Інститут спеціального зв'язку та захисту інформації
Національного технічного університету України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

СПЕЦІАЛЬНА КАФЕДРА №3

ВАКУЛЕНКО О.В., ГОЛЬ В.Д., ІРХА М.С., ХАХЛЮК О.А.

ЛІНІЇ ПЕРЕДАЧІ

ПІДРУЧНИК

*Рекомендовано Вченою радою ІСЗЗІ КПІ ім. Ігоря Сікорського
як підручник для курсантів (студентів), які навчаються за спеціальністю
172 «Телекомунікації та радіотехніка»,
галузі знань 17 «Електроніка та телекомунікації»*

Київ – 2021

УДК 621.395

Рекомендовано Вченою радою ІСЗЗІ КПІ ім. Ігоря Сікорського
(протокол № 3 від 25 листопада 2021)

Рецензенти: д.т.н., професор *Єрохін* Віктор Федорович, завідувач Спеціальної кафедри № 3 Інституту спеціального зв'язку та захисту інформації Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського».
к.т.н., доцент *Правило* Валерій Володимирович, в.о. завідувача кафедри інформаційно-комунікаційних технологій та систем Інституту телекомунікаційних систем Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського».

Вакуленко О.В., Голь В.Д., Ірха М.С., Хахлюк О.А. Лінії передачі: підручник. Київ: ІСЗЗІ КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. 218 с.

Підручник містить загальні відомості про мережі зв'язку та системи використання ланцюгів ліній зв'язку, а також про кабельні лінії зв'язку.

У підручнику розглянуто класифікацію, особливості конструкції і застосування кабелів зв'язку та їх електричні параметри і взаємні впливи між ланцюгами кабелів зв'язку, також відомості про основи передачі сигналів у оптичних волокнах, основні характеристики і типи конструкцій оптичних кабелів зв'язку, а також про методи з'єднання оптичних волокон та монтажу оптичних кабелів зв'язку.

Підручник призначений для підготовки та проведення занять з навчальної дисципліни «Лінії передачі» за спеціальністю 172 «Телекомунікації та радіотехніка», галузі знань 17 «Електроніка та телекомунікації».

УДК 621.395
© ІСЗЗІ КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021

ЗМІСТ

ВСТУП 6
РОЗДІЛ 1. МЕРЕЖІ ЗВ'ЯЗКУ. СИСТЕМИ ВИКОРИСТАННЯ ЛАНЦЮГІВ ЛІНІЙ ЗВ'ЯЗКУ 8
1.1 Загальні принципи побудови мереж зв'язку 8
1.2 Основи побудови транспортної мережі зв'язку спеціального призначення 9
1.3 Основи побудови транспортної платформи Національної телекомунікаційної мережі 11
1.4 Системи використання ланцюгів ліній зв'язку 18
Контрольні питання до розділу 1 21
РОЗДІЛ 2. КАБЕЛЬНІ ЛІНІЇ ЗВ'ЯЗКУ 22
2.1 Основні складові елементи й класифікація кабелів зв'язку 22
2.2 Матеріали й конструкція кабельних жил 23
2.3 Матеріали й конструкція ізоляції жил кабелю 24
2.4 Утворення груп у симетричних кабелях 28
2.5 Утворення кабельного осердя 29
2.6. Захисні покриви 30
2.7 Кабельне устаткування 32
Контрольні питання до розділу 2 34
РОЗДІЛ 3. ЕЛЕКТРИЧНІ ПАРАМЕТРИ ЛАНЦЮГІВ ЛІНІЙ ЗВ'ЯЗКУ . 35
3.1 Електричний опір ланцюгів постійного струму 35
3.2 Активний опір ланцюгів ліній зв'язку 36
3.3 Індуктивність ланцюгів ліній зв'язку 44
3.4 Електрична ємність ланцюгів ліній зв'язку 46
3.5 Провідність ізоляції ланцюгів ліній зв'язку 49
3.6 Первинні параметри передачі екранованих кабельних ланцюгів 51
3.7 Особливості розрахунку первинних параметрів передачі польових кабелів дальнього зв'язку 53
3.8 Вторинні (хвильові) параметри передачі ланцюгів ліній зв'язку 54
3.9 Коаксіальні кабелі, їхні властивості й електричні параметри 58
3.10 Температурна залежність електричних параметрів ланцюгів 63
3.11 Передача імпульсів по ланцюгах кабельних ліній 64
3.12 Поняття про хвилеводи 66
3.13 Пупінізовані кабельні ланцюги і їх електричні властивості 68
Контрольні питання до розділу 3 72
РОЗДІЛ 4. ВЗАЄМНІ ВПЛИВИ МІЖ ЛАНЦЮГАМИ ЛІНІЙ ЗВ'ЯЗКУ . 73
4.1 Причини й фізичні процеси при взаємних впливах 73
4.2 Основні рівняння взаємних впливів 82
4.3 Поняття про рівні передачі 83
4.4 Перехідні загасання та захищеності й способи їх виміру 85
4.5 Залежність перехідного загасання і комплексного зв'язку від частоти та довжини лінії 92

4.6 Ефект перестановки 95
4.7 Особливості впливу між коаксіальними ланцюгами 97
4.8 Норми захищеності й перехідних загасань 99
4.9 Особливості впливу між ланцюгами при передачі імпульсів 102
Контрольні питання до розділу 4 105
РОЗДІЛ 5. КОНСТРУКЦІЯ КАБЕЛІВ ЗВ'ЯЗКУ 106
5.1. Класифікація кабелів 106
5.2. Кабелі транспортних мереж 106
5.3 Кабелі цифрових мереж доступу 115
Контрольні питання до розділу 5 120
Розділ 6 КАБЕЛІ СТРУКТУРОВАНИХ КАБЕЛЬНИХ СИСТЕМ (СКС) 121
6.1 Структурована кабельна система 121
6.2 Загальна характеристика кабелів СКС 126
Контрольні питання до розділу 6 131
Розділ 7 ВИЗНАЧЕННЯ ВІДСТАНІ ДО МІСЦЯ ПОШКОДЖЕННЯ НА ДРОТОВИХ ЛІНІЯХ ЗВ'ЯЗКУ 132
7.1 Визначення відстані до місця пошкодження лінії зв'язку приладом типу ПКП 132
7.2 Визначення місця пошкодження трасопошуковими приладами 134
7.3 Визначення місця пошкодження імпульсними методами 136
Контрольні питання до розділу 7 137
Розділ 8 ОСНОВНІ ПРИНЦИПИ ПОБУДОВИ ОПТИЧНИХ КАБЕЛІВ ЗВ'ЯЗКУ 138
8.1 Основи розповсюдження оптичного сигналу у волокні 138
8.2 Затухання оптичних волокон 139
8.3 Дисперсія оптичних волокон 141
8.4 Характеристики оптичних волокон за міжнародними стандартами 143
8.4.1 Багатомодові оптичні волокна 143
8.4.2 Одномодові оптичні волокна 144
8.5 Оптичні кабелі зв'язку 149
8.5.1 Класифікація оптичних кабелів 149
8.5.2 Типові конструкції ОК 150
Контрольні питання до розділу 8 157
Розділ 9 МЕТОДИ З'ЄДНАННЯ ОПТИЧНИХ ВОЛОКОН 159
9.1 Загальні положення про з'єднання оптичних волокон 159
9.2 Підготування оптичних волокон до з'єднання 160
9.3 Зварні з'єднання 161
9.4 Клейові з'єднання 168
9.6 Механічні роз'ємні з'єднувачі 177
9.7. Рекомендації по вибору способу з'єднання оптичних волокон 180
Контрольні питання до розділу 9 185
РОЗДІЛ 10. МУФТИ ТА КІНЦЕВЕ ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ МОНТАЖУ ОПТИЧНИХ КАБЕЛІВ 186

10.1 Загальні вимоги до муфт для монтажу оптичних кабелів зв’язку 186
10.2 Аналіз існуючих типів муфт для монтажу оптичних кабелів зв’язку…… 187
10.2.1 Корпус муфти та способи герметизації його елементів 188
3.2.2. Типи кабельного вводу та способи його герметизації 190
10.2.3. Способи фіксації ОК в муфті 194
10.2.4. Конструкція організатора 194
10.3 Оптичні муфти для монтажу оптичних кабелів зв’язку 195
10.4 Вибір типу муфти 204
10.5 Узагальнена технологія монтажу оптичних кабелів 205
10.6 Розподільне та кінцеве обладнання 207
10.6.1 Загальні вимоги до розподільного та кінцевого обладнання... 207
10.6.2. Пристрої стику станційних та лінійних кабелів 208
10.6.3. Стояки оптичні розподільні (оптичний крос) 209
10.6.4. Шафи оптичні розподільні 210
10.6.5. Коробки (бокси) оптичні розподільні 210
Контрольні питання до розділу 10 212
Додаток. ОСНОВНІ ТЕХНІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ МУФТ ДЛЯ МОНТАЖУ ОПТИЧНИХ КАБЕЛІВ 213
СПИСОК СКОРОЧЕНЬ 216
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ 217

ВСТУП

Поряд з розвитком радіо, радіорелейних, тропосферних і супутникових засобів зв'язку продовжують розвиватися й засоби кабельного зв'язку, яким притаманна низка важливих позитивних якостей (багатоканальність, завадозахищеність, стійкість, довговічність).

Одним з основних елементів у системах кабельного зв'язку є лінії зв'язку, які діляться на польові й стаціонарні. Польові лінії застосовуються у мережах зв'язку спеціального призначення. До них відносять польові кабельні лінії, які будуються шляхом прокладки польових кабелів зв'язку.

Стаціонарні лінії застосовуються як у цивільних, так й у мережах зв'язку спеціального призначення. У них використовують кабельні й повітряні лінії, що мають високі електричні і механічні властивості, тривалий термін служби й які дозволяють забезпечувати зв'язок на значні відстані. Кабельним лініям в порівнянні з повітряними притаманна низка переваг (стійкість в експлуатації й можливість забезпечення по них великої кількості каналів зв'язку), тому вони більш перспективні.

Лінія передачі – основна складова частина в системі кабельного зв'язку, проте найбільш піддається різним агресивним впливам та ушкодженням. Від ступеня працездатності й надійності лінії, в першу чергу залежать стійкість й якість зв'язку. У той же час лінія – найбільш дорогий й громіздкий елемент у системі електропровідного зв'язку.

Широке застосування багатоканальної апаратури на кабельних лініях забезпечує їх більш ефективне використання й значно розширює можливості організації стійкого електро- та волоконно-оптичного зв'язку, але разом з тим значно підвищує вимоги до конструкції і якості робіт з розгортання (будівництву), ремонту й експлуатаційному обслуговуванню цих ліній. Крім того, застосування багатоканальної апаратури висуває підвищені вимоги до електричних характеристик ланцюгів, до встаткування вводів їх у вузли зв'язку й пункти підсилювання. При цьому значною мірою підвищується також роль електричних вимірів і випробувань ланцюгів ліній зв'язку.

В цей час здійснюється також послідовний процес удосконалювання польових кабелів зв'язку в напрямку зменшення їхніх габаритів, підвищення мобільності та надійності.

Створення високої пропускної здатності може бути забезпечене при використанні в якості ліній передачі оптичних кабелів (ОК). В даний час на мережах зв'язку України іде масове впровадження волоконно-оптичних систем передачі (ВОСП). Використання ВОСП великої довжини пов'язано з рядом об'єктивних труднощів − як економічних, так і технічних. З технічного боку для цього потрібно вирішити ряд проблем, зокрема

зниження затухання, підвищення надійності та зменшення часу при виконанні з’єднань будівельних довжин.

Отже один із факторів, що обумовлює якість зв’язку по оптичних кабелях, при будівництві міжміських волоконно-оптичних ліній зв’язку є монтаж ОК.

Зрощування окремих будівельних довжин лінійного ОК може виконуватися за допомогою нероз’ємних з’єднань оптичних волокон (ОВ): зварювання, склеювання, механічних з’єднувачів. Цей же тип з’єднань, як правило, використовується й для з’єднання лінійного та станційних ОК. Захист місць з’єднань ОК виконується за допомогою захисних муфт, а також пристроїв стику станційного та лінійного кабелів.

РОЗДІЛ 1. МЕРЕЖІ ЗВ'ЯЗКУ. СИСТЕМИ ВИКОРИСТАННЯ ЛАНЦЮГІВ ЛІНІЙ ЗВ'ЯЗКУ

1.1 Загальні принципи побудови мереж зв'язку

Мережі зв'язку в організаційно-технічному відношенні складаються з транспортної мережі й мережі доступу.

Транспортна мережа являє собою сукупність мережних вузлів, мережних станцій і ліній передачі, що утворюють мережу типових каналів і групових трактів.

Мережні вузли й мережні станції являють собою комплекси технічних засобів, що забезпечують організацію й транзит групових трактів і типових каналів передачі первинної мережі. Мережні вузли забезпечують в основному організацію транзитів і виділення необхідної кількості каналів і трактів вторинних мереж. Мережні станції є кінцевими точками транспортної мережі, у яких більша частина каналів і трактів надається мережам доступу.

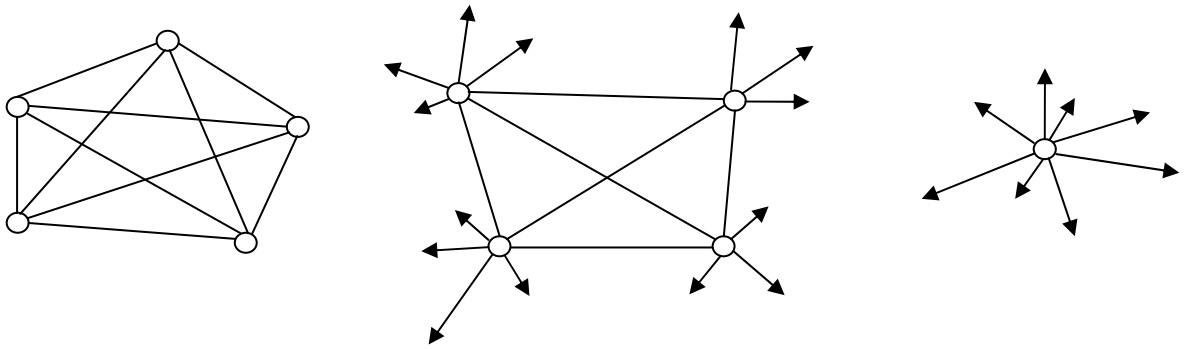
На базі групових трактів і каналів транспортної мережі будуються мережі доступу, які забезпечують надання послуг різних видів зв'язку, і є, як правило, мультисервісними.

Мережа доступу являє собою сукупність комутаційних станцій і вузлів, кінцевих абонентських пристроїв, з'єднувальних й абонентських ліній і відповідних каналів, отриманих від транспортної мережі.

Для задоволення всезростаючих потреб у різних видах зв'язку державного управління, сил оборони країни, економічного сектору країни й населення необхідно мати широко розгалужені, економічні, мережі зв'язку, здатні забезпечити передачу більших потоків інформації з високою надійністю.

Варіант побудови мережі, що передбачає безпосереднє з'єднання кожного вузла з кожним (рис. 1.1, а), забезпечує високу гнучкість і надійність, але є неекономічним. Недостатньо економічний і вузловий принцип побудови мережі (рис. 1.1, б). Найбільш економічним є радіальний принцип побудови мережі (рис. 1.1, в), але тут відсутні обхідні шляхи й не забезпечується необхідна надійність зв'язку. Вимогам надійності й економічності найбільшою мірою задовольняє радіально-вузловий принцип побудови мережі (рис. 1.2), при якому однойменні вузли з'єднуються не тільки з нижчестоящими вузлами, але й між собою. Радіально-вузловий принцип побудови мережі має значну гнучкість і маневреність, що забезпечують достатню надійність зв'язку завдяки наявності обхідних напрямків.

Вимогам надійності й економічності задовольняють також мережі, побудовані за принципом решітки. З огляду на викладене, в основу побудови реальної мереж покладені радіально-вузловий принцип і принцип решітки.



а. б. в.

Рисунок 1.1 – Принципи побудови мережі зв’язку
а − безпосереднє з’єднання кожного вузла з кожним;
б − вузловий принцип; в − радіальний принцип

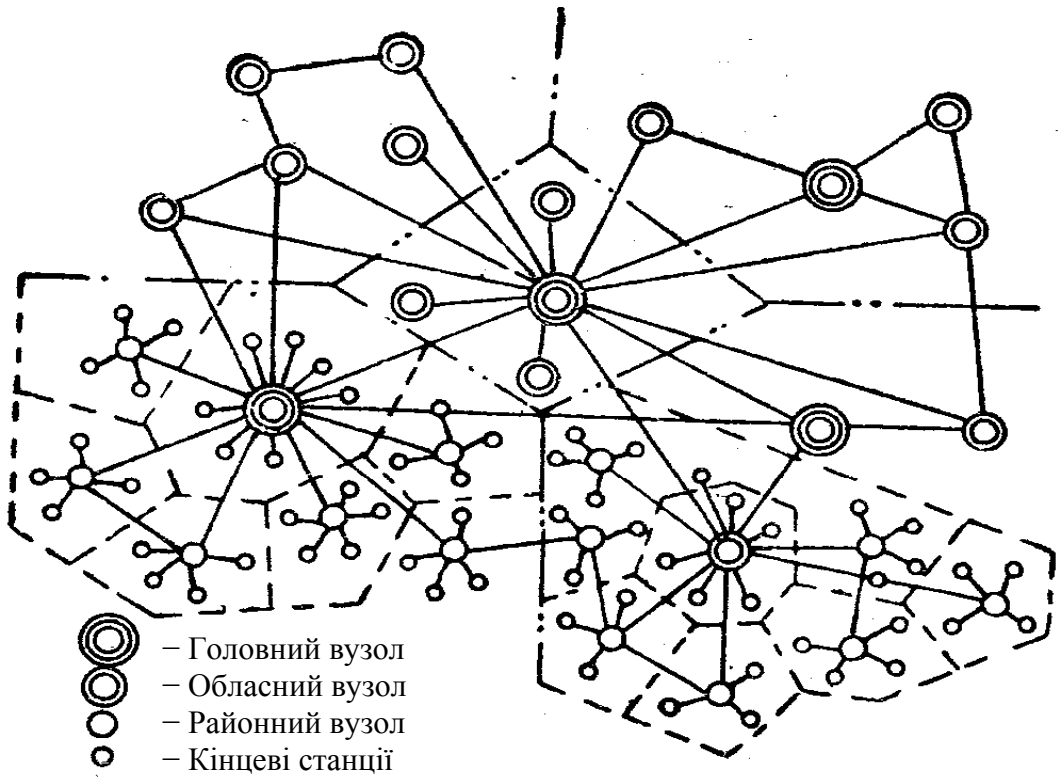


Рисунок 1.2 – Радіально-вузловий принцип побудови мережі

1.2 Основи побудови транспортної мережі зв’язку спеціального призначення

Найважливішою частиною системи керування військами й зброєю є система зв’язку спеціального призначення, що включає транспортну мережу й мережу доступу (рис. 1.3).

Рисунок 1.3 – Сполучення транспортної мережі й мережі доступу

Транспортну мережу зв'язку спеціального призначення утворює сукупність елементів вузлів зв'язку пунктів керування (ВЗ ПУ), лінії прямого зв'язку, опорні мережі зв'язку (ОМЗ) і лінії прив'язки, що забезпечують утворення каналів і трактів для мереж доступу.

Опорна мережа зв'язку являє собою організаційно-технічне об'єднання опорних і допоміжних вузлів зв'язку (ОВЗ і ДВЗ) і осьових і рокадних ліній. Опорна мережа зв'язку будується за принципом решітки (рис. 1.4).

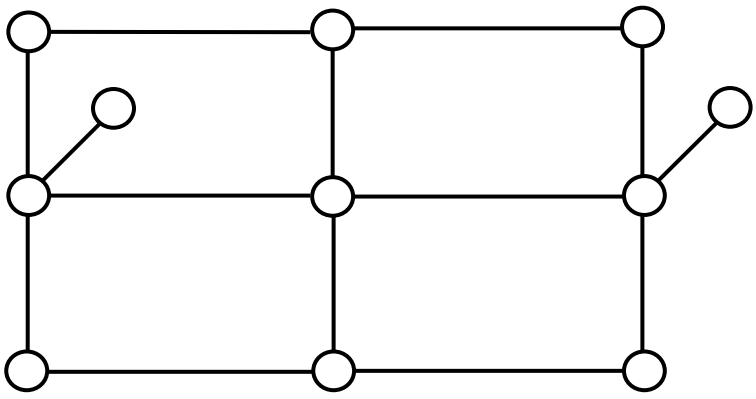


Рисунок 1.4 – Принцип побудови опорної мережі

Залежно від призначення, устаткування й умов експлуатації розрізняють польові й стаціонарні ОМЗ.

Структура польової ОМЗ, її розгалуженість, кількість осей і рокад залежить від характеру й розмаху операції, від прийнятої системи керування військами й оперативної побудови військ, а також від наявності сил і засобів. На польовій ОМЗ поряд з іншими засобами зв'язку для розгортання осьових і рокадних ліній застосовуються польові

кабельні лінії. При розгортанні ОВЗ, ДВЗ і ВЗ ПУ використовують внутрішньовузлові польові кабелі типу ВСЭК, ПТРК, а також польові кабелі дальнього зв'язку П-296. При розгортанні вторинних мереж поряд з названими кабелями знаходять широке застосування легкі польові кабелі П-274М.

Стаціонарна ОМЗ складається з опорних вузлів й осьових і рокадних ліній. На стаціонарній ОМЗ знаходять широке застосування постійні (стаціонарні) кабелі зв'язку, для роботи з якими використовуються багатоканальні системи передачі. Поряд з постійними кабельними лініями на стаціонарній ОМЗ знаходять застосування також польові кабельні лінії, призначені для тривалої експлуатації.

Для утворення пучків каналів між вузлами стаціонарної ОМЗ широко використовуються також потоки транспортної платформи Національної телекомунікаційної мережі (ТП НТМ) та приватних операторів телекомунікацій.

1.3 Основи побудови транспортної платформи Національної телекомунікаційної мережі

Національна телекомунікаційна мережа призначена для:

- обігу (передавання, приймання, створення, оброблення, зберігання) та захисту національних інформаційних ресурсів;
- забезпечення захищених електронних комунікацій;
- надання послуг Національної телекомунікаційної мережі в інтересах здійснення управління державою у мирний час, в умовах надзвичайного стану та в особливий період;
- надання споживачам послуг із кіберзахисту.

Структура Національної телекомунікаційної мережі поділяється на:

- транспортну платформу;
- мультисервісну платформу;
- Центр управління мережею.

Транспортна платформа Національної телекомунікаційної мережі забезпечує формування та розподіл її ресурсу, а також транзит трафіку для функціонування мультисервісної платформи Національної телекомунікаційної мережі, телекомунікаційних мереж, інформаційно-телекомунікаційних систем споживачів.

Транспортна платформа Національної телекомунікаційної мережі формує ресурс Національної телекомунікаційної мережі із таких ***складових***:

- *оптичний сегмент* – сукупність програмних (програмно-технічних), технічних засобів систем спектрального ущільнення оптичних транспортних каналів та систем передавання даних;

- *супутниковий сегмент* – сукупність програмних (програмно-технічних), технічних засобів систем космічного радіозв'язку;

- *радіосегмент* – сукупність програмних (програмно-технічних), технічних засобів систем тропосферного, радіорелейного зв'язку та радіозв'язку.

Структура Національної телекомунікаційної мережі має три ***рівні***:

- *центральний* – сукупність об'єктів Національної телекомунікаційної мережі, які забезпечують їх взаємодію між собою та з магістральним рівнем Національної телекомунікаційної мережі, для надання послуг Національної телекомунікаційної мережі у м. Києві;

- *обласний (магістральний)* – сукупність об'єктів Національної телекомунікаційної мережі, які забезпечують їх взаємодію між собою та із центральним і районним рівнем Національної телекомунікаційної мережі, для надання послуг Національної телекомунікаційної мережі в адміністративних центрах областей;

- *районний* – сукупність об'єктів Національної телекомунікаційної мережі, які забезпечують їх взаємодію між собою та з магістральним рівнем Національної телекомунікаційної мережі, для надання послуг Національної телекомунікаційної мережі в адміністративних центрах районів.

Ресурс Національної телекомунікаційної мережі надається у такій черговості:

- в інтересах функціонування державної системи урядового зв'язку;
- спецспоживачам;
- операторам НСКЗ;
- користувачам бюджетної сфери;
- власникам об'єктів критичної інформаційної інфраструктури.

Стале функціонування Національної телекомунікаційної мережі забезпечується:

- апаратним резервуванням;
- багаторівневою структурою Національної телекомунікаційної мережі;
- оперативно-технічним управлінням Національної телекомунікаційної мережі.

Національна телекомунікаційна мережа має своє власне внутрішнє навантаження, незалежну від телекомунікаційної мережі загального користування та Інтернету систему нумерації, може мати відмінні від телекомунікаційної мережі загального користування та Інтернету системи сигналізації і алгоритми функціонування.

Взаємодія Національної телекомунікаційної мережі з телекомунікаційною мережею загального користування здійснюється через шлюзи (граничні маршрутизатори), на яких створено комплексну

систему захисту інформації відповідно до вимог законодавства у сфері захисту інформації, кіберзахисту та охорони державної таємниці.

Взаємодія Національної телекомунікаційної мережі з Інтернетом здійснюється через захищені вузли доступу до Інтернету, на яких створено комплексну систему захисту інформації відповідно до вимог законодавства у сфері захисту інформації, кіберзахисту та охорони державної таємниці.

Послуги, які надаються з використанням Національної телекомунікаційної мережі, ***поділяють на такі групи***:

- *транспортні телекомунікаційні послуги* – види обслуговування, орієнтовані на встановлення з'єднання з використанням наявних мережевих технологій транспортної платформи Національної телекомунікаційної мережі між двома або декількома комплектами кінцевого обладнання споживача (споживачів);
- *послуги спеціального зв'язку* – види обслуговування, орієнтовані на забезпечення передачі секретної та/або службової інформації шляхом проведення відповідних організаційних та технічних заходів із застосуванням засобів криптографічного та/або технічного захисту інформації;
- *мультимедійні послуги* Національної телекомунікаційної мережі – види обслуговування, орієнтовані на забезпечення споживачам єдиного зручного інтерфейсу, який містить у собі системи IP-телефонії, аудіо-, відео- та веб-конференцій, обміну поштовими та миттєвими повідомленнями (разом з мультимедійними послугами Національної телекомунікаційної мережі можуть надаватися і послуги спеціального зв'язку);
- *послуги доступу до інформаційних ресурсів* – додаткові види обслуговування, які надаються разом з транспортними телекомунікаційними послугами і орієнтовані на забезпечення доступу через об'єкти Національної телекомунікаційної мережі до захищених вузлів інтернет-доступу, захищених центрів обробки даних, єдиного захищеного дата-центру збереження інформації і відомостей національних інформаційних ресурсів та інших систем обробки та збереження електронних державних інформаційних ресурсів;
- *послуги з кіберзахисту* – види обслуговування, орієнтовані на запобігання кіберінцидентам, виявлення та захист від кібератак, ліквідацію їх наслідків, відновлення сталості і надійності функціонування комунікаційних, технологічних систем.

Організаційна структура мережі зв'язку визначає рольове призначення й статус мережевих елементів та утворених ними структурних компонентів залежно від поставленого завдання та займаного місця в мережі. Рольове призначення характеризує, умовно кажучи, «права та обов'язки» елементів або виділених структурних фрагментів мережі під час реалізації покладених на них функціональних

завдань, а статус – рівень їх значимості відповідно до ієрархічної приналежності.

Пункти та лінії зв'язку передусім розглядаються як елементи моделі організаційної структури мережі. Однак особлива увага зосереджується не на їх розміщенні в просторі, а на тому, як виконувані ними функціональні завдання впливають на рольове призначення та статус, яких вони набувають в рамках моделі організаційної структури мережі.

Пункти мережі підрозділяються на ***кінцеві*** і ***вузлові***.

Кінцеві пункти (КП) (Endpoints) – це пункти, в яких розміщено термінальне обладнання користувачів і кінцеві системи мережі (сервери, на яких зосереджено інформаційні ресурси й застосування, у тому числі застосування системи керування мережею).

Пункти, призначені для розміщення термінального обладнання користувачів, яке забезпечує доступ в мережу, функціонують у ролі абонентських пунктів (АП). Пункти, у яких зосереджено інформаційні ресурси, називаються інформаційними центрами (ІЦ), а пункти системи керування відповідно – центрами керування (ЦК). У кінцевих пунктах телекомунікаційна мережа представлена пристроєм мережевого закінчення (Network Termination Unit, NTU), або просто мережевим закінченням (Network Termination, NT), яке в організаційній структурі набуває статусу точки присутності телекомунікаційної мережі.

Вузловий пункт (Node Points) – це пункт мережі, в якому сходяться дві і більше ліній зв'язку. У вузловому пункті зазвичай розміщується комунікаційне (мережеве) обладнання, за допомогою якого можуть виконуватися такі функції, як ***концентрація***, ***мультиплексування***, ***комутація*** та ***маршрутизація***.

Концентрація (Concentration) передбачає поєднання декількох невеликих за потужністю вхідних інформаційних потоків з метою отримання більш потужного вихідного потоку. Функція може бути реалізована в спеціалізованому пристрої на основі статистичного ущільнення (асинхронне мультиплексування). Слід зауважити, що в концентраторі для локальних мереж, який має назву «хаб», ця функція виконується досить умовно. Повідомлення, яке надходить на один з входів хаба, передається одночасно на всі виходи.

Розподілення (Distribution) – функція, протилежна концентрації, тобто відгалуження від концентрованого вхідного інформаційного потоку малих за потужністю вихідних потоків і розподіл їх між виходами. Функція реалізується в пристроях, які називаються відгалужувачі.

Мультиплексування (Multiplexing) забезпечує можливість передачі декількох потоків інформації однією лінією, що здійснюється закріпленням за кожним із них фіксованої частини ресурсу лінії (смуги пропускання або часу зайняття). Фіксований розподіл ресурсу лінії залишається незмінним навіть у періоди відсутності інформації, тобто функція концентрації не спрацьовує.

Зворотна функція – демультиплексування. Реалізація в комунікаційних пристроях (мультиплексорах) функції мультиплексування завжди поєднується з демультиплексуванням.

Комутація (Switching) є процесом встановлення зв'язку між входами та виходами комутаційного пристрою на основі аналізу адресної інформації повідомлень і використання інформації відповідних таблиць комутації. Комутація може бути оперативною (на час передачі одного повідомлення) та довготривалою, яка здійснюється шляхом кросування ліній, які сходяться у вузловому пункті.

Маршрутизація (Routing) – це поєднання процедур пошуку зв'язних шляхів (маршрутів) між вузлами мережі з метою формування таблиць маршрутизації та встановлення зв'язку між входами та виходами пристрою на основі адресної інформації повідомлень та з урахуванням вибору найкращого (за обраним критерієм) маршруту проходження повідомлення мережею.

У комунікаційному пристрої може бути реалізована одна з перерахованих функцій, саме тоді цей пристрій відповідно називається або концентратором, або мультиплексором, або комутатором, або маршрутизатором та ін. Можливим є також суміщення декількох функцій в одному пристрої як, наприклад, у маршрутизуючому комутаторі, АТС.

Порядок відношень між елементами (їх статус) в моделі організаційної структури визначається рівнями їх ієрархії (рис. 1.5). Найнижчий рівень займають АП. Статус вузлових пунктів визначається відповідно рівнем доступу, розподілу та ядра. АП зазвичай під'єднуються до вузлових пунктів рівня доступу. Таким чином для них реалізується право доступу в мережу (до її ресурсів).

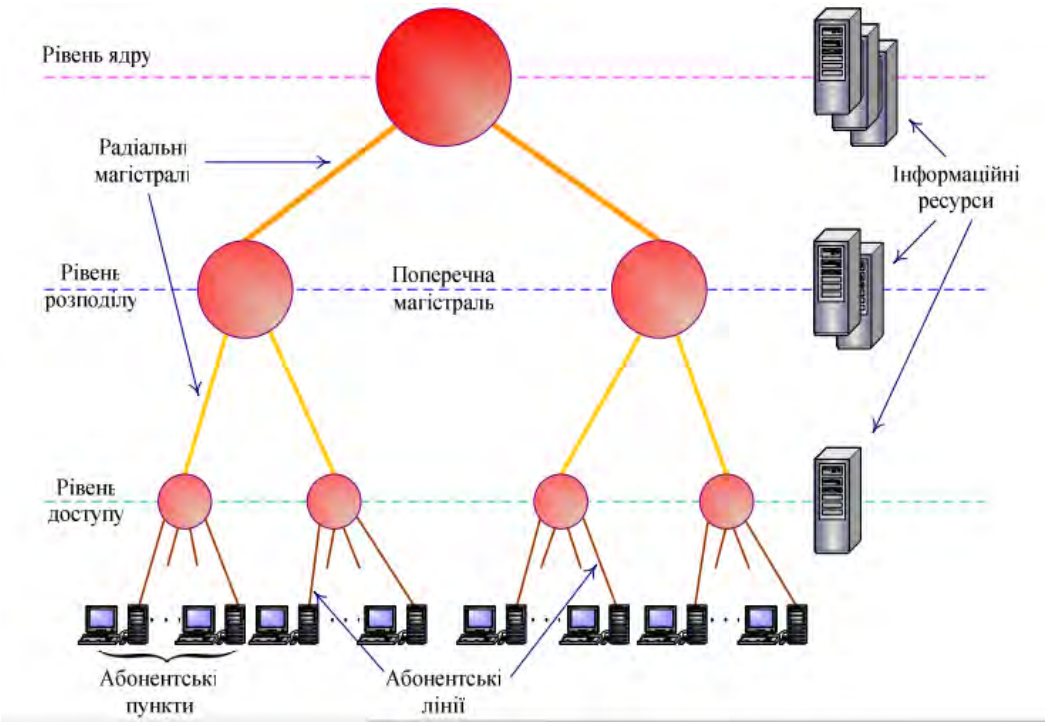


Рисунок 1.5 – Організаційна структура мережі

Призначення та статус вузлових пунктів рівня розподілу визначається забезпеченням інформаційного обміну між АП, під'єднаними до різних вузлових пунктів рівня доступу. Залежно від способу структуризації мережі, рівень розподілу матиме декілька підрівнів. Вузлові пункти всіх підрівнів розподілу виконують функцію концентрації трафіку у висхідних напрямах і функцію розподілу – у низхідних.

У вузлових пунктах рівня ядра інформаційні потоки досягають максимальної концентрації та перерозподіляються між усіма іншими пунктами мережі. Вузлові пункти рівня ядра мають найвищий статус, оскільки вони забезпечують зв'язність мережі в цілому за рахунок об'єднання вузлових пунктів рівня розподілу. Точка підключення кінцевих систем (інформаційних центрів мережі) може бути організована у вузловому пункті будь-якого рівня. Це визначається масштабом контингенту користувачів, які мають загальну потребу у зверненні до інформаційного ресурсу. Чим вище сягає рівень підключення ресурсу, тим ширшою є його доступність. Те ж відноситься і до пунктів розміщення обладнання системи керування мережею – центрів керування (ЦК). Чим вищим є рівень підключення, тим ширшою зона моніторингу технічного стану елементів мережі.

Лінії зв'язку в моделі організаційної структури також отримують відповідний статус. Лінії, які з'єднують АП з відповідним вузловим пунктом рівня доступу, мають найнижчий статус і називаються *абонентськими лініями*. Лінії, які з'єднують вузлові пункти між собою, називаються *магістральними*. Чим вищим є рівень ієрархії з'єднуваних магістралями вузлових пунктів, тим вищим – статус самих магістралей, і, відповідно, вимоги до їх пропускної здатності, надійності.

Магістралі, що з'єднують вузлові пункти, які належать різним рівням ієрархії, називаються *радіальними магістралями*, а ті, що з'єднують вузлові пункти одного рівня, – *поперечними магістралями*.

Рольове призначення вузлових пунктів в моделі організаційної структури Вузловий пункт відносно кінцевих пунктів, які він обслуговує, незалежно від статусу, може виступати в ролі: ***опорного вузла***, ***транзитного вузла*** або ***опорно-транзитного вузла***.

Якщо вузловий пункт забезпечує проходження трафіку тільки між КП конкретної групи, то відносно цих КП він виступає в ролі *опорного вузла*. Якщо через вузловий пункт проходить трафік від деякої групи КП до будь-яких інших КП мережі, то він виступає в ролі *транзитного вузла*. Якщо вузловий пункт забезпечує проходження трафіку як внутрішнього, так і зовнішнього обміну деякого конкретного числа КП мережі, то відносно цих КП він виступає у ролі *опорно-транзитного вузла*.

У практиці побудови та експлуатації телекомунікаційних та інформаційних мереж давно склалася й використовується термінологія, яка досить чітко відбиває рольове призначення вузлових пунктів. Так, для

мереж операторів і сервіс-провайдерів актуальними є терміни, що визначають призначення вузлових пунктів відповідно до реалізації функцій доступу. ***Функції доступу*** в територіальних мережах незалежно від рівня ієрархії вузлового пункту прийнято розглядати за наступними аспектами:

– забезпечення доступу користувачів до телекомунікаційних служб та мережевих ресурсів;

– забезпечення доступу при з'єднанні сегментів телекомунікаційної мережі;

– забезпечення доступу до інформаційних ресурсів глобальної мережі Інтернет.

Вузловий пункт, у якому забезпечується доступ користувачів до служб мережі з метою отримання телекомунікаційних та інформаційних послуг, називають **сервісним вузлом** (Service Node, SN). Це може бути вузол рівня доступу, розподілу або ядра.

Вузловий пункт, де забезпечується з'єднання сегментів телекомунікаційної мережі, наприклад, мережі доступу та транспортної мережі, називається **вузлом доступу** (Access Node, AN).

Вузловий пункт, у якому забезпечується підключення сервіс-провайдера національного рівня в глобальну інформаційну мережу Інтернет, називається **точкою мережевого доступу** (Network Access Point, NAP). Це вузловий пункт рівня ядра. Через NAP організується спілкування клієнтів одного національного провайдера з клієнтами інших національних провайдерів.

Сервіс-провайдер національного рівня, як правило, має в декількох регіонах вузлові пункти, які називаються **точками присутності** (Points of Presents, POP). До POP під'єднуються провайдери регіонального рівня, які, у свою чергу, розміщують у різних місцях регіону свої точки присутності для підключення провайдерів нижчого рівня або корпоративних клієнтів. Такі вузлові пункти мають статус рівня розподілу. Точки присутності провайдерів, де забезпечується підключення індивідуальних клієнтів, мають статус рівня доступу.

На **магістральній мережі телевізійного мовлення** створюються:

– центральна міжміська телевізійна апаратна, яка називається службою міжміського телебачення (СМТ);

– регіональні вузлові міжміські телевізійні апаратні (РВМТА);

– кінцеві телевізійні апаратні (КМТА), а на зонових мережах − зонові міжміські телевізійні апаратні (ЗМТА).

На **мережі звукового мовлення** для перемикання й розподілу програм створюються центральна, вузлові й кінцеві міжміські розмовні апаратні.

1.4 Системи використання ланцюгів ліній зв’язку

Зв’язок по кабельних лініях здійснюється за дводротовою або чотирьохдротовою системою. При дводротовій системі для двостороннього зв’язку використовується один ланцюг, а при чотирьохдротовій − два ланцюги (один для передачі в прямому, а інший – у зворотному напрямку).

Для збільшення дальності зв’язку по кабельних лініях застосовують проміжні підсилювачі, що включають у ланцюг через певні відстані, названі підсилювальними дільницями.

При дводротовій системі зв’язку в тональному діапазоні частот застосовують підсилювачі двосторонньої дії (дуплексні), у яких поділ напрямків передач здійснюється за допомогою диференціальних систем (рис. 1.6). Дійсно, як видно з рис. 1.6, при рівності вхідних опорів ланцюга й балансового контуру БК ($Z_{вх} = Z_б$) обидва напрямки передачі будуть підключені до діагоналей урівноваженого моста й у такий спосіб взаємно розв’язані. Однак не вдається досягти повного врівноваження диференціальних систем й у дуплексних підсилювачах має місце явище зворотного зв’язку, що може привести їх до самозбудження. Щоб уникнути цього дуплексні підсилювачі доводиться використовувати при порівняно невеликому посиленні, що знижується зі збільшенням числа підсилювачів, включених у ланцюг. Цим обмежується загальна дальність зв’язку по дводротовій системі в тональному діапазоні частот.

