает сигнал о повреждении дренажного оборудования.

Для кабелей связи используют поляризуемые дренажи типа ПГД-200, ПГД-100, ПГД-60, которые имеют максимальный ток дренирования соответственно 200, 100 и 60 А. Максимально допустимое обратное напряжение составляет 50, 100 и 150 В соответственно. Значения максимального тока дренирования и максимально допустимого обратного напряжения зависят от типа диодов, которые используются в схемах дренажного оборудования.

### 9.2.2 Защита с помощью катодного оборудования

Принцип защиты подземных линейно-кабельных сооружений с помощью катодного оборудования заключается в компенсации положительного потенциала на влагозащитной оболочке кабеля (анодная зона) отрицательным потенциалом от источника постоянного тока, при этом на оболочке создается необходимый отрицательный потенциал. Положительный вывод источника постоянного тока необходимо заземлить.

Катодное оборудование содержит такие составные части: катодные станции, источник электроснабжения, контрольные и регулировочные приборы, заземление и соединительные (дренажные) кабели.

Принципиальная схема катодной станции КС-400 приведена на рис. 9.4.

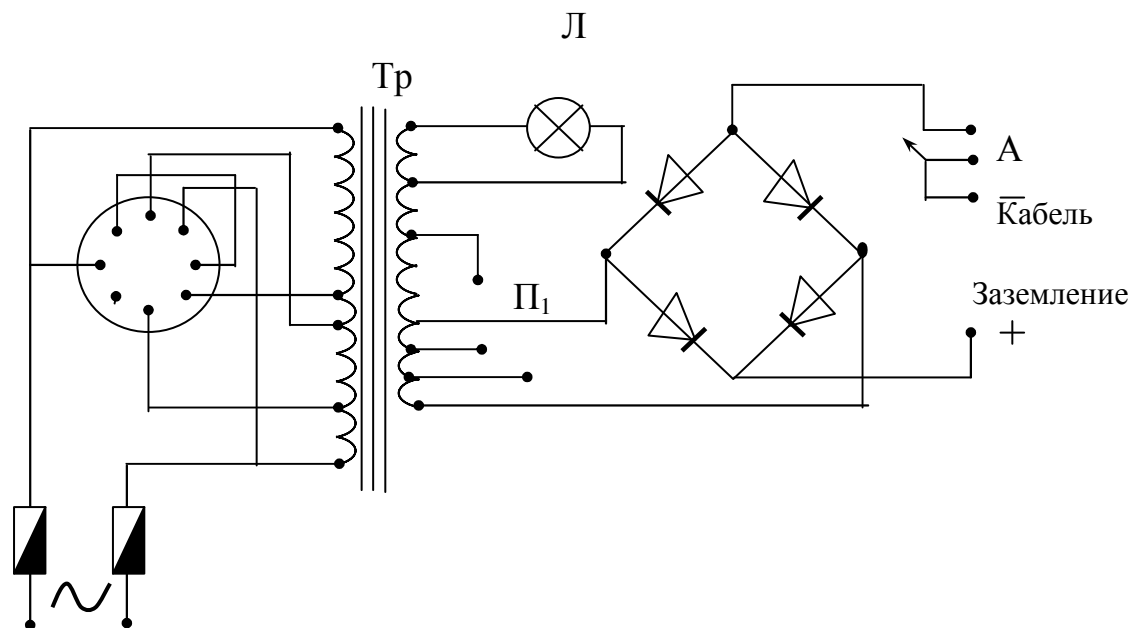


Рисунок 9.4 – Принципиальная схема катодной станции

Выпрямительный мост, собранный с помощью диодов из германия или кремния, используется в качестве источника постоянного тока. Выпрямительный мост преобразовывает переменный ток в постоянный. В городах источником питания является электросеть города, которая имеет напряжение 220 В. В полевых условиях можно использовать генераторы постоянного тока с воздушными двигателями.

Есть разные типы катодных станций: КС-400, КСГ-500, КСГ-1200, которые имеют максимальную мощность выпрямленного тока 400, 500 и 1200 Вт соответственно. Для достижения необходимой защиты обычно используют

две-три катодных станции на длине усилительного или регенерационного участка.

Кроме вышеупомянутых типов КС, существуют катодные станции с автоматическим контролем верхней границы отрицательного потенциала на подземном линейно-кабельном сооружении, которое необходимо защитить. В схемах таких катодных станций поляризованное реле размыкает цепь питания катодной станции, когда разница потенциалов между влагозащитной оболочкой кабеля и землей достигает значения  $U_{з\text{ макс}}$ . Для поддержания необходимого защитного потенциала на оболочке кабеля в соответствующих границах ( $U_{з\text{ мин}} - U_{з\text{ макс}}$ ) используется более совершенная автоматическая катодная станция на базе магнитного усилителя.

### 9.2.3 Электродная защита (протекторы)

По своей сути электродная защита является такой же, как и защита с помощью катодного оборудования, но в данном случае для создания отрицательного потенциала на влагозащитной оболочке кабеля используется не сторонний источник постоянного тока, а ток, который возникает за счет разницы электрохимических потенциалов во время соединения разных металлов. Этот ток направлен от более высокого потенциала к более низкому. Вследствие этого разрушается металл, который имеет меньший потенциал. Обычно для протекторных электродов используют магниевые сплавы МЛ, которые состоят из магния, алюминия и цинка. Электрод представляет собой цилиндр длиной 600 ... 900 мм, диаметром 150 ... 240 мм с контактными стальными стержнями. Используются три типа протекторов: ПМ-5У, ПМ-10У, ПМ-20У. Для уменьшения коррозии самого электрода его размещают в разных заполнителях (деполяризаторах), таких, например, как известка, гипс и другие. Схема защиты оболочки кабеля с помощью протекторных электродов изображена на рис. 9.5.

Принцип защиты с помощью протекторов заключается в том, что анодная зона на влагозащитной оболочке кабеля создается в результате соединения изолированным проводом влагозащитной оболочки и заземленного протекторного электрода, который имеет меньший электрохимический потенциал, чем потенциал заземленной влагозащитной оболочки кабеля. Такой электрод становится анодом, – и ток теперь будет выходить из электрода в землю. Таким способом, будет разрушаться электрод, а оболочка кабеля становится катодом и, следовательно, защищена от влияния коррозии.

Протекторные электроды преимущественно используют для защиты от почвенной коррозии. Их устанавливают по два-три на усилительный или регенерационный участок, а также на самих необслуживаемых усилительных и регенерационных пунктах. Расстояние между электродами и кабелем должно быть не меньше 2 ... 6 м, а глубина закапывания 0,6 ... 1,8 м. Протектор должен подключаться через контрольно-измерительный пункт (КИП).