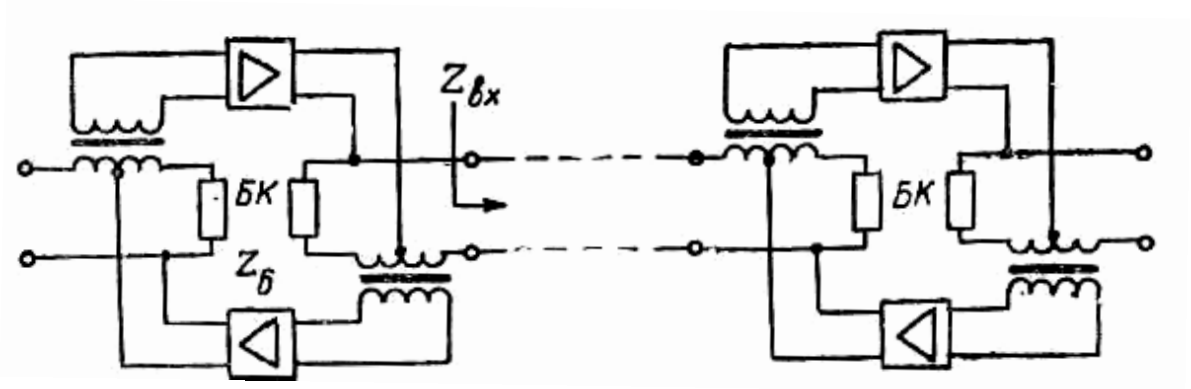


Рисунок 1.6 – Дводротова система зв’язку
в тональному діапазоні частот

При чотирьохдротовій системі зв’язку (рис. 1.7), коли дводротовий ланцюг використовується тільки для одного напрямку передачі, застосовуються підсилювачі однобічної дії (симплексні) і диференціальна система включається лише при організації відкритого телефонного зв’язку для переходу на дводротову абонентську лінію в кінцевих пунктах. У цьому випадку за умови забезпечення незначної електромагнітної взаємодії між ланцюгами, що утворять чотирьохдротову систему, явище зворотного зв’язку буде обумовлюватися лише

недосконалістю диференціальних систем в кінцевих пунктах. Отже, воно не буде обмежувати число проміжних підсилювачів і величину їхнього посилення, що дає можливість здійснювати зв'язок по чотирьохдротовій системі як у тональному діапазоні, так і за допомогою багатоканальних систем передачі на значні відстані, обмеженими уже іншими факторами (припустимим часом поширення сигналів, взаємним впливом між ланцюгами й ін.).

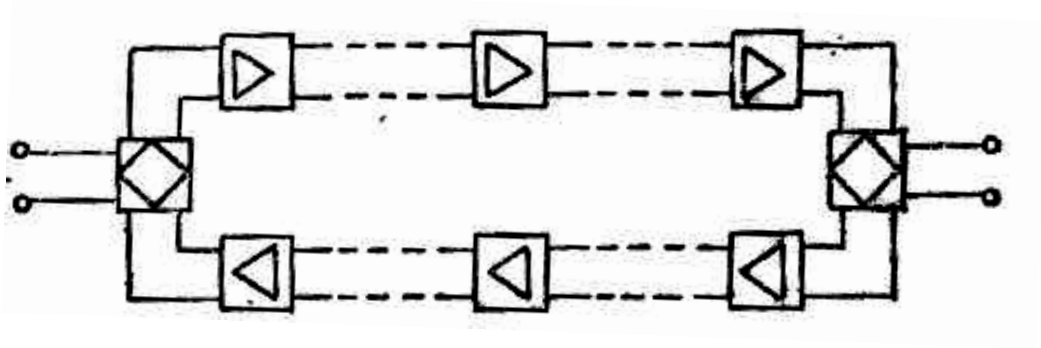


Рисунок 1.7 – Чотирьохдротова система зв'язку

Однак чотирьохдротова система за вартістю спорудження й витраті металу на лінійні проведення вимагає більших витрат у порівнянні із дводротовою. Для задоволення економічних вимог при чотирьохдротовій системі застосовують дроти меншого діаметра, чим при дводротовій системі, зберігаючи при цьому однакову довжину підсилювальної дільниці за рахунок більшого посилення однобічних підсилювачів у порівнянні із двосторонніми підсилювачами.

З огляду на сказане, чотирьохдротову систему зв'язку можна використовувати тільки на кабельних лініях, де можливе зменшення діаметра дротів, а збільшення числа ланцюгів не приводить до значного зростання вартості кабелю.

На повітряних лініях, де зменшення діаметра дротів обмежено умовами механічної міцності й збільшення числа ланцюгів вимагає значних витрат, чотирьохдротова система зв'язку не застосовується. У діапазоні високих частот застосування чотирьохдротової системи зв'язку на повітряних лініях обмежується також труднощами сполучення на одних опорах ланцюгів протилежних напрямків передачі через більші взаємні впливи між ними.

У випадку симетричних кабелів при чотирьохдротовій системі зв'язку високочастотні ланцюги протилежних напрямків передачі розміщують, зазвичай в різних кабелях (двокабельна система). Сполучення високочастотних ланцюгів протилежних напрямків передачі в одному кабелі можливо лише при роботі однієї системи передачі.

Чотирьохдротова однокабельна система зв'язку, зокрема, застосовується на польових кабельних лініях. Для високочастотного зв'язку по ланцюгах легких польових кабелів і повітряних ліній застосовується дводротова двосмугова система, при якій для передачі в

протилежних напрямках використовуються різні смуги частот, поділені в кінцевій апаратурі й у проміжних підсилювачах за допомогою електричних фільтрів (рис. 1.8). В електричному відношенні дводротова двосмугова система аналогічна чотирьохдротовій системі зв’язку, тому її іноді називають електричною чотирьохдротовою системою.

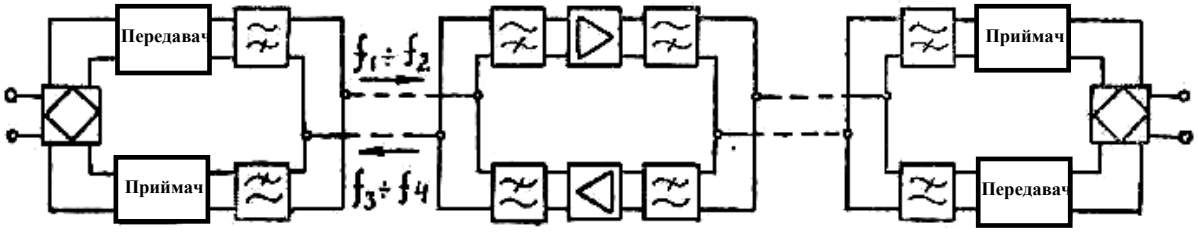


Рисунок 1.8 – Дводротова двосмугова система зв’язку

У порівнянні із чотирьохдротовою системою, при якій для протилежних напрямки передачі використовується та сама смуга частот (односмугова система), при двосмуговій системі для утворення тієї самої кількості каналів потрібен приблизно у два рази більший діапазон частот. Крім того, при дводротовій двосмуговій системі за рахунок застосування фільтрів ускладнюється апаратура й вносяться додаткові спотворення передачі. З огляду на викладене, дводротову двосмугову систему для зв’язку по постійних кабельних лініях застосовують порівняно рідко.

З урахуванням необхідної кількості ланцюгів і діапазону частот за числом каналів, що створюються, дводротова й чотирьохдротова системи зв’язку, практично, рівноцінні.

Таким чином, ланцюги кабельних ліній використовуються:

− на повітряних лініях – у тональному діапазоні частот по дводротовій, а при високій частоті – по дводротовій двосмуговій системі;

− на кабельних лініях – у тональному діапазоні частот по двох- – або чотирьохдротовій системі, а при високій частоті – по чотирьохдротовій системі й у деяких випадках по дводротовій двосмуговій системі.

На фізичних ланцюгах кабельних ліній за допомогою диференціальних трансформаторів можна утворити однодротові (рис. 1.9, а) і дводротові (рис. 1.9, б) **штучні ланцюги**, які використовуються для дистанційного електроживлення необслуговуваних підсилювальних пунктів на лінії. Дводротові штучні ланцюги (фантомні ланцюги), крім того, іноді використовуються в низькочастотних кабелях для забезпечення телефонного зв’язку.

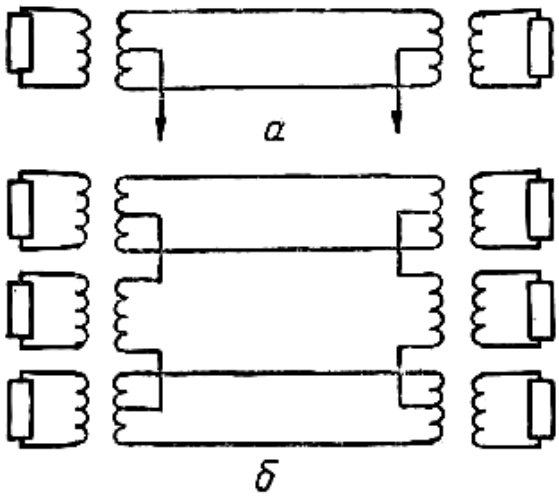


Рисунок 1.9 – Штучні ланцюги:
а − однодротовий; б – дводротовий

Контрольні питання до розділу 1

1. Порівняти варіанти побудови структури мереж.
2. Охарактеризувати призначення, склад та послуги транспортної платформи Національної телекомунікаційної мережі.
3. Описати організаційну будову мереж телекомунікацій.
4. Охарактеризувати дводротові та чотиридротові системи використання ланцюгів ліній зв’язку.

РОЗДІЛ 2. КАБЕЛЬНІ ЛІНІЇ ЗВ'ЯЗКУ

Кабельні лінії зв'язку є одним з основних видів напрямних систем на сучасних мережах зв'язку. Вони володіють цілим рядом істотних достоїнств, основними з яких є: можливість утворення великої кількості каналів зв'язку; висока стійкість в експлуатації; тривалий термін служби (десь 40 років і більше); мала залежність параметрів від атмосферно-кліматичних умов; більша скритність передачі сигналів; мала схильність до атмосферних впливів і зовнішніх завад.

Основними елементами кабельних ліній зв'язку є кабелі зв'язку, кабельне устаткування, а також кабельні лінійні пристрої.

2.1 Основні складові елементи й класифікація кабелів зв'язку

Кабелем зв'язку називається система, що складається з ізольованих дротів, скручених між собою за певним законом й ув'язнених у вологозахисну оболонку й броньові покрови.

Кабелі зв'язку діляться на польові й постійні.

Польові кабелі діляться на польові кабелі дальнього зв'язку, легкі польові кабелі, вводно-з'єднувальні й розподільні (внутрішньовузлові кабелі зв'язку).

Постійні кабелі, залежно від області їхнього застосування діляться на міжміські, зонові, кабелі місцевих мереж (міських телефонних мереж і сільського зв'язку), кабелі вставок і з'єднувальних ліній, морські кабелі зв'язку й станційні.

Залежно від спектра переданих частот кабелі зв'язку діляться на низькочастотні й високочастотні.

За умовами прокладки й експлуатації кабелі розділяються на підземні, підводні й повітряні (або кабелі повітряної підвіски).

Конструктивно мідні кабелі діляться на симетричні й коаксіальні. У симетричних кабелів ланцюг складається з однакових ізольованих дротів (рис. 2.1, а). Ланцюг коаксіальних кабелів складається із двох дротів, причому один (суцільний) дріт, концентрується усередині іншого (порожнього) дроту (рис. 2.1, б).

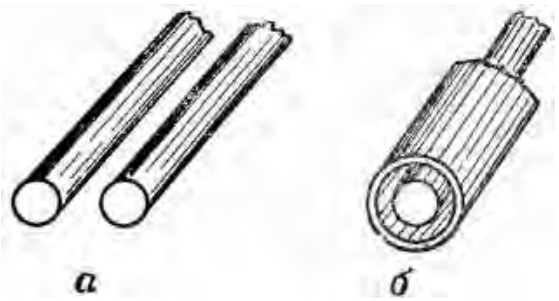


Рисунок 2.1 –. Конструкція ланцюгів:
а − симетричних кабелів; б − коаксіальних кабелів

2.2 Матеріали й конструкція кабельних жил

Струмопровідні жили (дроти) кабелів зв'язку повинні мати гарну електропровідність, достатню механічну міцність й гнучкість, хімічну стійкість до діелектриків. При виготовленні кабельних жил застосовують мідь, сталь й алюміній; для легких польових кабелів застосовують мідь і сталь спільно, для польових кабелів дальнього зв'язку − мідь, для постійних кабелів − мідь і досить рідко алюміній. Основні характеристики дротових матеріалів наведені в табл. 2.1.

В існуючих кабелях основним матеріалом жил є мідь. Обмежене застосування алюмінію характерно тим, що при однаковій електропровідності діаметр жил з алюмінію виявляється в 1,28 рази більше; ця обставина приводить до збільшення діаметра кабелю й подорожчанню захисних покривів (зокрема збільшується витрата дорогого свинцю).

Таблиця 2.1 – Основні характеристики дротових матеріалів

Найменування металу	Щільність, г/см^3	Питомий опір при $t°$=20° С, Ом·м/мм^2	Температурний коефіцієнт опору, 1/град	Межа міцності при розтяганні, кгс/мм^2	Магнітна проникність
МІДЬ	8,9	0,0175	0,004	27…44,9	1
СТАЛЬ	7,9	0,138	0,006	70…75	100…140
АЛЮМІНІЙ	2,7	0,029	0,0041	8…25	1

Для симетричних кабелів застосовують мідні жили круглого перетину. У кабелів місцевої мережі жили мають діаметр 0,32; 0,4; 0,5; 0,7 мм (міські); 0,8; 0,9; 1,0; 1,2 мм (сільські); у кабелів зонового й магістрального зв'язку − 1,2; 1,4 мм (найбільше широко застосовуються жили з діаметром 1,2 мм).

Поряд із суцільними циліндричними дротами (рис. 2.2, а) використовуються дроти інших конструкцій: гнучкий (рис. 2.2, б) скручується з 7 або 19 тонких дротів однакового діаметра, біметалевий алюміній − мідь і сталь − мідь (рис. 2.2, в), а для підводного кабелю − повив з тонких дротів навколо товстого дроту (рис. 2.2, г).

У польових кабелях жили скручуються з 7 або 19 тонких дротів однакового діаметра, при цьому для збільшення механічної міцності легких кабелів частина дротів жили сталеві.

Коаксіальні пари сучасних кабелів мають наступні розміри (діаметр внутрішнього дроту/діаметр зовнішнього дроту) у мм: 5/18 − пари великого розміру; 2,6/9,4 − пари середнього розміру; 1,2/4,6 − пари малого розміру. Відомі також мікрокоаксіальні кабелі з розмірами пари 0,7/3,0 мм, а також підводний кабель із розмірами 8,4/25,4 й ін.

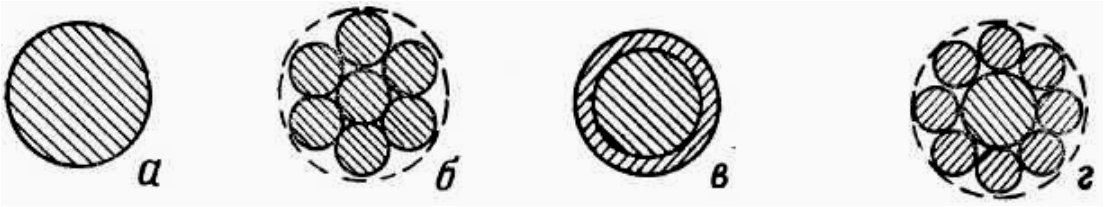


Рисунок 2.2 – Конструкція жил симетричних кабелів зв’язку:
а− суцільний; б− гнучкий; в− біметалевий; г− повивний

Внутрішній дріт коаксіальних пар підземних кабелів суцільний, а морських − багатодротовий. Зовнішній дріт коаксіальних пар являє собою порожній циліндр, що виготовляється з міді або алюмінію (найбільш широко застосовується мідь). Конструктивно розрізняють наступні різновиди гнучких зовнішніх дротів коаксіальних пар: циліндричний з поздовжнім швом (рис. 2.3, *а*), гофрований (рис. 2.3, *б*), спіральний повив (рис. 2.3, *в*) і оплітку (рис. 2.3, *г*).

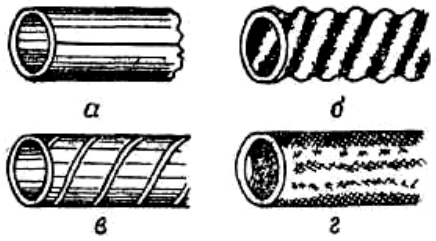


Рисунок 2.3 – Конструкція зовнішніх дротів коаксіальних пар:
а − циліндричний з поздовжнім швом; *б* − гофрований;
в − спіральний повив; *г* − обплетення

Найбільш широко в коаксіальних кабелях застосовуються циліндричний дріт з поздовжнім швом (у підземних кабелях) і спіральний повив з мідних стрічок (у морських кабелях) як найбільш технологічні і які забезпечують необхідну електричну однорідність по довжині.

2.3 Матеріали й конструкція ізоляції жил кабелю

Матеріали, які застосовуються для ізоляції кабельних жил повинні мати високі електричні характеристики, достатню гнучкість і механічну міцність, вологостійкість, стабільність фізичних параметрів у часі (малим старінням), простотою технологічної обробки й малою вартістю. В електричному відношенні властивості ізоляції визначаються наступними параметрами:

– електричною міцністю $U_{пр}$, при якій відбувається пробій ізоляції;

– питомим електричним опором ρ, що визначає величину струму витоку в діелектрику;

– діелектричною проникністю ε, що характеризує ступінь зсуву (поляризації) зарядів у діелектрику при дії на нього електричного поля;

– тангенсом кута діелектричних втрат tgδ, що характеризує втрати високочастотної енергії в діелектрику.

Для ізоляції жил кабелів поряд з поліетиленом застосовуються полістирол, полівінілхлорид, кабельний папір, гума.

Основні параметри ізоляційних матеріалів наведені в табл. 2.2.

Поліетилен одержують у результаті полімеризації рідкого етилену при високих температурах і високих тисках. Поліетилен високого тиску має високі електроізоляційні властивості, достатню щільність, еластичність, негігроскопічність й стійкість проти впливу кислот і лугів. До недоліків варто віднести порівняно невисоку теплостійкість (до 100° С) і поглинання сірки при нагріванні (безпосередній контакт із гумою неприпустимий). Поліетилен знайшов широке застосування в якості ізолюючого й шлангового матеріалу симетричних і коаксіальних кабелів різного призначення. Великий інтерес представляє поліетилен, виготовлений при низькому тиску, що має такі ж електричні властивості, але має в порівнянні з поліетиленом високого тиску набагато більшу розривну міцність (250…300 кг/см^2 проти 120…180 кг/см^2) і меншу вартість.

Для ізоляції жил кабелю застосовують також пористий поліетилен, що представляє собою поліетилен з більшою кількістю дрібних повітряних включень (35…55 %), що приводить до значного зменшення діелектричної проникності. Однак така ізоляція володіє гігроскопічністю й піддана деформації.

Таблиця 2.2 – Основні параметри ізоляційних матеріалів

Найменування матеріалу	Діелектрична проникність ε	Електрична міцність U, кВ/мм	Питомий опір ρ, Ом см^3	Діелектричні втрати tgδ10^{-4} при частоті, Гц			
				50	10^3	10^6	10^9
Суцільний поліетилен	2,3	30	10^{17}	3	4	5	5
Пористий поліетилен	1,5	10	10^{17}	–	4	5	6
Полістирол	2,2	40	10^{16}	2	2	2	2
Кабельний папір	2…2,5	–	10^{16}	70	80	400	–
Полівініл-хлорід	4,5	30	10^{12}	400	300…800	300	–
Гума	30…45	–	10^{13}…10^{14}	–	500…2000	–	–

Полістирол виробляється з рідкого стиролу, вихідною сировиною для якого є нафта або кам'яне вугілля. Полістирол прозорий, гнучкий, негігроскопічний матеріал. З нього виготовляються стрічки товщиною 0,045 мм і шириною 10…12 мм, кордели, диски (шайби) і ковпачки. Достоїнства полістиролу − негігроскопичність і високі електричні властивості в широкому діапазоні частот; недоліки − порівняно невисока теплостійкість (65…80° С).

Полістирол застосовується для ізоляції жил магістральних кабелів.

Кабельний папір виготовляється із сульфатної целюлози у вигляді стрічок. Для кабелів місцевих мереж товщина стрічок 0,05 й 0,08 мм, для кабелів зонових і магістральних мереж − 0,12 й 0,17 мм. Крім стрічок виготовляється паперовий кордель (нитка, скручена з кабельного паперу) діаметром 0,4; 0,5; 0,6; 0,76 й 0,85 мм.

Для забезпечення нумерації жил кабелю при монтажі стрічки офарблюються в різні кольори, одна зі стрічок у групі залишається незабарвленою.

Достоїнства кабельного паперу − дешевина й не дефіцитність; недоліки − висока гігроскопічність і знижені в порівнянні з полімерними матеріалами електричні властивості.

Кабельний папір застосовується для виготовлення ізоляції жил кабелів місцевої, зонової й магістральної мереж.

Полівінілхлорид виготовляється з полівінілхлоридної смоли (продукт переробки газу етану), з'єднаної з наповнювачами, стабілізаторами й пластифікаторами. Основні достоїнства полівінілхлориду − висока вологостійкість, гарні механічні властивості й стійкість проти впливу лугів і кислот; основні недоліки − схильність інтенсивному старінню під впливом сонячних променів і температури, а також низькі електричні характеристики.

Полівінілхлорид застосовується для ізоляції жил деяких легких польових кабелів і для виготовлення захисних оболонок польових і постійних кабелів.

Гума раніше широко застосовувалася для ізоляції жил польових кабелів. Через погані електричні властивості й слабку вологостійкість гума майже у всіх типах кабелів замінена пластмасою.

При виборі способу накладення ізоляції на жилу кабелю враховують, що за електричними властивостями кращим діелектриком є повітря ($\varepsilon \to 1$, $\rho \to \infty$, $\operatorname{tg}\delta \to 0$). Тому в постійних кабелях часто ізоляцію жил роблять комбінованою, що складається із щільного діелектрика й повітря, при цьому прагнуть до того, щоб кількість щільного діелектрика була мінімальною при заданій механічній стійкості кабелю.

Основним критерієм для оцінки комбінованої ізоляції є величини її еквівалентної діелектричної проникності (ε_e) і тангенса кута діелектричних втрат ($\operatorname{tg}\delta_e$). Однак при цьому необхідно пам'ятати, що збільшення повітряних включень зменшує пробивну міцність ізоляції.

Залежно від вимог до фізичних властивостей ізоляції й умов, у яких буде експлуатуватися кабель, застосовують наступні конструкції ізоляції жил кабелів:

– трубчаста, виконана з паперової або пластмасової стрічки, що накладається спірально на жилу у виді трубки (рис. 2.4, а);

– кордельна, що складається з нитки корделю, накладеної на жилу спірально із кроком 5 − 10 мм, і стрічки, що накладається поверх корделю (рис. 2.4, б);

– суцільна, виконана із суцільного рівномірного шару пластмаси (рис. 2.4, в);

– пориста, утворена рівномірним шаром пористої паперової маси або пористої пластмаси (рис. 2.4, г);

– балонна, що представляє собою тонкостінну трубку, періодично обтиснуту в крапках або по спіралі так, щоб жила виявилася на осі трубки (рис. 2.4, д, е);

– шайбова, виконана шляхом насадки на жилу через рівні проміжки шайб із твердого діелектрика (рис. 2.4, ж).

Найбільше поширення в цей час одержали:

– для легких польових кабелів − суцільна полівінілхлоридна й поліетиленова ізоляція;

– для польових кабелів дальнього зв’язку − суцільна поліетиленова ізоляція;

– для постійних кабелів місцевих мереж − повітряно−паперова (трубчаста й пориста) і суцільна поліетиленова ізоляція;

– для постійних симетричних кабелів зонових і магістральних мереж – кордельно-паперова, кордельно-полістирольна й суцільна поліетиленова ізоляція;

– для коаксіальних кабелів магістральної мережі − шайбова або балонна поліетиленова ізоляція;

– для морських кабелів і коаксіальних кабелів зонової мережі − суцільна поліетиленова ізоляція.

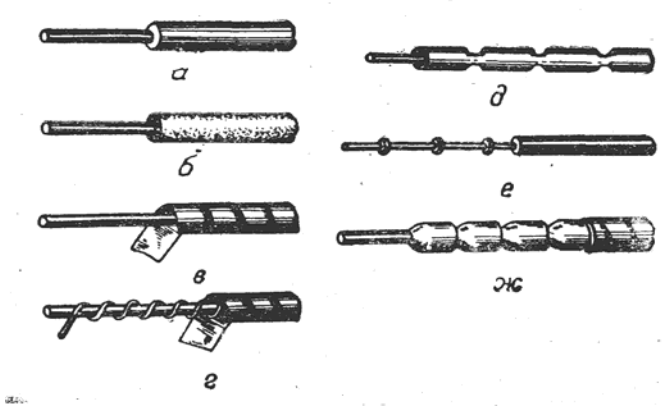


Рисунок 2.4 – Конструкція ізоляції жил кабелів:
а − суцільна; *б* − пориста; *в* − трубчаста; *г* − кордельна;
балонна; *е* − шайбова.

2.4 Утворення груп у симетричних кабелях

Для зменшення взаємних впливів між ланцюгами й зменшення впливу зовнішніх завад ізольовані жили симетричних кабелів скручуються в групи (пари, четвірки). Крім того, скрутка полегшує взаємне переміщення груп кабелю при його вигинах і розпізнавання жил і пар при монтажі кабелю. Існує кілька способів скрутки жил у групи.

Парна скрутка. Дві ізольовані жили скручуються, разом у парі, із кроком скрутки до 300 мм (рис. 2.5, *а*).

Зоряна скрутка. Чотири ізольованих жили, розташовані по кутах квадрата, скручуються разом із загальним кроком до 300 мм (рис. 2.5, б). Ланцюги в скрутці утворяться із протилежних жил четвірки.

Подвійна парна скрутка. Дві попередньо звиті пари скручують між собою в четвірку (рис. 2.5, *в*). Кроки скрутки пари приймаються рівними в межах 400…800 мм, а крок скрутки четвірки − до 300 мм. Напрямок скрутки пар й четвірки протилежні.

а *б* *в*

Рисунок 2.5 – Способи скрутки жил у групі:
а − парна; *б* − зоряна; *в* − подвійна парна

Жили в групах відрізняються за кольором ізоляції, кожна група обвивається спірально кольоровим нитковим пасмом.

При скрутці елементи кабелю з повітряно-паперовою ізоляцією трохи деформуються, ізоляція обжимається й групи трохи западають одна на одну. Тому крім діаметра описаної навколо групи кіл (розрахунковий діаметр) уведене поняття ефективного діаметра групи. Для діаметра ізольованої жили d_1 значення розрахункового й ефективного діаметрів груп наведені в табл. 2.3.

Таблиця 2.3 – Значення розрахункового й ефективного діаметрів груп

Скрутка	Розрахунковий діаметр	Ефективний діаметр
Парна	1,71 d_1	1,65 d_1
Зоряна	2,41 d_1	2,2 d_1,
Подвійна парна	2,72 d_1	2,6 d_1

Найбільш проста й зручна у виробництві з розглянутих скруток парна. Крім того, при парній скрутці взаємні впливи між ланцюгами менші, ніж при зоряній. Однак зоряна скрутка є найбільш економічною −

вона забезпечує найменший діаметр кабелю при однаковій кількості ланцюгів.

Парна скрутка застосовується переважно в кабелях місцевих мереж, а також у легких польових і внутрішньовузлових кабелях зв'язку. Економічність зоряної скрутки обумовила її широке застосування в сучасних постійних і польових кабелях різного призначення.

Подвійна парна скрутка застосовувалася в деяких типах низькочастотних кабелів, що раніше випускалися.

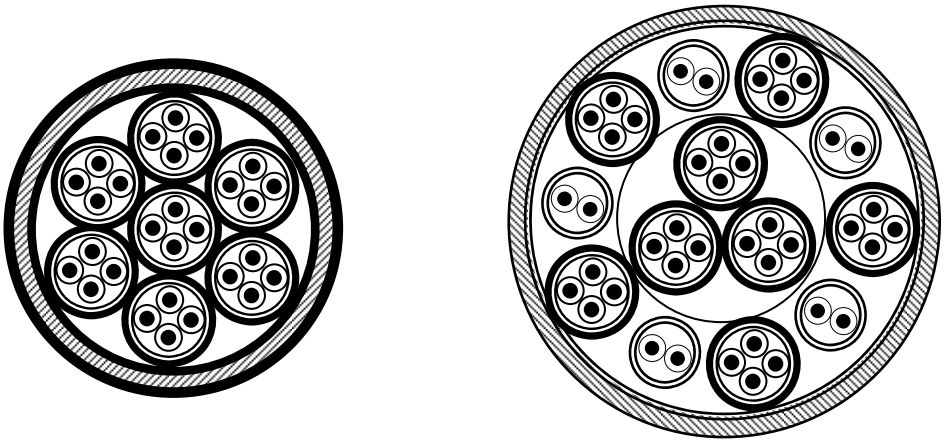
2.5 Утворення кабельного осердя

Скручені групи систематизують у певному порядку й поєднують у загальний кабельне осердя. Залежно від компонування осердя розрізняють наступні різновиди кабельної скрутки:

– однорідна (рис. 2.6, а), коли всі утворюючі осердя групи однотипні й однакового діаметра;

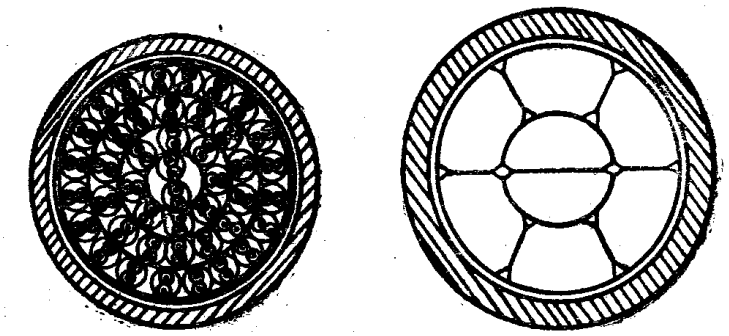
– неоднорідна (рис. 2.6, б), коли групи, що утворюють осердя, не однотипні або однотипні, але різного діаметра.

Залежно від характеру осердя розрізняють повивну (рис. 2.7, *а*) і пучкову (рис. 2.7, *б*) скрутки кабельного осердя. При повивній скрутці групи розташовуються концентричними шарами (повивами) навколо центрального повиву, що містить від однієї до п'яти груп. Поруч розташовані повиви з метою зменшення взаємних впливів і додання кабельному осердю великої механічної стійкості скручуються в протилежні сторони.



а *б*

Рисунок 2.6 – Кабельні скрутки:
а − однорідна; *б* − неоднорідна



а б

Рисунок 2.7 – Скрутки кабельного осердя:
а − повивна; б − пучкова

Кількість груп кожного наступного повиву в кабелях однорідної скрутки більше, ніж у попередньому повиві, на шість груп. Виключенням із цього правила є другий повив у випадку, коли в першому (центральному) повиві є одна група. У цьому випадку збільшення кількості груп буде не на шість, а на п’ять.

Тому що групи в кабельному осерді укладаються по гвинтовій лінії, відбувається збільшення довжини жил у порівнянні з довжиною кабелю. Це збільшення залежить від діаметра розглянутого осердя й кроку скрутки, оцінюється воно коефіцієнтом укрутки (відношення довжини жили до довжини кабелю). Коефіцієнт укрутки залежно від кроку скрутки й діаметра повиву становить від 1,002 до 1,07.

При пучковій скрутці групи спочатку скручуються в пучки з декількох десятків груп, а потім пучки скручуються разом, утворюючі кабельне осердя. Розрізняють елементарні (10 пар) і головні (50 й 100 пар) пучки. Кабельні осердя до 100 пар включно звиваються з елементарних пучків, понад 100 пар − з головних пучків, які звиваються з елементарних. Пучкова скрутка знайшла застосування тільки в кабелях міських телефонних мереж.

Для збільшення електричної міцності кабелю й захисту кабельного осердя від ушкоджень при накладенні захисної оболонки поверх кабельного осердя накладається поясна ізоляція з декількох шарів паперової стрічки, а у кабелів з поліетиленовою ізоляцією − із пластмасової стрічки. Крім того, для стабілізації електричних параметрів ланцюгів кабелю та їхнього захисту від зовнішніх впливів у кабелях з полімерною оболонкою накладається екран (паперові або пластмасові металізовані стрічки).

2.6. Захисні покриви

Для захисту кабельного осердя від вологи й механічних ушкоджень його розміщують у захисні оболонки. Вологозахисні оболонки

виготовляються металеві, пластмасові й металопласмасові. До металевих оболонок відносяться: свинцеві; алюмінієві; сталеві.

Свинцеві оболонки накладають на кабель методом опресування в гарячому виді, виготовляють із легованого свинцю із присадкою 0,4…0,8 % сурми (для підвищення міцності й вібростійкості). Товщина свинцевих оболонок при діаметрах кабельного осердя від 10 до 47 мм становить відповідно від 1,15 до 2,6 мм.

Алюмінієві оболонки випресовують у гарячому виді, або накладають на кабельне осердя у холодному стані алюмінієві стрічки з наступним зварюванням поздовжнього шва струмами високої частоти або тиском. При більших діаметрах кабельного осердя (понад 20…30 мм) застосовують алюмінієві оболонки гофрованої конструкції. Завдяки високій міцності алюмінію оболонки виготовляють тонші свинцевих (1,1…1,7 мм). Крім того, питома вага алюмінію менша питомої ваги свинцю. Тому алюмінієва оболонка виявляється приблизно в шість разів легше свинцевої. Алюмінієва оболонка внаслідок кращої електропровідності забезпечує більш високу захищеність ланцюгів кабелю від зовнішніх електромагнітних полів і кращий захист від ударів блискавок. Вище перераховані переваги, а також не дефіцитність алюмінію визначили широке застосування його в теперішній час для виготовлення вологозахисних оболонок. Однак алюмінієві оболонки в порівнянні зі свинцевими більше піддані електрохімічній корозії, тому їх захищають поліетиленовим шлангом товщиною 2,5 мм із попередньо накладеним шаром бітуму.

У кабелях зв’язку, прокладених на ділянках зближення з ЛЕП й коліями електрозалізниці змінного струму, можуть застосовуватися алюмінієво-свинцеві оболонки.

Сталеві оболонки виготовляють зі згорнутих у трубку сталевих стрічок товщиною 0,3…0,5 мм із наступним зварюванням поздовжнього шва. Для підвищення гнучкості сталеві оболонки піддають гофруванню. Захист їх від корозії подібний до захисту алюмінієвих оболонок.

Пластмасові оболонки найчастіше виготовляють із поліетилену низького тиску або полівінілхлориду. Вони надають кабелю легкість, гнучкість і вібростійкість. Однак через пластмасу поступово дифундують водяні пари, що приводить до падіння опору ізоляції кабелю. Із цієї причини пластмасові оболонки застосовують, головним чином, для кабелів з негігроскопічною суцільною пластмасовою ізоляцією. Товщина пластмасових оболонок при діаметрах кабелю від 4 до 50 мм становить відповідно від 0,6 до 4 мм.

Вологозахисні оболонки цілком забезпечують механічний захист кабелів при прокладці їх у кабельній каналізації, по стінах будинків і повітряній підвісці. Кабелі, що прокладають, безпосередньо, в землі або через водні перешкоди, покриваються додатковими броньовими покривами. Залежно від механічних впливів на кабель у процесі

прокладки й експлуатації застосовуються три різновиди броньових покривів:

– дві сталеві стрічки товщиною 0,3…0,8 мм (прокладка кабелю в землі, рис. 2.8, *а*);

– повив із круглих сталевих дротів діаметром 4…6 мм (підводні кабелі, рис. 2.8, *б*);

– сталева гофрована оболонка.

Сталеві стрічки накладаються по спіралі з 25 % перекриттям.

Для збереження вологозахисної оболонки в процесі накладення броні на оболонку накладається подушка, що виконується із пластмасових стрічок, у вигляді пластмасового шланга, а також із просоченого бітумом кабельного паперу й склотканини.

Броня покривається зовні протикорозійним компаундом (гола броня), або обмоткою із просоченого бітумним складом джуту, або пластмасовим шлангом.

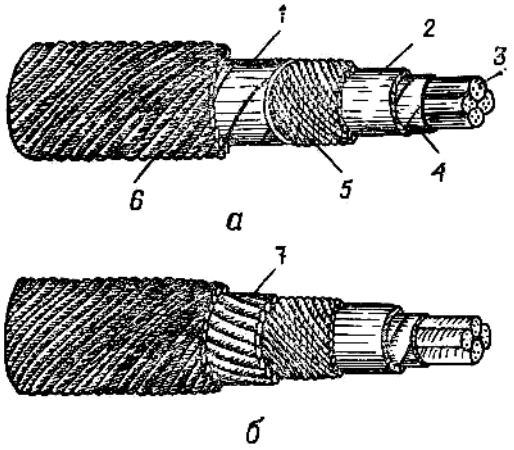


Рисунок 2.8 – Броньові покрови кабелів:
1 – броня з стальних стрічок; 2 – оболонка; 3 – кабельне осердя; 4 – поясна ізоляція; 5 – подушка; 6 – захисний покров;
7 – броня з круглих дротів

Польові кабелі дальнього зв’язку й деяких внутрішньовузлових кабелів для забезпечення механічної міцності мають під пластмасовою оболонкою каркасну обплетення з 16 або 24 сталевих дротів діаметром 0,25…0,3 мм. Деякі польові внутрішньовузлові кабелі мають у центрі кабельного осердя сталевий ізольований трос.

2.7 Кабельне устаткування

При монтажі кабелів і устрої їх вводів у станційні спорудження застосовують різноманітне кабельне обладнання.

При зрощуванні будівельних довжин кабелів зі свинцевою оболонкою використовуються свинцеві з’єднувальні муфти МС безшовні

(рис. 2.9, *а*), з поздовжнім швом (рис. 2.9, *б*) і з поперечним швом. При зрощуванні будівельних довжин кабелів із пластмасовою оболонкою використовуються пластмасові сполучні муфти СП (рис. 2.9, *в*). Для захисту сполучення, покладеного в ґрунт, застосовуються чавунні муфти (МЧ). Для обмеження струму, що виникає в металевих оболонках кабелю, установлюються ізолюючі муфти, які можуть бути газопроникні (МИС) і газонепроникні (ГМСИ). Газонепроникні ізолюючі муфти встановлюються на кінцях магістральних кабелів при уведенні їх у підсилювальні пункти, а також на кінцях кабельних вставок у повітряні лінії зв'язку. Газопроникні ізолюючі муфти встановлюються при організації захисту кабелів від електрокорозії.

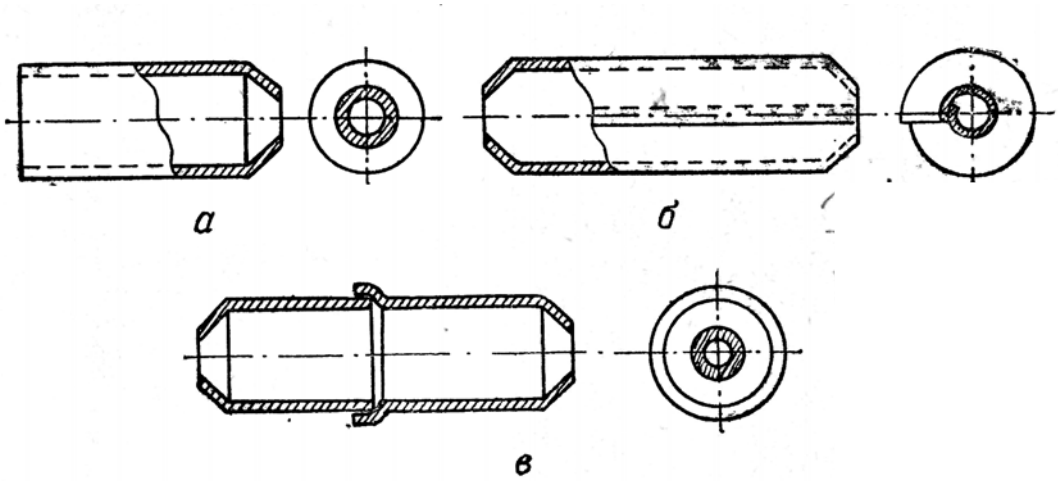


Рисунок 2.9 – З'єднувальні муфти:
а – повздовжні безшовні; *б* – свинцеві з повздовжнім швом; *в* – пластмасові

При розгалуженні кабелів на кілька напрямків застосовуються свинцеві розподільчі муфти МСР і поліетиленові розподільчі муфти РП (рис 2.10). Кінці кабелю обробляються в спеціальних кінцевих пристроях, які залежно від призначення, конструкції й місця установки можуть являти собою смуги лінійного захисту, бокси, кабельні ящики або розподільні коробки.

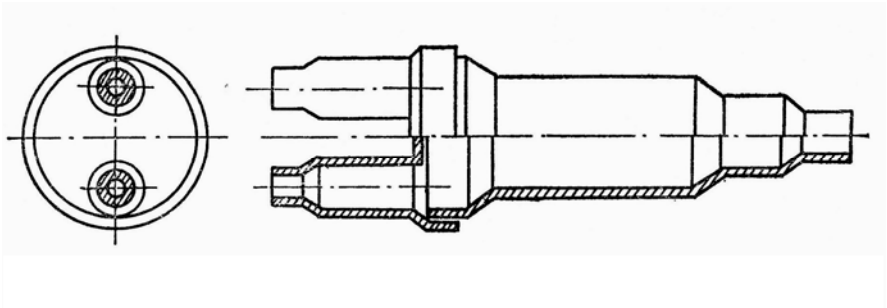


Рисунок 2.10 – Розподільча поліетиленова муфта

Кінці кабелів місцевих телефонних мереж на телефонних станціях підводять до встановлюваного в кросах смуг лінійного захисту (на 100 або 50 ланцюгів), де в кожний провід ланцюга включаються плавкий запобіжник (термічна котушка) і вугільний розрядник.

Застосовувані на міських телефонних мережах бокси БКТ установлюються, як правило, у розподільних шафах ШР. Шафи можуть бути ємністю на 150, 300, 600 й 1200 пар. Бокс міського типу БКТ складається з металевого корпуса із трубкою для уведення кабелю, на якому закріплені порцелянові або пластмасові 10-парні плінти; ємність таких боксів 100, 50, 30 й 20 пар. Ланцюги кабелю розпаюються на штифти-пір'я (з тильної сторони плінта), а з'єднання пар різних кабелів здійснюється гнучкими перемичками (кросування) між затисками (гвинтами) плінтів.

Для переходів з розподільчих кабелів місцевих телефонних мереж на абонентські кабелі використовують розподільчі коробки КР, установлені на стінах будинків. При з'єднанні кабелю із дротами повітряних ліній зв'язку застосовуються кабельні ящики, установлювані на стовпах. Для місцевих мереж виготовляються кабельні ящики ЯКГ ємністю 10×2 й 20×2, а для магістральних і внутрізонових мереж − кабельні ящики міжміського типу ЯКМ ємністю 4×4, 6×4, 8×4 й 10×4. Усередині ящика встановлюється бокс із укріпленими на ньому порцеляновими або пластмасовими плинтами, на яких монтуються запобіжники й розрядники. У кабельних ящиках можуть бути встановлені пристрої узгодження.

Бокси міжміського типу БМ складаються з металевого корпуса й пластмасових плінтів. Плінти бувають низькочастотні десятипарні ПН-10 й екрановані шестипарні ПЭ-6, і залежно від них розрізняють низькочастотні і екрановані бокси. На плінтах боксів змонтовані ряди контактних штифтів, що мають на лицьовій стороні гнізда для сполучних дужок. Крайній ряд гнізд має визначені місця (пір'я) для підключення внутрістанційних ланцюгів. На тильній стороні плінта контактні штифти закінчуються трубочками, що служать для підпайки кабельних жил.

Контрольні питання до розділу 2

1. Надати визначення кабелів зв'язку та навести їх класифікацію.
2. Описати конструкцію кабельних жил.
3. Охарактеризувати матеріали ізоляції жил кабелів.
4. Навести способи утворення груп у симетричних кабелях.
5. Охарактеризувати кабельне обладнання для монтажу кабелів і устрою їхніх вводів у станційні спорудження.

РОЗДІЛ 3. ЕЛЕКТРИЧНІ ПАРАМЕТРИ ЛАНЦЮГІВ ЛІНІЙ ЗВ'ЯЗКУ

Електричні властивості ланцюгів ліній зв'язку характеризуються параметрами передачі й параметрами впливу. Параметри передачі визначають умови поширення електричних сигналів по ланцюгах ліній зв'язку, а параметри впливу − ступінь взаємного впливу між ними.

До первинних параметрів передачі ланцюгів ліній зв'язку відносяться їхній активний опір *R*, індуктивність *L*, електрична ємність *C* і провідність ізоляції *G*.

До вторинних (хвильових) параметрів передачі відноситься коефіцієнт поширення ланцюгів $\gamma = \alpha + j\beta$, де α − коефіцієнт загасання й β − коефіцієнт фази, їхній хвильовий опір $Z_{хв}$.

Вторинні параметри передачі визначаються через первинні параметри. Тому в даній главі спочатку розглядаються первинні, а потім вторинні параметри ланцюгів різних типів ліній й їхньої залежності від частоти й інших факторів.

Параметри передачі прийнято відносити до одиниці довжини лінії, за яку приймається 1 км.

3.1 Електричний опір ланцюгів постійного струму

Як відомо, електричний опір ланцюга постійного струму дорівнює:

$$R_0 = \rho \frac{l}{S}.$$

Звідси, підставляючи площу перетину дроту $S = \pi d_0^2 / 4$ і його довжину на 1 км ланцюга l = 2000 м, одержуємо R_0 в Ом/км:

$$R_0 = \rho \frac{2550}{d_0^2}, \qquad (3.1)$$

де ρ − питомий опір матеріалу дроту, Оммм^2/м; d_0− діаметр дроту ланцюга, мм.

Формулою (3.1) можна користуватися для розрахунку опору ланцюгів повітряних ліній зв'язку. У випадку кабельних ланцюгів необхідно враховувати коефіцієнт їх укрутки χ. Тоді формула для визначення електричного опору постійного струму ланцюгів кабельних ліній в Ом/км буде

$$R_0 = \rho \frac{2550}{d_0^2} \chi \quad , \tag{3.2}$$

або для кабелів з мідними жилами (ρ = 0,0175 Оммм^2/м):

$$R_0 = \rho \frac{44{,}6}{d_0^2} \chi \quad . \tag{3.3}$$

Опір постійного струму ланцюгів польових кабелів дальнього зв'язку, жили яких звиваються з декількох мідних дротів, визначається за формулою:

$$R_0 = \rho \frac{44{,}6}{\delta^2 n} \chi_{ж} \chi \quad , \tag{3.4}$$

де δ− діаметр дротів, що становлять жилу, мм; n − число дротів у жилі; $\chi_ж$ − середній коефіцієнт укрутки дроту в жилу; $\chi_ж$ = 1,04.

Якщо дроти ланцюгів є неоднорідними, як, наприклад, біметалеві дроти або жили легких польових кабелів, то їхній електричний опір постійному струму визначається як паралельне з'єднання опорів:

$$R_0 = \frac{R_{01} R_{02}}{R_{01} + R_{02}} ,$$

де R_{01} − опір постійному струму частини дроту з одного матеріалу; R_{02} − те ж, з іншого матеріалу.

3.2 Активний опір ланцюгів ліній зв'язку

При передачі по ланцюгах ліній зв'язку змінного струму варто мати на увазі частотну залежність їхнього активного опору й внутрішньої індуктивності. Це обумовлено дією поверхневого ефекту, а на кабельних лініях, крім того, дією ефекту близькості й наявністю додаткових втрат у жилах інших ланцюгів й в оболонці кабелів. Внаслідок цих причин активний опір ланцюгів з ростом частоти збільшується, а їхня внутрішня індуктивність зменшується.

Поверхневий ефект, як відомо, полягає в тому, що при передачі по дротах змінного струму відбувається перерозподіл щільності струму по їхньому перетині: щільність струму в центрі дроту стає меншим, ніж на його поверхні. З ростом частоти перерозподіл щільності струму по перетині дроту проявляється більшою мірою й при досить високих частотах, можна вважати, що практично весь струм протікає тільки в

тонкому шарі, що прилягає до поверхні дроту. Таким чином, внаслідок прояву поверхневого ефекту зменшується корисна площа перетину дроту, що веде до збільшення його активного опору.

Глибина проникнення змінного струму в дроті дорівнює:

$$\Theta = \frac{\sqrt{2}}{k} = \sqrt{\frac{2}{\omega \mu_a \sigma}}, \qquad (3.5)$$

де k − коефіцієнт вихрових струмів; ω − частота сигналу; μ_a − абсолютна магнітна проникність; σ − питома проводимість.

З виразу (3.5) видно, що з ростом частоти глибина проникнення зменшується, тобто більш різко проявляється поверхневий ефект і збільшується величина активного опору. Крім того, з виразу (3.5) виходить, що при одній і тій же частоті поверхневий ефект проявляється сильніше в дротах з більшою магнітною проникністю й кращою провідністю. Отже, у сталевих дротах, що володіють більшою магнітною проникністю, чим мідні, дія поверхневого ефекту буде позначатися сильніше й активний опір сталевих дротів з ростом частоти буде зростати більшою мірою, чим у мідних. У свою чергу в мідних дротах, що мають кращу провідність, поверхневий ефект проявляється сильніше, ніж в алюмінієвих.

Глибина проникнення струму, як видно з виразу (3.5), не залежить від діаметра дроту, а це означає, що поверхневий ефект проявляється більшою мірою у дротів з більшим діаметром. Дійсно, якщо радіус дроту малий і співрозмірний із глибиною проникнення, то в такому дроті дію поверхневого ефекту, практично, можна не враховувати, і, навпаки, коли радіус дроту великий у порівнянні із глибиною проникнення, поверхневий ефект проявляється сильно. Отже, у дротів з більшим діаметром з ростом частоти активний опір буде зростати більшою мірою, чим у дротів з малим діаметром. Виходячи із цього, у деяких випадках для зменшення активних втрат при високих частотах застосовують *литцендрат* − провід, скручений з великої кількості ізольованих дротів незначного діаметра. Цим же пояснюється й застосування у ВЧ симетричних кабелях жил діаметром 1,2 мм, тому що при подальшому збільшенні діаметра виграш у величині активного опору не виправдує зростання затрат міді.

Ефект близькості викликається взаємодією зовнішніх полів дротів ланцюга. При проходженні змінного струму по дротах ланцюга магнітне поле одного із дротів, перетинаючи інший провід, наводить у ньому вихрові струми (рис. 3.1). При взаємно протилежних напрямках струму в дротах ланцюга вихрові струми $I_{вт}$ змінюють щільність основного струму так, що найбільша її величина буде на поверхні дротів, які обернені друг

до друга. Таким чином, розподіл щільності струму по перетині дроту стає несиметричним щодо його осі й веде до збільшення активного опору.

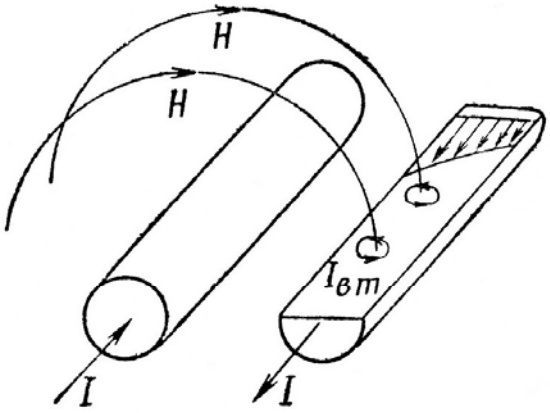


Рисунок 3.1 – Ефект близькості

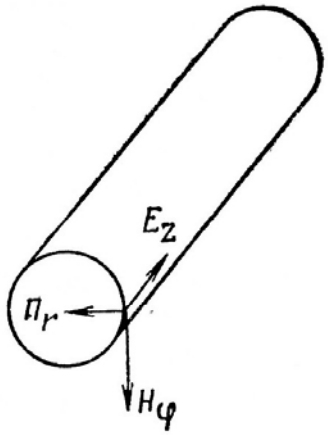


Рисунок 3.2 – Електромагнітне поле всередені дроту

Ступінь прояву ефекту близькості залежить від частоти, магнітної проникності й діаметра дротів, а також від відстані між дротами ланцюга. Чим менше відстань між дротами ланцюга, тим сильніше дія ефекту близькості. Тому дію ефекту близькості враховують тільки на кабельних лініях, а на повітряних лініях, де дроти ланцюгів розташовані на порівняно великій відстані одна від одної, ним можна знехтувати.

У кабелях зв'язку, крім того, виникають додаткові втрати на вихрові струми $I_{вт}$, що находяться у жилах інших ланцюгів й у металевих оболонках. Ці додаткові втрати прийнято враховувати як збільшення активного опору ланцюгів кабелю.

З теорії електромагнітного поля відомо, що енергія, яка передається по ланцюзі поширюється в діелектрику між дротами ланцюга. При цьому частина енергії проникає усередину дротів і втрачається в них на нагрівання.

Щільність потоку електромагнітної енергії через одиницю поверхні й напрямок її поширення визначаються вектором Пойнтінга [*EH*].

У дроті з кінцевою провідністю вектор напруженості електричного поля збігається з напрямком струму, тобто він спрямований по осі дроту, і існує тільки тангенціальна складова вектора напруженості електричного поля. Якщо застосувати циліндричну систему координат і вісь *z* сполучити з віссю дроту, то усередині дроту будуть мати місце тільки E_z й H_φ (рис. 3.2). Отже, вектор Пойнтинга усередині дроту спрямований по його радіусі, тобто дійсно поширення електромагнітної енергії усередині дротів уздовж ланцюга не відбувається.

Потужність потоку електромагнітної енергії, що надходить у дроті через поверхню одиниці його довжини, дорівнює інтегралу по поверхні дроту від вектора Пойнтинга:

$$P = \int_s \left[\overline{E}\,\overline{H}\right] d\overline{s}.$$

В циліндричній системі координат

$$P = \int_0^{2\pi} E_z H_\varphi^* r_0 d\varphi,$$

інакше

$$P = I^2 Z.$$

Із двох останніх виразів видно, що повний внутрішній опір проведення дорівнює

$$Z = R' + j\omega L_i' = \frac{1}{I^2}\int_0^{2\pi} E_z H_\varphi^* r_0 d\varphi, \qquad (3.6)$$

де R' й L'_i − відповідно активний опір і внутрішня індуктивність одного дроту ланцюга; r_0 − радіус дроту.

Таким чином, вираз (3.6) дозволяє визначити величину активного опору й внутрішньої індуктивності дроту, а також ланцюга. Для цього необхідно підставити значення E_z і H_φ на поверхні дроту.

Значення E_z і H_φ на поверхні дроту, що входять у вираз (3.6), визначаються з основних рівнянь електромагнітного поля, які для області усередині дроту при гармонійній зміні поля мають вигляд:

$$\left.\begin{aligned} rot\overline{H} &= \sigma\overline{E}; \\ rot\overline{E} &= -j\omega\mu_a\overline{H} \end{aligned}\right\}. \qquad (3.7)$$

Подальший розгляд проводиться окремо для повітряних ліній, симетричних кабелів і коаксіальних кабелів, що пояснюється особливостями їхньої конструкції.

На повітряних лініях, як ми вже відзначали, через значну відстань між дротами ланцюгів нехтують ефектом близькості й ураховують тільки

дію поверхневого ефекту. У цьому випадку кожен провід ланцюга можна розглядати як поодинокий провід й активний опір ланцюга визначати як суму опорів двох дротів.

Враховуючи це, формула для визначення активного опору ланцюгів повітряних ліній зв'язку матиме вид:

$$R = R_0\left[1 + F(x)\right] \tag{3.8}$$

де R_0 − опір дводротового ланцюга постійному струму, який визначається за формулою (3.1); $F(x)$ − функція, що враховує частотну залежність опору внаслідок дії поверхневого ефекту.

Для практичних розрахунків активного опору ланцюгів повітряних ліній зв'язку значення функції $F(x)$ наведені в табл. 3.1 залежно від свого аргументу:

$$x = 0{,}0709\sqrt{f_\mu / R_0} = 0{,}0014 d_0 \sqrt{f_\mu / \rho} \tag{3.9}$$

де R_0 − опір ланцюга постійному струму, Ом/км; f − розрахункова частота, Гц; d_0 − діаметр дротів ланцюга, мм; ρ − питомий опір матеріалу дротів ланцюга, Оммм^2/м; μ − магнітна проникність матеріалу дроту ланцюга.

Поряд з однорідними дротами, які розглядалися дотепер, на повітряних лініях застосовуються біметалеві дроти. Формула для визначення активного опору біметалевих ланцюгів матиме вид (в Ом/км):

$$R_{бм} = R_0 q k',$$

де R_0 − опір постійному струму ланцюга із суцільних мідних або алюмінієвих дротів діаметром, рівним діаметру біметалевого дроту; k' − коефіцієнт, що враховує частотну залежність опору внаслідок дії поверхневого ефекту; $q = d_0/d_1$ (d_0 − діаметр біметалевого дроту, d_1 − діаметр сталевого осердя).

Значення коефіцієнта k', наведені в табл. 3.2 залежно від q і величини y, що для сталевомідних дротів визначається за формулою

$$y = 2{,}124\frac{d_1}{2}\sqrt{\frac{f}{10^4}},$$

де f − частота, Гц.

При сталевоалюмінюєвих дротах у дану формулу замість коефіцієнта 2,124 необхідно підставляти 1,672.

Таблиця 3.1 – Параметри для розрахунків активного опору ланцюгів повітряних ліній зв'язку

x	$F(x)$	$G(x)$	$H(x)$	$Q(x)$
0	0	0	0,0417	1
0,5	0,000326	0,000975	0,042	0,9998
1,0	0,00519	0,01519	0,053	0,997
1,5	0,0258	0,0691	0,092	0,987
2,0	0,0782	0,1724	0,169	0,961
2,5	0,1756	0,295	0,263	0,913
3,0	0,318	0,405	0,348	0,845
3,5	0,492	0,499	0,416	0,766
4,0	0,678	0,584	0,466	0,686
5,0	1,042	0,755	0,530	0,556
7,0	1,743	1,109	0,596	0,4
10,0	2,799	1,641	0,643	0,282
>10,0	$\frac{\sqrt{2}x-3}{4}$	$\frac{\sqrt{2}x-1}{4}$	0,750	$\frac{2\sqrt{2}}{x}$

Таблиця 3.2 – Значення коефіцієнту, що враховує частотну залежність опору внаслідок дії поверхневого ефекту

y	Значення k' і k'' при різних q									
	1,05		1,10		1,20		1,25		1,30	
	k'	k''	k'	k''	k'	k''	k'	k''	k'	k''
0	4,36	66,92	2,97	45,95	1,76	27,77	1,45	23,21	1,22	19,64
0,5	4,77	32,98	3,07	13,25	1,84	4,87	1,48	2,45	1,24	1,32
1,0	6,89	13,75	3,68	4,34	2,05	1,41	1,59	0,84	1,25	0,54
2,0	7,76	2,73	3,93	0,77	2,20	0,39	1,70	0,39	1,37	0,39
3,0	8,33	1,03	4,01	0,33	2,23	0,27	1,73	0,30	1,49	0,35
4,0	8,72	0,53	4,14	0,21	2,32	0,25	1,75	0,29	1,56	0,32
5,0	8,83	0,33	4,27	0,17	2,42	0,24	1,84	0,28	1,62	0,29
6,0	8,96	0,23	4,38	0,15	2,50	0,23	1,96	0,27	1,75	0,29
7,0	9,06	0,17	4,51	0,13	2,57	0,23	2,14	0,26	1,96	0,28
8,0	9,12	0,14	4,55	0,12	2,68	0,22	2,34	0,25	2,20	0,27
9,0	9,18	0,12	4,80	0,12	2,77	0,22	2,57	0,23	2,46	0,24
10,0	9,22	0,10	5,02	0,12	2,97	0,20	2,82	0,21	2,74	0,22
14,0	9,38	0,071	5,45	0,11	4,32	0,15	3,94	0,15	3,86	0,15
18,0	9,93	0,063	5,82	0,11	5,48	0,12	5,13	0,12	4,91	0,12

У **симетричних кабелях,** на відміну від повітряних ліній, через незначну відстань між дротами ланцюгів ураховують дію як поверхневого ефекту, так й ефекту близькості.

У результаті формула для визначення активного опору ланцюгів кабельних ліній матиме вид:

$$R = R_0\left[1 + F(x) + \frac{G(x)(d_0/a)^2}{1 - H(x)(d_0/a)^2}\right].$$

Тут коефіцієнт *F(x)* ураховує вплив поверхневого ефекту, а весь третій член − вплив ефекту близькості. Однак ця формула справедлива тільки для ланцюгів парної скрутки, тому що вона отримана за умови наявності лише двох дротів, тобто одного ланцюга. При четверичних скрутках (зоряна, подвійна парна), коли передача здійснюється по одному ланцюзі даної групи, виникають додаткові втрати на вихрові струми в дротах її другого ланцюга. Для обліку цих втрат вводиться експериментальний поправочний коефіцієнт *p* і формула для визначення активного опору кабельних ланцюгів в Ом/км прийме вид:

$$R = R_0\left[1 + F(x) + \frac{pG(x)(d_0/a)^2}{1 - H(x)(d_0/a)^2}\right], \qquad (3.10)$$

де R_0 − опір ланцюга постійному струму, Ом/км; d_0 − діаметр жил; *a* − відстань між центрами жил ланцюга; *F(x)* − функція, що враховує дію поверхневого ефекту; *G(x) і H(x)* − функції, що враховують дію ефекту близькості.

Значення поправочного коефіцієнта *p* приймається: для зоряної скрутки − основний ланцюг $p = 5$, штучна $p = 1{,}6$; для подвійної парної скрутки − основний ланцюг $p = 2{,}0$, штучна $p = 3{,}5$.

Значення коефіцієнтів *F(x), G(x)* і *H(x)* наведені в табл. 3.1 залежно від їхнього аргументу *x*, який визначається за формулою (3.9). Для кабелів з мідними жилами ($\mu = 1$, $\rho = 0{,}0175$ Оммм^2/м) формулу (3.9) прийнято записувати так:

$$x = 0{,}0105 d_0 \sqrt{f}, \qquad (3.11)$$

де d_0 − діаметр жили, мм; *f* − розрахункова частота, Гц.

У багатопарних кабелях при передачі по ланцюзі електромагнітної енергії виникають додаткові втрати на вихрові струми в жилах сусідніх груп. У металевій оболонці кабелю також виникають додаткові втрати на вихрові струми. Зазначені втрати враховують при частотах понад 30 кГц як збільшення активного опору ланцюга. При цьому використовують результати експериментальних досліджень, наведених у табл. 3.3 для частоти 200 кГц, де чисельник ставиться до свинцевої, а знаменник − до алюмінієвої оболонки. Перерахування для інших частот здійснюється за формулою:

$$\Delta R = (R_1 + R_2)\sqrt{\frac{f}{200000}}, \qquad (3.12)$$

де R_1 й R_2 − табличне значення опору, еквівалентного втратам відповідно в суміжних четвірках і металевій оболонці кабелю; f − частота, Гц.

Величину ΔR, отриману за формулою (3.12), необхідно додавати до величини опору, визначеною за формулою (3.10).

На рис. 3.3 наведені графіки частотної залежності активного опору ланцюгів кабелю з кордельно-полістирольною ізоляцією типу МКС (зоряна скрутка, d_0= 1,2 мм) і ланцюгів повітряної лінії (d_0 − 4 мм).

Таблиця 3.3

Число четвірок в кабелі	Додатковий опір ланцюга в Ом/км							
	основний				штучний			
	1-й повив	2-й повив	3-й повив	4-й повив	1-й повив	2-й повив	3-й повив	4-й повив
Створене суміжними четвірками								
1+6	8	7,5	–	–	1,2	1,2	–	–
1+6+12	8	7,5	7,5	–	1,2	1,2	1,2	–
1+6+12+18	8	7,5	7,5	7,5	1,2	1,2	1,2	1,2
Створене оболонкою								
1	22/8,1	–	–	–	5,7	–	–	–
1+6	1,5/0,6	5,5/2	–	–	0,5	1,7	–	–
1+6+12	0	0	1,0/0,4	–	0	0	0,7	–
1+6+12+18	0	0	0	1,0/0,4	0	0	0	0,5

Із графіків видно, що з ростом частоти, опір біметалевих ланцюгів наближається до опору мідних ланцюгів. Це викликано тим, що при високих частотах, внаслідок дії поверхневого ефекту, струм протікає майже повністю у мідному шарі біметалевих дротів. Опір сталевих ланцюгів різко зростає зі збільшенням частоти, тому що в сталевих дротах, що мають велику магнітну проникність, поверхневий ефект проявляється сильніше, ніж у мідних.

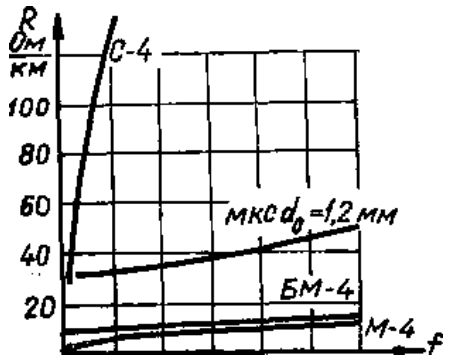


Рисунок 3.3 – Частотні залежності активного опору

Більш швидким збільшення опору кабельних ланцюгів, у порівнянні з мідними ланцюгами повітряних ліній, вважається те, що в кабелях крім поверхневого ефекту діє ефект близькості і є додаткові втрати в жилах інших ланцюгів і металевій оболонці кабелю.

3.3 Індуктивність ланцюгів ліній зв'язку

Індуктивність ланцюгів ліній зв'язку обумовлена магнітним потоком усередині дротів ланцюга й магнітним потоком між дротами ланцюга. Відповідно до цього індуктивність ланцюга прийнято представляти у вигляді суми двох індуктивностей:

$$L = L_i + L_e,$$

де L_i − внутрішня індуктивність, обумовлена магнітним потоком усередині дротів ланцюга; L_e − зовнішня індуктивність, обумовлена магнітним потоком між дротами ланцюга.

Формула для визначення внутрішньої індуктивності виводиться з виразу (3.6), і її прийнято записувати в наступному виді (у Гн/км):

$$L_i = \mu Q(x) \cdot 10^{-4}, \qquad (3.13)$$

де μ − магнітна проникність матеріалу дротів ланцюга; *Q(x)* − функція, що враховує частотну залежність внутрішній індуктивності внаслідок дії поверхневого ефекту.

Тому що ефект близькості досить незначно впливає на величину внутрішньої індуктивності, формула (3.13) є справедливою для знаходження внутрішньої індуктивності ланцюгів як повітряних, так і кабельних ліній зв'язку.

Чим вище частота, тим сильніше проявляється поверхневий ефект і зменшується при цьому магнітний потік усередині дротів ланцюга. Отже, з ростом частоти величина внутрішньої індуктивності ланцюга зменшується. У формулі (3.13) це враховується функцією *Q(x)*, значення якої наведені в табл. 3.1 залежно від свого аргументу *x*, обумовленого за формулами (3.9) і (3.11).

Магнітний потік між дротами для одиниці довжини ланцюга (рис. 3.4) визначається з наступного виразу:

$$\Phi = \int_{r_0}^{a-r} \mu_a \left(H_{\varphi 1} + H_{\varphi 2}\right) dx = \frac{\mu_a I}{2\pi} \int_{r_0}^{a-r_0} \left(\frac{1}{x} + \frac{1}{a-x}\right) dx = \frac{\mu_a I}{\pi} \ln \frac{a-r_0}{r_0}.$$

Відповідно до цього зовнішня індуктивність буде дорівнювати

$$L_{в} = \frac{\Phi}{I} = \frac{\mu_a}{\pi} \ln \frac{a - r_0}{r_0} .$$

Підставляючи сюди $r_0 = d_0/2$, $\mu_a = \mu 4\pi 10^{-4}$ Гн/км і враховуючи, що для діелектрика $\mu = 1$, одержуємо значення L_e у Гн/км:

$$L_e = 4 \ln \frac{2a - d_0}{d_0} \cdot 10^{-4} \qquad (3.14)$$

З формули (3.14) слідує, що зовнішня індуктивність ланцюга не залежить від частоти й визначається тільки її геометричними розмірами: чим більша відстань між дротами a й менший діаметр дротів d_0, тим більша зовнішня індуктивність ланцюга.

Таким чином, відповідно до виразів (3.13) і (3.14) загальна індуктивність ланцюгів кабельних ліній у Гн/км із обліком того, що для міді $\mu = 1$, буде:

$$L = \left[4 \ln \frac{2a - d_0}{d_0} + Q(x) \right] \chi \cdot 10^{-4} \qquad (3.15)$$

де χ − коефіцієнт укрутки.

Для ланцюгів повітряних ліній $2a < d_0$ і їхня загальна індуктивність дорівнюватиме:

$$L = \left[4 \ln \frac{2a}{d_0} + \mu Q(x) \right] \cdot 10^{-4} \qquad (3.16)$$

Загальна індуктивність біметалевих ланцюгів повітряних ліній у Гн/км визначається за формулою:

$$L = \left[4 \ln \frac{2a}{d_0} + k'' \right] \cdot 10^{-4} \qquad (3.17)$$

де k'' − коефіцієнт, що враховує частотну залежність внутрішньої індуктивності. Значення коефіцієнта k'' наведені в табл. 3.2.

На рис. 3.5 наведені графіки частотної залежності індуктивності ланцюгів повітряних ліній (траверсний профіль, d_0 = 4 мм) і ланцюгів кабелю з кордельно-полістирольною ізоляцією типу МКС (зоряна

скрутка, d_0=l,2 мм), з яких видно, що зі збільшенням частоти індуктивність ланцюгів зменшується.

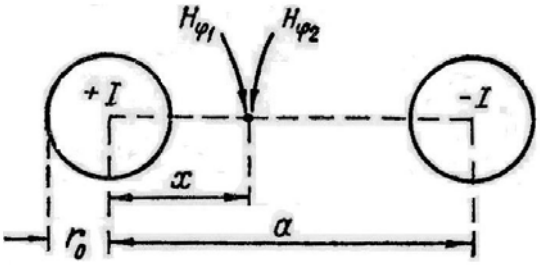


Рисунок 3.4 – Магнітне поле між дротами симетричного ланцюга

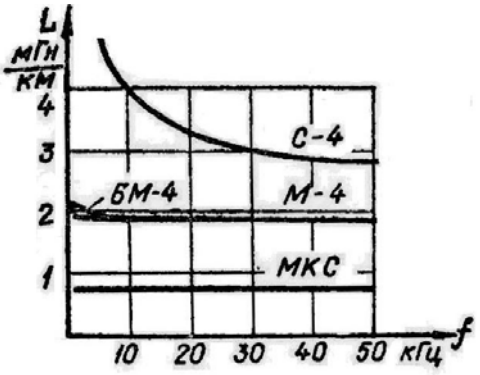


Рисунок 3.5– Частотні залежності індуктивності ланцюгів

Поясняються це тим, що з ростом частоти зменшується внутрішня індуктивність і при високих частотах індуктивність ланцюга стає практично рівною величині зовнішньої індуктивності. Частотна залежність індуктивності сталевих і біметалевих ланцюгів виражена більш різко, ніж у мідних ланцюгів повітряних ліній й у кабельних ланцюгів. Це викликано тим, що сталеві дроти, які мають більше магнітне проникнення, і біметалеві дроти завдяки наявності сталевого осердя мають більшу внутрішню індуктивність, що швидко зменшується зі зростанням частоти, тому що в сталі сильніше проявляється поверхневий ефект. Крім того, з рис. 3.5 слідує, що індуктивність ланцюгів повітряних ліній більша від індуктивності кабельних ланцюгів. Причиною цього є більша величина зовнішньої індуктивності ланцюгів повітряних ліній, обумовлена більшою відстанню між їхніми дротами в порівнянні з кабельними ланцюгами.

3.4 Електрична ємність ланцюгів ліній зв’язку

При визначенні електричної ємності ланцюгів повітряних ліній внаслідок порівняно великої відстані дротів один від одного й від землі, зневажають впливом сусідніх ланцюгів і землі. У цьому випадку можна вважати, що заряди рівномірно розподілені по поверхні дротів й ємність між дротами ланцюга дорівнює робочій ємності.

Електрична ємність ланцюга дорівнює відношенню заряду Q до напруги між дротами U:

$$C = \frac{Q}{U}. \qquad (3.18)$$

Відповідно до позначень рис. 3.6 напруга між дротами ланцюга виражається так:

$$U = \int_{r_0}^{a-r_0} (E_1 + E_2)dx \qquad (3.19)$$

Значення напруг електричного поля E_1 й E_2 у точці x (рис. 3.6) відповідно до теореми Гаусса будуть рівні:

$$E_1 = \frac{Q}{2\pi x \varepsilon_a};\ E_2 = \frac{Q}{2\pi(a-x)\varepsilon_a}\cdot$$

З урахуванням цього з виразу (3.19) знаходимо:

$$U = \frac{Q}{2\pi\varepsilon_a}\int_{r_0}^{a-r_0}\left(\frac{1}{x}+\frac{1}{a-x}\right)dx = \frac{Q}{\pi\varepsilon_a}\ln\frac{a-r_0}{r_0}\ .$$

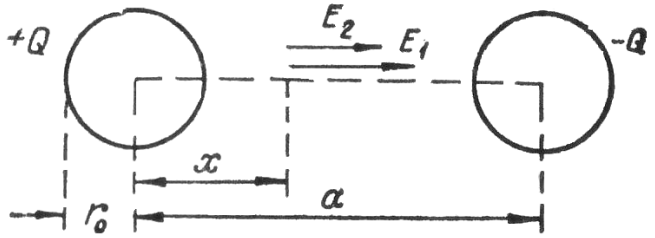


Рисунок 3.6 – Електричне поле симетричного ланцюга

Підставляючи знайдене значення U у вираз (3.18), одержуємо:

$$C = \frac{\pi\varepsilon_a}{\ln\dfrac{a-r_0}{r_0}}\ .$$

Абсолютна діелектрична проникність $\varepsilon_a = \varepsilon_0\varepsilon$, де електрична постійна $\varepsilon_0 = \dfrac{1}{36\pi\cdot 10^6}$ Ф/км і діелектрична проникність повітря $\varepsilon = 1$. Крім того, $r_0 = d_0/2$ і для повітряних ліній $a > r_0$. З урахуванням цього формула для визначення ємності ланцюгів повітряних ліній у Ф/км матиме вид:

$$C = \frac{10^{-6}}{36 \ln \frac{2a}{d_0}}.$$

Однак обмірювані значення ємностей через деякий вплив дротів сусідніх ланцюгів, землі й наявності ізоляторів виходять на 5% більше, ніж розраховані за даною формулою. Для усунення цих розбіжностей вводять поправочний коефіцієнт 1,05 і формула для визначення електричної ємності ланцюгів **повітряних ліній** записується:

$$C = \frac{1{,}05 \cdot 10^{-6}}{36 \ln \frac{2a}{d_0}}. \qquad (3.20)$$

При визначенні ємності ланцюгів **симетричних кабелів** не представляється можливим зневажити впливом сусідніх жил й оболонки кабелю, тому що всі вони перебувають у безпосередній близькості один від одного. Тому в кабелях розрізняють часткову ємность і робочу ємність, що включає часткову ємність між жилами ланцюга й часткові ємності цих жил відносно всіх інших жил й оболонки. Таким чином, робоча ємність більша, ніж ємність між жилами ланцюга. Її величина залежить від ступеня відстані ланцюга від оболонки й інших ланцюгів у кабелі, що враховується шляхом введення у формулу поправочного коефіцієнта ψ.

На підставі викладеного для визначення робочої ємності ланцюгів **симетричних кабелів** *C* у Ф/км користуються формулою

$$C = \frac{\chi\varepsilon \cdot 10^{-6}}{36 \ln \frac{2a\psi}{d_0}}, \qquad (3.21)$$

де χ − коефіцієнт укрутки; ε − діелектрична проникненість ізоляції; ψ − поправочний коефіцієнт, що враховує близькість інших ланцюгів й оболонки кабелю.

Значення коефіцієнта ψ визначаються залежно від типу скрутки за формулами, наведеними у табл. 3.4, де $d_п$, $d_з$ і $d_{дп}$ − відповідно діаметри парних, зоряних і подвійних парних скруток й d_1 − діаметр ізольованої жили.

Таблиця 3.4 – Значення поправочного коефіцієнту, що враховує близькість інших ланцюгів й оболонки кабелю

Типи скруток	Коефіцієнт
Парна	$\psi = \frac{(d_n + d_1 - d_0)^2 - a^2}{(d_n + d_1 - d_0)^2 + a^2}$
Зоряна	$\psi = \frac{(d_з + d_1 - d_0)^2 - a^2}{(d_з + d_1 - d_0)^2 + a^2}$
Подвійна парна	$\psi = \frac{(0{,}65d_{дп} + d_1 - d_0)^2 - a^2}{(0{,}65d_{дп} + d_1 - d_0)^2 + a^2}$

Якщо жили кабелю мають комбіновану ізоляцію, що складається з повітря й ізолюючого матеріалу, то при розрахунку ємності за формулою (3.21) необхідно підставляти еквівалентне значення діелектричної проникності, обумовлене формулою:

$$\varepsilon_e = \frac{\varepsilon_1 S_1 + \varepsilon_2 S_2 + \cdots}{S_1 + S_2 + \cdots}, \qquad (3.22)$$

де ε_1, ε_2,… − діелектричні проникненості відповідно перших, другого й т.д. діелектриків, що становлять ізоляцію кабелю; S_1, S_2,... − площі, займані діелектриками в поперечному перерізі кабелю.

Наприклад, значення ε_e для кабелів з кордельно-полістирольною ізоляцією становить 1,2…1,3, а для кабелів з кордельно-паперовою ізоляцією – 1,3…1,4.

З формул (3.20) і (3.21) слідує, що чим більша відстань між дротами ланцюгів *a* й менше діелектрична проникність ε, тим менша їхня ємність. Виходячи із цього ємність ланцюгів повітряних ліній значно менша ємності кабельних ланцюгів. Крім того, із цих формул слідує, що електрична ємність ланцюгів ліній зв'язку не залежить від частоти. Однак останнє для повітряних ліній справедливо лише при відсутності на дротах інею або ожеледі. Якщо ж на дротах є іній або ожеледь, то ємність, по-перше, стає більшою, а по-друге, буде залежати від частоти. Це пояснюється тим, що для льоду ε більше одиниці й змінюється із частотою.

3.5 Провідність ізоляції ланцюгів ліній зв'язку

Провідність ізоляції залежить від опору ізоляції постійному струму й від діелектричних втрат в ізолюючому матеріалі при змінному струмі. Відповідно до цього провідність дорівнює:

$$G = G_0 + G_f\,, \tag{3.23}$$

де $G_0 = 1/R_{із}$ − провідність ізоляції при постійному струмі − величина, зворотна опору ізоляції; G_f − провідність ізоляції при змінному струмі, обумовлена діелектричними втратами.

Діелектричні витрати в конденсаторі характеризуються тим, що струм випереджає напругу не на 90°, а на кут (90−δ), де δ називається кутом діелектричних втрат. Струм I можна розкласти на активну I_a і ємнісну I_c складові (рис. 3.7). Тоді:

$$tg\delta = \frac{I_a}{I_c} = \frac{G_f U}{\omega C U} = \frac{G_f}{\omega C}.$$

Звідси провідність ізоляції при змінному струмі виходить рівною

$$G_f = \omega C tg\delta.$$

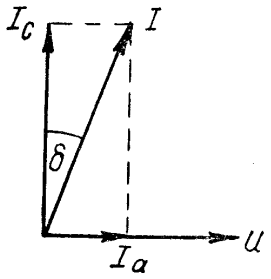


Рисунок 3.7 – Векторна діаграма до розрахунку провідності ізоляції

Опір ізоляції жил кабельних ліній становить значну величину, наприклад, для ліній міських телефонних мереж $R_{із} \geq 2000$ МОм·км, а для інших кабельних ліній $R_{із} \geq 10000$ МОм·км. Тому величина $G_0 = 1/R_{із}$ мала в порівнянні з G_f, і нею, зазвичай зневажають. Таким чином, провідність ізоляції кабельних ланцюгів у См/км дорівнює:

$$G = \omega C tg\delta. \tag{3.24}$$

При комбінованій ізоляції жил кабелю у формулу (3.24) необхідно підставити еквівалентне значення tgδ, що визначається з виразу:

$$tg\delta_e = \frac{\varepsilon_1 tg\delta_1 S_1 + \varepsilon_2 tg\delta_2 S_2 + \cdots}{\varepsilon_1 S_1 + \varepsilon_2 S_2 + \cdots}. \tag{3.25}$$

Для ланцюгів повітряних лінії враховуються обидві складові провідності ізоляції. Однак точний облік провідності ізоляції G_f визначити складно, тому що C і tgδ на повітряних лініях значно залежать від метеорологічних умов. Тому для визначення провідності ізоляції ланцюгів повітряних ліній користуються формулою:

$$G = G_0 + nf, \tag{3.26}$$

де n − експериментальний коефіцієнт, що враховує втрати у діелектрику при змінному струмі; f – частота, Гц.