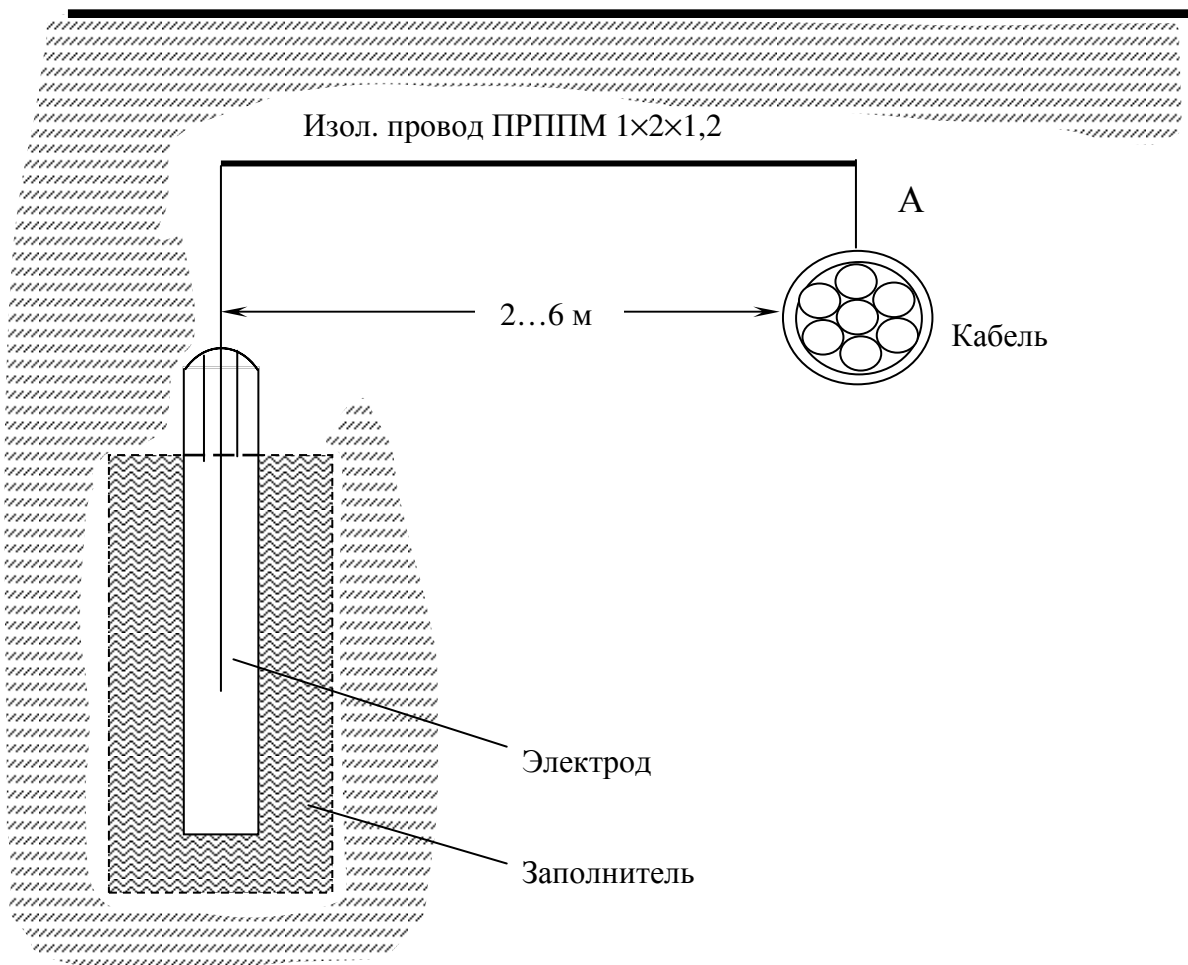


Рисунок 9.5 – Схема защиты оболочки кабеля с помощью протекторных электродов

### 9.3 Неэлектрические средства защиты

9.1. Использование неметаллических влагозащитных оболочек кабеля.

9.2. Гидроизоляционное покрытие металлических влагозащитных оболочек и брони пластикатами, такими как полиэтилен, поливинилхлорид. Комплексное использование гидроизоляционного покрытия вместе с защитой с помощью протекторных электродов и катодного оборудования.

9.3. Битумное покрытие кабеля.

9.4. Использование изолирующих муфт вместе с протекторными электродами.

9.5. Максимальная изоляция рельсов трамвайного пути и электрифицированной железной дороги от земли.

9.6. Использование рессорного подвешивания кабеля во время транспортировки.

9.7. Прокладка кабеля в слабо агрессивных грунтах.

## Лабораторна работа № 4

# ИССЛЕДОВАНИЕ УДЕЛЬНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ НЕОДНОРОДНОЙ ЗЕМЛИ И СОПРОТИВЛЕНИЯ ЗАЗЕМЛЕНИЙ

## I ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Изучение методов измерения и расчета удельного сопротивления многослойного грунта. Определение сопротивления заземлений с учетом реальной геологической структуры грунта.

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

## 2 КЛЮЧЕВЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

При исследованиях электромагнитных влияний на линии связи, а также при проектировании заземляющих устройств связи важно знать величину удельного сопротивления земли  $\rho_z$  (грунта). Величину  $\rho_z$ , необходимо знать и при некоторых испытаниях, которые проводятся периодически на линиях связи. Например, нормы предельно допустимых величин сопротивлений заземлений на линиях связи даются в зависимости от величины  $\rho_z$ .

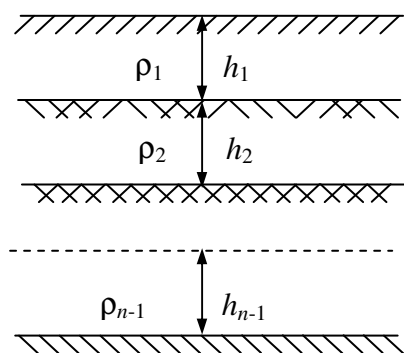


Рисунок 2.1 –  
Электрическая структура  
многослойной земли

Электрическая структура земли неоднородная по  $\rho$ . Величина  $\rho_z$  изменяется по глубине. Принято считать, что земля представляет собой полупространство с горизонтальными слоями, причем  $\rho$  в пределах каждого слоя неизменяемое. В реальных условиях бывают дво-, три- и многослойные структуры грунта, но чаще всего – трехслойные. Однородная структура земли встречается крайне редко. Электрическая структура земли характеризуется числом слоёв, однородных по  $\rho$ , мощностью  $h_i$  и величиной  $\rho_i$  каждого слоя (рис. 2.1).

Слои земли являются средами очень сложными по своему составу. Основными составными частями слоёв земли являются твердые частицы неорганического и органического происхождения, и вода.

Наиболее часто встречаются грунты: песчаный, глинистый и перегнойный, которые сильно отличаются между собой по структуре и составу. Благодаря тому, что глинистый и перегнойный грунты богаты электролитами и

обладают большей влагоемкостью, чем песок, их удельное сопротивление при одинаковых атмосферных условиях всегда значительно ниже, а также более стабильно. Поэтому заземлители преимущественно размещают в этих грунтах.

На электрические параметры заземлителей влияет не только слой грунта, где они размещены, но и которые залегают ниже.