При розрахунках беруть для сухої погоди G_0 = 0,l10^{-6} См/км й n = 0,2510^{-9} і для сирої погоди G_0 = 0,510^{-6} См/км і n = 0,2510^{-9}. При наявності на дротах інею або ожеледі n = 0,7510^{-9}.

З виразів (3.24) і (3.26) видно, що провідність ізоляції ланцюгів ліній зв'язку зростає зі збільшенням частоти. Крім того, провідність ізоляції ланцюгів повітряних ліній значно залежить від метеорологічних умов. Так, наприклад, провідність ізоляції при всіх частотах у сиру погоду в 5 разів, а при ожеледі в 15 разів більша, ніж у суху погоду.

3.6 Первинні параметри передачі екранованих кабельних ланцюгів

У кабелях для зменшення впливу між ланцюгами й для захисту від зовнішніх перешкод іноді застосовуються металеві екрани. Наявність екрана крім зменшення впливів викликає зміна параметрів передачі екранованих ланцюгів, а саме: збільшує їхній активний опір і зменшує індуктивність.

Магнітне поле екранованого ланцюга (рис. 3.8) індуктує у товщі екрана вихрові струми, які нагрівають екран і створюють вторинне магнітне поле. Втрати енергії на нагрівання екрана прийнято враховувати як збільшення активного опору екранованого ланцюга. Вторинне магнітне поле, створене циркулюючими в екрані вихровими струмами, спрямоване за правилом Ленца проти поля, що викликало їх. Таким чином, магнітне поле вихрових струмів послабляє магнітне поле екранованого ланцюга й тим самим веде до зменшення її індуктивності.

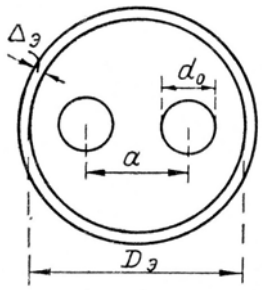


Рисунок 3.8 – Екранований ланцюг

Виходячи з викладеного активний опір екранованого ланцюга визначається за формулою:

$$R_e = R + \Delta R_e, \tag{3.27}$$

де R − активний опір неекранованого ланцюга, обумовлений за формулою (3.10); ΔR_e − додатковий активний опір, еквівалентний втратам на вихрові струми в екрані.

Величина додаткового активного опору ΔR_e може бути визначена за формулою:

$$\Delta R_e = 8R_{0e} \sum_{n=1,3,5\ldots}^{\infty} \left(\frac{a}{D_e}\right)^{2n} \frac{m^2}{m^2 + n^2}, \tag{3.28}$$

де $R_{0e} = \rho \dfrac{10^3}{\pi D_e \Delta_e}$ − електричний опір екрана постійному струму, Ом/км;

$m = \dfrac{\omega \cdot 10^{-4}}{R_{0e}}$ − допоміжний коефіцієнт; Δ_e − товщина екрана, мм.

Повна індуктивність екранованого ланцюга буде дорівнюватиме:

$$L_e = L - \Delta L_e, \tag{3.29}$$

де L − індуктивність неекранованого ланцюга, обумовлена за формулою (3.15);
ΔL_e − величина зменшення індуктивності, чисельно рівна в Гн/км:

$$\Delta L_e = \frac{\Delta R_e}{R_{0e}} \cdot 10^{-4}.$$

Робоча ємність екранованого ланцюга визначається за формулою (3.21), де приймається:

$$\psi = \frac{D_e^2 - a^2}{D_e^2 + a^2}. \tag{3.30}$$

Провідність ізоляції екранованого ланцюга визначається за формулою (3.24).

3.7 Особливості розрахунку первинних параметрів передачі польових кабелів дальнього зв'язку

Жили польових кабелів дальнього зв'язку для забезпечення їхньої більшої гнучкості скручуються із семи мідних дротів. Така конструкція жил викликає деякі особливості у визначенні їхніх первинних параметрів передачі.

Дослідження показують, що активний опір й індуктивність ланцюгів із крученими жилами мають таке ж значення як активний опір й індуктивність ланцюгів із суцільними жилами, якщо площі перетину жил в обох випадках однакові. Тому при визначенні активного опору й індуктивності ланцюгів польових кабелів дальнього зв'язку їхні кручені жили представляються у вигляді еквівалентних по перетині суцільних циліндричних дротів, діаметр яких визначається з вираження:

$$d_{0e} = \delta\sqrt{n}, \tag{3.31}$$

де δ − діаметр дротів, що становлять кручену жилу; n − число дротів у жилі.

Таким чином, розрахунок опору й індуктивності ланцюгів польових кабелів дальнього зв'язку можна робити за формулами (3.10) і (3.15), справедливими для кабелів із суцільними жилами, якщо в них замість діаметра жили d_0 підставляти значення еквівалентного діаметра d_{0e}, обумовленого за формулою (3.31).

При розрахунку ємності ланцюгів польових кабелів дальнього зв'язку за еквівалентним діаметром виходять розбіжності з даними вимірів. Тому для діаметра жил вводиться експериментальний коефіцієнт, рівний 0,934 і розрахункова формула приймає вид (С у Ф/км):

$$C = \frac{\chi\varepsilon \cdot 10^{-6}}{36\ln\left(\dfrac{2a\psi}{0{,}934 d_0}\right)}, \tag{3.32}$$

де d_0 − діаметр крученої жили, а ψ визначається за формулою (3.30).

Провідність ізоляції визначається за формулою (3.24).

Польові кабелі дальнього зв'язку для стабілізації їхніх параметрів мають екран. При виконанні екрана з металевої стрічки активний опір й індуктивність ланцюгів кабелю обчислюються за формулами (3.27) і (3.29) для суцільних екранів. Якщо екран виконаний із графітованої стрічки, то його вплив на параметри ланцюгів кабелю можна не враховувати.

Польові кабелі дальнього зв'язку для збільшення їхньої механічної міцності поверх екрана мають рідку обмотку (опльотку) зі сталевих дротів. Коли така обмотка є в кабелів з екраном із металевої стрічки, то додатковими втратами в обмотці можна зневажити. При наявності ж подібної обмотки в кабелів з екраном із графітованої стрічки необхідно враховувати її вплив на параметри передачі. Величину активного опору, еквівалентну втратам в обмотці, можна визначити за наближеною формулою в Ом/км:

$$\Delta R_e = 11 R_{0o} \left(\frac{a}{D_{ен}} \right)^2 \frac{m^2}{1+m^2} \frac{n d_{ст}}{D_{о\cdot ср}} \chi, \tag{3.33}$$

де $D_{ен}$ − зовнішній діаметр екрана із графітованої стрічки; $d_{ст}$ − діаметр сталевих дротів обмотки; $D_{0\cdot ср} = D_{ен} + 2d_{ст}$ − середній діаметр сталевої обмотки; n − число дротів в обмотці; χ − коефіцієнт укрутки сталевих дротів обмотки; $R_{0o} = \rho \dfrac{10^3}{\pi D_{о\cdot ср} \Delta}$ − електричний опір постійному струму сталевої оболонки, що має товщину Δ, рівну товщині квадрата, рівнозначного за площею сталевому дроту.

Величина зменшення індуктивності ланцюга кабелю в Гн/км при наявності поверх екрана із графітованої стрічки сталевої обмотки приблизно може бути визначена з вираження:

$$\Delta L_e = \frac{\Delta R_e}{R_{0o}} \cdot 10^{-4} \tag{3.34}$$

3.8 Вторинні (хвильові) параметри передачі ланцюгів ліній зв'язку

Вторинні (хвильові) параметри ланцюгів ліній зв'язку залежно від їхніх первинних параметрів визначаються за наступними формулами:

– коефіцієнт поширення:

$$\gamma = \alpha + j\beta = \sqrt{(R + j\omega L)(G + j\omega C)} \tag{3.35}$$

де α − коефіцієнт загасання, Нп/км; β − коефіцієнт фази, радий/км;

– хвильовий опір, Ом:

$$Z_в = \sqrt{\frac{R + j\omega L}{G + j\omega C}}. \tag{3.36}$$

Наведені вираження справедливі для будь-яких ланцюгів і у всьому діапазоні частот їхнього використання.

Поряд із зазначеними формулами для знаходження вторинних параметрів в окремих випадках можна користуватися спрощеними формулами.

Якщо частота дорівнює нулю (при постійному струмі), то з виразів (3.35) і (3.36) отримаємо:

$$\alpha = \sqrt{R_0 G_0}; \quad \beta = 0; \tag{3.37}$$

$$Z_в = \sqrt{\frac{R_0}{G_0}}. \tag{3.38}$$

Для кабельних ланцюгів у діапазоні низьких частот при $f \le 800$ Гц $R > \omega L$ й $\omega C > G$. Тоді:

$$\alpha = \beta = \sqrt{\frac{\omega RC}{2}}; \tag{3.39}$$

$$Z_в = \sqrt{\frac{R}{j\omega C}} = \sqrt{\frac{R}{\omega C}} e^{-j45^\circ}. \tag{3.40}$$

Для ланцюгів з кольорового металу (КМ) повітряних ліній, починаючи з 10 кГц, а для кабельних ланцюгів починаючи з 20−30 кГц, $\omega L > R$ і $C > G$ й у цьому випадку можна користуватися наступними формулами:

$$\alpha \cong \frac{R}{2}\sqrt{\frac{C}{L}} + \frac{G}{2}\sqrt{\frac{L}{C}} \tag{3.41}$$

$$\beta = \omega\sqrt{LC}; \tag{3.42}$$

$$Z_в = \sqrt{L/C}. \tag{3.43}$$

У формулі (3.41) визначальним є перший член.

Наведені вище формули дають значення коефіцієнта загасання α в Нп/км. Як відомо, 1 Нп = 8,69 дБ й 1 дБ = 0,115 Нп.

Частотна залежність хвильових параметрів передачі обумовлена, по-перше, зміною із частотою первинних параметрів, а по-друге, тим, що в деякі формули частота входить безпосередньо.

Оскільки з ростом частоти активний опір і провідність ізоляції ланцюгів збільшуються, а їхня індуктивність зменшується, то відповідно до формул (3.35) і (3.41) коефіцієнт загасання α зростає. Збільшення коефіцієнта загасання α з ростом частоти приводить до амплітудних перекручувань сигналів, що при передачі ланцюгом амплітуда високочастотних складових сигналу зменшується більшою мірою, чим його низькочастотних складових. Амплітудні перекручування усуваються в апаратурі за допомогою амплітудних коректорів, загасання яких доповнює загасання ланцюга кабелю до постійної для всіх частот величини.

Значення коефіцієнта фази β, як видно з формули (3.42), збільшуються прямопропорційно частоті. Виключення становлять порівняно низькі частоти, при яких β визначається за формулами (3.35) і (3.39. Практично лінійна залежність коефіцієнта фази β від частоти забезпечує однакову швидкість розповсюдження ($\upsilon_{гр} = \frac{d\omega}{d\beta} = \frac{1}{\sqrt{LC}}$) високочастотних і низькочастотних складових сигналу. Тому ланцюги ліній зв'язку фазових викривлень, практично, не вносять.

У ланцюгів ліній зв'язку $R/G > L/C$. У відповідності з цим з виразів (3.38) і (3.43) слідує, що модуль хвильового опору зі зростанням частоти зменшується і прагне до величини $\sqrt{L/C}$.

Крім того, із зазначених виразів видно, що при постійному струмі й при високих частотах хвильовий опір є активною величиною. Отже, значення його кута $\varphi_в$ у цьому проміжку повинне пройти через максимум. Цей максимум не перевищує за абсолютним значенням 45° і має місце при частотах порядку декількох десятків герц, так що при тональних і вище них частотах кут $\varphi_в$ за абсолютним значенням зі збільшенням частоти зменшується.

На рис. 3.9, 3.10 і 3.11 наведені графіки частотної залежності відповідно коефіцієнта загасання α, коефіцієнта фази β і хвильового опору $Z_в$ ланцюгів повітряної лінії траверсного профілю (a = 20 см, d_0 = 4 мм) і ланцюгів кабелю з кордельно-полістирольною ізоляцією типу МКС (d_0 = 1,2 мм).

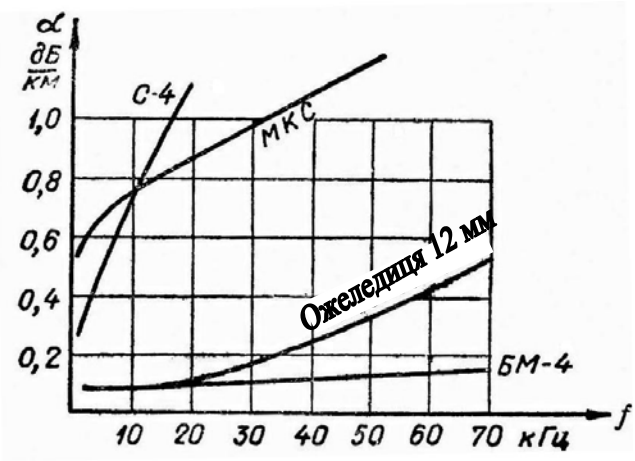


Рисунок 3.9 – Частотні залежності коефіцієнта загасання ланцюгів

З графіків рис. 3.9 видно, що коефіцієнт загасання сталевих ланцюгів різко зростає зі збільшенням частоти. Це обумовлено тим що у сталевих ланцюгів зі зростанням частоти значно збільшується активний опір і зменшується індуктивність. У зв'язку з цим сталеві ланцюги використовуються тільки у діапазоні частот до 30 кГц; подальше розширення спектра частот який передається, привело до значного скорочення довжини підсилювальних дільниць. Коефіцієнт загасання ланцюгів ЦМ повітряних ліній в достатньо широкому діапазоні частот змінюється порівняно мало, що дозволяє використовувати їх в спектрі частот до 150 кГц. Частотна залежність α кабельних ланцюгів виражена більш різко ніж у ланцюгів ЦМ повітряних ліній. Це пояснюється тим, що в кабельних ланцюгів на величину їхнього активного опору, крім поверхневого ефекту впливають ефект близькості й додаткових втрат у жилах інших груп й в оболонці кабелю.

З появою на дротах ланцюгів повітряних ліній інею або ожеледі значно збільшуються їхня ємність і провідність ізоляції. У результаті зростає загасання ланцюгів і тим більше, чим вище частота (рис. 3.9) і інтенсивніший іній або ожеледь. Тому на ланцюгах ЦМ, які використовуються в широкому діапазоні частот, у районах з інтенсивним інеєм або ожеледдю, для компенсації цього зростання, загасання між постійно діючими підсилювальними пунктами встановлюються допоміжні підсилювальні станції (ДПС). ДПС включаються на період появи інею або ожеледі. Електроживлення ДПС здійснюється дистанційно по середніх точках ланцюгів з постійно діючих підсилювальних пунктів.

Коефіцієнт фази β (рис. 3.10) для кабельних ланцюгів трохи більший, ніж для ланцюгів повітряних ліній. Отже, швидкість поширення сигналів по ланцюгах кабелів менша, ніж по ланцюгах повітряних ліній.

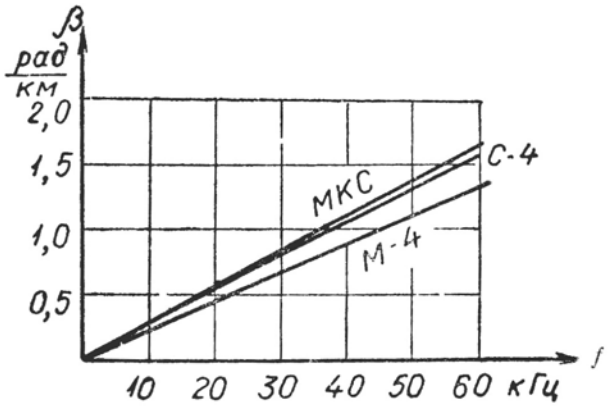


Рисунок 3.10 – Частотні залежності коефіцієнта фази ланцюгів

З рис. 3.11 видно, що модуль хвильового опору $|Z_в|$ сталевих і біметалевих ланцюгів повітряних ліній з ростом частоти значно зменшується, у той час як у мідних ланцюгів він майже не залежить від частоти. Така залежність $|Z_в|$ сталевих і біметалевих ланцюгів обумовлена значним зменшенням їхньої індуктивності. У кабельних ланцюгів $|Z_в|$ менша, а $\varphi_в$ більша, ніж у ланцюгів повітряних ліній. Це пояснюється більшою ємністю й меншою індуктивністю перших у порівнянні із другими. Розходження хвильових опорів веде до появи відбиттів при з'єднанні кабельних ланцюгів з ланцюгами повітряних ліній, для ліквідації яких застосовують спеціальні міри узгодження.

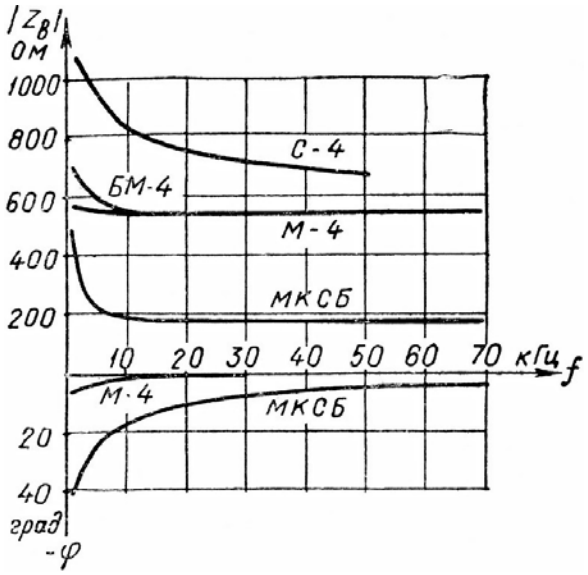


Рисунок 3.11 – Частотні залежності модуля й кутового коефіцієнта хвильового опору ланцюгів

3.9 Коаксіальні кабелі, їхні властивості й електричні параметри

При передачі по ланцюгах симетричних кабелів дуже високих частот значною мірою зростають додаткові втрати в суміжних групах і металевій оболонці кабелю. Це приводить до істотного зростання загасання ланцюгів симетричних кабелів, і вони стають економічно

недоцільними. Тому для передачі значних частот застосовуються коаксіальні кабелі.

Коаксіальні пари в коаксіальних кабелях складаються із внутрішнього й зовнішнього дротів, розташовані концентрично стосовно внутрішнього (рис. 3.12). Така конструкція коаксіальної пари забезпечує можливість передачі широкого спектра частот (до декількох десятків мегагерц) при порівняно малих втратах і високій захищеності передачі по ньому від зовнішніх завад.

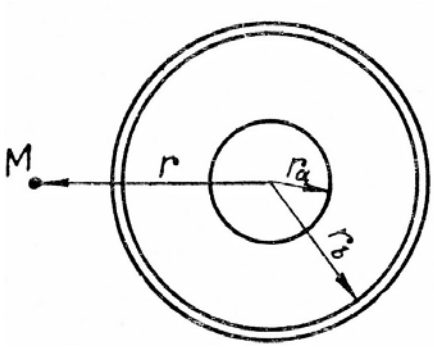


Рисунок 3.12 – Коаксіальний ланцюг

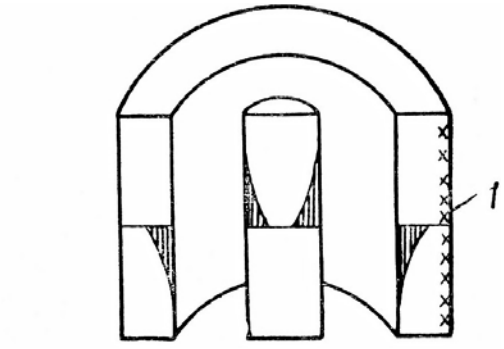


Рисунок 3.13 – Розподіл щільності струму сигналів і завад в дротах коаксіального ланцюга

Перше із зазначених властивостей пояснюється тим, що в коаксіальній парі ідеальної конструкції відсутнє зовнішнє електромагнітне поле. Дійсно, у точці М (рис. 3.12) напруженість магнітного поля від струму, що протікає по внутрішньому дроту, буде дорівнювати $H_{\varphi 1} = I/2\pi r$ і від струму, що протікає по зовнішньому дроту $H_{\varphi 2} = -I/2\pi r$, тому що струми у внутрішньому і зовнішньому дротах рівні за величиною й протилежні за напрямком. Отже, сумарна напруженість магнітного поля в точці М дорівнюватиме:

$$H_{\varphi} = H_{\varphi 1} + H_{\varphi 2} = 0,$$

тобто за коаксіальною парою відсутнє магнітне поле. Електричне поле також замикається усередині коаксіальної пари по радіальних напрямках між внутрішнім і зовнішнім дротами.

Відсутність зовнішнього електромагнітного поля у коаксіальних пар говорить про те, що вся енергія поширюється тільки усередині цих пар, а тому відсутній безпосередній вплив на сусідні ланцюги і не виникають додаткові втрати в металевих оболонках й інших ланцюгах кабелю. У результаті загальні втрати в коаксіальних кабелях будуть меншими ніж у симетричних.

Висока захищеність передачі по коаксіальних парах від зовнішніх завад викликана характером розподілу щільності струму в зовнішньому

дроті. При високих частотах завдяки дії поверхневого ефекту струми будуть протікати по поверхні внутрішнього дроту й по внутрішній поверхні зовнішнього дроту коаксіальної пари (рис. 3.13).

Струми завад від сусідніх ланцюгів або інших джерел виникають на зовнішній поверхні зовнішнього дроту. Таким чином, при високих частотах у зовнішньому дроті відбувається розподіл робочих струмів і струмів завад і тим самим забезпечується захищеність передачі по коаксіальній парі від завад. Чим вище частота, тим більшою мірою проявляється розглянута властивість коаксіальних пар, тому що з ростом частоти відповідно до виразу (3.6) зменшується глибина проникнення струму в дроті.

При низьких частотах, коли робочі струми протікають по всій товщі зовнішнього дроту, навпаки, передача по коаксіальній парі піддається впливу зовнішніх завад. Тому коаксіальні пари в кабелях використовуться в діапазоні частот від 60 кГц і вище. Для захисту від завад головним чином при частотах 60–100 кГц вони мають екран із двох сталевих стрічок, що накладаються на зовнішній провід. У морських коаксіальних кабелях, ураховуючи екрануючу дію морської води, застосовуються частоти й нижче 60 кГц. Захист від завад на берегових ділянках і на мілководді досягається за допомогою екранів.

Електричні параметри коаксіальних пар визначаються виходячи з тих же передумов, що й параметри ланцюгів повітряних ліній і симетричних кабелів. Однак тут формули для R й L_i вдається привести до більш простого виду. У результаті для визначення активного опору й внутрішньої індуктивності коаксіальної пари виводять формули:

$$R = \frac{1}{2r_a} = \sqrt{\frac{\mu_a a f}{\pi\sigma_a}} + \frac{1}{2r_b}\sqrt{\frac{\mu_a b f}{\pi\sigma_b}};$$

$$L_i = \frac{1}{4\pi r_a}\sqrt{\frac{\mu_a a}{\pi\sigma_a f}} + \frac{1}{4\pi r_b}\sqrt{\frac{\mu_a b}{\pi\sigma_b b}},$$

де члени з індексом a ставляться до внутрішнього, а з індексом b − до зовнішнього дроту.

Зазвичай дроти коаксіальних пар виготовляються з міді ($\mu_a = \mu 4\pi 10^{-4}$ Гн/км;$\mu = 1$; $\sigma = 5710^{-9}$ См/км). У цьому випадку формули для R в Ом/км й L_i у Гн/км приводяться до виду:

$$R = 4{,}18\sqrt{f}\left(\frac{1}{r_a} + \frac{1}{r_b}\right)\cdot 10^{-2}; \qquad (3.44)$$

$$L_i = \frac{66{,}6}{\sqrt{f}}\left(\frac{1}{r_a}+\frac{1}{r_b}\right)\cdot 10^{-4}, \qquad (3.45)$$

де r_a й r_b − відповідно радіус внутрішнього дроту й внутрішній радіус зовнішнього дроту в міліметрах.

Зовнішня індуктивність у Гн/км визначається з вираження:

$$L_e = \frac{\Phi_e}{I} = \frac{1}{I}\int_{r_a}^{r_b}\frac{\mu_a I}{2\pi r}dr = \frac{\mu_a}{2\pi}\ln\frac{r_b}{r_a} = \frac{\mu 4\pi\cdot 10^{-4}}{2\pi}\ln\frac{r_b}{r_a}\cdot$$

Рахуючи, що для діелектрика μ = 1, одержуємо:

$$L_e = 2\ln\frac{r_b}{r_a}\cdot 10^{-4}, \qquad (3.46)$$

Загальна індуктивність відповідно до виражень (3.45) і (3.46) у Гн/км дорівнює:

$$L = \left[2\ln\frac{r_a}{r_b}+\frac{66{,}6}{\sqrt{f}}\left(\frac{1}{r_a}+\frac{1}{r_b}\right)\right]\cdot 10^{-4}. \qquad (3.47)$$

З наведених формул видно, що активний опір коаксіальних пар з ростом частоти збільшується пропорційно $\sqrt{f}$ і визначається в основному опором внутрішнього дроту, тому що r_a значно менше r_b. Внутрішня індуктивність зі збільшенням частоти зменшується пропорційно $1/\sqrt{f}$ і в області високих частот нею можна зневажити в порівнянні із зовнішньою індуктивністю. Тому при високих частотах для визначення індуктивності коаксіальних пар користуються формулою (3.46).

Напруга між внутрішнім і зовнішнім дротами коаксіальної пари для одиниці довжини дорівнює:

$$U = \int_{r_a}^{r_b}\frac{Q}{2\pi r\varepsilon_a}dr = \frac{Q}{2\pi\varepsilon_a}\int_{r_a}^{r_b}\frac{dr}{r} = \frac{Q}{2\pi\varepsilon_a}\ln\frac{r_b}{r_a}$$

і її ємність

$$C = \frac{Q}{U} = \frac{2\pi\varepsilon_a}{\ln\frac{r_b}{r_a}}.$$

Якщо підставити $\varepsilon_a = \frac{\varepsilon}{36\pi \cdot 10^6}$, то для визначення ємності коаксіальної пари у Ф/км одержимо формулу:

$$C = \frac{\varepsilon \cdot 10^{-6}}{18\ln\frac{r_b}{r_a}}. \tag{3.48}$$

Провідність ізоляції розраховується за рівняннями (3.24).

Хвильові параметри коаксіальних пар визначаються за формулами (3.41), (3.42), (3.43). Ці формули для коаксіальних пар з мідними дротами, якщо підставити значення первинних параметрів з рівнянь (3.44), (3.46), (3.48) і (3.24), можна представити в наступному виді:

$$\alpha = \frac{4{,}18\sqrt{f_\varepsilon}\left(1+\frac{r_b}{r_a}\right)\cdot 10^{-3}}{12 r_b \ln\frac{r_b}{r_a}} + \frac{10}{3}\pi f\sqrt{\varepsilon}\,tg\,\delta \cdot 10^{-6}; \tag{3.49}$$

$$\beta = \frac{\omega\sqrt{\varepsilon}}{c}, \tag{3.50}$$

де c − швидкість світла;

$$Z_в = \frac{60}{\sqrt{\varepsilon}}\ln\frac{r_b}{r_a}. \tag{3.51}$$

У виразі (3.49) для визначення коефіцієнта загасання коаксіальної пари при застосуванні сучасних високоякісних діелектриків можна зневажити другим членом у порівнянні з першим. Тоді з достатньою точністю:

$$\alpha = \frac{4{,}18\sqrt{f_\varepsilon}\left(1+\frac{r_b}{r_a}\right)\cdot 10^{-3}}{12 r_b \ln\frac{r_b}{r_a}}.$$

Дослідження даного виразу на мінімально залежить від значення r_b/r_a показує, що коаксіальні пари з мідними дротами будуть мати мінімум загасання, тобто оптимальну конструкцію, при r_b/r_a = 3,6. Виходячи із оптимального співвідношення, коаксіальні пари виготовляються наступних розмірів: 5/18 – більша пара; 2,6/9,4 – середня пара (стандартна пара); 1,2/4,6 – малогабаритна пара. Тут у чисельнику зазначений діаметр внутрішнього дроту, а в знаменнику − внутрішній діаметр зовнішнього дроту в міліметрах.

Пари 5/18 у більшості випадків застосовуються в морських кабелях, де використаються в діапазоні частот до 552 кГц, а інші − у підземних коаксіальних магістральних кабелях. При цьому пари 2,6/9,4 використовуються для роботи апаратури К-1920 (до 8,5 МГц) або К-3600 (до 17,6 МГц), а малогабаритні − для роботи апаратури К-300 (до 1,3 МГц).

3.10 Температурна залежність електричних параметрів ланцюгів

Електричні параметри ланцюгів залежать від температури навколишнього середовища. Ця залежність ураховується при проведенні вимірів електричних параметрів. Залежність загасання ланцюгів від температури враховують при розробці апаратури систем передачі й електричному розрахунку каналів зв'язку в процесі проектування магістралей, тому що температурні зміни загасання ведуть до зміни режиму роботи проміжних й кінцевих підсилювачів.

Повітряні лінії повністю піддані коливанням навколишньої температури й залежно від атмосферних умов температурний перепад для них може дорівнювати −40...+ 50 °С.

Підземні кабельні лінії, що прокладають на глибині 0,8…1,0 м, практично, не підлягають добовим коливанням температури, а річний перепад температури, за винятком північних районів, не перевищує −2…+18 °С.

На практиці враховують температурну залежність електричного опору постійному струму, електричного опору ізоляції й коефіцієнта загасання ланцюгів. З підвищенням температури опір і загасання ланцюгів зростають, а опір ізоляції зменшується.

Електричний опір постійному струму R_{ot} (в Ом/км) при будь-якій температурі:

$$R_{ot}=R_{0\ 20}[1+\alpha_R(t-20)],$$

де $R_{0\ 20}$ − опір ланцюга при t=+20 °С; t − задана температура; α_R − температурний коефіцієнт опору, рівний для міді 0,004, для алюмінію – 0,0042, для сталі – 0,0046.

Зниження електричного опору ізоляції кабельних ланцюгів з підвищенням температури може бути визначене за формулою

$$R_{\text{із } t}=R_{\text{із } 20}e^{-\alpha_{\text{из}}^{(t-20)}},$$

де $\alpha_{\text{із}}$ – температурний коефіцієнт опору ізоляції, рівний для паперу 0,06 і для полістиролу 0,001. Залежність коефіцієнта загасання від температури визначається з виразу

$$\alpha_t=\alpha_{20}[1+\alpha_\alpha(t-20)],$$

де α_{20} – коефіцієнт загасання при t=+20°С; α_α – температурний коефіцієнт загасання; t – задана температура.

Температурний коефіцієнт загасання α_α залежить від частоти й від типу лінії, і його значення приводяться в довідниках.

3.11 Передача імпульсів по ланцюгах кабельних ліній

При передачі даних по кабельних ланцюгах, а також при роботі з ними систем передачі з імпульсною модуляцією сигнали передаються за допомогою певної послідовності імпульсів. У цьому випадку для судження про можливі перекручування виникає необхідність визначення форми імпульсів, їхньої тривалості й амплітуди на прийомному кінці.

При передачі імпульсів відбувається зменшення їхньої амплітуди за рахунок втрат у металі і діелектрику й запізнювання імпульсів, обумовлене швидкістю поширення сигналу по ланцюзі. Крім того, спостерігається перекручування форми імпульсу, що виражається в зменшенні крутості переднього й заднього фронтів.

Зменшення амплітуди їхнього прямокутного імпульсу в міру видалення його від початку ланцюга відбувається приблизно по експоненті (рис. 3.14):

$$U_x= U_0e^{-\alpha}0^x,$$

де U_0 – амплітуда імпульсу на вході ланцюга; α_0 – коефіцієнт загасання ланцюга кабелю для імпульсів заданої форми й тривалості; x – шлях, що пройшов імпульс ($x = vt$).

Запізнювання імпульсів відбувається на час, визначеною пройденою відстанню x і швидкістю розповсюдження v:$t = x/v$.

Зменшення крутизни переднього й заднього фронтів (рис. 3.14) викликано амплітудними перекручуваннями сигналу: при проходженні імпульсу по ланцюгу високочастотні складові його спектра загасають набагато імпульсу сильніше ніж низькочастотні. У результаті високочастотні складові, що формують круті фронти імпульсів, у спектрі

вихідного сигналу представлені слабо й крутість фронтів зменшується, а тривалість їх збільшується.

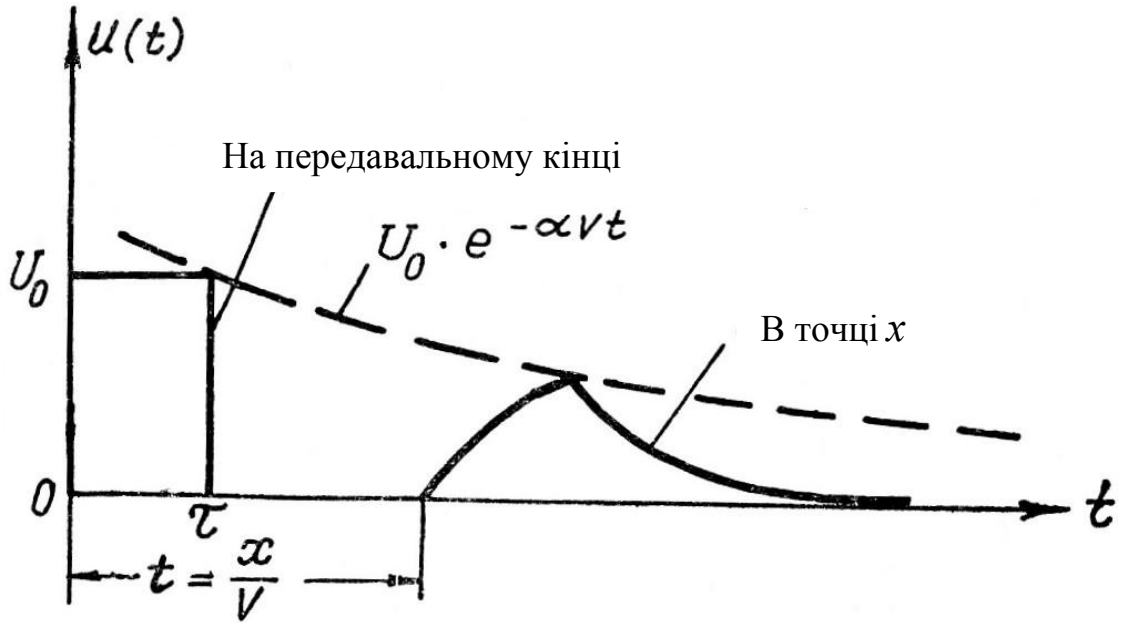
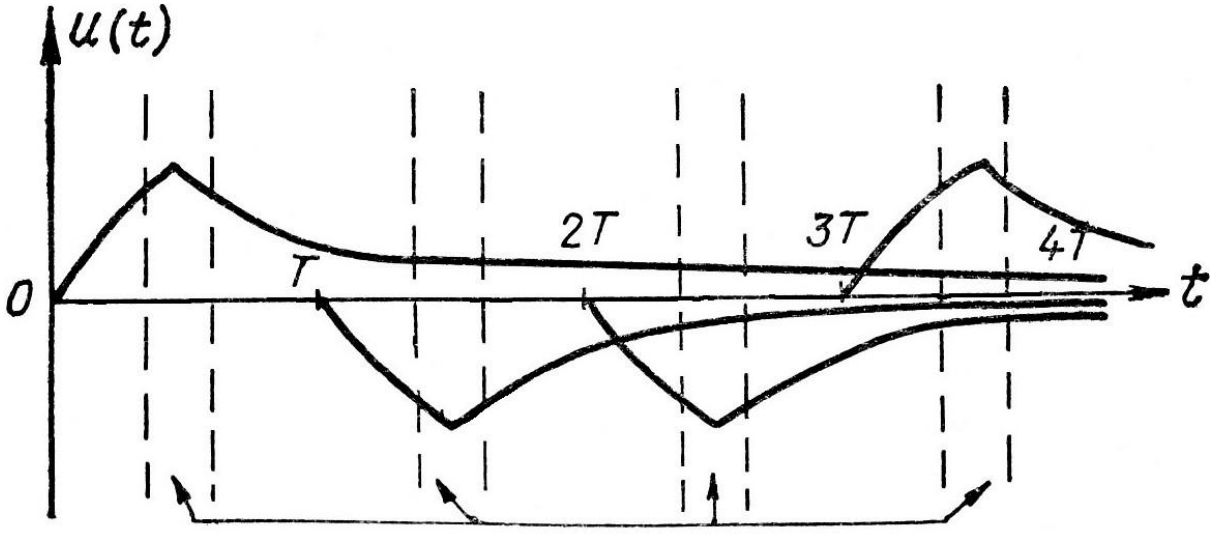


Рисунок 3.14 – Зміна амплітуди і форми імпульсу по мірі розповсюдження його по ланцюгу

Збільшення тривалості задніх фронтів імпульсів викликає міжсимвольну інтерференцію – часткове взаємне накладення попередніх і наступних імпульсів сигналу. Так, на рис. 3.15 під час реєстрації сигналу на вхід приймача надходять не тільки підлягаючому прийому імпульси, але й помітні залишкові напруги попередніх імпульсів, які є перешкодою.



Час регістрації (стробування) сигналу

Рисунок 3.15 – Міжсимвольна інтерференція

3.12 Поняття про хвилеводи

Безупинно зростаючі потреби у зв'язку вимагають передачі по лініях все більших обсягів інформації. Однак можливості існуючих ліній зв'язку по обсягу інформації, яка передається, обмежені. Створення потужних пучків каналів може бути забезпечене при використанні в якості ліній передачі хвилеводів й оптичних кабелів.

Хвилевід являє собою металеву трубу прямокутного або круглого перетину, у порожнині якої відбувається поширення електромагнітної енергії.

Як відомо, у хвилеводах можливе поширення лише спрямованих хвиль, що мають складові поля в напрямку поширення, тобто поперечно-електричних ТЕ-хвиль (Н-хвиль) і поперечно-магнітних ТМ-хвиль (Е-хвиль). При цьому довжини хвиль повинні бути меншими за критичні $\lambda_{кр}$, обумовлених розмірами поперечного перерізу хвилеводу. Якщо довжина хвилі більше $\lambda_{кр}$, то поширення енергії в хвилеводі не відбувається. Чим нижче частота, тобто більше довжина хвилі, тим більшими мають бути розміри поперечного перерізу хвилеводу. У зв'язку із цим при звичайних частотах хвилеводи не застосовуються, оскільки це вимагає значних розмірів.

Зазвичай, для передачі по хвилеводах використовують хвилі H_{01}, H_{11} й E_{01}, тому що для цих хвиль необхідні найменші розміри хвилеводу.

Розгляд залежності загасання від частоти, при передачі по хвилеводах різних типів хвиль, показує, що загасання хвилі H_{01} у круглих хвилеводах з ростом частоти зменшується, у той час як при інших хвилях воно зростає (рис. 3.16).

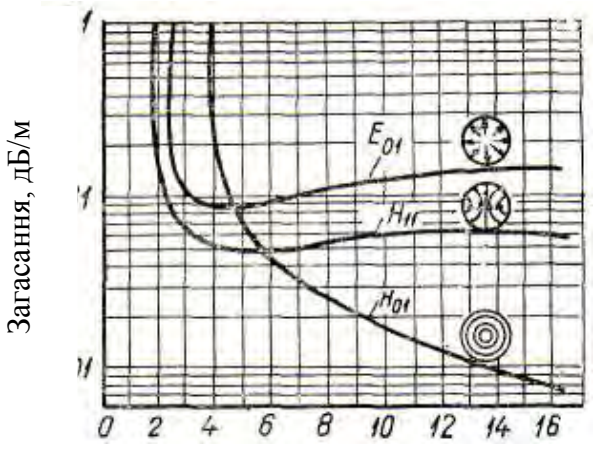


Рисунок 3.16 – Частотні залежності коефіцієнта затухання хвилеводу для хвиль різних типів

Це обумовлено тим, що у всіх типів хвиль, крім H_{01} силові лінії електричного поля замикаються в стінках хвилеводу й збуджують у них

електричні струми. Отже, частина енергії електромагнітних хвиль іде на нагрівання стінок хвилеводу, а самі хвилі загасають. Силові лінії електричного поля хвилі H_{01} представляють поперечні замкнуті кола усередині хвилеводу й не стикаються з його стінками. З ростом частоти кругове поле хвилі H_{01} усе більше відривається від стінок хвилеводу й витрати зменшуються.

Хвилеводи, в яких розповсюджуються хвилі типу H_{11} й E_{01}, через їх велике загасання на високих частотах, використовуються лише на фідерних лініях невеликої довжини. Використання хвилі H_{01}, яка має аномальність загасання в круглих хвилеводах, відкрила можливість їхнього застосування для багатоканального зв'язку на великі відстані.

Силові лінії електричного поля хвилі H_{01} не перетинають стінок хвилеводу, тому хвиля H_{01} є нестійкою й досить чутлива до неоднорідностей хвилеводу. Наявність неоднорідностей у хвилеводі веде до переродження хвилі H_{01} в інші типи хвиль, у результаті чого виникають перекручування передачі й додаткові втрати. Тому передача хвилі H_{01} може здійснюватися по хвилеводах, які мають максимальну однорідність передавального тракту та фільтруючі властивості. Виходячи із цього, для магістрального зв'язку необхідно застосовувати комбіновані хвилеводні лінії, що складаються з ділянок суцільнометалевого хвилеводу із вставками зі спірального хвилеводу.

Хвилеводи спіральної конструкції (рис. 3.17) мають періодичні розриви по довжині й забезпечують передачу тільки хвиль, структура яких не має поздовжньої складової струму в стінках хвилеводу. Подібною хвилею є хвиля H_{01}.

Таким чином, спіральні хвилеводи ефективно пропускають хвилю H_{01} й відфільтровують всі інші типи хвиль, які потребують для свого поширення поздовжньої цілості стінок хвилеводу. Для обмеження втрат на випромінювання через щілини спіральні хвилеводи мають екран.

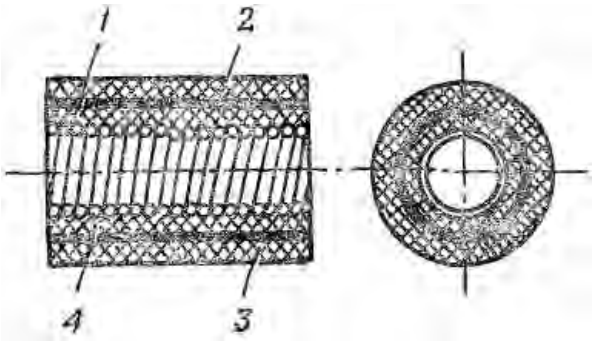


Рисунок 3.17 – Хвилевод спіральної конструкції:
1–мідна спіраль; *2*–мідний екран; *3*–захисна оболонка;
4–поліетиленова оболонка

Перевагами хвилеводних ліній є: повне екранування поля, відсутність втрат у діелектрику й на випромінювання, можливість

передачі досить високих частот та одержання потужних пучків каналів зв'язку. Так, по хвилеводу діаметром 6 см можна передавати спектр частот 30…100 ГГц й утворити до 30 дуплексних високочастотних стовбурів шириною 500…1000 МГц і забезпечити понад 100 000 каналів тональної частоти при довжині підсилювальної дільниці біля 20 км.

Однак хвилеводні лінії висувають жорсткі вимоги до їхньої прокладки, монтажу, однорідності; радіуси вигинів лінії не повинні бути меншими 100 м.

3.13 Пупінізовані кабельні ланцюги і їх електричні властивості

Для зменшення загасання й відповідно збільшення довжини підсилювальних дільниць на кабельних лініях іноді застосовують штучне збільшення індуктивності їхніх ланцюгів.

Як було зазначено, величина коефіцієнта загасання кабельних ланцюгів приблизно визначається виразом:

$$\alpha \cong \frac{R}{2}\sqrt{\frac{C}{L}} + \frac{G}{2}\sqrt{\frac{L}{C}} = \alpha_R + \alpha_G, \qquad (3.52)$$

де α_R і α_G – величини, що характеризують відповідно втрати в металі й у діелектрику.

У виразі (3.52) переважне значення має перший член: $\alpha_R = \frac{R}{2}\sqrt{\frac{C}{L}} = 0{,}9\alpha$. З виразу (3.52) видно, що зменшення коефіцієнта загасання можна досягти в результаті зменшення R (збільшення d_0), G (поліпшення діелектрика) і C (збільшення відстані між дротами ланцюга) або збільшення L. Зменшення R вимагає збільшення витрат міді, а зменшення C – збільшення габаритів кабелю, тобто ці способи виявляються недоцільними за економічних міркувань. Можливість же зменшення α за рахунок G досить обмежена внаслідок незначного впливу другого члена у виразі (3.52). Таким чином, єдино доцільним шляхом зменшення загасання є штучне збільшення індуктивності кабельних ланцюгів.

Штучне збільшення індуктивності кабельних ланцюгів може бути виконано двома способами: періодичним включенням у ланцюг котушок індуктивності через рівні ділянки довжини кабелю або за рахунок покриття дротів шаром феромагнітного матеріалу.

Найбільш широке застосування на практиці одержав перший спосіб, його називають «пупінізація ланцюгів» по імені М.К.Пупіна, який вперше запропонував теоретичне обґрунтування даного способу (в 1900 р.).

При цьому способі котушки індуктивності L_S, які називають пупінівськими котушками, включаються в ланцюг через рівні відстані s, котрі називаються кроком пупінізації.

Пупінізований ланцюг складається з ряду однакових ланок, які називають кроками пупінізації. Щоб ланцюг містив цілу кількість ланок, вона повинна закінчуватися на обох кінцях лінії півкроками (рис. 3.18, а) або півкотушками (рис. 3.18, б). Півкрокові закінчення лінії, в порівнянні з півкотушковими, мають деякі практичні переваги, які полягають в тому, що при півкроковому закінченні лінії відпадає необхідність у застосуванні по кінцях ланцюгів котушок удвічі меншої індуктивності стосовно інших котушок лінії й, крім того, кількість котушок індуктивності на кожній підсилювальній дільниці буде на одну менше. На практиці звичайно застосовують півкрокові закінчення пупінізованої лінії.

Пупінізований ланцюг є ланцюгом в якому періодично повторюються неоднорідності. Як відомо, електричні властивості таких ланцюгів повністю характеризуються властивостями однієї ланки неоднорідності – однієї ланки пупінізації.

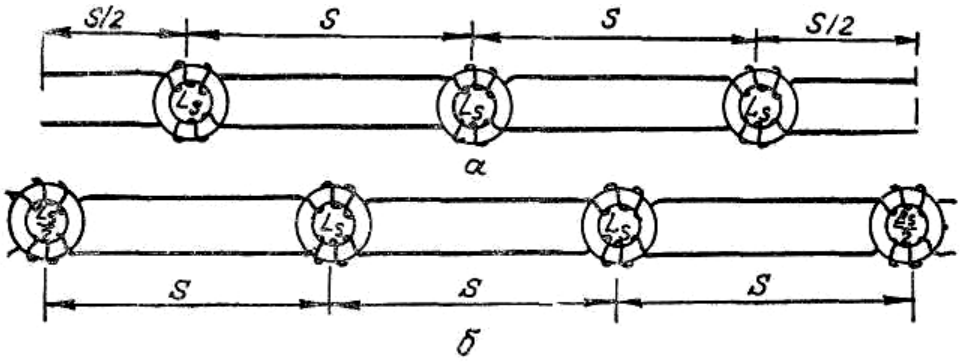


Рисунок 3.18 – Пупінізовані ланцюги:
а – півкрокові закінчення; б – півкотушкові закінчення

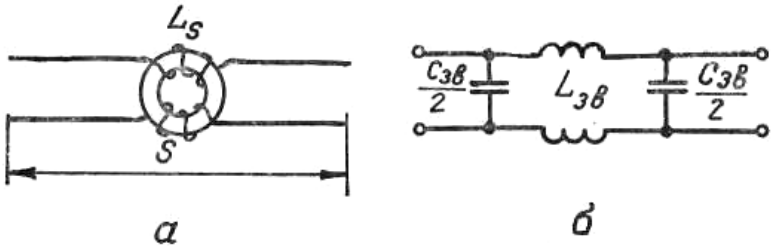


Рисунок 3.19 – Ланцюг пупінізації:
а – ланцюг при півкроковому закінченні;
б – еквівалентна схема ланцюга

На рис. 3.19, а представлена ланка пупінізації при закінченні ланцюга півкроком і на рис. 3.19, б дана його еквівалентна схема, у якій не показані активні елементи $R_{ЛЦ}$ й $G_{ЛЦ}$. Звідси видно, що кожна ланка

пупінізації, а отже, і весь пупінізований ланцюг аналогічні фільтру нижніх частот із граничною частотою:

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{\frac{L_{\text{ЛЦ}}}{2} \cdot \frac{C_{\text{ЛЦ}}}{2}}} = \frac{2}{\sqrt{L_{\text{ЛЦ}} \cdot C_{\text{ЛЦ}}}}. \qquad (3.53)$$

Таким чином, по пупінізованих ланцюгах з малим загасанням пропускається тільки певний діапазон нижніх частот, а більш високі частоти затримуються, що є їхнім істотним недоліком.

На рис. 3.20 наведені порівняльні характеристики частотної залежності коефіцієнтів загасання, фази, дійсної й реактивної складових характеристичного опору пупінізованого і непупінізованого ланцюгів кабелю.

З рис. 3.20 видно, що пупінізація знижує загасання ланцюга в діапазоні частот до $(0{,}7\ldots0{,}8)f_0$ приблизно в 2…3 рази. На частотах більше $(0{,}7\ldots0{,}8)f_0$ загасання починає сильно зростати й, наближаючись до f_0, стає вище, ніж у непупінізованих ланцюгів. Тому щоб уникнути значних амплітудних перекручувань передачі верхня робоча частота пупінізованих ланцюгів звичайно обмежується величиною $(0{,}7\ldots0{,}8)f_0$.

Коефіцієнт фази (рис. 3.20, б) пупінізованого ланцюга β змінюється не пропорційно частоті та за величиною більше, ніж у непупінізованого. Це викликає фазові перекручування сигналів, що передаються, і веде до зменшення швидкості їхнього поширення ($v_{\text{гр}} = d\omega/d\beta$). Таке явище приводить до скорочення дальності зв'язку по пупінізованих кабельних ланцюгах.

Для забезпечення задовільної якості переговорів час поширення сигналу нормується. На канал ТЧ приділяється $t_{\text{м}} = 100$ мс. Тоді загальна дальність зв'язку між цими станціями буде дорівнювати:

$$l = v_{\text{гр}} t_{\text{м}} = t_{\text{м}} \sqrt{LC}\ .$$

Звідси видно, що зі збільшенням індуктивності ланцюга зменшується загальна дальність зв'язку. Таким чином, другим істотним недоліком пупінізованих кабельних ланцюгів є обмеження загальної дальності зв'язку, яку вони можуть забезпечити.

Дійсна складова характеристичного опору Z_C у кілька разів більше, а реактивна менше, ніж у непупінізованих ланцюгів (рис. 3.20, в). Можливість збільшення $|Z_C|$ кабельних ланцюгів шляхом їхньої пупінізації використовується при узгодженні кабельних вставок з ланцюгами повітряних ліній. Оскільки пупінізовані ланцюги є ланцюгами в яких періодично повторюються неоднорідності, тому для здійснення передачі по них без помітних перекручувань важливо забезпечити

ідентичність параметрів окремих ланок пупінізації $L_{ЛЦ}$ і $C_{ЛЦ}$. Відхилення величини характеристичного опору пупінізованих ланцюгів від номінального значення не повинне перевищувати ±5 %. Для цього повинні бути витримані наступні допуски відхилень: для індуктивності пупінівських котушок не більше ±1,5 % від L_S, для довжин кроків пупінизації не більше ±0,5 % від s.

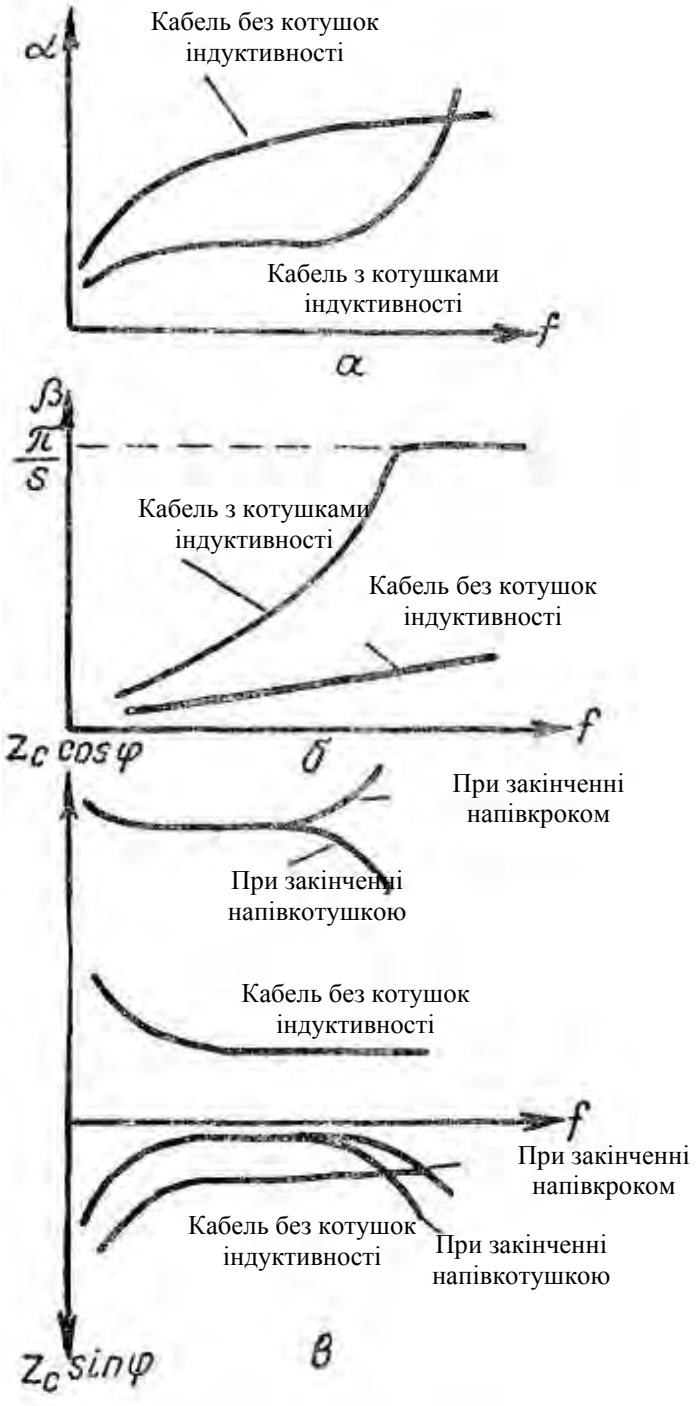


Рисунок 3.20 – Частотні характеристики хвильових параметрів пупінізованого і непупінізованого ланцюгів: а – частотні характеристики коефіцієнтів загасання; б – частотні характеристики коефіцієнтів фази; в – частотні характеристики дійсної й реактивної складових характеристичного опору

Якщо в будь-якому кроці пупінізації довжина кабелю виявиться менше номінального значення кроку, то в низькочастотних кабелях застосовують подовжувачі. Подовжувач являє собою штучну лінію, яка складається з резисторів і конденсаторів, та може замінити собою в електричному відношенні відрізок кабелю певної довжини. Формулу (3.53) з урахуванням, що $L_{ЛЦ}L_S$ і $C_{ЛЦ}\approx C_К s$, можна записати в наступному вигляді:

$$\omega_0 = \frac{2}{\sqrt{L_S s C_К}}.$$

Таким чином, ω_0 залежить від величини індуктивності L_S котушок, які включені в ланцюг, і кроку їхнього включення s. Виходячи із цього, система пупінізації (L_S й s) кабелів визначається залежно від частотного діапазону використання їхніх ланцюгів.

У цей час пупінізація застосовується на окремих або всіх ланцюгах низькочастотних постійних кабелів і на одній службовій парі коаксіального магістрального кабелю. Для перерахованих ланцюгів крок пупінізації перебуває в межах від 1,0 до 1,7 км, при цьому використовуються котушки індуктивністю 70…140 мГн, що забезпечує можливість використання ланцюгів кабелів у діапазоні частот до 2,4…3,4 кГц. Для радіомовних пар які використовуються в діапазоні частот до 8 кГц, передбачені котушки індуктивністю 12 або 7,65 мГн, які включаються через 1,7 км.

Пупінізованими є також польові кабелі дальнього зв’язку П-270.

Контрольні питання до розділу 3

1. Порядок визначення та нормування електричного опору ланцюгів постійного струму.
2. Порядок визначення та нормування активного опору ланцюгів ліній.
3. Порядок визначення та нормування індуктивності ланцюгів ліній.
4. Порядок визначення та нормування електричної ємності ланцюгів ліній.
5. Порядок визначення та нормування провідності ізоляції ланцюгів ліній.
6. Визначення вторинних (хвильових) параметрів передачі ланцюгів ліній.
7. Охарактеризувати особливості передачі імпульсів у ланцюгах кабельних ліній.
8. Надати опис хвилеводів та пупінізованих кабелів.

РОЗДІЛ 4. ВЗАЄМНІ ВПЛИВИ МІЖ ЛАНЦЮГАМИ ЛІНІЙ ЗВ'ЯЗКУ

Взаємні впливи між ланцюгами проявляються в тому, що передача, яка здійснюється в одному ланцюгу, прослуховується на паралельних ланцюгах у вигляді виразної або невиразної перехідної заважаючої розмови. Невиразна перехідна розмова (шум) знижує якість зв'язку, тому що маскує або спотворює сигнали, які передаються по ланцюгу, а виразна перехідна розмова, крім того, порушує скритність передачі.

Питання взаємних впливів набувають особливо важливого значення у випадку високочастотних ланцюгів, тому що кількість каналів і дальність зв'язку по них у багатьох випадках визначаються не параметрами передачі цих ланцюгів, а параметрами взаємного впливу між ними. Наприклад, істотне обмеження довжин підсилювальних дільниць і дальності зв'язку в однокабельних чотирьохпровідних системах, які використовують польові кабелі П-270 і П-296, визначається саме взаємними впливами. Тому питанням взаємних впливів між ланцюгами ліній зв'язку й методам їхнього зменшення приділяється велика увага.

4.1 Причини й фізичні процеси при взаємних впливах

При вивченні питань взаємного впливу розрізняють ланцюги, які впливають, й ланцюги, які піддаються впливу – рис. 4.1. Кінці ланцюгів, де у ланцюзі, що впливає, включений генератор, називають ближніми кінцями, а протилежні кінці ланцюгів – дальніми кінцями.

Взаємні впливи між ланцюгами обумовлені впливом змінного електричного й змінного магнітного поля ланцюга, що впливає на ланцюги, які піддаються впливу. Такий вплив відбувається в кожному малому елементі *dx* лінії.

Взаємні впливи діляться на безпосередні й непрямі.

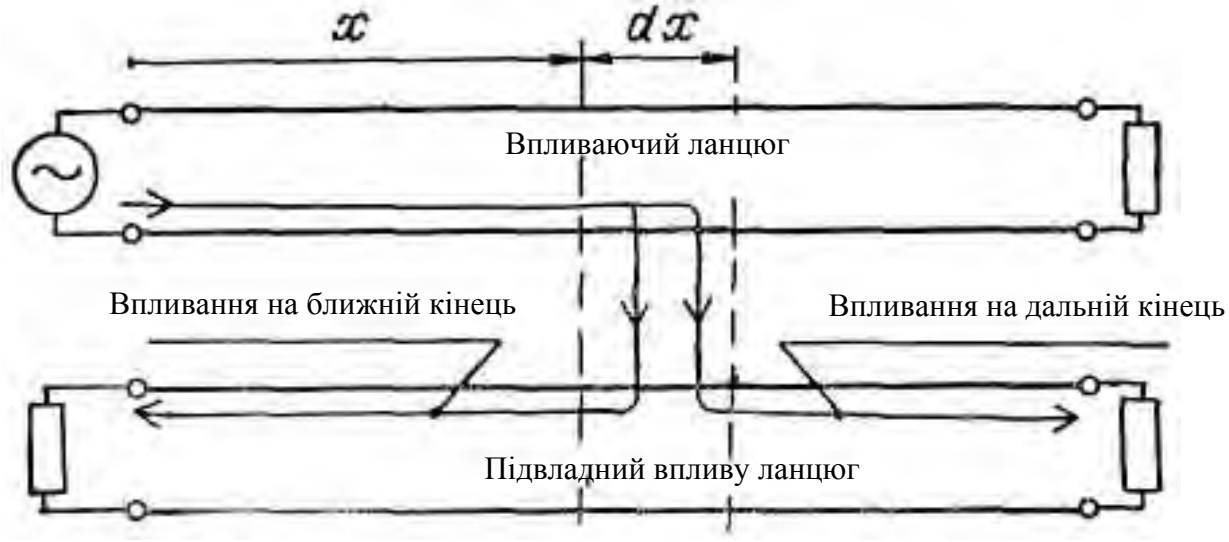
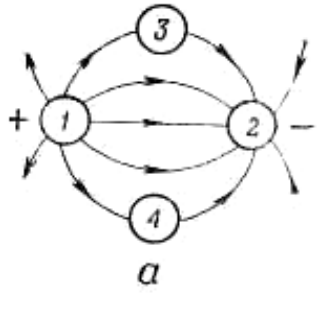


Рисунок 4.1 – Вплив між ланцюгами

При безпосередньому впливі хвилі напруги і струму від джерела перешкоди поширюються у ланцюзі, що впливає, і досягають елемента *dx*, створюючи змінні електричне (рис. 4.2) і магнітне (рис. 4.3) поля навколо ланцюга, який у цьому елементі впливає.



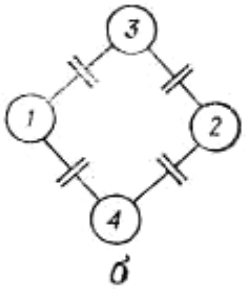


Рисунок 4.2 – Схема електричного впливу:
а – електричне поле; б – еквівалентна схема

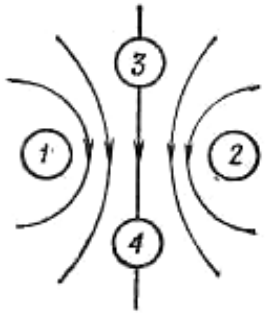


Рисунок 4.3 – Магнітний вплив

Електричне поле наводить різницю потенціалів між дротами 3 та 4 ланцюга, який піддається впливу. Вона викликає хвилі струму й напруги, що направляються від елемента *dx* по ланцюгу, що піддається впливу, його навантаження на ближньому кінці й на дальньому кінці, де вони проявляються у вигляді перехідної перешкоди. Магнітне поле наводить у дротах 3 й 4 ланцюга, що піддається впливу ЕРС. Вона викликає хвилі струму й напруги, що також направляються від елемента *dx* в обидва боки до навантажень ланцюга, що піддається впливу.

Перехід енергії в елементі *dx* з ланцюга, який впливає, у ланцюг, що піддається впливу, визначається головним чином взаємним розташуванням дротів (жил). Якщо, наприклад, жили одночетвірочного кабелю розташовані в елементі *dx* у точності по кутах квадрата (рис. 4.2), то ємності між дротами 1–3, 1–4, 2–3, 2–4 дорівнюють між собою і створюють точно збалансований міст. Перешкода в такому мосту з діагоналі 1–2 не переходить у діагональ 3–4, тому електричного впливу немає. Немає також і магнітного впливу, оскільки магнітний потік (рис. 4.3) не проходить між дротами 3 й 4 (силова лінія, що йде через центр дроту 3, проходить і через центр дроту 4). Але реально дроти розташовуються не в точності по кутах квадрата, відхиляючись від цього оптимального положення, це пов’язано з відхиленнями діаметрів ізольованих дротів від номінальних та ексцентричних накладень ізоляції. Чим більше ці відхилення, тим сильніші взаємні впливи.

На високих частотах значну перехідну перешкоду на дальньому кінці створюють непрямі впливи. Розрізняють непрямі впливи через треті ланцюги й непрямі впливи за рахунок відбиття від навантажень і внутрішніх неоднорідностей у ланцюгах, що взаємно впливають один на одного.

До третіх ланцюгів відносять всі дводротові й однодротові ланцюги даної лінії, крім двох ланцюгів, що взаємно впливають один на одного, а також всі штучні ланцюги (по яких перешкода поширюється незалежно від використання цих ланцюгів для зв'язку).

Процес виникнення непрямого впливу через третій ланцюг показано на рис. 4.4. Хвилі напруги й струму від джерела перешкоди поширюються у ланцюзі, який впливає, і досягають елемента dx_1, створюючи змінне електромагнітне поле в цьому елементі. У дротах третього ланцюга, розташованих у цьому полі, наводяться ЕРС і струм перешкоди, які викликають у третьому ланцюгу хвилі струму й напруги, які поширюються від елемента dx_1, до ближнього й дальнього кінця. Ці хвилі досягають елементів dx_2 та dx_3, де наводять ЕРС і струми перешкод у ланцюзі, що піддається впливу. У результаті від елементів dx_2 та dx_3 до дальнього й ближнього кінців ланцюга, що піддається впливу, також поширюються хвилі струму й напруги перешкоди.

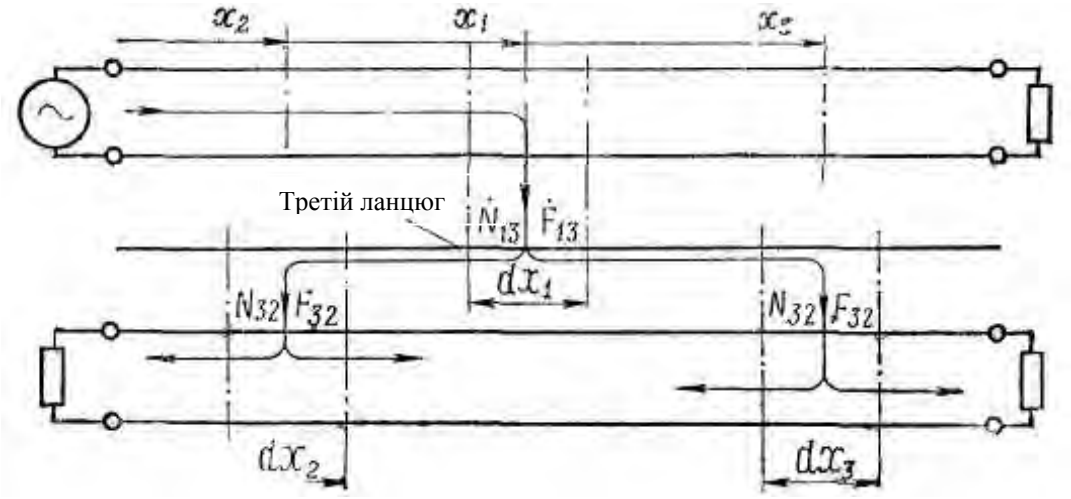


Рисунок 4.4 – Непрямі впливи через третій ланцюг

Непрямі впливи на дальній кінець за рахунок відбиття від навантажень виникають через непогодженість вхідних опорів апаратури із хвильовим опором ланцюгів. У результаті хвилі струму й напруги перешкоди, що надходять на ближній кінець ланцюга, що піддається впливу, частково відбиваються й направляються до його дальнього кінця (рис. 4.5). Аналогічно хвилі, що поширюються по ланцюгу, який впливає, частково відбиваються від його дальнього кінця й направляються до елемента dx_2, у якому перешкода переходить у ланцюг, що піддається впливу. Потім перешкода поширюється від елемента dx_2 до дальнього кінця ланцюга, що піддається впливу.

При позитивних напрямках напруг, струмів та ЕРС, обраних на рис. 4.6, напруга $\dot{U}_1$ і струм $\dot{I}_1$ у ланцюгу, який впливає, майже збігаються по фазі, відрізняючись лише на невеликий кут φ_{x1} хвильового

опору Z_{x1}, а струм перешкоди $d\dot{I}_{2e}$, викликаний напругою $\dot{U}_1$ у ємності $C_{12}dx$ за рахунок електричного поля, і ЕРС перешкоди $d\dot{E}_2$, викликана струмом, у взаємній індуктивності $m_{12}dx$ за рахунок магнітного поля, випереджають на 90° по фазі напругу $\dot{U}_1$ і струм $\dot{I}_1$ відповідно. Як видно з діаграми на рис. 4.6, фази струму $d\dot{I}_{2e}$ й ЕРС $d\dot{E}_2$ при цьому практично однакові.

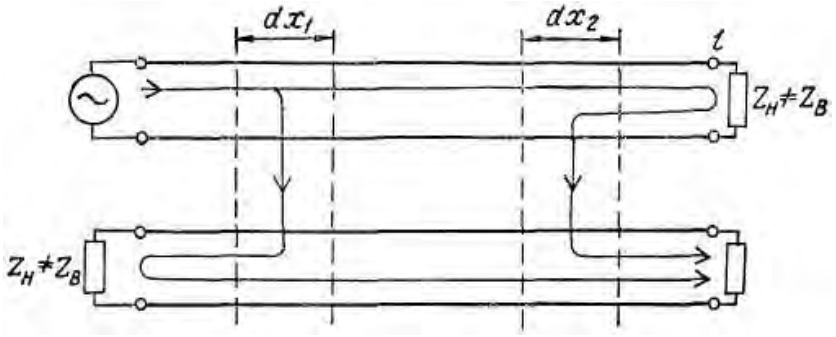


Рисунок 4.5 – Непрямі впливи за рахунок відбиття від навантажень ланцюгів

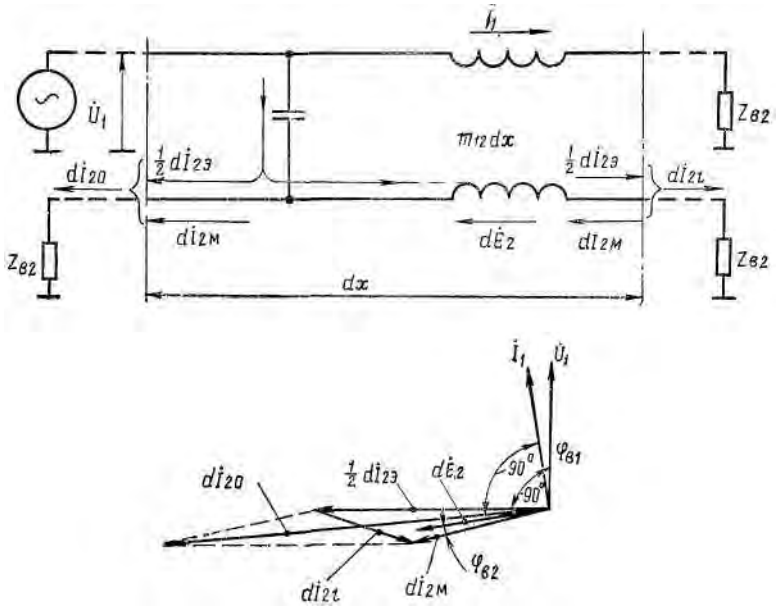


Рисунок 4.6 – Еквівалентна схема та векторна діаграма електромагнітного впливу в елементі dx

ЕРС $d\dot{E}_2$ навантажена на два послідовно з'єднаних опори Z_{x2} і викликає в них струм $d\dot{I}_{2м}$, котрий для обраних позитивних напрямків випереджає $d\dot{E}_2$ лише на невеликий кут φ_{x2} хвильового опору Z_{x2}. При цьому, як видно з векторної діаграми, струми перешкод – $\frac{1}{2}d\dot{I}_{2e}$ й $d\dot{I}_{2м}$ електричного й магнітного впливів відповідно мають приблизно одну фазу.

Для хвилі, яка іде до ближнього кінця, ці струми мають співпадаючі позитивні напрямки, а для хвилі, яка іде до дальнього кінця – протилежні (рис. 4.6). Отже сумарна перешкода $d\dot{I}_{20}$ ($d\dot{I}_{20} = \frac{1}{2} d\dot{I}_{2e} + d\dot{I}_{2м}$), яка іде до ближнього кінця виявляється більшою в порівнянні із сумарною перешкодою $d\dot{I}_{2l}$ ($d\dot{I}_{2l} = \frac{1}{2} d\dot{I}_{2e} - d\dot{I}_{2м}$), яка іде до дальнього кінця.

Якщо один із ланцюгів, що впливають один на одного, симетричний, то потрібно враховувати дві, а якщо обидва симетричні – чотири ємності та взаємні індуктивності між дротами ланцюгів. Це ускладнює дослідження, але не змінює отриманий висновок про більшу величину перешкоди $d\dot{I}_{20}$ у порівнянні з $d\dot{I}_{2l}$.

На повітряних лініях зв'язку струми – $\frac{1}{2} d\dot{I}_{2e}$ й $d\dot{I}_{2м}$ практично однакові за величиною, отже перешкода $d\dot{I}_{2l}$, яка іде від елемента *dx* на дальній кінець, особливо мала.

Накладення металевої оболонки (екрана) на кабельне осердя зменшує магнітне поле ланцюга, який впливає, і струм $d\dot{I}_{2м}$. У результаті електричний вплив у кабелях помітно сильніше магнітного і струм $d\dot{I}_{20}$, який іде від елемента *dx* до ближнього кінця, перевищує струм перешкоди $d\dot{I}_{2l}$, який іде до дальнього кінця, у меншому ступені в порівнянні з повітряними лініями.

В елементі *dx* може спостерігатися вплив, викликаний не тільки зсувом дротів, а, наприклад, викликаний відмінностями їх діелектричної проникності. Перешкода $d\dot{I}_{2l}$ при такому впливі не обов'язково буде менше, ніж перешкода $d\dot{I}_{20}$. Але оскілки зсув дротів від номінального положення це основна причина впливу, то у більшості елементів *dx* перешкода $d\dot{I}_{20}$ більше перешкоди $d\dot{I}_{2l}$.

Струми електричного й магнітного впливу – $\frac{1}{2} d\dot{I}_{2e}$ й $d\dot{I}_{2м}$ мають рівні значення тільки на високих частотах. На низьких частотах опір Z_{x2}, на який навантажена ЕРС $d\dot{E}_2$, істотно більше, ніж на високих, а струм $d\dot{I}_{2м}$ – відповідно до закону Ома – зменшений. У результаті перехідна перешкода на низьких частотах визначається, в першу чергу, електричним впливом між ланцюгами, при цьому $d\dot{I}_{20} \approx d\dot{I}_{2l}$.

У зв'язку з розходженням перешкод $d\dot{I}_{20}$ та $d\dot{I}_{2l}$ кількісні характеристики електромагнітного впливу в елементі *dx* вводяться окремо для ближнього й дальнього кінців. Такими характеристиками є параметри електромагнітного впливу $\dot{N}_{12}$ та $\dot{F}_{12}$.

Параметр електромагнітного впливу на ближній кінець $\dot{N}_{12}$ у См/км – це відношення струму перешкоди $d\dot{I}_{20}$ у хвилі, яка іде від елемента *dx* до ближнього кінця, до напруги $\dot{U}_1$ у ланцюзі, який впливає, і довжині елемента *dx:*

$$\dot{N}_{12} = \frac{d\dot{I}_{20}}{\dot{U}_1 dx}. \qquad (4.1)$$

Параметр електромагнітного впливу на далекий кінець $\dot{F}_{12}$ у См/км – це відношення струму перешкоди $d\dot{I}_{2l}$ у хвилі, яка іде від елемента *dx* до дальнього кінця, до напруги $\dot{U}_1$ у ланцюзі, який впливає, і довжині елемента *dx:*

$$\dot{F}_{12} = \frac{d\dot{I}_{2l}}{\dot{U}_1 dx}. \qquad (4.2)$$

На високих частотах кути φ_{x1} і φ_{x2} практично дорівнюють нулю, тому струми $d\dot{I}_{20}$ й $d\dot{I}_{2l}$, як видно з векторної діаграми (рис. 4.6), відрізняються по фазі приблизно на 90° від напруги $\dot{U}_1$. У результаті параметри $\dot{N}_{12}$ та $\dot{F}_{12}$ практично незначним чином відрізняються від уявних величин. Струм $d\dot{I}_{2e}$, який тече через ємність $C_{12}dx$, та ЕРС $d\dot{E}_2$, що наведена у взаємній індуктивності $m_{12}dx$, пропорційні частоті. Відповідно викликані ними струми перешкод $d\dot{I}_{20}$ й $d\dot{I}_{2l}$, а отже, і параметри $\dot{N}_{12}$ та $\dot{F}_{12}$ також пропорційні частоті. При цьому годографи параметрів $\dot{N}_{12}$ та $\dot{F}_{12}$ більшості елементів *dx* являють собою слід точки, яка віддаляється від початку координат майже уздовж уявної осі (рис. 4.7).

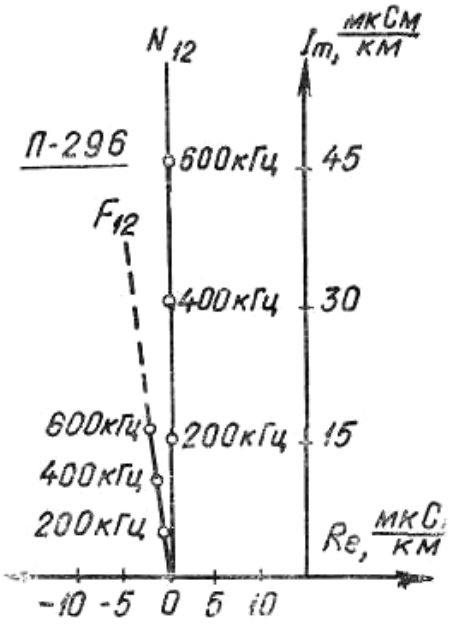


Рисунок 4.7 – Годографи параметрів впливу на ближній і дальній кінці кабелю П-296

Параметри електромагнітного впливу $\dot{N}_{12}$ та $\dot{F}_{12}$ одночетвірочних кабелів у кожному з елементів *dx* визначаються в основному конструктивними неоднорідностями, які виникли в процесі виробництва, причому в кожної будівельної довжини розподіл цих параметрів уздовж кабелю $\dot{N}_{12}(x)$ та $\dot{F}_{12}(x)$ свій власний, не схожий на залежності $\dot{N}_{12}(x)$ та $\dot{F}_{12}(x)$ та інших будівельних довжин, тобто функції $\dot{N}_{12}(x)$ та $\dot{F}_{12}(x)$ одночетвірочних кабелів містять в основному випадкову складову, яка викликана випадковими конструктивними неоднорідностями ланцюгів.

Функції $\dot{N}_{12}(x)$ та $\dot{F}_{12}(x)$ багаточетвірочних кабелів і повітряних ліній мають, крім того, систематичну (загальну для всіх будівельних довжин або повітряних ліній даного виду) складову. Систематична складова має місце тому, що в багаточетвірочних кабелях і повітряних лініях зв'язку навіть при точному розташуванні дротів ємнісний й індуктивний мости в елементах *dx* не збалансовані. Вона може виникати також від конструктивних неоднорідностей, які систематично (у всіх будівельних довжинах) допускаються при виробництві кабелю – наприклад, від розходження діелектричної проникності ізоляції, пофарбованої в різні кольори.