В общем случае грунт, в котором размещены заземлители, является неоднородным по глубине вследствие своей геологической структуры, залегания вод и т.п. Кроме того, на протяжении года в связи с изменением атмосферных условий изменяется температура земли, содержание и физическое состояние влаги в земле, насыщенность ее разных слоёв. Поэтому удельное сопротивление земли на глубине нескольких метров от поверхности земли в так называемом слое сезонных изменений сильно колеблется, увеличиваясь через промерзание почвы зимой.

Проектирование заземляющих устройств должно вестись с учетом неоднородности грунта. Для этого на основании результатов непосредственных измерений по методу вертикального электрического зондирования (ВЭЗ) [8.1] определяется удельное сопротивление разных слоёв земли по глубине.

## 2.1 Определение удельного сопротивления земли по методу ВЭЗ

Существует ряд методов измерения удельного сопротивления земли  $\rho_z$ , но в основном пользуются двумя: индукционным, с применением переменного тока, и методом четырех электродов, с применением постоянного тока. При индукционном методе измерения ведутся или на двух однопроводных линиях (влияющей и подверженной влиянию), или на одной однопроводной (влияющей) линии и рамке, подверженной влиянию этой линии [8.2]. Однако эти индукционные способы измерения  $\rho_z$  громоздкие и неудобные, так как они требуют наличия влияющей линии длиной 2–3 км, генератора и специальных измерительных приборов. Этих недостатков нет у метода четырех электродов (метод ВЭЗ). Он разрешает определить электрические свойства грунта вплоть до больших глубин, обеспечивая при этом в целом неплохие результаты.

Физическая сущность метода ВЭЗ основана на существующей зависимости между распределением удельного сопротивления по глубине земли и распределением по поверхности земли потенциалов, создаваемых электрическим током в земле от точечного источника (в данном случае - электродов).

За счет протекания электрического тока между питающими (токовыми) электродами  $A$  и  $B$  (рис. 2.2, а) вызываются потенциалы в разных точках поверхности земли. В двух других точках поверхности земли, где размещены приемные (потенциальные) электроды  $M$  и  $N$ , создается разность потенциалов  $U$ , что позволяет определить  $\rho_z$ .

Измеряемое удельное сопротивление  $\rho_z$  вычисляется следующим соотношением:

$$\rho_3 = k_y \frac{U}{I} = k_y R_{\text{визм}}, \quad (1)$$

где  $\rho_3$  – измеряемое удельное сопротивление земли, Ом·м;

$R_{\text{визм}}$  – показание прибора, Ом;

$U$  – разность потенциалов, измеренная между средними электродами  $M$  и  $N$ ;

$I$  – измеренная величина тока;

$k_y$  – коэффициент установки, который зависит от расстояния между электродами.

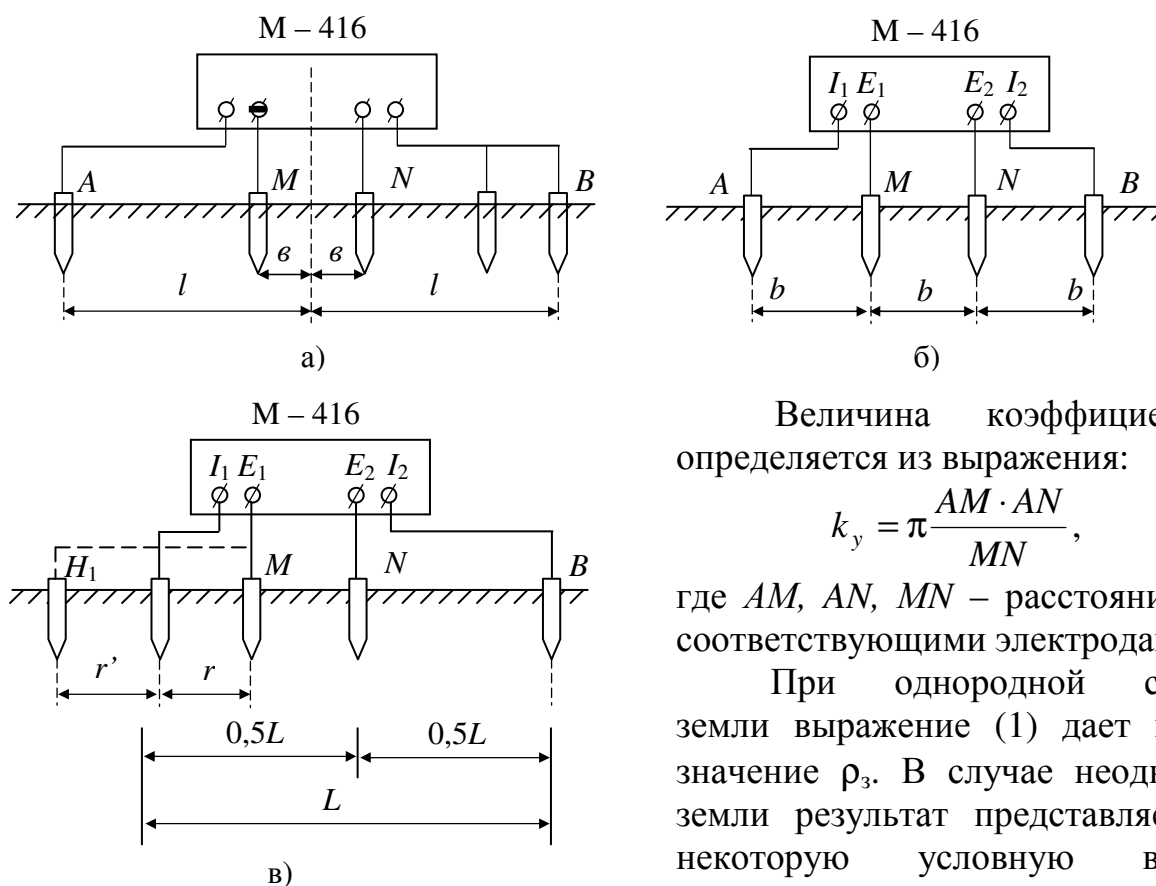


Рисунок 2.2 – Схема для ВЭЗ с измерителем заземления М – 416:

а – Шлюмберже, б – Веннера,  
в – ВНДЭСХ

Величина коэффициента  $k$  определяется из выражения:

$$k_y = \pi \frac{AM \cdot AN}{MN}, \quad (2)$$

где  $AM$ ,  $AN$ ,  $MN$  – расстояние между соответствующими электродами.

При однородной структуре земли выражение (1) дает истинное значение  $\rho_3$ . В случае неоднородной земли результат представляет собой некоторую условную величину, называемую условным электрическим удельным сопротивлением земли ( $\rho_k$ ). Величина  $\rho_k$  земли имеет сложную зависимость от разноса электродов, удельных проводимостей и мощностей слоёв в пределах измеренного участка.

Под вертикальным электрическим зондированием понимается проведение в одном и том самом месте ряда измерений  $\rho_k$  по четырёхпроводной схеме при разных расстояниях между питающими электродами. Применяют разные четырёхпроводные схемы, которые отличаются расстояниями между электродами. Наиболее распространенными являются схемы Шлюмберже, Веннера и ВНДЭСХ [8.1].