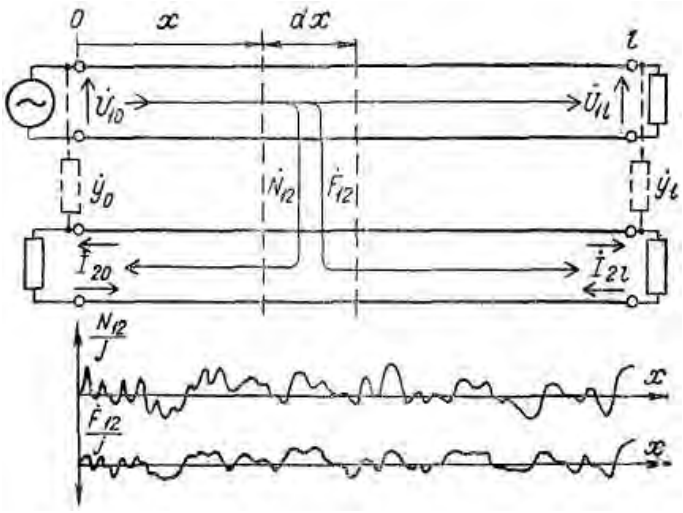


Рисунок 4.8 – Розподіл параметрів впливу вздовж кабелю

Системи скрутки четвірок і схрещування повітряних ліній дозволяють різко зменшити перешкоду, викликану систематичною складовою параметрів $\dot{N}_{12}$ та $\dot{F}_{12}$, але зовсім не допомагають зменшити перешкоду, викликану випадковою складовою. Ці системи досягли значної досконалості, і перехідні перешкоди в сучасних лініях практично визначаються в основному випадковою складовою параметрів $\dot{N}_{12}$ та $\dot{F}_{12}$.

Неоднорідності, які з'явилися в точці *x* при виробництві кабелю, багаторазово міняють свою величину й знак при переміщенні цієї точки (точки спостереження) уздовж кабелю. Тому в кабелях зв'язку випадкова складова параметрів $\dot{N}_{12}(x)$ та $\dot{F}_{12}(x)$ – швидко осцилююча (з великою кількістю максимумів і мінімумів) функція точки спостереження *x* (рис. 4.8).

Параметри електромагнітного впливу $\dot{N}_{12}(x)$ та $\dot{F}_{12}(x)$ характеризують взаємні впливи в електрично коротких елементах *dx*. В електрично довгої лінії, яку можна вважати ланцюжком каскадно-з'єднаних елементів *dx*, перехідні перешкоди на ближньому й дальньому кінцях створюються спільною дією всіх елементів *dx*. При цьому як кількісна характеристика сумарного впливу між електрично довгими ланцюгами використовують комплексні зв'язки на ближньому кінці y_0 й на дальньому кінці y_l. Комплексний зв'язок між ланцюгами на ближньому кінці – це відношення сумарного струму перешкоди $\dot{I}_{20}$ у погодженому навантаженні ланцюга, що піддається впливу, на ближньому кінці (рис. 4.8) до напруги $\dot{U}_{10}$ на вході ланцюга, який впливає, у См:

$$\dot{y}_0 = \frac{\dot{I}_{20}}{\dot{U}_{10}}. \qquad (4.3)$$

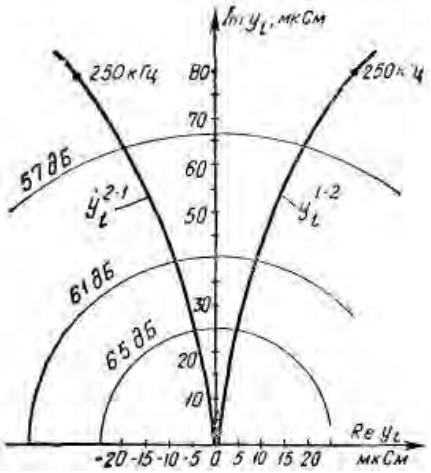


Рисунок 4.9 – Годографи комплексного зв'язку безпосереднього впливу на дальній кінець

Комплексний зв'язок між ланцюгами на дальньому кінці це відношення сумарного струму перешкоди $\dot{I}_{2l}$ у погодженому навантаженні ланцюга, що піддається впливу, на дальньому кінці (рис. 4.8) до напруги $\dot{U}_{1l}$ у навантаженні ланцюга, що впливає, в См:

$$\dot{y}_l = \frac{\dot{I}_{2l}}{\dot{U}_{1l}}. \qquad (4.4)$$

Струм перешкоди $\dot{I}_{2l}$ складається зі струму, викликаного безпосереднім впливом $\dot{I}_{2l\text{Б}}$ і викликаного непрямими впливами $\dot{I}_{2l\text{Н}}$. Відповідно можна вважати, що й комплексний зв'язок $\dot{y}_l$ складається з комплексних зв'язків безпосереднього впливу $\dot{y}_{l\text{Б}}$ й непрямого впливу $\dot{y}_{l\text{Н}}$.

Струми перешкод $\dot{I}_{20}$ та $\dot{I}_{2l}$ можна розділити на струм, викликаний систематичною складовою параметрів $\dot{N}_{12}$ та $\dot{F}_{12}$ і струм, викликаний випадковою складовою. Тому й комплексні зв'язки $\dot{y}_0$, $\dot{y}_l$, $\dot{y}_{l\text{Б}}$, $\dot{y}_{l\text{Н}}$ розділяються на комплексні зв'язки систематичної й випадкової складових впливу.

Комплексні зв'язки залежать від частоти. Наглядним зображенням цієї залежності є годограф комплексного зв'язку. Якщо на комплексній площині побудувати вектор, що зображує комплексний зв'язок, то в міру

зміни частоти вектор буде переміщуватися, вичерчуючи своїм кінцем годограф комплексного зв'язку.

Для безпосереднього впливу на дальній кінець із першого ланцюга на другий й із другого на перший характерна пара монотонних годографів у вигляді парабол, які спрямовані в основному уздовж уявної осі (рис. 4.9).

Для непрямих впливів на дальній кінець і безпосередній вплив на ближній кінець характерні годографи складної форми з великою кількістю петель (завитків) – рис. 4.10. Всі завитки на годографах закручуються праворуч.

Годографи комплексних зв'язків можна спостерігати на екрані приладу ИКС-600 (вимірника комплексних зв'язків у діапазоні до 600 кГц).

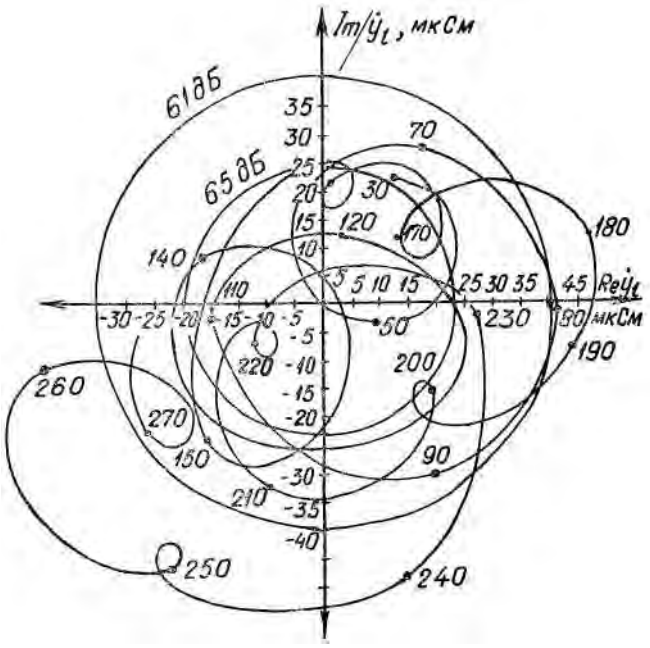


Рисунок 4.10 – Годограф комплексного зв'язку непрямого впливу на дальній кінець

4.2 Основні рівняння взаємних впливів

Комплексні зв'язки можна виразити через параметри впливу $\dot{N}_{12}$ та $\dot{F}_{12}$. Параметри впливу $\dot{N}_{12}$ та $\dot{F}_{12}$ вважають первинними, а комплексні зв'язки – вторинними параметрами впливу між ланцюгами. Рівняння, які виражають вторинні параметри впливу через первинні, називаються основними рівняннями впливу.

Комплексний зв'язок безпосереднього впливу на ближній кінець дорівнює інтегралу по всіх елементах *dx*, оскільки перехідна перешкода складається з перешкод, викликаних кожним елементом *dx* окремо:

$$\dot{y}_0 = \int_0^l \dot{N}_{12}(x) e^{-\gamma_1 x} e^{-\gamma_2 x} dx = \int_0^l \dot{N}_{12}(x) e^{-(\gamma_1+\gamma_2)x} dx \qquad (4.5)$$

Множник $e^{-\gamma_1 x}$ у цьому виразі враховує зміну амплітуди й фази перешкоди на шляху довжиною *x* у ланцюзі, який впливає, від джерела перешкоди (генератора) до елемента *dx* (рис. 4.8), множник $\dot{N}_{12}(x)\,dx$ описує перехід перешкоди із ланцюга, який впливає, у ланцюг, що піддається впливу під дією електромагнітного поля елемента *dx*, а множник $e^{-\gamma_2 x}$ ураховує зміну амплітуди й фази перешкоди на шляху довжиною *x* у ланцюзі, що піддається впливу, від елемента *dx* до навантаження цього ланцюга на ближньому кінці.

Комплексний зв'язок безпосереднього впливу на дальній кінець також дорівнює інтегралу по всіх елементах *dx*, але від величини $\dot{F}_{12}(x)\,dx$, яка описує перехід перешкоди в елементі *dx* в напрямок дальнього кінця:

$$\dot{y}_{l\text{H}} = \int_0^l \dot{F}_{12}(x) e^{-\dot{\gamma}_2 (l-x)} e^{\dot{\gamma}_1 (l-x)} dx = \int_0^l \dot{F}_{12}(x) e^{(\dot{\gamma}_1 - \dot{\gamma}_2)(l-x)} dx \qquad (4.6)$$

Множник $e^{-\dot{\gamma}_2 (l-x)}$ ураховує зміну амплітуди й фази перехідної перешкоди на шляху у ланцюзі, що піддається впливу, довжиною (*l*–*x*) від елемента *dx* до навантаження на дальньому кінці (рис. 4.8), а множник $e^{\dot{\gamma}_1 (l-x)}$ враховує зміну амплітуди й фази сигналу, який впливає, на такому ж шляху, але у ланцюзі, який впливає.

4.3 Поняття про рівні передачі

У техніку зв'язку для характеристики розподілу потужностей, напруг і струмів уздовж ланцюга, а також у різних точках підсилювальної й іншої апаратури прийнято користуватися не їхніми абсолютними значеннями, а відносними величинами, які називають рівнями.

Розрізняють абсолютний і відносний рівні потужності, напруги й струму.

Рівень це логарифм відносини повної потужності, діючого значення напруги або струму до однойменної величини, прийнятої за порівняльну. Рівень виражається в децибелах (дБ), якщо для визначення його береться

десятковий логарифм, або в неперах (Нп), якщо береться натуральний логарифм.

$$p_{\text{п}} = 10\lg\frac{P[\text{мВт}]}{1\,\text{мВт}}[\text{дБ}] = \frac{1}{2}\ln\frac{P[\text{мВт}]}{1\,\text{мВт}}[\text{Нп}];$$
$$p_{\text{н}} = 20\lg\frac{U[\text{мВ}]}{775\,\text{мВ}}[\text{дБ}] = \ln\frac{U[\text{мВ}]}{775\,\text{мВ}}[\text{Нп}]; \qquad (4.7)$$
$$p_{\text{с}} = 20\lg\frac{I[\text{мА}]}{1{,}29\,\text{мА}}[\text{дБ}] = \ln\frac{I[\text{мА}]}{1{,}29\,\text{мА}}[\text{Нп}].$$

Як величини для порівняння при визначенні абсолютних рівнів приймаються: повна потужність 1 мВт, напруга 775 мВ і струм 1,29 мА (при таких значеннях напруги й струму в стандартному опорі навантаження 600 Ом виділяється повна потужність 1 мВт). Виходячи із цього, абсолютні рівні потужності, напруги та струму визначаються рівностями (4.7).

Якщо відомі величини абсолютних рівнів у деякій точці лінії, то користуючись визначеннями (4.7), можна знайти значення потужності, напруги й струму в цій точці:

$$P = e^{2p_{\text{п}}}\ \text{мВт};\ U = 775e^{p_{\text{н}}}\ \text{мВ};\ I = 1{,}29e^{p_{\text{с}}}\ \text{мА},$$

де рівні $p_{\text{п}}$, $p_{\text{н}}$ і $p_{\text{с}}$ виражені в неперах;

$$P = 10^{0{,}1p_{\text{п}}}\ \text{мВт};\ U = 775\cdot 10^{0{,}05p_{\text{н}}}\ \text{мВ};\ I = 1{,}29\cdot 10^{0{,}05p_{\text{с}}}\ \text{мА},$$

де рівні виражені в децибелах.

При визначенні відносних рівнів, як величини для порівняння, беруться потужність P_0 й напруга U_0 у точці ланцюга, яка береться за вихідну. Таким чином, відносні рівні потужності й напруги будуть дорівнювати:

$$p_{\text{п від}} = 10\lg\frac{P}{P_0}[\text{дБ}] = \frac{1}{2}\ln\frac{P}{P_0}[\text{Нп}];$$
$$p_{\text{н від}} = 20\lg\frac{U}{U_0}[\text{дБ}] = \ln\frac{U}{U_0}[\text{Нп}]. \qquad (4.8)$$

Відносні рівні можна виразити через абсолютні, і навпаки. Наприклад:

$$p_{\text{н}} = \ln \frac{U}{775} \frac{U_0}{U_0} = \ln \frac{U}{U_0} + \ln \frac{U_0}{775} = p_{\text{н від}} + p_{\text{н}}(0),$$

тобто абсолютний рівень у даній точці дорівнює відносному рівню в цій же точці плюс абсолютний рівень на початку ланцюга.

З виразів (4.7) і (4.8) видно, що рівні передачі можуть бути як позитивними, так і негативними або дорівнювати нулю.

Рівні передачі дозволяють значно спростити обчислення при вимірах й електричних розрахунках. Наприклад, різниця рівнів на початку й кінці ланцюга (p_0 й p_l) визначає її загасання. Дійсно, якщо напруга на початку ланцюга U_0, тобто на її кінці напруга буде $U_l = U_0 e^{-\alpha l}$. Поділивши обидві частини цієї рівності на 775 мВ і взявши логарифм, одержимо:

$$\ln \frac{U_l}{775} = \ln \frac{U_0}{775} - \alpha l \quad .$$

Звідси:

$$p_0 - p_l = \alpha l. \qquad (4.9)$$

4.4 Перехідні загасання та захищеності й способи їх виміру

Комплексні зв'язки ($\dot{y}_0$, $\dot{y}_l$) впливу на ближній і дальній кінці повністю характеризують відповідні перехідні перешкоди в кількісному відношенні: модуль комплексного зв'язку характеризує величину перешкоди в порівнянні із сигналом у ланцюзі, який впливає, а фаза комплексного зв'язку показує фазове співвідношення перешкоди й цього сигналу. Але в багатьох випадках фаза перешкоди не має значення, важливіше описати величину перешкоди, для цього зручно користуватися перехідними загасаннями на ближньому і дальньому кінцях (A_0 і A_l).

Перехідними загасаннями на ближньому й дальньому кінцях називаються (рис. 4.11) логарифми відносин повної потужності P_{10} сигналу на вході ланцюга, який впливає, до повної потужності (P_{20} або P_{2l}) перехідної перешкоди в узгоджених навантаженнях ланцюга, що піддається впливу.

$$A_0 = 10 \lg \frac{P_{10}}{P_{20}} [\text{дБ}] = \frac{1}{2} \ln \frac{P_{10}}{P_{20}} [\text{Нп}]; \qquad (4.10)$$

$$A_l = 10 \lg \frac{P_{10}}{P_{2l}} [\text{дБ}] = \frac{1}{2} \ln \frac{P_{10}}{P_{2l}} [\text{Нп}]. \qquad (4.11)$$

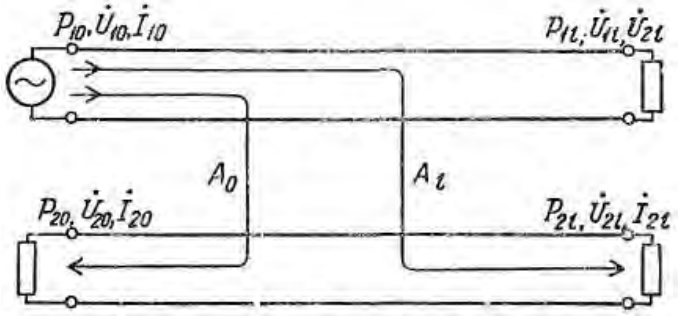


Рисунок 4.11 – Перехідні загасання на ближньому й дальньому кінцях

Перехідне загасання в децибелах на ближньому кінці можна виразити не тільки через потужності, але й через напруги чи струми:

$$A_0 = 10 \lg \left| \frac{\dot{U}_{10}^2}{z_{x1}} \frac{z_{x2}}{\dot{U}_{20}^2} \right| = 20 \lg \left| \frac{U_{10}}{U_{20}} \right| + 10 \lg \left| \frac{z_{x2}}{z_{x1}} \right|; \quad (4.12)$$

$$A_0 = 10 \lg \left| \frac{\dot{I}_{10}^2}{z_{x2}} \frac{z_{x1}}{\dot{I}_{20}^2} \right| = 20 \lg \left| \frac{I_{10}}{I_{20}} \right| + 10 \lg \left| \frac{z_{x1}}{z_{x2}} \right|. \quad (4.13)$$

де U_{10} й I_{10} – напруга та струм на початку ланцюга, який впливає; U_{20} й I_{20} – напруга та струм на ближньому кінці ланцюга, що піддається впливу.

Перехідне загасання в децибелах на дальньому кінці також можна виразити через напруги і струми:

$$A_l = 20 \lg \left| \frac{U_{10}}{U_{2l}} \right| + 10 \lg \left| \frac{z_{x2}}{z_{x1}} \right|; \quad (4.14)$$

$$A_l = 20 \lg \left| \frac{I_{10}}{I_{2l}} \right| + 10 \lg \left| \frac{z_{x1}}{z_{x2}} \right|. \quad (4.15)$$

Враховуючи, що $U_{1l} = U_{10} \cdot 10^{0,05\alpha_1 l}$, дані вирази можна записати таким чином:

$$A_l = 20 \lg \left| \frac{U_{1l}}{U_{2l}} \right| + \alpha_1 l + 10 \lg \left| \frac{z_{x2}}{z_{x1}} \right|; \quad (4.16)$$

$$A_l = 20 \lg \left| \frac{I_{1l}}{I_{2l}} \right| + \alpha_1 l + 10 \lg \left| \frac{z_{x1}}{z_{x2}} \right|. \qquad (4.17)$$

Аналогічно модуля комплексного зв'язку перехідне загасання кількісно характеризує – співвідношення між сигналом, який впливає, і перехідною перешкодою за величиною. Тому перехідні загасання A_0, A_l і модулі комплексних зв'язків $\dot{y}_0$, $\dot{y}_l$ можна виразити одне через одного. Відповідні вирази отримуємо шляхом підстановки у формули (4.13), (4.17) визначень комплексних зв'язків (4.3), (4.4):

$$A_0 = 20 \lg \left| \frac{I_{10}}{I_{20}} \right| + 10 \lg \left| \frac{z_{x1}}{z_{x2}} \right| = 20 \lg \left| \frac{\dot{U}_{10}}{z_{x1} \dot{U}_{10} \dot{y}_{10}} \right| +$$
$$+ 10 \lg \left| \frac{z_{x1}}{z_{x2}} \right| = 20 \lg \left| \frac{1}{z_{x1} \dot{y}_{10}} \right| + 10 \lg \left| \frac{z_{x1}}{z_{x2}} \right|. \qquad (4.18)$$

$$A_l = 20 \lg \left| \frac{I_{10}}{I_{2l}} \right| + 10 \lg \left| \frac{z_{x1}}{z_{x2}} \right| = 20 \lg \left| \frac{\dot{U}_{1l}}{z_{x1} \dot{U}_{1l} \dot{y}_{1l}} \right| +$$
$$+ 10 \lg \left| \frac{z_{x1}}{z_{x2}} \right| = 20 \lg \left| \frac{1}{z_{x1} \dot{y}_{1l}} \right| + \alpha_1 l + 10 \lg \left| \frac{z_{x1}}{z_{x2}} \right|. \qquad (4.19)$$

При однакових ланцюгах ($Z_{X1} = Z_{X2}$) вирази для перехідних загасань приймають вигляд:

$$A_0 = 20 \lg \left| \frac{U_{10}}{U_{20}} \right| = 20 \lg \left| \frac{I_{10}}{I_{20}} \right| = 20 \lg \left| \frac{1}{z_x \dot{y}_{10}} \right|; \qquad (4.20)$$

$$A_l = 20 \lg \left| \frac{U_{1l}}{U_{2l}} \right| = 20 \lg \left| \frac{I_{10}}{I_{2l}} \right| + \alpha l = 20 \lg \left| \frac{1}{z_{x1} \dot{y}_{1l}} \right| + \alpha l. \qquad (4.21)$$

Перехідні загасання та комплексні зв'язки характеризують, із погляду взаємних впливів, тільки лінію. Але вплив перехідної перешкоди залежить як від лінії, так і від потужностей (рівнів) джерел сигналу й перешкоди. Для характеристики системи, яка має у складі лінію, джерело сигналу і джерело перехідної перешкоди, з погляду заважаючої дії цієї

перешкоди, широко використовують поняття захищеності ланцюга від перехідних перешкод на ближньому й дальньому кінцях ($A_{З0}$ й $A_{Зl}$).

Захищеність ланцюга на ближньому (дальньому) кінці – це логарифм відношення повної потужності $P_С$, створеної джерелом сигналу в навантаженні на прийомному кінці ланцюга, до повної потужності перехідної перешкоди $P_{П0}$ ($P_{Пl}$), створеної в цьому ж навантаженні джерелом перешкоди в результаті впливу на ближній (дальній) кінець:

$$A_{З0} = 20 \lg \frac{P_С}{P_{П0}}; \;\; A_{Зl} = 20 \lg \frac{P_С}{P_{Пl}}. \qquad (4.22)$$

Користуючись визначеннями рівнів (4.7), легко перетворити формули (4.22) до вигляду:

$$A_{З0} = p_С - p_{П0}; \;\; A_{Зl} = p_С - p_{Пl}. \qquad (4.23)$$

тобто захищеність – це різниця між рівнем $p_С$, створеним джерелом сигналу в навантаженні на прийомному кінці ланцюга, і рівнем перешкоди $p_{П0}$ ($p_{Пl}$) у цьому ж навантаженні, створеним джерелом перешкоди в результаті впливу на ближній (дальній) кінець.

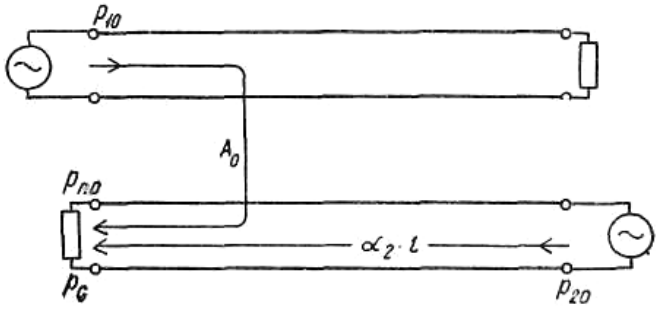


Рисунок 4.12 – Вплив при зустрічних напрямках передачі та прийому

Якщо будь-яким способом збільшити перехідне загасання (A_0 чи A_l), то рівень відповідної перехідної перешкоди зменшиться, а відповідна захищеність ($A_{З0}$ чи $A_{Зl}$) виросте, що вказує на взаємну залежність між перехідними загасаннями й захищеностями. Ця залежність виходить із формул (4.23), якщо рівень сигналу $p_С$ виразити через рівень джерела сигналу p_{20} і загасання $\alpha_2 l$ ланцюга, що піддається впливу відповідно до рис. 4.12 й 4.13, а рівень перешкоди $p_{П0}$ ($p_{Пl}$) виразити через рівень джерела перешкоди p_{10} та перехідне загасання:

$$A_{З0} = (p_{20} - \alpha_2 l) - (p_{10} - A_0) = A_0 + (p_{20} - p_{10}) - \alpha_2 l; \qquad (4.24)$$

$$A_{3l} = (p_{20} - \alpha_2 l) - (p_{10} - A_l) = A_l + (p_{20} - p_{10}) - \alpha_2 l. \qquad (4.25)$$

Якщо ланцюги використовуються при $p_{10} = p_{20}$, то:

$$A_{30} = A_0 - \alpha_2 l; \qquad (4.26)$$

$$A_{3l} = A_l - \alpha_2 l. \qquad (4.27)$$

Підставляючи у вирази (4.26) і (4.27) формули для A_0 та A_l (4.12) і (4.16), виразимо захищеності через напруги:

$$\begin{aligned} A_{30} &= 20 \lg \frac{U_{10}}{U_{20}} - \alpha_2 l + 10 \lg \left| \frac{z_{x2}}{z_{x1}} \right|; \\ A_{3l} &= 20 \lg \frac{U_{1l}}{U_{2l}} + (\alpha_1 - \alpha_2) l + 10 \lg \left| \frac{z_{x2}}{z_{x1}} \right|. \end{aligned} \qquad (4.28)$$

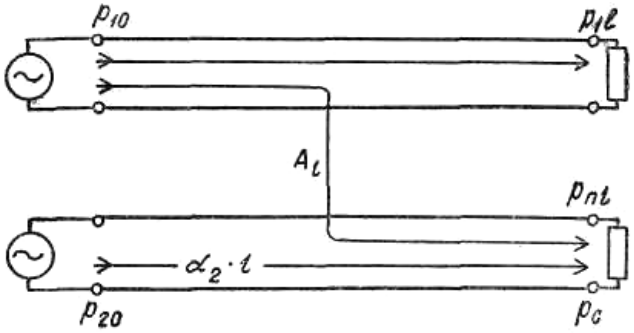


Рисунок 4.13 – Вплив при узгоджених напрямках передачі та прийому

Захищеність на дальньому кінці A_{3l} у децибелах можна виразити через комплексний зв'язок $\dot{y}_l$ на дальньому кінці, скориставшись її визначенням (підрозділ 4.4) і законом Ома ($\dot{U}_{2l} = \dot{I}_{2l} z_{x2}$), при яких $\frac{U_{1l}}{U_{2l}} = \frac{1}{|z_{x2} \dot{y}_l|}$. Тоді:

$$A_{3l} = 20 \lg \frac{1}{|z_{x2} \dot{y}_l|} + (\alpha_1 - \alpha_2) l + 10 \lg \left| \frac{z_{x2}}{z_{x1}} \right|.$$

При однакових ланцюгах ($\alpha_1 = \alpha_2$, $z_{x1} = z_{x2}$):

$$A_{3l} = 20 \lg \frac{1}{\left| z_{x2} \dot{y}_l \right|}. \qquad (4.29)$$

Залежність між комплексним зв'язком і захищеністю A_{3l} за формулою (4.29) наочно представляється на площині годографів комплексного зв'язку (рис. 4.9 та 4.10). Якщо обчислювати A_{3l} для точок деякої окружності із центром на початку координат цієї площини, то необхідно для всіх точок використовувати однаковий аргумент $\dot{y}_l$, який дорівнює радіусу окружності. У результаті захищеність A_{3l} для всіх точок виявиться однаковою, так що на кожному колі можна написати, якій захищеності вона відповідає.

Точно така ж графічна відповідність, судячи з повної аналогії формул (4.29) і (4.20), існує для впливу на ближній кінець між комплексним зв'язком $\dot{y}_0$ і перехідним загасанням A_0.

Таким чином, якщо годограф комплексного зв'язку, $\dot{y}_l$ ($\dot{y}_0$) у всьому діапазоні частот використання ланцюгів перебуває усередині кола, яке відповідає нормальній захищеності A_{3l} (нормальному перехідному загасанню A_0), то захищеність A_{3l} (загасання A_0) не гірше норми у всьому діапазоні частот. Це положення використовується для контролю взаємних впливів за годографом комплексного зв'язку, який викреслюється на екрані електронно-променевої трубки приладу ИКС-600.

Найпоширенішим методом виміру перехідних загасань і захищеностей є метод порівняння. Принципові схеми вимірів перехідних загасань на ближньому та дальньому кінцях за цим методом наведені на рис. 4.14 та 4.15. При вимірах ланцюги навантажуються узгоджено. Практично як навантаження беруться активні опори, які дорівнюють модулям хвильових опорів.

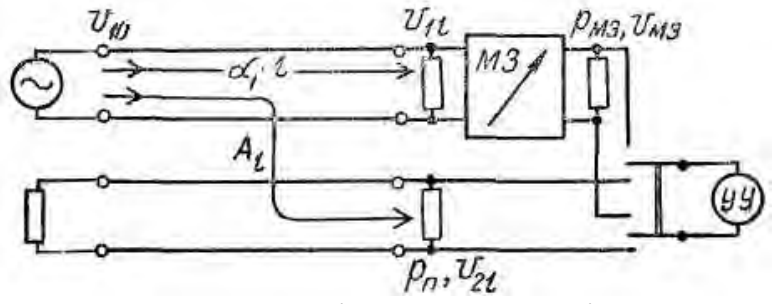


Рисунок 4.14 – Схема вимірювання перехідного загасання на ближньому кінці

При вимірах за допомогою перемикача і високоомного індикатора порівнюють напруги U_{20} (U_{2l}) на навантаженні ланцюга, що піддається впливу та $U_{МЗ}$ на навантаженні магазина загасань (МЗ). Змінюючи

загасання магазину, змінюють напругу $U_{\text{МЗ}}$ таким чином, щоб вона дорівнювала напрузі U_{20} (U_{2l}). В результаті одержуємо:

$$20\lg\frac{U_{10}}{U_{20}} = 20\lg\frac{U_{10}}{U_{\text{МЗ}}} = \alpha_{\text{МЗ}};$$
$$20\lg\frac{U_{1l}}{U_{2l}} = 20\lg\frac{U_{1l}}{U_{\text{МЗ}}} = \alpha_{\text{МЗ}}. \qquad (4.30)$$

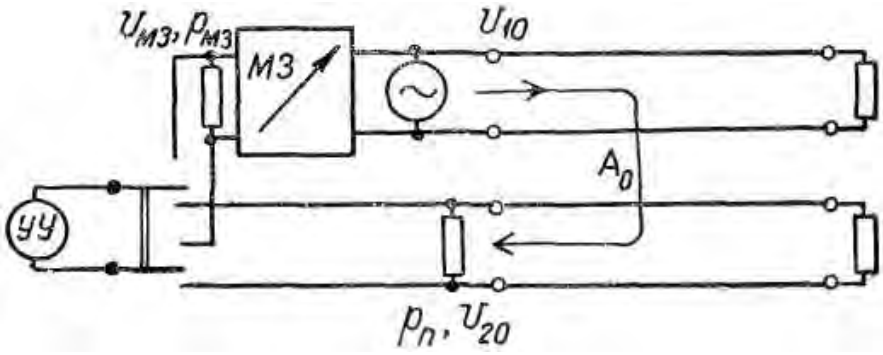


Рисунок 4.15 – Схема вимірювання перехідного загасання на дальньому кінці

Підставляючи вираз (4.30) у формули (4.12), (4.16), (4.28), одержимо формули, які використовують при вимірах у дБ:

$$A_0 = \alpha_{\text{МЗ}} + 10\lg\left|\frac{z_{\text{x2}}}{z_{\text{x1}}}\right|; \qquad (4.31)$$

$$A_l = \alpha_{\text{МЗ}} + \alpha_1 l + 10\lg\left|\frac{z_{\text{x2}}}{z_{\text{x1}}}\right|; \qquad (4.32)$$

$$A_{30} = \alpha_{\text{МЗ}} - \alpha_2 l + 10\lg\left|\frac{z_{\text{x2}}}{z_{\text{x1}}}\right|; \qquad (4.33)$$

$$A_{3l} = \alpha_{\text{МЗ}} + (\alpha_1 - \alpha_2) l + 10\lg\left|\frac{z_{\text{x2}}}{z_{\text{x1}}}\right|. \qquad (4.34)$$

Якщо ланцюги однакові ($\alpha_1 = \alpha_2$, $z_{\text{x1}} = z_{\text{x2}}$), то формули (4.31)…(4.34) спрощуються:

$$A_0 = \alpha_{\text{МЗ}};\ A_l = \alpha_{\text{МЗ}} + \alpha l;\ A_{30} = \alpha_{\text{МЗ}} - \alpha l;\ A_{3l} = \alpha_{\text{МЗ}}, \qquad (4.35)$$

тобто у випадку однакових ланцюгів показання магазина загасань при вимірах будуть дорівнювати величині перехідного загасання на ближньому кінці й захищеності на дальньому кінці.

Вимір перехідних загасань можна здійснювати приладами П-322 з ИКП-300, ВИЗ-600, КИПЗ-300.

4.5 Залежність перехідного загасання і комплексного зв'язку від частоти та довжини лінії

Перехідні загасання й комплексні зв'язки впливу на ближній кінець, так само як і аналогічні характеристики безпосереднього й непрямого впливів на дальній кінець, залежать від частоти. Загальною властивістю цих частотних залежностей для реальних ліній зв'язку є їх випадковий характер, що особливо наглядно відбивається в неповторності (індивідуальності) частотних годографів комплексних зв'язків кожної будівельної довжини або підсилювальної дільниці (рис. 4.10).

Випадковість комплексного зв'язку і перехідного загасання визначається в остаточному підсумку випадковістю (індивідуальністю) неоднорідностей, які виникли у процесі виготовлення дільниці лінії. Індивідуальність неоднорідностей приводить до того, що параметри впливу $\dot{N}(x)$ та $\dot{F}(x)$ в одній дільниці розподілені уздовж його зовсім не так, як в іншому. Тоді, визначаючи комплексний зв'язок, наприклад, за основним рівнянням (4.5) для безпосереднього впливу на ближній кінець, одержимо для кожної дільниці (будівельної довжини) залежність комплексного зв'язку $\dot{y}_0$ від частоти, відмінну від цих залежностей для інших дільниць. Якщо перейти від комплексних зв'язків до перехідних загасань – формула (4.18), – то їх залежності від частоти для кожної дільниці також різні.

Індивідуальні особливості частотних характеристик впливу між ланцюгами кожної підсилювальної дільниці (будівельної довжини) наглядно відбиваються у формі частотного годографа комплексного зв'язку.

Для безпосереднього впливу на дальній кінець між ланцюгами з різними постійними поширення ($\dot{\gamma}_1 \neq \dot{\gamma}_2$) характерні прості за формою годографи у вигляді дуг, розташованих симетрично щодо уявної осі (рис. 4.9). При однакових ланцюгах ($\dot{\gamma}_1 = \dot{\gamma}_2$) ці годографи збігаються із уявною піввіссю. Такі монотонні годографи показують, що перехідна перешкода на дальньому кінці при безпосередньому впливі монотонно збільшується, а захищеність A_{3l} монотонно зменшується при збільшенні частоти (рис. 4.16).

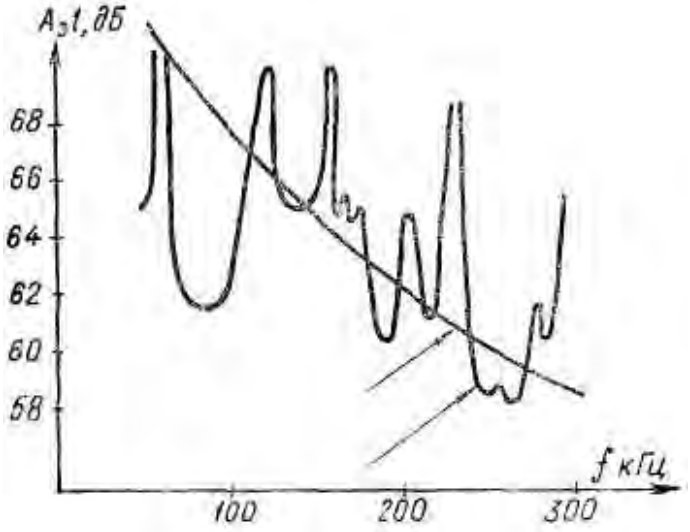


Рисунок 4.16 – Залежності захищеностей
на дальньому кінці від частоти

Для безпосереднього впливу на ближній кінець і непрямих впливів на дальній кінець характерні годографи досить складної форми, які нагадують по виду подовжену циклоїду (циклоїду з петлями) – рис. 4.10. Чудовою властивістю годографів є те, що всі їхні петлі утворені рухом точки годографа за ходом годинної стрілки (всі петлі праві). Точка годографа, описуючи петлі, то наближається, то віддаляється від початку координат. Відповідно перехідна перешкода то зменшується, то збільшується, а частотна характеристика перехідного загасання на ближньому кінці та захищеності від непрямих впливів на дальньому кінці одержує осцилюючий характер, тому що на частотах мінімального й максимального видалення від початку координат вона має максимуми й мінімуми загасання (рис. 4.16).

Додаванням перехідних загасань A_i великої кількості N однакових підсилювальних дільниць (або будівельних довжин) можна знайти середнє значення (математичне очікування) перехідного загасання $\overline{A}$ на безлічі дільниць (будівельних довжин):

$$\overline{A} = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} A_i .$$

Зміну $\overline{A}$ при збільшенні частоти можна оцінити за основними рівняннями взаємних впливів, наприклад, для впливу на ближній кінець за рівнянням (4.5). При збільшенні частоти параметр $\dot{N}_{12}$ у виразі (4.5) збільшується (§ 4.2), у результаті комплексний зв'язок $\dot{y}_0$ також збільшується, а перехідне загасання на ближньому кінці A_0 відповідно до

формули (4.18) зменшується в кожній підсилювальній дільниці. Тоді зменшується й середнє значення цього перехідного загасання $\overline{A}_0$.

Кількісний аналіз залежності $\overline{A}_0(f)$ показує: подвоєння частоти викликає зменшення середнього значення перехідного загасання на ближньому кінці A_0 між електрично довгими (αl >>15 дБ) симетричними ланцюгами будь-якого типу приблизно на 4,5 дБ. Якщо частоту відкласти на логарифмічній шкалі, то графік $\overline{A}_0(f)$ має вигляд прямої лінії з коефіцієнтом нахилу 4,5 (рис. 4.17).

Для безпосереднього впливу на дальній кінець коефіцієнт нахилу графіка $\overline{A}_{3l}(f)$ становить порядку 6, а для непрямих впливів через треті ланцюги та за рахунок відбиттів від внутрішніх неоднорідностей – 11,5, тобто перехідна перешкода, викликана непрямими впливами на дальній кінець, збільшується при збільшенні частоти в середньому на 5,5 дБ швидше, ніж перехідна перешкода, викликана безпосереднім впливом. У результаті практично непомітні на низьких частотах непрямі впливи стають порівнянними з безпосередніми впливами на високих частотах і навіть перевершують їх.

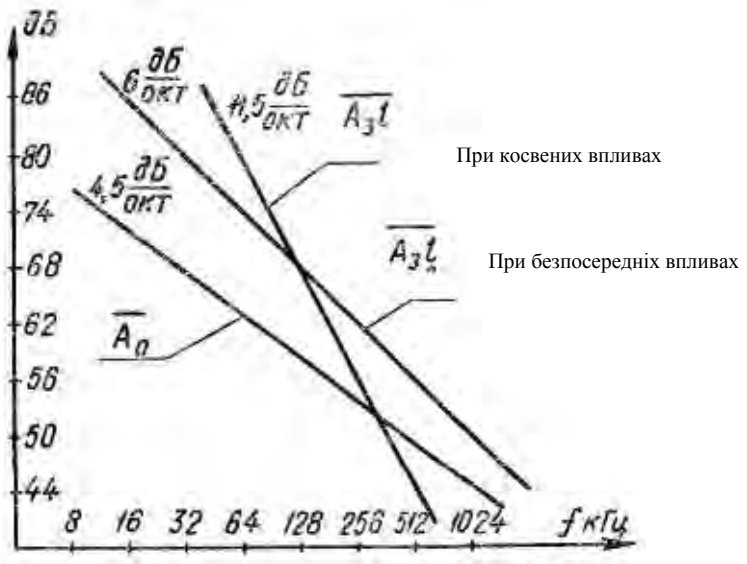


Рисунок 4.17 – Залежності середніх значень перехідного загасання й захищеностей від частоти

При зміні довжини ланцюгів, які взаємно впливають один на одного шляхом підключення (або відключення) будівельних довжин комплексні зв'язки $\dot{y}_0$ і $\dot{y}_l$, та пов'язані з ними формулами (4.18), (4.19), (4.29) перехідні загасання A_0 та A_l і захищеності A_{30}, та A_{3l} змінюються випадковим чином – вони можуть як зменшитися, так і збільшитися залежно від фази перехідної перешкоди, створеної довжиною, яка додається або відключається. Але середні на безлічі підсилювальних дільниць (будівельних довжин) значення цих параметрів

($|\dot{y}_0|$, $|\dot{y}_l|$, $\overline{A}_0$, $\overline{A}_l$, $\overline{A}_{30}$, $\overline{A}_{3l}$) змінюються при зміні довжин дільниць однозначно (невипадково). Наприклад, середній комплексний зв'язок на дальньому кінці пропорційний кореню квадратному з довжини ділянки, а на ближньому кінці пропорційний величині $\sqrt{1-10^{-0,2\alpha l}}$. Цей результат можна одержати шляхом усереднення за безліччю дільниць квадратів основних рівнянь (4.5) та (4.6):

$$\left|\overline{\dot{y}_l}\right| = M\left\{\int_0^l \dot{F}_{12}(x)\,dx \int_0^l \dot{F}_{12}(x')\,dx'\right\}^{\frac{1}{2}} = \sqrt{M\left\{\dot{F}_{12}\overset{*}{\dot{F}}_{12}\right\} r}\sqrt{l};$$

$$\left|\overline{\dot{y}_0}\right| = M\left\{\int_0^l \dot{N}_{12}(x)\,e^{-2\dot{\gamma}x}\,dx \int_0^l \dot{N}_{12}(x')\,e^{-2\dot{\gamma}x'}\,dx'\right\}^{\frac{1}{2}} =$$

$$= \sqrt{M\left\{\dot{N}_{12}\overset{*}{\dot{N}}_{12}\right\} r}\sqrt{1-10^{-0,2\alpha l}}.$$

де M – знак усереднення по безлічі дільниць; r – кореляційна довжина параметрів $\dot{N}_{12}$ та $\dot{F}_{12}$ у кілометрах.