В схеме Шлюмберже расстояние между приёмными электродами принимается определенной ( $b = MN \leq AB/3$ ) и измерение проводят, разнося толь-

ко питающие электроды. После каждого следующего измерения по схеме Шлюмберже показания прибора уменьшаются значительно быстрее, чем при работе по схеме Веннера, что увеличивает погрешность измерения. Поэтому в большинстве случаев на схему Веннера переходят при достижении расстояния между токовыми электродами  $A$  и  $B$ , которая равняется 20–50 г. Таким образом, метод Шлюмберже дает высокую точность при малых расстояниях между электродами. Условное удельное сопротивление земли при измерениях по схеме Шлюмберже (смотреть рис. 2.2, а) определяется по формуле (1), в которой

$$k_y = \frac{\pi (\ell^2 - b^2)}{4b}, \quad (3)$$

где  $\ell = \frac{AB}{2}$ ,  $b = \frac{MN}{2}$  – расстояние от центра симметрии к токовым и потенциальным электродам, г.

При измерении в схеме Веннера (рис. 2.2, б) каждое измерение выполняется при другом разnose электродов, однако расстояние между электродами всегда остается одинаковой ( $AM = MN = MB = b$ ). Для симметричной установки электродов по схеме Веннера  $k$  принимается равным:

$$k_y = 2\pi b. \quad (4)$$

Схема Веннера неудобная тем, что после каждого измерения приходится перемещать все четыре электрода относительно центра измерений.

При измерении грунта с помощью практической двухэлектродной схемы ВЭЗ, разработанной ВНИЕСХ (рис. 2.2, в), перемещают только один электрод в левую или правую сторону от электрода  $A$ . При этом расстояние  $H_1A$  может изменяться в пределах от 0,5 до  $2L$ , м, а расстояние  $MA$  – от 0,5 до  $0,4L$ , г. Схема ВНИЕСХ есть более экономическая.

При измерении  $\rho_k$  о схеме ВНИЕСХ  $k$  принимается равным при перемещении электрода  $H_1$  в левую сторону от электрода  $A$

$$k_{\bar{e}} = 2\pi r \left( 1 - \frac{r}{L} \right), \quad (5)$$

при перемещении электрода  $H_1$  в правую сторону от электрода  $A$

$$k_i = 2\pi r \left( 1 - \frac{r}{L - 2r} \right), \quad (6)$$

где  $r'$ ,  $r$ ,  $L$  – расстояния, м, которые показаны на схеме рис. 2.2, в.

Определения  $\rho_z$  ведется в два этапа:

1) делают электрические измерения на поверхности земли и по данным этих измерений строят кривую ВЭЗ;

2) путем интерпретации (расшифровки) кривой ВЭЗ определяют электрическую структуру земли: число слоёв земли, однородных по  $\rho$  мощность (толщину) и величину  $\rho_i$  каждого слоя.

С целью получения достаточного количества данных необходимо делать измерения при следующих расстояниях между электродами:

$A$  и  $B$ : 1,5; 2,1; 3; 4,5; 6; 9; 12; 15; 21; 50; 45; 60; 90; 120; 150; 210; 300; ... м в случае использования схем Веннера и Шлюмберже;

$M$  и  $A$ : 0,5; 0,7; 0,9; 1,2; 1,6 м и т.п. при применении схемы ВНИЕСХ.

При проведении ВЭЗ с помощью измерителя заземлений М-416 должны быть выполнены все требования относительно сопротивлений внешних цепей и регулировок.

## 2.2 Определение электрических параметров многослойной земли

Обработка результатов ВЭЗ должна начинаться сразу же после окончания измерений, так как может возникнуть необходимость в повторных или дополнительных измерениях.

В результате проведенных вычислений  $\rho_k$  вытекают следующие зависимости:

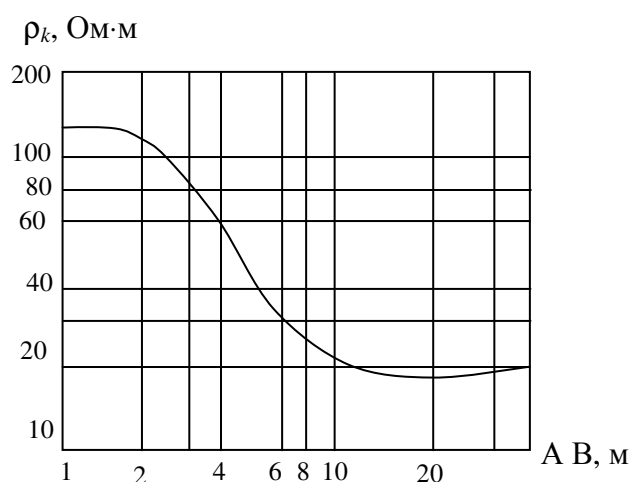


Рисунок 2.3 – Кривая ВЭЗ

– при измерениях по схеме Шлюмберже

$$\rho_k = f(AB/2) = f(l),$$

– при измерениях по схеме Веннера

$$\rho_k = f_1(AB/3) = f_1(1,5 b),$$

– при измерениях по схеме ВНИЕСХ

$$\rho_k = f_2(r).$$

Эти зависимости для следующей обработки изображают графически в прямоугольных координатах с логарифмическим масштабом по каждой из

осей. Графики экспериментальной зависимости  $\rho_k = f(l)$ ;  $\rho_k = f_1(1,5 b)$  и  $\rho_k = f_2(r)$  называются кривыми ВЭЗ. Для их построения принимается билогарифмическая бумага со стандартным масштабом (длина логарифмической единицы равняется 6,25 см). Образец построения кривой ВЭЗ показан на рис. 2.3.

Для определения электрической структуры земли делают интерпретацию полученной экспериментальной кривой ВЭЗ. Для этого кривую ВЭЗ сравнивают с набором теоретических кривых, рассчитанных для заранее известных электрических структур земли. Такие наборы кривых называются палетками. Существуют двухслойные, трехслойные и другие палетки. Например, в трехслойных палетках в индексе каждой палетки, кроме буквы, которая обозначает серию палетки, указанные значения  $\rho_2/\rho_1$  и  $\rho_3$ . Цифры возле каждой кривой указывают значение, которые отвечают  $h_2/h_1$ ; например,

в палетке  $A-3/2-\infty$  кривая  $2:A$  – означает серию палетки,  $3/2$  – отношение  $\rho_2/\rho_1$ ,  $\infty$  – значение  $\rho_\infty$  и  $2$  – отношение  $h_2/h_1$ . Если кривая ВЭЗ совпадает из одной из расчетных кривых (например, двухслойной палетки) может ли быть закономерно размещена между двумя соседними кривыми, значит нужно считать, что исследуемый участок земли имеет двухслойную электрическую структуру.

Интерпретацию кривой ВЭЗ выполняют в следующем порядке. Кальку с нанесенной на ней кривой ВЭЗ, координатными осями и масштабами закладывают на палетку. Сохраняя параллельность осей кривой ВЭЗ и палетки, перемещают кальку до тех пор, пока кривая ВЭЗ совпадет с одной из расчетных кривых или разместится между двумя соседними кривыми (рис. 4). Тогда горизонтальная ось 3 палетки отсечет на вертикальной оси кривой ВЭЗ значение удельного сопротивления  $\rho_1$  верхнего слоя, а вертикальная ось 4 палетки отсечет на горизонтальной оси кривой ВЭЗ значение мощности  $h_1$  верхнего слоя.

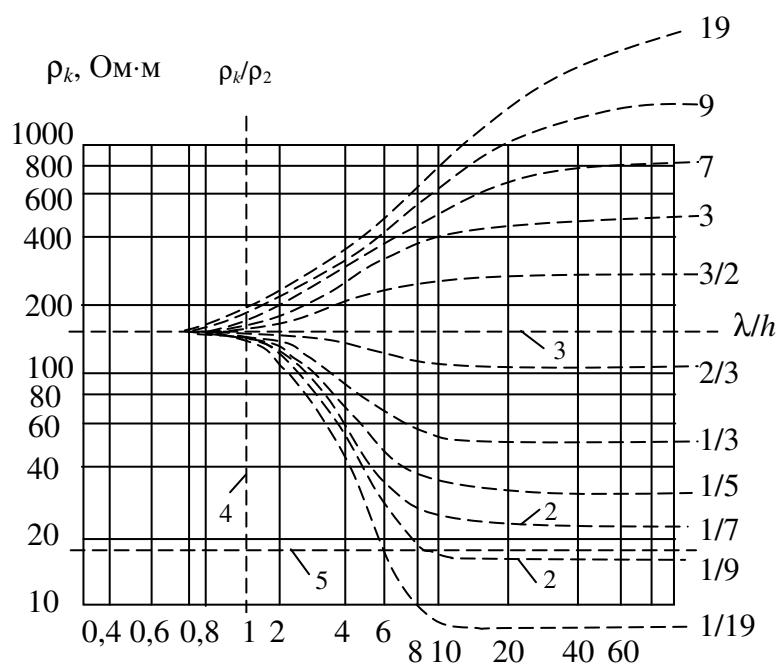


Рисунок 2.4 – Определение параметров грунта по кривым ВЭЗ с помощью палеток для двухслойной электрической структуры: 1 – кривая ВЭЗ, 2 – палетки, 3 – ось абсцис, 4 – ось ординат палеток, 5 – асимптота

Если измеренная кривая не совпадает ни с одной с палеточных кривых, а окажется между двумя соседними кривыми, то величины  $\rho_1, h_1$  определяются также, как это было показано выше, а величины  $\rho_2, \rho_3$  и  $h_2$  находятся интерполяцией между значениями  $\rho$  и  $h$  двух соседних палеточных кривых.

Вертикальное электрическое зондирование проводят до тех пор, пока не будет достигнута нужна глубина зондирования  $H$ , получена четко выраженная

Помножив  $\rho_1$  на отношение  $\rho_2/\rho_1$  (указанное в индексе избранной палетки), получим значение удельного сопротивления второго слоя. Значение  $\rho_\infty$  также указано в индексе избранной палетки.

Глубина второго слоя  $h_2$  находится умножением  $h_1$  на индекс кривой (указанный в кильке), а  $h_3$  принимается равной  $\infty$  для трехслойного грунта. В случае двухслойного грунта  $h_2 = \infty$ .

Если измеренная кривая не совпадает ни с одной с палеточных кривых, а окажется между

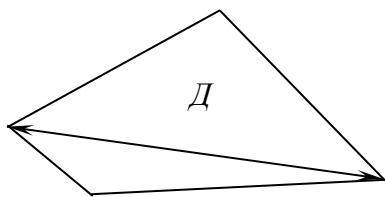


Рисунок 2.5 – Схема размещения электродов сложного многоэлектродного заземлителя

кривая ВЭЗ или исчерпана чувствительность прибора. Приблизительно считают, что

$$H = \frac{1}{3} AB. \quad (7)$$

Для сложного заземлителя необходимая глубина зондирования приблизительно равняется  $1,5 D$  (рис. 2.5), где  $D$  – большая диагональ контура заземлителя.

### 2.3. Расчет сопротивления заземлителей в многослойных грунтах

В реальных условиях земля имеет многослойное строение, однако, для практических расчетов достаточно представить землю в виде двухслойной структуры. Для этого второй и что залегают ниже пласты земли сводятся к эквивалентному пласту с помощью формулы (9) и метода последовательного сведения от двух нижних реальных слоёв к однородному эквивалентному, а потом от этого эквивалентного и следующего реального к новому эквивалентному и т.д. Если грунт в месте установки заземления имеет явным образом выраженную двухслойную структуру или сведенный к двухслойной структуре с эквивалентным вторым пластом, то при расчете сопротивлений заземлений необходимо применять действующее удельное сопротивление грунта и пользоваться формулами, приведенными в табл. 2.1 для однородного грунта. Графики значений действующего удельного сопротивления грунта для трубчатых заземлителей приведены на рис. 2.6, а для горизонтальных заземлителей на рис. 2.7 и 2.8 при разных значениях  $\rho_1/\rho_2$  и  $k = (\rho_2 - \rho_1)/(\rho_1 + \rho_2)$ .

Опыт работы с заземлителями, которые расположены в слоистых грунтах, показывает, что заземлитель используется тем лучше, чем выше проводимость грунта, в котором он размещен. Эффективность заземлителя при правильном выборе его размещения может быть повышена в 3 – 5 и больше раз. При проводимости нижнего слоя в 3 – 10 раз больше, чем верхнего, следует применять очень длинные трубы, причем одна такая труба может оказаться эффективнее большего числа труб меньшей длины. В этих случаях целесообразно использовать заглубленные (от 5 до 10 м) и глубинные (свыше 10 м) заземлители, что приводит к важной экономии средств, труда и материалов.