Аналіз цих залежностей показує, що подовження дільниць, наприклад, учетверо, викликає збільшення їх комплексних зв'язків на дальньому кінці в середньому вдвічі, у результаті захищеності на дальньому кінці зменшуються за формулою (4.29) у середньому на 6 дБ. Помітне збільшення середнього комплексного зв'язку на ближньому кінці $|\dot{y}_0|$ внаслідок подовження дільниць, судячи з множника $\sqrt{1-10^{-0,2\alpha l}}$, спостерігається лише при дуже коротких дільницях. Вже при αl=10 дБ множник становить $\sqrt{0,99}$, і подальше подовження ділянки може його збільшити не більше ніж на 0,5 %. Фізично це пояснюється тим, що при впливі на ближній кінець через довжину, яка додається до дільниці, хвиля загасає на величину αl по шляху до цієї довжини й ще на αl по дорозі назад, так що при αl більше 10 дБ добавка до перехідної перешкоди сильно послабляється й практично перехідну перешкоду не змінює.

4.6 Ефект перестановки

Вплив між ланцюгами є взаємним, тобто якщо перший ланцюг впливає на другий, то і другий ланцюг впливає на перший.

Вплив на ближній кінець із боку А (рис. 4.18) відбувається як у напрямку I'–II', так і у зворотному напрямку: II'–I'. Сигнал у першому випадку поширюється від входу I' до виходу II' лінійного пасивного чотириполюсника, а в другому випадку у зворотному напрямку: II'–I'. Тому відповідно до теореми взаємності кількісні характеристики впливу на ближній кінець ($\dot{y}_0$, A_0) у напрямках I'–II' і II'–I' чисельно збігаються.

Аналогічно збігаються характеристики впливу на ближній кінець із боку Б (у напрямках I"–II" і II"–I").

Вплив на дальній кінець при передачі сигналу від А до Б відбуваються в напрямках I'– II" і II'–I". При цьому вхід і вихід одного напрямку (I' і II") не використовуються як вихід і вхід іншого напрямку (II' і I"), тобто умови теореми взаємності не виконуються й рівність впливів за теоремою не підтверджується.

Явище, яке полягає в нерівності впливів на дальній кінець у напрямках I'–II" й II'–I", називається ефектом перестановки. Ефект перестановки особливо наглядно проявляється в розбіжності годографів комплексних зв'язків впливів на дальній кінець із першого ланцюга на другий та із другого на перший (рис. 4.19).

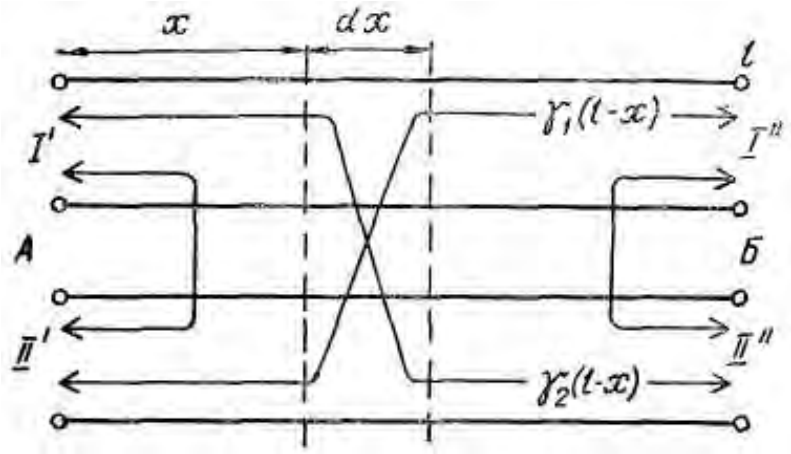


Рисунок 4.18 – Ефект перестановки

Безпосередні впливи мають ефект перестановки у випадку ланцюгів, які впливають один на одного з різними постійними розповсюдження ($\dot{\gamma}_1 \neq \dot{\gamma}_2$). Тоді хвилі струму (напруги) при впливах I'– II" й II'–I", проходячи ділянку від елемента *dx* (рис. 4.18) до дальнього кінця по різних ланцюгах, перетерплюють різні загасання, по різному змінюють свою фазу й викликають перешкоди, які відрізняються між собою.

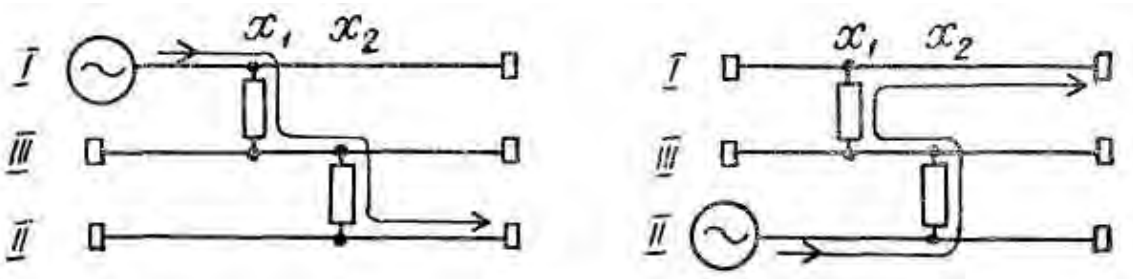


Рисунок 4.19 – Ефект перестановки при впливі через третій ланцюг

Сильний ефект перестановки мають непрямі впливи. Впливи через третій ланцюг навіть при розташуванні зв'язків тільки у двох крапках: x_1 і x_2 (рис. 4.19) – відбуваються по шляхах, довжина яких відрізняється на $2(x_1–x_2)$, що приводить до розходження впливів I'– II" й II'–I".

Ефект перестановки особливо сильно проявляється між високочастотними ланцюгами. Він знижує результативність методів зменшення взаємних впливів на високих частотах і потребує ускладнення цих методів.

4.7 Особливості впливу між коаксіальними ланцюгами

У коаксіальних ланцюгів, як було показано в гл. 3, відсутнє зовнішнє електромагнітне поле. Тому безпосередній вплив між ними дорівнює нулю. Однак між коаксіальними ланцюгами мають місце непрямі впливи через третій ланцюг, утворений із зовнішніх дротів коаксіальних ланцюгів.

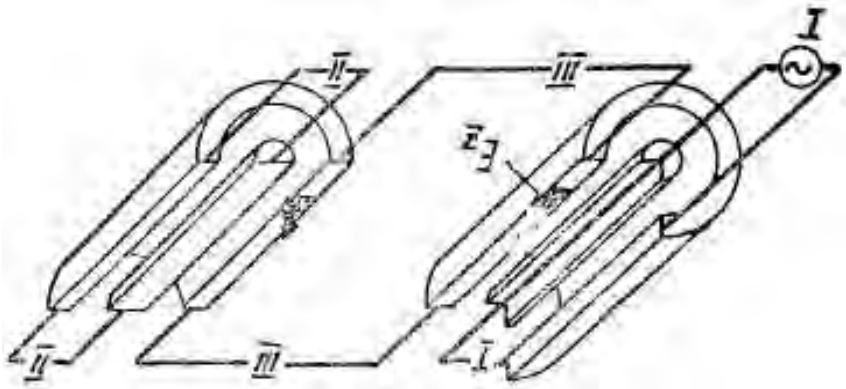


Рисунок 4.20 – Вплив між коаксіальними ланцюгами

Процес впливу між першим та другим коаксіальними ланцюгами можна представити таким чином (рис. 4.20). При передачі сигналу по першому (який впливає) ланцюгу на зовнішній поверхні зовнішнього дроту виникає поздовжня складова електричного поля $\dot{E}_{z1}$. Ця складова $\dot{E}_{z1}$ викликає струм у третьому ланцюзі, що складається із зовнішніх дротів першого та другого коаксіальних ланцюгів. Цей струм, протікаючи по зовнішньому дроту, другого коаксіального ланцюга, створює на внутрішній поверхні його зовнішнього дроту поздовжню

складову напруженості електричного поля $\dot{E}_{z2}$. Складова $\dot{E}_{z2}$, діючи як ЕРС, створює напругу перешкод у другому коаксіальному ланцюзі.

Ступінь впливу між коаксіальними ланцюгами визначається величиною опору зв'язку (взаємного опору) Z_{12}:

$$z_{12} = \dot{E}_z / \dot{I},$$

де $\dot{E}_z$ – напруженість поля на зовнішній поверхні зовнішнього дроту ланцюга, який впливає; $\dot{I}$ – струм, який протікає в зовнішньому дроту цього ланцюга.

Залежність впливу між коаксіальними ланцюгами від частоти на відміну від симетричних принципово інша. Якщо в останніх вплив із частотою зростає, то вплив між коаксіальними ланцюгами з ростом частоти зменшується. Це пояснюється тим, що в коаксіальному кабелі з ростом частоти щільність струму на зовнішній поверхні його зовнішнього дроту зменшується, напруженість $\dot{E}_{z1}$ прагне до нуля й вплив стає мінімальним. При цьому, на відміну від симетричних ланцюгів, перехідні загасання A_0 та A_l збільшуються (рис. 4.21).

Виходячи із цього, вплив між коаксіальними ланцюгами потрібно враховувати тільки при порівняно низьких частотах – біля 60…100 кГц. Для зменшення впливу між коаксіальними ланцюгами при цих частотах, зазвичай, застосовують екрани у вигляді обмотки зі сталевих стрічок, які накладають на їх зовнішній дріт.

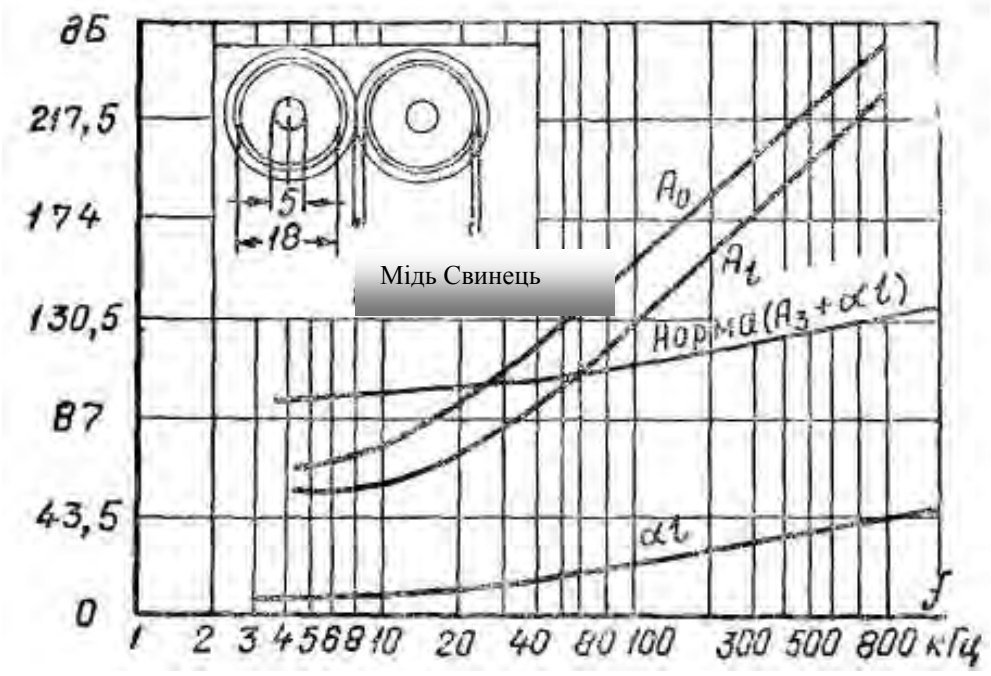


Рисунок 4.21 –Частотна залежність перехідних загасань між коаксіальними ланцюгами

4.8 Норми захищеності й перехідних загасань

Щоб якість зв'язку була нормальною, захищеність у каналі зв'язку від перехідної перешкоди не повинна бути меншою деякої величини, яку називають нормою захищеності.

В Україні для каналів, утворених по ланцюгах симетричних кабелів, які використовуються по чотирьохдротовій системі, на лінії довжиною 2500 км, захищеність від виразної перехідної розмови повинна бути не меншою 58 дБ (6,7 Нп) для 90 % або більше комбінацій каналів і не менш ніж 55 дБ (6,3 Нп) для всіх 100 % комбінацій каналів. Для каналів, утворених по двохдротових ланцюгах, дозволяються значення захищеності не нижче 50 дБ (5,8 Нп).

У каналах, утворених по кольорових ланцюгах повітряних ліній зв'язку, захищеність на лінії довжиною 2000 км повинна бути не меншою 50 дБ (5,8 Нп), а для сталевих ланцюгів на лінії довжиною 400 км – не меншою 47 дБ (5,4 Нп).

При роботі високочастотної апаратури по однокабельній чотирьохдротовій системі зв'язку захищеність від перехідної перешкоди на ближньому кінці для нормальної роботи систем вторинного ущільнення повинна бути не менш 35 дБ (4 Нп) при максимальній для цих апаратур дальності зв'язку $l_н$.

Якщо фактична довжина ділянки l відрізняється від зазначеної довжини $l_н$, то норму захищеності необхідно збільшити на $10\lg\frac{l_н}{l}$ дБ ($\frac{1}{2}\ln\frac{l_н}{l}$ Нп).

Характеристики взаємного впливу в процесі розгортання (будівництва) і експлуатації ліній зв'язку вимірюють не тільки в каналах повної лінії, але й по підсилювальних дільницях безпосередньо після розгортання. При цьому на ближньому кінці вимірюють перехідне загасання A_0, а на дальньому – захищеність A_{3l}. Норми A_0, A_{3l} на підсилювальну дільницю встановлюються так, щоб їх виконання гарантувало нормальну захищеність у каналах лінії в цілому.

Між низькочастотними ланцюгами перехідні загасання нормуються на частоті 800 Гц, а між високочастотними ланцюгами – у всьому діапазоні частот, що передаються в них.

Наприклад, A_0 й A_{3l} підсилювальної дільниці симетричного високочастотного кабелю повинні дотримуватися норм, зазначених у табл. 4.1.

Захищеності між низькочастотними ланцюгами симетричних кабелів, ланцюгами мовлення й між коаксіальними ланцюгами на підсилювальних дільницях повинні задовольняти нормам, наведеним у табл. 4.2. Відповідно перехідні загасання A_0 й A_l повинні бути більше

зазначених у табл. 4.2 норм на величину αl (на загасання сигналу в підсилювальній дільниці).

Таблиця 4.1 – Норми захищеності симетричних високочастотних кабелів

№ з/п	Характеристика	Норма в дБ		
		Для 100 % комбінацій ланцюгів	Для 90 % комбінацій ланцюгів	Для 65 % комбінацій ланцюгів
Для систем К-60(К-24) у діапазоні 12…252 (12…108) кГц				
1.	Захищеність на дальньому кінці, не менш			
	кабель7×4	73	75	78
	кабель4×4	71	74	78
	кабель1×4	71	76	
2.	Перехідне загасання на ближньому кінці, не менш	59	61	
Для системи «Кама» у діапазоні 12…552 кГц				
3.	Захищеність на дальньому кінці, не менш	65	68	69
4.	Перехідне загасання на ближньому кінці, не менш	54	56	59

Таблиця 4.2 – Норми захищеності симетричних низькочастотних кабелів

Характеристика	Між НЧ ланцюгами (на 800 Гц)		Між ланцюгами мовлення (на 5 кГц)	Між коаксіальними ланцюгами (у всьому діапазоні)	
	2-пров.	4-пров.		2,6/9,4	1,2/4,4
A_{30} й A_{3l} , дБ	60,8	65,1	82,5	110	20,3

У випадку нестандартного використання дільниці неможливо скористатися зазначеними нормами. Тоді норми A_0 і A_{3l} для підсилювальної дільниці розраховують, керуючись при цьому описаними нижче особливостями.

Відносно ланцюгів, які впливають один на одного, напрямки передачі можуть бути погодженими (рис. 4.13) або зустрічними (рис. 4.12). При дводротовому низькочастотному зв’язку напрямок передачі змінюється щораз, коли абонент починає говорити, тому ланцюги при такому зв’язку половину часу мають погоджені напрямки передачі й половину – зустрічні напрямки.

При чотирьохдротовому низькочастотному зв'язку по симетричному кабелю й чотирьохдротовому високочастотному зв'язку по коаксіальному кабелю ланцюги передачі й прийому розташовують у загальному кабелі, у результаті половина пар (комбінацій) ланцюгів у цьому кабелі має погоджені напрямки передачі, і половина – зустрічні. При високочастотному зв'язку по симетричних ланцюгах намагаються уникнути зустрічних напрямків передачі по них, що досягається розташуванням всіх ланцюгів передачі в одному кабелі, а ланцюгів прийому – в іншому кабелі (двокабельні системи), або використанням для передачі по всіх ланцюгах одного загального діапазону частот, а для прийому по цих же ланцюгах – іншого загального діапазону (двосмугові системи). У результаті всі пари (комбінації) ланцюгів мають погоджені напрямки передачі.

В однокабельних ПКЛ мають місце тільки зустрічні напрямки передачі по ланцюгах, які впливають один на одного. В такому випадку перехідна перешкода потрапляє на вхід приймача тільки на ближньому кінці. У цьому випадку варто нормувати перехідне загасання на ближньому кінці A_0. Якщо ж мають місце як погоджені, так і зустрічні напрямки передачі по ланцюгах, то на вхід приймача потрапляють перехідні перешкоди й на дальньому, і на ближньому кінцях. У цьому випадку варто нормувати як перехідне загасання на ближньому кінці A_0, так і захищеність на дальньому кінці A_{3l}.

Норму захищеності розраховують виходячи з довжини підсилювальної дільниці l, додаючи $10\lg\frac{l_н}{l}$ дБ до норми для довжини $l_н$. Норму перехідного загасання A_0 для обох випадків розраховують за формулою (4.24), яка описує залежність між захищеністю й перехідним загасанням на ближньому кінці.

Якщо мають місце тільки погоджені напрямки передачі по ланцюгах, то перехідна перешкода потрапляє на вхід приймача тільки на дальньому кінці. Тому захищеність на дальньому кінці нормують. Крім того, у цьому випадку нормують і перехідне загасання на ближньому кінці, оскільки надмірне його зниження може створити на дальньому кінці додаткову перехідну перешкоду в результаті непрямого впливу за рахунок відбиття від навантажень ланцюгів. Норму A_0 в децибелах розраховують за формулою:

$$A_0 = A_3 + 20\lg\left(p\sqrt{2}\right) + 3{,}47\ ,$$

де p – максимально припустимий коефіцієнт відбиття від навантаження ланцюга (для багатоканальних систем $p = 0{,}1$).

4.9 Особливості впливу між ланцюгами при передачі імпульсів

Системи зв'язку з часовим розподілом каналів, які здійснюють передачу інформації у симетричних ланцюгах кабельних ліній зв'язку в імпульсній (цифровій) формі, створюють істотно більшу перехідну перешкоду в порівнянні з апаратурою частотного розподілу каналів (ЧРК). Це визначається, головним чином, збільшеним приблизно в 16 разів частотним діапазоном цифрового лінійного сигналу в порівнянні з лінійним сигналом апаратури ЧРК. Наприклад, апаратура ІКМ-30 (2048 кбіт/с) використовує смугу порядку 2 мГц при 30 каналах ТЧ, тоді як 24-канальна апаратура з ЧРК П-301 обходиться смугою 108–12 = 96 кГц.

Збільшення частоти в 16 разів збільшує перехідні перешкоди на ближньому кінці в середньому на 18 дБ (рис. 4.17), перешкоди на дальньому кінці від безпосереднього впливу – на 24 дБ і від непрямих впливів – на 46 дБ.

При передачі лінійного цифрового сигналу по коаксіальних ланцюгах збільшений спектр цього сигналу не викликає збільшення перехідної перешкоди, оскільки з ростом частоти впливи між коаксіальними ланцюгами зменшуються (рис. 4.21).

У результаті цифрові лінійні сигнали зі швидкостями 34848 кбіт/с й 140 Мбіт/с можна передавати тільки по коаксіальних ланцюгах. Лінійні сигнали порівняно малоканальних систем ІКМ-30 (2048 кбіт/с) і ІКМ-120 (8448 кбіт/с) можна передавати також і по симетричних ланцюгах.

По ланцюгах кабелю П-296, наприклад, може працювати одна система ІКМ-30 або ІКМ-120 в чотирьохдротовому однокабельному режимі. Тоді напрямки передачі зустрічні (рис. 4.22) і на вхід приймача потрапляє перехідна перешкода тільки на ближньому кінці. Вона, за умови занадто довгої регенеративної дільниці, рівняється з сигналом на вході регенератора, що викликає збільшення ймовірності помилкового прийому імпульсів. При подальшому подовженні дільниці перехідна перешкода може навіть перевищити корисний сигнал. Тому для правильного вибору довжини регенеративної дільниці при проектуванні системи з часовим розподілом каналів треба врахувати характер і величину перехідної перешкоди на ближньому кінці.

Сигнал, який впливає, $U_{10}(t)$ складається з позитивних та негативних прямокутних імпульсів, тобто в ньому відбуваються стрибки напруги – по два стрибки на кожний імпульс (рис. 4.22). Перший стрибок дістається елемента dx по ланцюгу, який впливає, і повертається назад по ланцюгу, що піддається впливу, витрачаючи час, який дорівнює $2x/V$. При цьому x – відстань до елемента dx, а V – швидкість поширення сигналу у ланцюзі. В результаті елемент dx створює перехідну перешкоду $i_{\text{п}}(t)$ у навантаженні тільки в момент $2x/V$, в інші моменти перешкоду $i_{\text{п}}(t)$ створюють інші елементи dx. У результаті часова осцилограма струму $i_{\text{п}}(t)$, який викликаний першим стрибком напруги $U_{10}(t)$, показує розподіл

параметра впливу $\dot{N}_{12}$ уздовж кабелю на його початку. А саме, за ординатою $i_п(t)$ у момент t можна судити про зв'язок $\dot{N}_{12}$ у точці $x = \frac{Vt}{2}$. При цьому варто враховувати, що на шляху до елемента dx і назад сигнал загасає на $\alpha 2x = \alpha Vt$ дБ і перехідна перешкода згодом зменшується в $10^{-0,05\alpha Vt}$ раз (рис. 4.22).

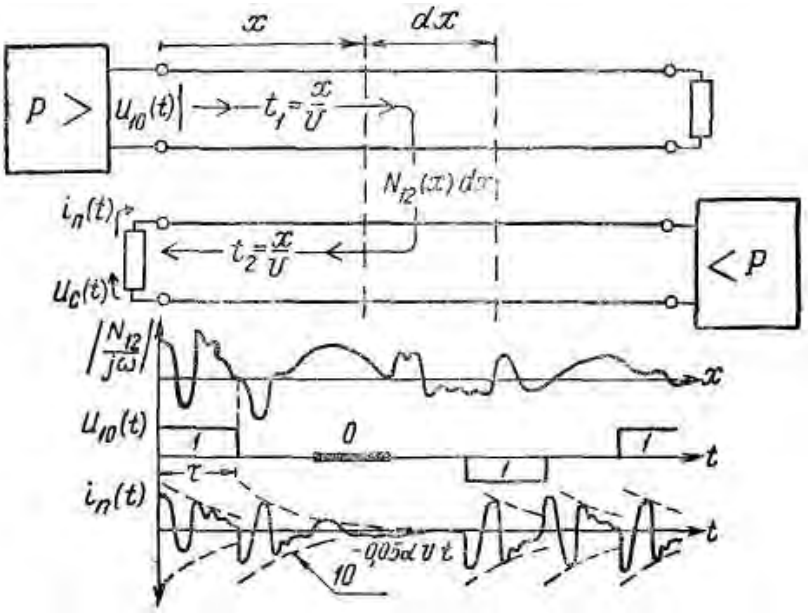


Рис. 4.22 – Вплив між ланцюгами при передачі імпульсів

Наступний стрибок напруги (t) має протилежну полярність, тому він викликає перешкоду з такою ж залежністю від часу, що й перший, але струм перешкоди спрямований у протилежний бік. Якщо тривалість імпульсу τ настільки велика, що $\alpha V\tau$ становить значне загасання, то до моменту другого стрибка перешкода $i_п(t)$, яка викликана першим стрибком, практично закінчується й після другого (чи кожного наступного) стрибка спостерігається перешкода, викликана тільки останнім стрибком.

Такий режим характерний для осцилографічного спостереження розподілу параметра впливу $\dot{N}_{12}$ уздовж кабелю. Для нього властива різка залежність величини перехідної перешкоди від часу t: відразу після початку імпульсу в більшості регенеративних дільниць перешкода велика, а до кінця імпульсу практично у всіх регенеративних дільниць перешкода зменшується в багато ($10^{-0,05\alpha V\tau}$) раз.

В більшості випадків $\alpha V\tau$ мають малі значення. Наприклад, у системі П-296/ІКМ-30 маємо α (1024 кГц) $V\tau$ = = $8,7\cdot 200\cdot 10^3\cdot 0,25\cdot 10^{-6}$=0,435 дБ. Це означає, що перешкода $i_п(t)$, яка викликана першим стрибком, зменшується втроє (на 8,7 дБ) лише після появи десятого імпульсу, і в кожен момент часу складаються перешкоди, викликані не

тільки останнім стрибком напруги, що впливає (як зображене на рис. 4.22), але й принаймні двома десятками попередніх стрибків цієї напруги.

У результаті перешкода $i_{\text{п}}(t)$ стає більшою, а її схожість з функцією $\dot{N}_{12}(x)$ повністю порушується. Крім того, очікувана величина перехідної перешкоди $i_{\text{п}}(t)$ стає для всіх моментів часу практично однаковою, що дозволяє обмежитися розрахунком її для будь-якого одного моменту.

Точний розрахунок очікуваної величини перешкоди складний у математичному відношенні, а також з точки зору організації значної кількості вимірів комплексних зв'язків для одержання вихідних даних розрахунку. Задовільні результати дає спрощений розрахунок, у якому вся потужність сигналу, який впливає, вважається зосередженою на напівтактовій частоті ($0{,}5f_{\text{т}}$=1024 кГц для ІКМ-30 і $0{,}5f_{\text{т}}$= = 4224 кГц для ІКМ-120). Тоді:

$$\left|\overline{\dot{i}_{\text{п}}}\right| = \frac{U_{10}}{z_x}\cdot 10^{-0{,}05\,\overline{A_0(0{,}5\,f_{\text{т}})}},$$

де U_{10} – діюче значення напруги, яка впливає; $\overline{A_0(0{,}5\,f_{\text{т}})}$ – перехідне загасання на ближньому кінці, середнє на безлічі регенеративних дільниць; $\left|\overline{\dot{i}_{\text{п}}}\right|$ – значення струму перехідної перешкоди середнє на безлічі регенеративних дільниць.

При спільній роботі декількох систем з часовим розподілом каналів по багатопарних кабелях доцільно забезпечити погоджене використання ланцюгів, застосувавши двокабельну чотирьохдрітову систему зв'язку. Тоді перехідна перешкода попадає на вхід приймача тільки на дальньому кінці (рис. 4.13), причому на відміну від зустрічного використання ланцюгів вона залишається набагато меншою сигналу, який впливає, навіть за умови дуже довгої регенеративної дільниці. Наприклад, з табл. 4.1 видно, що регенеративна дільниця довжиною 19 км при частоті 252 кГц буде мати A_{3l} не менше 71 дБ тоді при збільшенні частоти в 16 разів (до напівтактової частоти ІКМ-120, тобто до 4 МГц), навіть якщо перешкода викликана цілком непрямими впливами, то захищеність зменшиться на 46 дБ (рис. 4.17), але вона врешті залишиться достатньою (25 дБ) для безпомилкового прийому імпульсу. Тобто перехідна перешкода роботі ІКМ-120 заважати не буде.

При оцінці впливу цифрового сигналу на симетричний ланцюг, по якому працює система зв'язку із частотним розподілом каналів варто враховувати, що найбільша перехідна перешкода очікується у верхньому (по спектру) каналі. Це пояснюється тим, що на верхній частоті збільшуються і взаємні впливи між ланцюгами, і спектральна щільність

цифрового сигналу, який впливає. Очікуваний рівень перехідної перешкоди в цьому каналі можна знайти, виходячи з рівня потужності сигналу p_{10}, який впливає і зосереджений в спектрі аналізуємого каналу, та середнього на безлічі регенеративних дільниць перехідного загасання A_0 при частоті каналу ($p_{\text{п}} = p_{10} - \overline{A_0}$).

Контрольні питання до розділу 4

1. Охарактеризувати причини взаємних впливів між кабельними ланцюгами.
2. Описати фізичні процеси при взаємних впливах між кабельними ланцюгами.
3. Навести основні рівняння взаємних впливів, охарактеризувати їхні складові.
4. Одиниці виміру рівнів передачі та їх фізичний сенс.
5. Охарактеризувати поняття перехідних загасань та захищеності між кабельними ланцюгами.
6. Навести способи виміру перехідних загасань та захищеності між кабельними ланцюгами.
7. Описати залежності перехідного загасання і комплексного зв’язку від частоти та довжини лінії.

РОЗДІЛ 5. КОНСТРУКЦІЯ КАБЕЛІВ ЗВ'ЯЗКУ

5.1. Класифікація кабелів

Відповідно до вимог закону України «Про телекомунікації» цифрові кабелі зв'язку, як складові частини системи електрозв'язку є дротами як аналогової, так і цифрової інформації й можуть застосовуватися на транспортних і місцевих мережах. Кабельні лінії, побудовані на цифрових кабелях, ущільнюються системами передачі із частотним поділом каналів типу К-60 у діапазоні частот до 252 кГц, «КАМА» до 552 кГц. Цифрові кабелі повинні ущільнюватися цифровими системами передачі ІКМ-120, ІКМ-1020 у діапазоні частот до 8484, 34368 кГц відповідно. З надходженням на ринок систем ущільнення нових технологій DSL цифрові кабелі повинні забезпечувати їхнє застосування в повному обсязі.

Виходячи із цих основних положень, можна класифікувати цифрові кабелі й тим самим визначити пріоритетні напрямки їх застосування та завдання по конструюванню. Класифікація кабелів представлена на рис. 5.1.

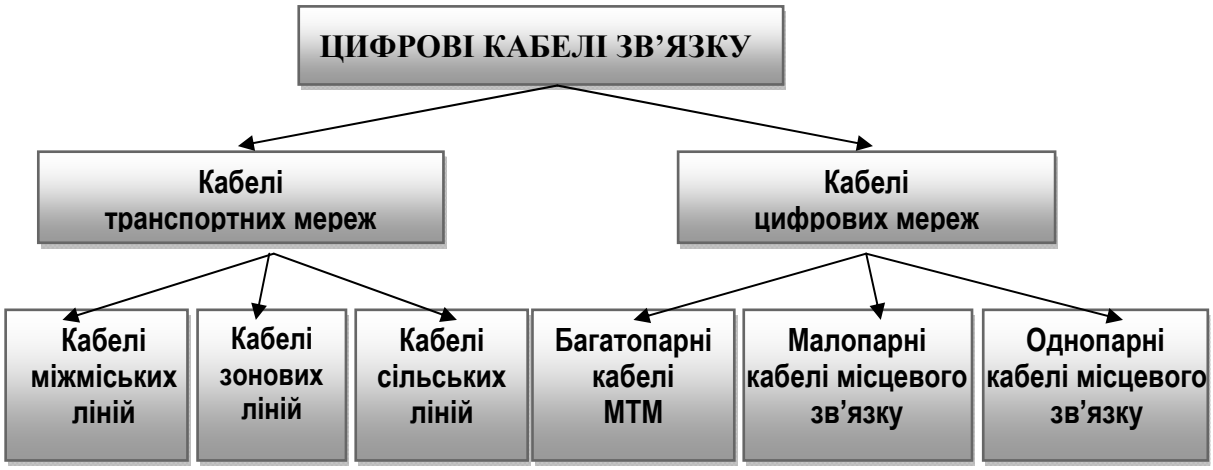


Рисунок 5.1 – Класифікація цифрових кабелів

Розглянемо докладніше основні типи й конструкції цифрових кабелів, застосовуваних у цей час на лініях єдиної системи електрозв'язку.

5.2. Кабелі транспортних мереж

До кабелів даного типу можуть бути віднесені кабелі для міжміських ліній, кабелі зонових мереж і кабелі сільського зв'язку.

Кабелі для міжміських ліній

До них відносяться симетричні ВЧ-кабелі з кордельно-полістирольною ізоляцією жил у свинцевій оболонці, які випускаються за ГОСТ 5.2221-74.

Симетричні ВЧ-кабелі зв'язку з кордельно-полістирольною ізоляцією виготовляються у свинцевій (тип МКС), алюмінієвої (тип МКСА) або сталевої гофрованої (тип МКСС) оболонках. Конструкції кабелів наведені на рис. 5.2 й 5.3.

Кабелі у свинцевій оболонці, за бажанням споживача, можуть мати мідні сигнальні жили діаметром 0,9 мм.

Осердя кабелів складається із стандартизованих зоряних четвірок з мідними жилами діаметром 1,2 мм.

Конструктивні характеристики відповідних зоряних четвірок у кабелів різних марок однакові.

Кабелі випускаються як ємністю чотири й сім четвірок, так й одночетверочні кабелі в алюмінієвій оболонці. Дві жили в четвірці, розташовані по діагоналі, щоб утворити робочу пару. Ізоляція жил першої пари четвірки має червоний і жовтий кольори, другої пари – синій і жовтий.

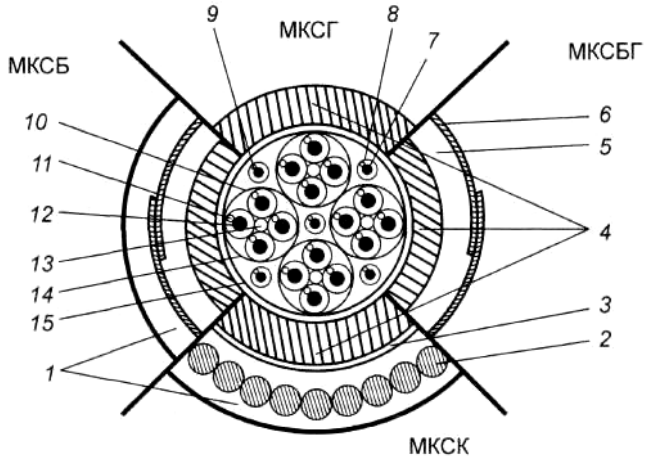


Рисунок 5.2 – Симетричний ВЧ-кабель типу МКС 4×4×1,2:
1 − зовнішній покрив (джут); 2 − бронепроволока; 3 − дві стрічки крепированого паперу; 4 − свинцева оболонка; 5 − подушка; 6 − дві бронестрічки; 7 − мідні дроти діаметром 0,9 мм; 8, 14 − полістирольна стрічка; 9, 11 − кордель діаметром 0,4 й 0,8 мм відповідно; 10 − кольорова хлопкопапероваа пряжа; 12 − струмопровідна жила діаметром 1,2 мм; 13 – кордель, що центрує, діаметром 1,1 мм; 15 − поясна ізоляція

Основні характеристики таких кабелів досить докладно викладені в [4].

Дані кабелі в цей час переживають «друге народження». Застосування сучасних матеріалів і нових технологічних рішень у технологічному процесі виготовлення дозволяють істотно підвищити їхні

споживчі властивості й вийти виробникам даної популярної продукції на нові рубежі.

Кабелі зонового зв'язку

Цей тип симетричних кабелів виготовляється з поліетиленовою ізоляцією струмопровідних жил у полівінілхлоридної, поліетиленовій й алюмінієвій оболонках і призначений для ліній зонового зв'язку, що ущільнюють системами К-60П-4 у діапазоні частот до 252 кГц. Конструкції кабелів показані на рис. 5.3 й 5.4.

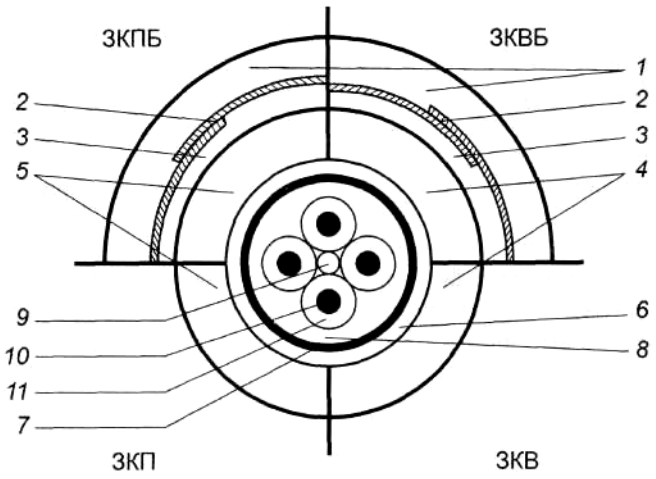


Рисунок 5.3 – Симетричний ВЧ-кабель типу ЗКП 1×4×1,2:
1 − зовнішній покрив; 2 − броня із двох сталевих стрічок; 3 − подушка; 4 − зовнішня оболонка із ПВХ-пластиката; 5 − зовнішня оболонка зі світлостабілізованого поліетилена; 6 – в'язкий підклеюваючий шар; 7 − екран із двох стрічок алюмінієвої фольги; 8 − заповнення з композиції; 9 − поліетиленовий кордель; 10 − струмопровідна жила; 11 − поліетиленова ізоляція

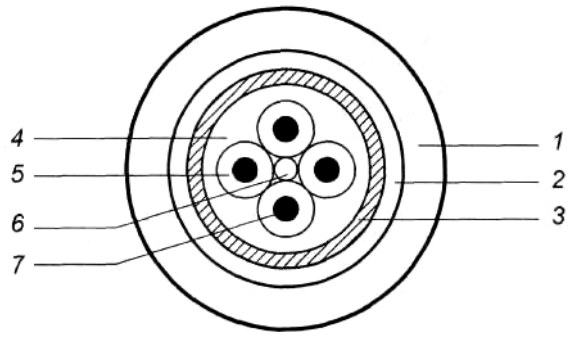


Рисунок 5.4 – Симетричний ВЧ-кабель типу ЗКПАШп:
1 − поліетиленовий шланг; 2 − шар бітумного складу; 3 − алюмінієва оболонка; 4 − заповнення з композиції на основі поліетилена; 5 − поліетиленова ізоляція; 6 − що центрує кордель; 7 − струмопровідна жила

Осердя кабелів складається з однієї зоряної четвірки з мідними жилами діаметром 1,2 мм із заповненням з композиції поліетилена з бутилкаучуком. Кабелі можуть прокладатися ручним і механізованим способами при температурі повітря не нижче –10 °С. Поставляються кабелі на дерев'яних барабанах, що виготовляють за ГОСТ 5151-71. Припустима робоча напруга дистанційного живлення 690 В змінного струму промислової частоти або 1000 В постійного струму.