Таблица 2.1 – Расчетные формулы для определения сопротивления заземлителей

| Тип электрода                                                | Глубина залегания | Сечение электрода                                                                                                                                                                               |                                                                                                   |
|--------------------------------------------------------------|-------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                              |                   | круглый (диаметр $d$ )                                                                                                                                                                          | прямоугольный (ширина $b$ )                                                                       |
| Вертикальный длиной $l$ в однородном грунте                  | $h = 0$           | $R = \frac{\rho_{\text{з}}}{2\pi l} \ln \frac{4l}{d}, \hat{\text{н}}$                                                                                                                           | -                                                                                                 |
|                                                              | $h \neq 0$        | $R = \frac{\rho_{\text{з}}}{2\pi l} \left( \ln \frac{2l}{d} + \frac{1}{2} \ln \frac{4l+7h}{l+7h} \right), \hat{\text{н}}$                                                                       | -                                                                                                 |
| Горизонтальный лучевой длиной $l$ в однородном грунте        | $h = 0$           | $R = \frac{\rho_{\text{з}}}{\pi l} \ln \frac{2l}{d}, \hat{\text{н}}$                                                                                                                            | $R = \frac{\rho_{\text{з}}}{\pi l} \ln \frac{4l}{b}, \hat{\text{н}}$                              |
|                                                              | $h \neq 0$        | $R = \frac{\rho_{\text{з}}}{\pi l} \ln \frac{l}{\sqrt{dh}}, \hat{\text{н}}$                                                                                                                     | $R = \frac{\rho_{\text{з}}}{\pi l} \ln \frac{1,5l}{\sqrt{bh}}, \hat{\text{н}}$                    |
| Горизонтальный кольцевой диаметром $D_1$ в однородном грунте | $h \neq 0$        | $R = \frac{\rho_{\text{з}}}{\pi^2 \ddot{A}_1} \ln \frac{5 \ddot{A}_1}{\sqrt{dh}}, \hat{\text{н}}$                                                                                               | $R = \frac{\rho_{\text{з}}}{\pi^2 \ddot{A}_1} \ln \frac{7 \ddot{A}_1}{\sqrt{bh}}, \hat{\text{н}}$ |
| Вертикальный длиной $l$ в двухслойном грунте                 | $h = 0$           | $R = \frac{\rho_1}{2\pi l} \cdot \frac{1+k}{1+k\left(\frac{2h_1}{l}-1\right)} \cdot \left[ \ln \frac{4l}{d} + \sum_{n=1}^{\infty} k^n \ln \frac{l+2h_1 n}{l+2h_1(n-1)} \right], \hat{\text{н}}$ | -                                                                                                 |

*Примечание.* В формулах, приведенных в табл. 2.1, принятые обозначения:  $\rho_{\text{з}}$  – удельное сопротивление земли, Ом·м;  $l$  – длина заземлителя, м;  $d$  – внешний диаметр трубы, м;  $b$  – ширина стороны заземлителя из угловой стали, м;  $D_1$  – диаметр кольцевого заземлителя, м;  $h_1$  – глубина первого слоя, м;  $\rho_i$  – удельное сопротивление  $i$ -го слоя, Ом·м;  $k$  – коэффициент неоднородности,  $k = (\rho_2 - \rho_1)/(\rho_2 + \rho_1)$ .

Для полосовых заземлителей решающее значение приобретает глубина прокладки полосы. При соответствующей глубине прокладки одна короткая полоса по своей проводимостью может оказаться эквивалентной полосе в 4 раза большей по длине.

Сопротивление глубинного одностержневого заземлителя, который начинается от поверхности земли при двухслойной ее структуре, определяется

по формуле, приведенной в табл. 2.1, при ориентированных расчетах по выражению

$$R_{\xi} = \frac{1}{2\pi \left[ \frac{h_1}{\rho_1} + (l - h_1) \frac{1}{\rho_2} \right]} \ln \frac{4l}{d}, \quad (8)$$

где  $R_{\xi}$  – сопротивление заземлителя, Ом;

$\rho_1, \rho_2$  – удельное сопротивление верхнего и нижнего слоёв соответственно, Ом·м;

$h_1$  – глубина верхнего слоя, м;

$l$  – длина заземлителя, м;

$d$  – диаметр заземлителя, г.

Формула (8) дает неплохие результаты при условии  $l/n \geq 1,5$

$$1 - \frac{\rho_1}{\rho_2} = \frac{1}{100} \quad \text{при } k = 0,98;$$

$$2 - \frac{\rho_1}{\rho_2} = \frac{1}{10} \quad \text{при } k = 0,818;$$

$$3 - \frac{\rho_1}{\rho_2} = \frac{1}{10} \quad \text{при } k = 0,667;$$

$$4 - \frac{\rho_1}{\rho_2} = \frac{1}{5} \quad \text{при } k = 0,667;$$

$$5 - \frac{\rho_1}{\rho_2} = \frac{1}{3} \quad \text{при } k = 0,500;$$

$$6 - \frac{\rho_1}{\rho_2} = \frac{1}{2} \quad \text{при } k = 0,333;$$

$$7 - \frac{\rho_1}{\rho_2} = 1 \quad \text{при } k = 0;$$

$$8 - \frac{\rho_1}{\rho_2} = 2 \quad \text{при } k = -0,333;$$

$$9 - \frac{\rho_1}{\rho_2} = 3 \quad \text{при } k = -0,500;$$

$$10 - \frac{\rho_1}{\rho_2} = 5 \quad \text{при } k = -0,667;$$

$$11 - \frac{\rho_1}{\rho_2} = 10 \quad \text{при } k = -0,818;$$

$$12 - \frac{\rho_1}{\rho_2} = 100 \quad \text{при } k = -0,98.$$

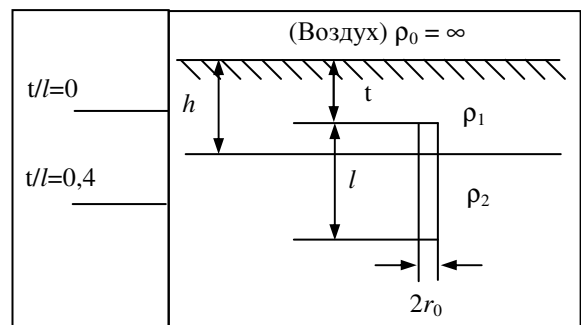
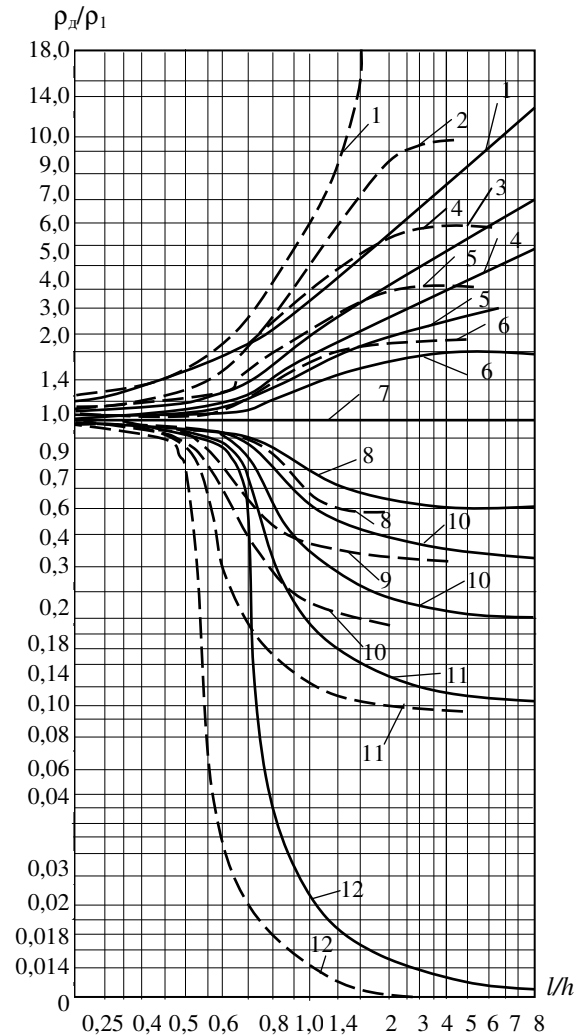
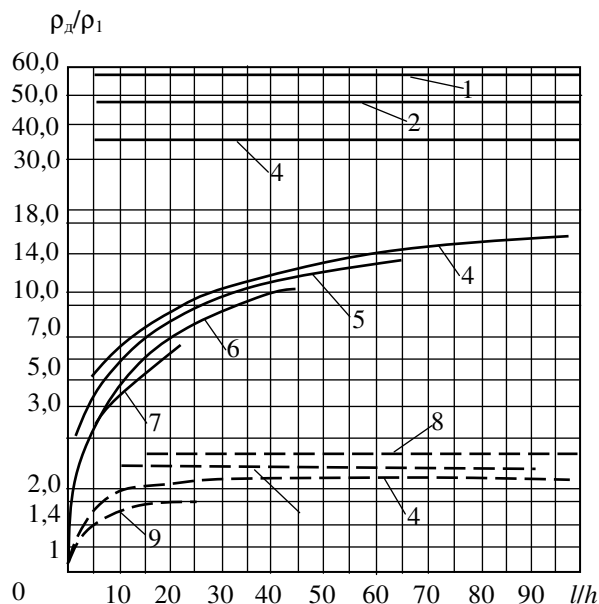


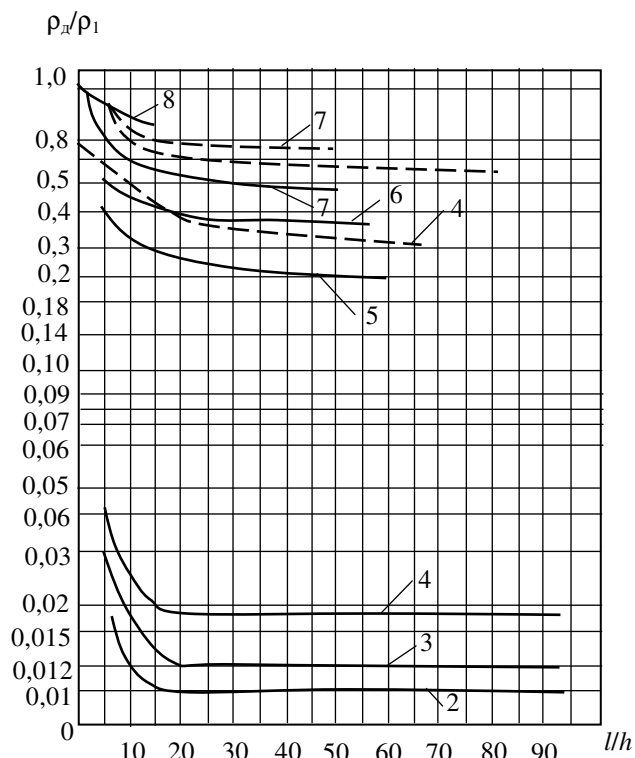
Рисунок 2.6 – График значений действующего удельного сопротивления грунта для трубчатых заземлителей:



| $\rho_1/\rho_2$ | K     | Обозн. |  |
|-----------------|-------|--------|--|
| 1/3             | 0,500 | ---    |  |
| 1/100           | 0,980 | ---    |  |

Рисунок 2.7 – График значений действующего удельного сопротивления грунта для горизонтальных заземлителей при разных отношениях  $t/h$  и  $k > 0$ :

- 1 –  $t/h = 2$ ;    2 –  $t/h = 1,5$ ;  
 3 –  $t/h = 1,1$ ;    4 –  $t/h = 1$ ;  
 5 –  $t/h = 0,8$ ;    6 –  $t/h = 0,4$ ;  
 7 –  $t/h = 0,2$ ;    8 –  $t/h \geq 1,5$ ;  
 9 –  $t/h \leq 0,4$ .



| $\rho_1/\rho_2$ | K    | Обозн. |  |
|-----------------|------|--------|--|
| 3               | -0,5 | ---    |  |
| 10              | 0,98 | ---    |  |

Рисунок 2.8 – График значений действующего удельного сопротивления грунта для горизонтальных заземлителей при разных отношениях  $t/h$  и  $k < 0$ :

2 –  $t/h \geq 1,5$ ;    3 –  $t/h = 1,1$ ;  
 4 –  $t/h = 1,0$ ;    5 –  $t/h = 0,9$ ;  
 6 –  $t/h = 0,8$ ;    7 –  $t/h = 0,4$ ;  
 8 –  $t/h = 0,05$ .

### 3 КЛЮЧЕВЫЕ ВОПРОСЫ

- 3.1. Физическая сущность метода вертикального электрического зондирования грунта.
- 3.2. Схемы измерений применяемы при ВЭЗ.
- 3.3. Порядок интерпретаций кривой ВЭЗ.
- 3.4. Метод определения действующего удельного сопротивления земли.
- 3.5. Порядок расчета заглубленных заземлителей.
- 3.6. Метод расчета глубинного заземлителя в многослойной земле.

### 4 ДОМАШНЕЕ ЗАДАНИЕ

- 4.1. По литературе, рекомендованной к лабораторной работе и данному руководству, ознакомиться:
  - с конструкциями заземляющих устройств на линиях связи;
  - с принципом действия и правилами пользования прибором М-416.
- 4.2. Выучить:
  - порядок измерения  $\rho_k$  и интерпретации кривой ВЭЗ;
  - порядок расчета заземляющих устройств в многослойной земле.
- 4.3. Подготовиться к обсуждению ключевых вопросов раздела 3.

### 5 ЛАБОРАТОРНОЕ ЗАДАНИЕ

5.1. Измерить условное удельное сопротивление земли с помощью прибора М-416. Измерение удельного сопротивления земли выполняется по любой схеме рис. 2.2.

Измерение проводится в следующем порядке:

- 1) переключатель ВІ установить у положение "ХІ";
- 2) нажать кнопку и, вращая ручку "Реохорд", добиться максимального приближения стрелки индикатора к нулю;
- 3) результат измерений равняется произведению показания шкалы реохорда на множитель. Если измеренное сопротивление окажется больше 10 Ом, переключатель установить у положение "Х5" или "Х100" и проделать операции, которые отвечают первому и второму пунктам. Результаты измерений свести в табл. 5.1.

5.2. Определить по измеренному значению  $\rho_k$  электрическую структуру земли, воспользовавшись приложенными к работе палетками.

5.3. На основании исходных данных, заданных преподавателем, рассчитать сопротивление заземления в двухслойной или  $n$ -слоевой земле для:

- а) углубленного заземлителя,
- б) глубинного одноэлектродного заземлителя.

5.4. На основе расчетов выбрать конструкцию заземляющего устройства.

5.5. Исследуя зависимость  $R_3$  горизонтального или вертикального заземлителей от действующего удельного сопротивления земли, построить графики  $R_3 = f(\rho_{\text{з}})$ .

5.6. Исследуя  $R_3$  глубинного заземлителя в зависимости от  $\rho_1, \rho_2, l, h_1 \in d$ , построить графики  $R_3 = f(\rho_1, \rho_2, l, h_1 \in d)$ .

Таблица 5.1 – Результаты ВЭЗ грунта по схеме Веннера, Шлюмберже

|                             |      |      |      |      |       |       |    |       |    |    |     |     |     |     |
|-----------------------------|------|------|------|------|-------|-------|----|-------|----|----|-----|-----|-----|-----|
| $AB, \text{ м}$             | 1,5  | 3,0  | 6,0  | 12   | 15    | 21    | 30 | 45    | 60 | 90 | 120 | 150 | 210 | 300 |
| $MN, \text{ м}$             | 0,50 | 0,50 | 1,50 | 1,50 | 4,00  | 4,00  | 10 | 10    | 20 | 20 | 40  | 40  | 70  | 70  |
| $b, \text{ м}$              |      | 0,25 | 0,75 | 0,75 | 2,00  | 2,00  |    | 5,00  |    | 10 |     | 20  |     | 35  |
| $l, \text{ м}$              |      | 1,50 | 3,00 | 6,00 | 10,50 | 10,50 |    | 22,50 |    | 45 |     | 75  |     | 150 |
| $R_{\text{изм}}, \text{ М}$ |      |      |      |      |       |       |    |       |    |    |     |     |     |     |
| $\rho_k, \text{ М}$         |      |      |      |      |       |       |    |       |    |    |     |     |     |     |

## 6 АППАРАТУРА

В работе используется прибор М-416 и лабораторный макет. Измеритель сопротивления заземлений М-416 предназначенный для измерения удельного сопротивления земли и сопротивления заземляющих устройств. Граница измерений 0,1-1000 Ом.

## 7 СОДЕРЖАНИЕ ПРОТОКОЛА

- 7.1. Принципиальные схемы измерений.
- 7.2. Данные измерений  $\rho_k$  (смотри табл. 5.1).
- 7.3. Данные за электрической структурой земли в районе измерений.
- 7.4. Расчет заземляющего устройства.
- 7.5. Графики построенные по результатам исследований, указанных в п. 5.5 и 5.6 методического руководства.

## 8 ЛИТЕРАТУРА

8.1. **Руководство по проектированию**, строительству и эксплуатации заземленный в установках проводной связи и радиотрансляционных узлов. – М.: Связь, 1971.

8.2. **Михайлов М.И., Разумов Л.Д., Соколов С.А.** Электромагнитные влияния на сооружения связи. – М.: Связь, 1979.

## 9 ПРИЛОЖЕНИЕ

### 9.1 Сезонные коэффициенты земли и заземлителей

Как указывалось в разд. 2, проектирование заземляющих устройств должно проводиться с учетом неоднородности грунта. В случае, если результаты ВЭЗ приводят к наличию, с учетом слоя сезонных изменений, более двух слоёв земли, возникает необходимость использования метода сведения их к двухслойной электрической модели земли согласно п. 2.3 по такой формуле:

$$\rho_e = \frac{1 + 4\tau \cos \alpha + \tau^2 (4 - 2 \cos 2\alpha) + 4\tau^3 \cos \alpha + \tau^4}{\sigma_a (1 - 2\tau^2 \cos 2\alpha + \tau^4)}, \quad (9)$$

где  $\tau = N e^{-\sqrt{2} m_a h_a}$ ;  $N = \frac{1 - \sqrt{\frac{\sigma_i}{\sigma_a}}}{1 + \sqrt{\frac{\sigma_i}{\sigma_a}}}$ ;  $m_a = \sqrt{\omega \mu_a \sigma_a}$ ;  $\sigma_i$ ;  $\sigma_a$  – удельные

проводимости соответственно нижнего и верхнего слоёв земли, См/м;

$\mu_a$  – магнитная проницаемость земли, в первом приближении равняется  $4\pi \cdot 10^{-7}$  Гн/м;

$h_a$  – глубина верхнего слоя земли, м;

$\alpha$  – угол, равный  $\frac{180}{\pi} \sqrt{2} m_a \cdot h_a$ , рад.

При окончательном определении расчетных параметров двухслойной электрической модели земли за  $\rho$  грунта слоя сезонных изменений следует принимать его возможное максимальное значение. Поэтому, если ВЭЗ проводится не в расчетный наиболее трудный период года, измеренное  $\rho$  пласту сезонных изменений (толщиной  $h_c$ ) следует привести к расчетному значению  $\rho_{lm} = K_i \rho_{\text{изм}}$ , где  $K_i$  – сезонный коэффициент земли. Величины  $K_i$  та  $h_c$  зависят от климатической зоны, в которой проектируется заземляющее устройство. На территории стран СНГ различают три климатические зоны, которые отвечают северной, средней и южной полосе Европейской части бывшего СССР (табл. 9.1).

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   |

Расчетное значение удельного сопротивления земли в нижнем (втором эквивалентном) слое принимается равным  $\rho_e$ .

Сопротивление заземлителей  $R_3$  измеряется в периоды наименьшей проводимости грунта: зимой при наибольшем его промерзании или летом при наибольшем просыхании. Не допускается делать измерения в сырую погоду или непосредственно после периода дождей.

В соответствии с требованиями [8.1], сопротивление заземляющего устройства не должен превышать нормированной величины в любую пору года. Для получения минимально возможного на протяжении года сопротивления заземления, измеренную в данный момент величину  $R_3$  следует умножить на сезонный коэффициент заземления  $K_i'$ . В зависимости от влажности земли, в слое сезонных изменений принимают коэффициенты  $K_1'$ ,  $K_2'$  и  $K_3'$ , когда измерения проводятся соответственно во влажном, средней влажности и сухом грунтах (табл. 9.2).

Таблица 9.2 – Сезонные коэффициенты заземлителей

| <i>Вертикальные заземлители</i>   |                   |        |        |           |        |        |
|-----------------------------------|-------------------|--------|--------|-----------|--------|--------|
| Длина<br>заземлителя,<br>$l$ , м  | $h = 0,7...0,8$ м |        |        | $h = 0$   |        |        |
|                                   | $K_1'$            | $K_2'$ | $K_3'$ | $K_1'$    | $K_2'$ | $K_3'$ |
| 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   |
| <i>Горизонтальные заземлители</i> |                   |        |        |           |        |        |
| Длина<br>заземлителя,<br>$l$ , м  | $h = 0,7...0,8$ м |        |        | $h = 0,5$ |        |        |
|                                   | $K_1'$            | $K_2'$ | $K_3'$ | $K_1'$    | $K_2'$ | $K_3'$ |
| 5,0                               | 4,3               | 3,6    | 2,9    | 8,0       | 6,2    | 4,4    |
| 20,0                              | 3,6               | 3,0    | 2,5    | 6,5       | 5,2    | 3,8    |