Основні електричні характеристики цих кабелів докладно викладені в [4].

Виробники й споживачі кабельної продукції виявляють велику цікавість до виробництва кабелів зонового зв'язку з підвищеним частотним діапазоном використання. Виробництво таких кабелів немислимо без застосування нових конструкційних матеріалів і сучасних технологій виробництва.

Кабелі сільського зв'язку

Кабелі ліній міжстанційного зв'язку. Впровадження цифрових АТС на сільських мережах вимагає створення комплексу з'єднувальних ліній для взаємодії між цифровими й аналоговими АТС по трактах ІКМ.

Для організації великих пучків з'єднувальних ліній, зазвичай застосовуються оптичні кабелі (ОК) сільського зв'язку ОКСТСП 50-01-0,7; ОКСТСП 50-01-1,0; ОКСТСП 50-01-1,5 (ТУ 16.К71-084-90). Можуть також використатися оптичні кабелі загального застосування.

Для організації малих пучків ЗЛ застосовуються кабелі з металевими жилами одночетвірочні з гідрофобним заповненням уніфікованої конструкції типу КСПЗП 1×4×0,9; КСПЗПБ 1×4×0,9; КСПЗПТ 1×4×0,9; КСПЗПК 1×4×0,9 (ТУ 16.К71-061-89), що забезпечують роботу ЦСП ІКМ-ЗОС зі швидкістю 2048 кбіт/с, а також двочетвірочні кабелі з гідрофобним заповненням, з екранованими групами КСПЗПБ 2×4×0,9, що мають підвищене перехідне загасання між ланцюгами та дозволяють функціонувати цифровим системам передачі ІКМ-30СУ й ІКМ-120 з підсилювальною здатністю до 60 дБ.

Ми трохи докладніше зупинимося на конструкціях цих кабелів, тому що вони в цей час привертають особливу увагу розроблювачів кабельної продукції й споживачів у зв'язку із широким залученням на ринок цифрових технологій DSL.

Розглянемо конструкції кабелів для сільського зв'язку. Осердя одно- і двочетвірочних кабелів уніфікований (рис. 5.5, 5.6). Він містить чотири мідні жили діаметром 0,9 мм, ізольовані суцільним поліетиленом радіальною товщиною 0,9 мм, скручені в зоряну четвірку із кроком не більше 150 мм. Поверх скрученого осердя накладається послідовно поясна ізоляція у вигляді трубки з поліетилена й екран з алюмінієвої відпаленої стрічки – подовжньо або з перекриттям не менш 10 %. Під екран підкладений подовжньо мідний луджений дріт діаметром 0,3–0,4

мм. Вільний обсяг під поясною ізоляцією заповнений гідрофобним заповнювачем. Поверх екрана накладається: у небронъованих кабелях типу КСПЗП поліетиленова оболонка, у бронъованих типу КСПЗПБ – броня зі сталевої стрічки радіальною товщиною 0,1 мм із бітумним покриттям і захисний поліетиленовий шланг.

Параметри ланцюгів кабелю на постійному струмі повинні задовольняти наступним вимогам: опір жил – не більше 56,8 Ом/км, асиметрія – не більше 0,5 Ом на будівельну довжину, робоча ємність – 38±3 нф/км, опір ізоляції кожної жили щодо інших, з'єднаних один з одним й екраном, не менш 15 000 МОм·км.

Коефіцієнт загасання повинен відповідати значенням α для кабелів типу КСПЗП ємністю 1×4×1,2 (7,8 й 9,1 дБ/км на частотах 1024 й 2048 кГц). Ідентичність характеристик отримана шляхом зміни конструкції осердя кабелю, збільшення радіальної товщини ізоляції жил до 0,9 мм. Відмінна риса цих кабелів у тім, що коефіцієнт загасання й параметри впливу по ТУ 16.К71-061-89 пронормовані з урахуванням специфіки передачі сигналів ЦСП. Параметри передачі (α, β, $Z_в$) у діапазоні частот до 2048 кГц наведені в табл. 5.1.

Перехідне загасання між ланцюгами на ближньому кінці на будівельній довжині одночетвірочних кабелів типу КСПЗП ємністю 1×4×0,9 при цифровому сигналі, що впливає, у вигляді псевдовипадкової послідовності у коді HDB3, при швидкості передачі 1024 кбіт/с не менш 64 дБ, захищеність на далекому кінці – не менш 45 дБ. Перехідне загасання на ближньому кінці між ланцюгами кабелів типу КСПЗПБ ємністю 2×4×0,9, розміщених у різних екранованих групах, на частотах 1024 й 4224 кГц – не менш 110 й 90 дБ відповідно.

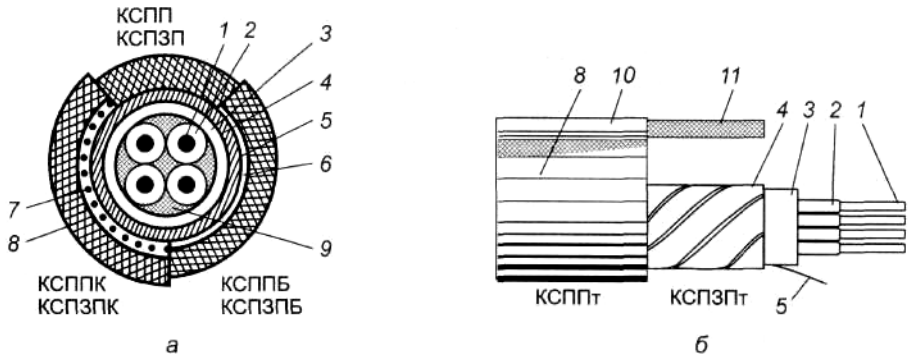


Рисунок 5.5 – Конструкція одночетвірочних високочастотних кабелів сільського зв'язку типу КСПП (КСПЗП):
а – підземного; б – підвісного; 1 − струмопровідна жила; 2 − ізоляція; 3 − поясна ізоляція; 4 − алюмінієвий екран; 5 − екранний мідний дріт; 6 − сталева стрічкова броня; 7− сталева дротова броня; 8 − поліетиленова оболонка в небронъованих або захисний шланг у бронъованих конструкціях; 9 − гідрофобний заповнювач (у кабелях КСПЗП); 10 − несучий шланг на несучому тросі; 11 − несучий трос

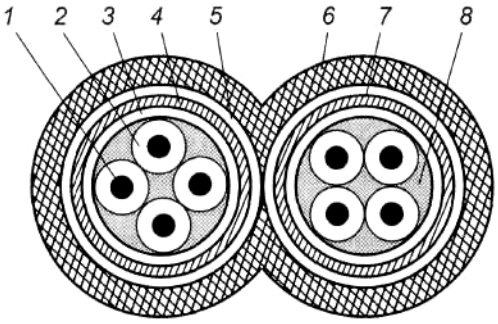


Рисунок 5.6 – Конструкція двочетвірочного кабелю сільського зв'язку типу КСПЗПБ (2×4×1,2):
1 − струмопровідна жила; 2 − ізоляція; 3 − поясна ізоляція; 4 − алюмінієвий екран; 5 − сталева стрічкова броня; 6 − загальний захисний шланг на дві четвірки; 7 − екранний мідний дріт; 8 − гідрофобний заповнювач

Таблиця 5.1 – Параметри передачі (α, β, $Z_в$) у діапазоні частот до 2048 кГц

***f*, кГц**	**1×4×0,9**					**1×4×1,2**				
	α, дБ/км	β, рад/км	$Z_в$, Ом	−φ, град.	$\alpha_\alpha 10^{-3}$, град$^{-1}$	α, дБ/км	β, рад/км	$Z_в$, Ом	−φ, град.	$\alpha_\alpha 10^{-3}$, град$^{-1}$
0,8	0,6	0,1	536	42	–	0,5	0,1	375	41	–
6,0	1,4	0,3	211	30	3,4	1,0	0,2	169	24	3,4
10	1,6	0,4	183	24	3,5	1,1	0,4	152	18	3,5
20	2,0	0,7	156	17	3,3	1,5	0,7	138	14	3,5
30	2,2	1,0	147	14	2,8	1,7	1,0	131	11	3,4
40	2,4	1,3	143	11	–	1,9	1,3	129	9	–
60	2,7	2,0	136	8	3,0	2,3	2,0	125	8	2,9
76	2,9	2,5	135	7	–	2,5	2,5	124	7	–
120	3,4	3,9	130	6	2,4	3,1	3,9	121	6	2,7
250	4,6	10,6	128	5	2,3	4,1	7,9	117	4	2,6
350	5,4	12,3	125	3	–	4,7	11,0	116	2	–
550	6,8	17,2	124	2	2,1	5,8	17,3	114	1,3	2,4
700	7,7	20,7	123	2	–	6,5	21,7	113	1	–
1024	9,1	31,0	121	1,5	–	7,8	20,8	111	1	–
2048	12,9	62,0	117	0,8	–	10,9	57,8	107	0,5	–

Кабелі абонентських ліній. Перспективні сільські АТС з'єднуються з кінцевими пристроями фізичними високочастотними цифровими абонентськими лініями.

Для ліній між АТС і лінійним блоком цифрового концентратора або мультиплексора використовуються одночетвірочні кабелі з гідрофобним заповненням КСПЗП 1×4×0,64; КСПЗП 1×4×0,9 і КСПЗПБ 1×4×0,9 за однокабельним варіантом (ТУ 16.К71-007-87). Цифрові тракти між АТС і лінійним блоком концентратора або мультиплексора можуть бути

організовані по низькочастотних кабелях ТППЗ і КТПЗБбШп за двокабельним варіантом.

Для внутрішньодомових АЛ варто застосовувати кабелі зі скрученими парами ТПВ АД 1×2×0,5; 3×2×0,5; 5×2×0,5 циліндричної конструкції й ТПВП АД 3×2×0,5 й 5×2×0,5 стрічкової конструкції.

Подальший розвиток АЛ МТМ повиннен йти по шляху впровадження високонадійних малопарних цифрових кабелів з екранованими групами, що мають високе перехідне загасання й передумови для розробки трактів ІКМ із підвищеною підсилювальною здатністю. Це дозволяє збільшити довжину регенераційної ділянки.

Малопарні кабелі для МТМ КТПЗБбШп (рис. 5.7) випускаються по ТУ 16.К71-007-87 з мідними жилами діаметром 0,64 мм із поліетиленовою ізоляцією, гідрофобним заповненням, з екструдированою поясною ізоляцією у вигляді трубки, броньовані сталевою гофрованою стрічкою з бітумним покриттям у поліетиленовому шлангу. Номенклатура кабелів КТПЗБбШп: 3×2×0,64; 5×2×0,64; 10×2×0,64.

Електричні характеристики кабелю КТПЗБбШп: опір струмопровідної жили постійному струму в межах 55±3 Ом/км, опір ізоляції жил – не менш 5000 МОм·км: робоча ємність – 45±5 нФ/км; коефіцієнт загасання на частоті 1000 Гц – не більше 0,9 дБ/км; перехідне загасання між ланцюгами на ближньому кінці – не менш 75 дБ.

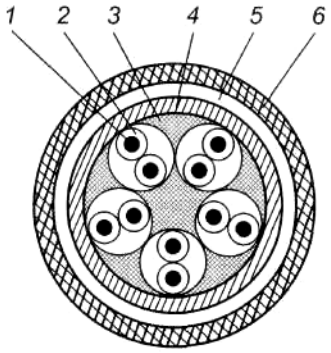


Рисунок 5.7 – Конструкція кабелю КТПЗБбШп (5×2×0,64):
1 − мідна струмопровідна жила; 2 − поліетиленова ізоляція жил; 3 − гідрофобний заповнювач; 4 − поясна поліетиленова ізоляція; 5 − сталева стрічкова броня з бітумним покриттям; 6 − поліетиленова оболонка

Одночетвірочні високочастотні кабелі КСПЗП 1×4×0,64 (ТУ 16.К71-061-089) аналогічні конструкції кабелю КСПЗП 1×4×0,9: діаметр мідних жил – 0,64 мм; радіальна товщина ізоляції – 0,7 мм. Електричні характеристики кабелю КСПЗП 1×4×0,64: опір жили постійному струму – не більше 58 Ом/км; робоча ємність – 39±3 нф/км; коефіцієнт загасання на частоті 512 кГц – 8,0 дБ/км. Перехідне загасання між ланцюгами на ближньому кінці на сигналі псевдовипадкової послідовності при швидкості передачі 1024 кбіт/с – 61 дБ на будівельну довжину.

Створення економічних, високонадійних абонентських цифрових мереж повинно йти по шляху впровадження технічних рішень, що забезпечують зменшення капітальних витрат і скорочення експлутаційних витрат.

Вибір оптимальних техніко-економічних рішень полягає, у першу чергу, у порівнянні параметрів цифрових систем передачі й характеристик середовища передачі.

Як показав досвід впровадження на ЗЛ двочетвірочних кабелів КСПЗП 2×4×0,9, конструкція із двох паралельних четвірок забезпечує високе перехідне загасання на ближньому кінці (100-110 дБ) між ланцюгами різних груп і можливість створення лінійного тракту ЦСП із підсилювальною здатністю до 60 дБ.

В основу конструкції кабелів для абонентських цифрових мереж прийнята концепція створення «двоствольних» малопарних кабелів з екранованими групами. По лініях з таких кабелів можуть працювати цифрові сільські апаратури з підсилювальною здатністю лінійного тракту 50 дБ.

Розроблено абонентські кабелі для ЦСП із підвищеним перехідним загасанням наступних конструкцій:

– двочетвірочні з екранованими групами й гідрофобним заповненням КСПЗП 2×4×0,64 (див. рис. 5.6);

– малопарні з екранованими групами й гідрофобним заповненням КЦПЗБШп – 2(3×2×0,64), 2(5×2×0,64) і 2(10×2×0,64) (рис. 5.8).

Первинні параметри передачі ланцюгів усередині екранованих груп цих кабелів відповідають ТУ 16.К71-061-89 на одночетвірочні кабелі КСПЗП 1×4×0,64. Коефіцієнт загасання на частотах 128; 512 й 1024 кГц становить величину не більше 5,0; 7,5; 11,0 дБ/км відповідно. Перехідне загасання між ланцюгами на ближньому кінці різних екранованих груп для зазначених частот – не менш 90 дБ, захищеність на далекому кінці – не менш 70 дБ на будівельну довжину.

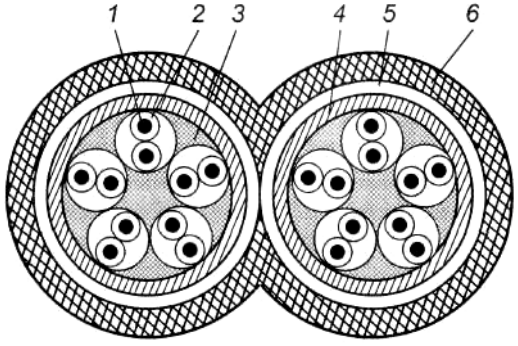


Рисунок 5.8 – Конструкція кабелю КЦПЗБШп 2(5×2×0,64):
1 − мідна струмопровідна жила; 2 − поліетиленова ізоляція; 3 − поясна ізоляція; 4 − алюмінієвий екран; 5 − сталева стрічкова броня з бітумним покриттям; 6 − загальний захисний шланг на дві екрановані групи

Впровадження цих кабелів разом із цифровими концентраторами й мультиплексорами дозволить організувати високонадійні сільські абонентські мережі з можливістю застосування устаткування технології xDSL.

На внутрішньовиробничих сільських мережах і лініях до фермерських господарств також повинні застосовуватися перераховані малопарні кабелі з гідрофобним заповненням. Висока надійність їхніх конструкцій і стабільність електричних характеристик повністю забезпечать функціонування всіх видів зв'язку й хід технологічних процесів сільськогосподарського виробництва.

Можливість застосування НЧ-кабелів для цифрових систем передачі визначається його частотними характеристиками вторинних параметрів передач і параметрів впливу в діапазоні частот використовуваного устаткування.

У табл. 5.2 наведені усереднені значення коефіцієнтів загасання, фази, хвильового опору для кабелю КТПЗБбШп у діапазоні частот до 2048 кГц.

Таблиця 5.2 – Усереднені значення параметрів передачі ланцюгів кабелю КТПЗБбШп

Параметр	Частота, кГц													
	1,0	2	4	8	16	32	64	128	160	256	352	512	1024	2048
α, дБ/км	0,9	1,5	2,0	2,7	3,2	3,8	4,3	5,0	6,0	6,9	8,2	10	11	14,6
$Z_в$, Ом	728	463	330	239	182	153	141	138	136	135	133	132	131,5	129
$-\varphi$, град.	44,0	42,0	40	35,5	27,9	18,5	10,8	6,6	6,0	4,5	3,7	2,3	1,7	1,5
β, рад/км	0,06	0,1	0,17	0,33	0,74	1,3	2,5	4,7	6,3	9,0	12,6	18,0	35,6	69,9

У табл. 5.3 представлені середньостатистичні значення перехідного загасання, захищеності між ланцюгами на фіксованих частотах за результатами вимірів на лініях, що перебувають в експлуатації.

Параметри передачі й впливу кабелів КСПЗП 1×4×0,64 у діапазоні частот до 2048 кГц, отримані за результатами статистичних вимірів, представлені в табл. 5.5, 5.5.

Таблиця 5.3 – Усереднені значення параметрів впливу між ланцюгами в кабелі КТПЗБбШп

Параметр	**Частота, кГц**						
	1,0	**2**	**4**	**8**	**16**	**32**	**64**
A_0, дБ	99	97,0	93,0	91,0	86,7	81,5	76,8
σ, дБ	7,0	7,0	7,0	6,4	6,1	4,3	7,5
A_1, дБ	99,0	97,9	95,0	94,0	90,8	86,3	84,1
σ, дБ	5,7	5,0	4,9	4,0	4,4	5,3	7,5
A_0, дБ	69,3	66,0	64,2	64,9	62,8	56,4	54
σ, дБ	5,2	5,0	4,8	5,6	4,6	5,0	4,3
A_1, дБ	82,6	81,0	80,6	80,0	77,0	72	70
σ, дБ	7,2	6,2	5,8	6,3	6.1	6,0	6,0

Таблиця 5.4 – Усереднені значення параметрів передачі ланцюгів кабелю КСПЗП 1×4×0,64

Пара-метр	**Частота, кГц**													
	1,0	**2**	**4**	**8**	**16**	**32**	**64**	**128**	**160**	**256**	**352**	**512**	**1024**	**2048**
α, дБ/км	0,8	1,4	1,8	2,4	3,0	3,4	4,0	4,5	5,0	6,0	7,0	8,0	10,0	12
$Z_в$, Ом	720	450	320	225	175	148	139	130	129	128	127	126	125	124
$-\varphi$, град.	42,0	41,0	40	35,0	28	18,0	10	6,0	5,5	4,0	3,5	2,3	1,6	1,4
β, рад/км	0,06	од	0,16	0,32	0,73	1,2	2,3	4,4	6,2	8,9	12,0	17,0	35,0	68

Таблиця 5.5 – Усереднені значення параметрів впливу між ланцюгами в кабелі КСПЗП 1х4х0,64

Пара-метр	**Частота, кГц**													
	1,0	**2**	**4**	**8**	**16**	**32**	**64**	**128**	**160**	**256**	**352**	**512**	**1024**	**2048**
A_0	85	83	80	78	74	72	70	66	64	62	58	60,0	57	50
σ	5	5	5	4,8	4,8	4,6	4,4	4,4	4,3	4,2	4,2	4,2	4,0	4,0
A_1	80	78	76	75	74	73	70	47	65	62	58	55	52	48
σ	5,7	5,0	4,6	4,5	4,4	4,8	5,0	5,1	5,2	5,4	5,6	5,8	6,0	6,0

5.3 Кабелі цифрових мереж доступу

Малопарні кабелі місцевого зв'язку

Кабелі малопарні телефонні високочастотні для систем цифрового абонентського ущільнення xDSL. Особливість конструкції цього сімейства цифрових кабелів у тім, що поряд із застосуванням для захисту осердя кабелю від проникнення вологи звичайних гідрофобних

заповнювачів використаються водоблокуючі «сухі» елементи, які дозволяють істотно підвищити споживчі властивості кабелів. «Пористі» технології при ізолюванні струмопровідних жил істотно знижують витрату матеріалів на виробництво й, як наслідок, знижують собівартість кабельної продукції.

Для захисту від гризунів опльотка кабелів покрита легкою бронею у вигляді сталевої сітки.

Переважні області застосування. Малопарні кабелі місцевого зв'язку високочастотні, призначені для цифрових транспортних мереж (з'єднувальних ліній) і мереж абонентського доступу при напрузі дистанційного живлення до 500 В постійного струму (табл. 5.6).

Таблиця 5.6 – Номенклатура сімейства малопарних цифрових кабелів

Марка кабелю	Найменування кабелю	Переважна область застосування
КМЦЗпП	Кабель місцевого зв'язку, цифровий із пльонкопористою плівковою поліетиленовою ізоляцією жил, з екраном з алюмополімерної стрічки, у поліетиленовій оболонці з гідрофобним заповненням	Для прокладки в телефонній каналізації, у колекторах шахт, по стінах будинків і підвіски на повітряних лініях зв'язку, в умовах підвищеної вологості
КМЦВпП	Те ж з водоблокуючими елементами	Теж
КМЦЗпПоп	Кабель місцевого зв'язку, цифровий із пльонко-пористой-пльоночною поліетиленовою ізоляцією жил, з гідрофобним заповненням осердя, в опльотці зі сталевого оцинкованого дроту, у поліетиленовій оболонці	Для прокладки в землі, у телефонній каналізації, у колекторах шахт, по стінах будинків і підвіски на повітряних лініях зв'язку, в умовах підвищеної вологості
КМЦЗпПБ	Кабель місцевого зв'язку, цифровий із пльонкопористою поліетиленовою ізоляцією жил, з екраном з алюмополімерної стрічки, броньований, у поліетиленовій оболонці, з гідрофобним заповненням	Те ж
КМЦВпПоп	Кабель місцевого зв'язку, цифровий із пльонкопористою плівковою поліетиленовою ізоляцією жил, з водоблокуючими елементами, в опльотці зі сталевого оцинкованого дроту, у поліетиленовій оболонці	_ " _
КМЦВпПБ	Кабель місцевого зв'язку, цифровий із пльонкопористою плівковою поліетиленовою ізоляцією жил, з екраном з алюмополімерної стрічки, броньований, у поліетиленовій оболонці, з водоблокуючими елементами	_" _

Кабелі випускаються з номінальним діаметром струмопровідних жил 0,50; 0,64; 0,9 мм. Будівельна довжина дорівнює 750 м.

Залежно від призначення кабелів і застосовуваних конструктивних елементів номінальне число пар в кабелях відповідає зазначеному в табл. 5.7.

Таблиця 5.7 – Номінальне число пар у кабелях різних марок

Марка кабелю	**Номінальне число пар залежно від номінального діаметра жил, мм**		
	0,50	**0,64**	**0,90**
КМЦЗпП	1−5	1−5	1−5
КМЦВпП	1−5	1−5	1−5
КМЦЗпПоп	1−3	1−3	1−2
КМЦЗпПБ	4−5	4−5	3−5
КМЦВпПоп	1−3	1−3	1−2
КМЦВпПБ	4−5	4−5	3−5

У кабелях застосовується парна односпрямована скрутка груп з погодженими кроками й односпрямованою скруткою осердя, що вважається найбільш кращим варіантом для досягнення високих споживчих властивостей.

Конструкція кабелю аналогічна конструкції кабелю типу КТПЗБбШп (див. рис. 5.7), але кабель має плівко-пористу плівкову поліетиленову ізоляцію жил.

Розрахунки й випробування кабелів у заводських умовах і на реальних лініях зв’язку показали високу надійність і відмінні електричні характеристики цих типів кабелів. Сполучення їх із сучасними високошвидкісними системами DSL у цілому підтвердили очікування конструкторів, що дозволяє нам з повною підставою рекомендувати ці кабелі для використання на цифрових мережах єдиної системи електрозв’язку.

Таблиця 5.8 – Електричні характеристики кабелів

Параметр	Частота струму, кГц	Норма	Коефіцієнт при перерахуванні норми на іншу довжину
Електричний опір струмопровідної жили постійному струму, перераховане на 1 км довжини й температуру 20 °С, Ом, для діаметрів жили, мм: 0,50 0,64 0,90	Постійний струм	 $90^{+5,9}_{-6,0}$ 55±3 28,4±3	*L**/1000

Продовження таблиці 5.8

Електричний опір ізоляції струмопровідних жил, перераховане на 1 км довжини, Ом, не менш	Те ж	5000	1000/*L*
Робоча ємність, перерахована на 1 км довжини, нФ	0,8 або 1,0	45±5	*L*/1000
Омічна асиметрія жил у парі, не більше, %	Постійний струм	1,0	*L*/1000
Перехідне загасання між ланцюгами усередині пучка на ближньому кінці, дБ, не менш – на частоті 160 кГц 100% комбінацій 90% комбінацій 60% комбінацій – на частоті 1024 кГц 90% комбінацій 60% комбінацій	Те ж	 65 70 75 60 65	
Іспитова напруга на протязі 1 хв, В – прикладене між жилами робочих пар; – між жилами й екраном	0,05 Постійний струм	1000 1500	
Електричний опір ізоляції й зовнішньої оболонки, перераховане на 1 км, мОм, не менш	Постійний струм	5,0	1000/*L*
Електричний опір екрана, перераховане на 1 км довжини й температуру 20 °С, Ом, не більше	Те ж	15	*L*/1000
* *L* – довжина кабелю.			

Однопарні кабелі місцевого зв’язку

На лініях сільського зв’язку на абонентських ділянках велике поширення одержали однопарні кабелі типу ПРППМ (ТУ 16.505.755-80) з мідними жилами з поліетиленовою ізоляцією, поверх якої накладена оболонка зі світлостабілізованого шлангового поліетилена.

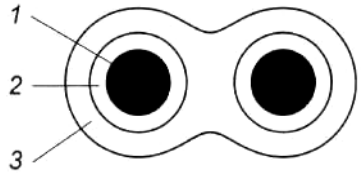


Рисунок 5.9 – Конструкція кабелю типу ПРППМ:
1 − дріт; 2 − ізоляція; 3 − оболонка

Конструктивно цей кабель виконаний у вигляді «вісімки» – жили розташовані паралельно (рис. 5.9).

Кабель виготовляється з діаметром мідних жил 0,8; 0,9 й 1,2 мм.

Область використання: мережі провідного мовлення й абонентські телефонні лінії.

За своїми технічними параметрами кабель призначений для використання на телефонних мережах у низькочастотному діапазоні.

Оцінка надійності ліній з кабелів типу ПРППМ показала, що причинами, які виводять лінії з ладу, є механічні ушкодження сторонніми організаціями, порушення технології монтажу й ушкодження оболонки й ізоляції жил гризунами.

Зазначені ушкодження приводять до погіршення електричних характеристик, їхньої нестабільності й неможливості ущільнення високочастотними каналами.

На сучасному етапі розвитку місцевих телефонних мереж, що вимагають підвищення надійності ліній і можливості їхнього ущільнення абонентськими цифровими пристроями, необхідні кабелі нових конструкцій.

Зі шляхів, що забезпечують зменшення пошкодженості ліній гризунами, – застосування конструкції кабелю із бронею з тонкої сталевої стрічки. Однак спроба розробки броньованого однопарного кабелю на базі ПРППМ не увінчалася успіхом. На геометрично малу конструкцію кабелю ПРППМ не вдавалося «одягти» броню з «сталевої сорочки». Дуже малий діаметр.

Був запропонований інший підхід до зазначеної проблеми. Поверх осердя кабелю накласти рідку обплетення зі сталевих оцинкованих дротів, що буде захищати від впливу гризунів й одночасно служить ґратчастим екраном, що зменшує вплив зовнішніх електромагнітних полів (рис. 5.10).

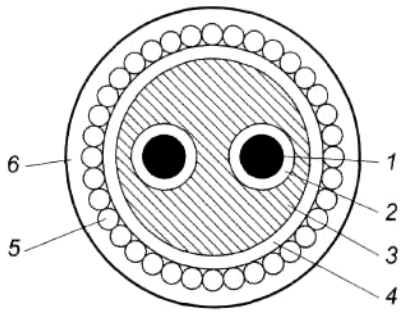


Рисунок 5.10 – Конструкція однопарного високочастотного кабелю КАПЗоп: 1 − струмопровідна мідна жила; 2 − поліетиленова ізоляція жили; 3 − гідрофобний заповнений осердя; 4 − поясна ізоляція; 5 − опльотка з оцинкованого дроту; 6 − зовнішня поліетиленова оболонка

Дві ізольовані жили, що відрізняються одна від одної за кольорами, скручуються в парі односпрямованою скруткою. Поверх цієї групи розміщається внутрішня випресована з поліетилену трубка (поясна ізоляція), осердя заповнюється гідрофобною масою. Поверх поясної ізоляції накладається обплетенні зі сталевих оцинкованих дротів. Далі

розміщають захисну зовнішню оболонку з поліетилену. Такі кабелі можуть бути використані для організації низькочастотних телефонних зв'язків на абонентській ділянці ліній і для передачі цифрових сигналів на швидкостях до 1024 Мбіт/с при номінальній напрузі дистанційного живлення до 315 В постійного струму. Кабелям привласнена марка КАПЗоп – кабель абонентський з поліетиленовою ізоляцією жил, з гідрофобним заповненням осердя, в обплетенні з оцинкованих дротів і поліетиленовому шлангу.

Електричні характеристики кабелів на постійному й змінному струмі наведені в [4].

Кабель може бути використаний на низькочастотних абонентських лініях замість кабелю ПРППМ. При нормі загасання 4,5 дБ на частоті 800 (1000 Гц) максимально припустимі довжини низькочастотних абонентських ліній МТМ із кабелів КАПЗоп з діаметром жил 0,9; 0,64 й 0,5 мм відповідно становлять 6,4; 5,0 й 3,6 км.

Використання кабелю КАПЗоп для цифрового абонентського ущільнення з устаткуванням FlexGain PCM 4/5 показало: стандартне устаткування PCM 4/5 має 5 цифрових 64 кбіт/с каналів при кодуванні 2B1Q. Нормоване робоче загасання 44 дБ на частоті 63 кГц.

Довжина абонентської лінії на 5 каналах по кабелі КАПЗоп наведена в табл. 5.9.

Таблиця 5.9 – Область використання кабелів КАПЗоп разом з устаткуванням FlexGain PCM 4/5

Тип кабелю	КАПЗоп 2×0,9	КАПЗоп 2×0,64	КАПЗоп 2×0,5
Коефіцієнт загасання, дБ/км	2,7	4,3	6,8
Довжина лінії, км	16,3	10,2	6,5

Контрольні питання до розділу 5

1. Навести класифікацію кабелів зв'язку.
2. Навести призначення та характеристики основних типів кабелів транспортних мереж.
3. Навести призначення та характеристики основних типів кабелів цифрових мереж доступу.

Розділ 6 КАБЕЛІ СТРУКТУРОВАНИХ КАБЕЛЬНИХ СИСТЕМ (СКС)

Сьогодні кабельна система частіше монтується в уже існуючому будинку, який раніше для цього був не пристосований. У цьому випадку необхідно здійснити підготовку будинку до монтажу системи, а потім провести інсталяцію самої системи. У сучасному будинку присутні різноманітні інженерні системи – телебачення (ефірне та кабельне), локальні мережі та телефонія, системи охоронної та пожежної сигналізації, різні системи автоматизації та інші системи. Це приводить до того, що будинок стає складним технічним об'єктом (такі будинки називають «інтелектуальними» (smart building)), управління яким вимагає значного обсягу знань та високої кваліфікації.

Концепція інтелектуального будинку отримує все більше розповсюдження, сьогодні вже існують сотні будинків, які повною мірою можна віднести до інтелектуальних. Наявність єдиної кабельної системи є однією з характерних ознак інтелектуального будинку. У США розроблений спеціальний стандарт на кабельну проводку для системи автоматизації будинку (Building Automation System – BAS). Виходячи з цього очевидно, що якісна кабельна система є необхідною умовою забезпечення якісної й безперебійної роботи як інформаційної мережі підприємства (будинку), так і різних систем автоматизації.

6.1 Структурована кабельна система

Основна ідея концепції СКС полягає в наступному – структурована кабельна система (СКС) дозволяє використовувати єдиний підхід при створенні комп'ютерних, телефонних мереж, мереж пожежної та охоронної сигналізації шляхом об'єднання їх у єдину систему, керовану з єдиного центру. Це загальний опис концепції СКС.

Під **СКС** розуміють – комунікаційну систему для з'єднання різних типів обладнання від різних виробників в обмеженій області, з використанням як фізичного середовища передавання кабельних компонентів (самі кабелі й все пасивне комутаційне обладнання), що служить для з'єднання активних мережних пристроїв і дозволяє передавати інформацію від різних застосувань, з необхідною швидкістю та мінімальною ймовірністю помилки, яка створена за принципами сполучення взаємозалежних та взаємопов'язаних складових частин.

Існує три *головні (базові) принципи побудови СКС*, а саме:

1. ***Структуризація*** – даний принцип припускає розподіл системи на низку незалежних (умовно незалежних) підсистем, кожна з яких призначена для виконання суворо визначених функцій і має стандартний інтерфейс для об'єднання в єдину систему. Даний принцип дозволяє підвищити надійність всієї системи, підсистеми є незалежними, вихід з

ладу однієї із них ніяким чином не впливає на працездатність інших. Використання стандартних інтерфейсів дозволяє застосовувати обладнання різних виробників, тобто знаходити оптимальне співвідношення ціна/якість.

2. ***Універсальність*** – СКС створюється за принципами відкритої архітектури на базі визначених стандартами технічних характеристик, при цьому СКС не є орієнтована на будь-яку мережну технологію або застосування. Даний принцип забезпечує гарантію того, що протягом усього терміну експлуатації СКС буде відповідати вимогам будь-яких існуючих технологій.

3. ***Надлишковість*** – розрахунок числа точок підключення до СКС (число інформаційних розеток) залежить від площини і розташування робочих приміщень. Цей принцип дозволяє забезпечити можливість швидкого розвитку (розширення) СКС при збільшенні числа співробітників.

Структурована кабельна система відрізняється від звичайної кабельної системи тим, що вона: має певну архітектуру і топологію; створюється на базі стандартних компонентів, певних принципів, з урахуванням правил та вимог стандартів.

Кабельна система складається з декількох основних компонентів – кабелів, комутуючих пристроїв тощо (рис 6.1), а її інсталяція в будинку вимагає додаткових елементів (кабельних каналів, телекомунікаційних шаф, стійок).

Рисунок 6.1 – Компоненти СКС

Перелік цих компонентів і виробів, що випускаються промисловістю, досить значний. Правила й норми проектування та монтажу сучасної структурованої кабельної системи досить складні;

вимірювальне обладнання, яке застосовується для тестування СКС досить специфічне, методи й засоби управління кабельною системою визначені стандартами. Все це робить кабельну систему складним і комплексним об'єктом. Невипадково те, що всі відомі компанії-постачальники обладнання для кабельних систем виробляють власні методології проектування, обмежують число використовуваних компонентів, стандартизують методи монтажу й тестування. До цього додається, як правило, власна система підготовки проектувальників і монтажників і відмінна від інших процедура надання гарантій. Дуже часто ці самі компанії розробляють і виробляють компоненти СКС.

До найпоширеніших компонентів СКС відносяться:

1. З'єднувальний модуль RJ-45 (екранований та неекранований) – встановлюється в інформаційні розетки та у комутаційні панелі, призначений для підключення мідних кабелів.

2. Волоконно-оптичний адаптер – оптичний аналог з'єднувального модуля RJ-45, встановлюється так само в інформаційні розетки та оптичні комутаційні панелі.

3. Волоконно-оптичний коннектор – призначений для окінцювання волоконного кабелю, у польових умовах без застосування зварювання або клейових компонентів. З'єднання здійснюється механічно з використанням тільки спеціальних інструментів.

4. Волоконно-оптичний пігтейл – призначений для окінцювання волоконно-оптичного кабелю. Пігтейл являє собою відрізок оптичного волокна закінчений з одного боку конектором певного типу. З'єднання пігтейла з оптичним кабелем здійснюється за допомогою зварювання.

5. Волоконно-оптичний MPO/MTP конектор – новий тип конектору, який орієнтований на роботу у мережах на базі технологій 10 Gigabit Ethernet та 40/100 Gigabit Ethernet. MPO/MTP конектор рекомендований для організації центрів обробки даних.

6. Комутаційна панель (патч-панель) – пасивне обладнання, яке розташовується в кросових, та призначене для встановлення з'єднувальних моделей RJ-45 і для ручного з'єднання комутаційними шнурами або перемичками різних сегментів СКС між собою, або і з мережевим обладнанням.

Усі компоненти СКС здебільшого розташовуються в кросових і апаратних приміщеннях у відкритих стійках або комутаційних шафах. Кожне обладнання має певну висоту, у термінах СКС висоту обладнання та висоту відкритих стійок (комутаційних шаф) прийнято вимірювати в юнітах (Unit). Юніт – це умовна одиниця виміру висоти робочої зони монтажних конструктивів, дорівнює 44,45 мм (1,75 дюйма). Ширина усіх елементів СКС стандартизована та вимірюється в дюймах, стандартна ширина становить 19 дюймів (1 дюйм = 2,54 см). Комутаційні панелі відрізняються за кількістю встановлюваних модулів RJ-45 та за висотою (в юнітах).

7. Волоконно-оптична комутаційна панель – аналогічно комутаційній панелі встановлюється в кросових, призначена для підключення оптичного кабелю, висота також виміряється в юнітах.

8. Організатор – призначений для укладання з'єднувальних і комутаційних шнурів. Часто є складовою частиною конструкції комутаційної панелі. Якщо організатор використовується як окремий пристрій, то його висота становить один юніт.

9. Телекомунікаційна розетка – це елемент, яким закінчується горизонтальна підсистема, і який призначений для інсталяції модулів RJ-45 або оптичних конекторів.

10. Y-розгалужувачі – призначені для надання декількох сервісів на один порт телекомунікаційної розетки, встановлюється як з боку розетки, так і з боку комутаційної панелі у кросовій.

11. Телефонні кроси – призначені для організації телекомунікаційних мереж передавання голосу й даних по телефонних каналах.

Діючі стандарти визначають, що знову створювана СКС повинна відповідати класу застосувань не нижче за клас D. Стандарт визначає, що лінії зв'язку СКС (канали) будуть *відповідати вимогам певного класу* застосувань при виконанні трьох умов:

1. Технічні характеристики всіх кабелів, роз'ємів та з'єднувальних шнурів цієї лінії відповідають вимогам цього класу/категорії або перевищують.

2. Лінія зв'язку спроектована з урахуванням вимог стандартів (тобто, дотримані обмеження на довжини кабелів, кількість точок комутації і т. ін.).

3. Монтаж ліній виконано відповідно до вимог стандартів.

При побудові СКС використовується наступне правило – лінія зв'язку (канал), організована на базі компонентів певної категорії, підтримує роботу всіх застосувань відповідного класу, а також застосувань більш низьких класів.

Одна з головних вимог до кабелів СКС та з'єднувальних шнурів (патч-кордів), яка висувається при проектуванні – це дотримання обмежень на довжину каналів у відповідності з вимогами стандарту.

На рис. 6.2 показані максимальні довжини кабелів і комутаційних шнурів у відповідності зі стандартом ISO/IEC 11801. Горизонтальна підсистема СКС утворена – горизонтальним кабелем між КП та інформаційною розеткою (IP) робочого місця, самим інформаційним роз'ємом, а також комутаційним обладнанням у КП до якого підключаються горизонтальні кабелі. До складу горизонтальної підсистеми також входять й комутаційні шнури й/або перемички. Максимальна довжина кабелю горизонтальної підсистеми становить 90 метрів (для мідних кабелів і для оптичних), вибір такої довжини обумовлений тим фактором, що дані тракти повинні забезпечувати

роботу застосувань типу Fast Ethernet. Додатково, стандарт ISO/IEC 11801, в залежності від типу моделі горизонтальної підсистеми СКС, накладає деякі обмеження на максимальну довжину кабельних трактів (табл. 6.1).

Рисунок 6.2 – Максимальні довжини кабелів і шнурів СКС у відповідності зі стандартом ISO/IEC 11801

Підсистема внутрішніх магістралей (вертикальна підсистема) – містить кабелі, що з'єднують КП із КБ, підключеного до них комутаційного обладнання в КБ і КП, а також комутаційні шнури й/або перемички в КБ. Основне призначення вертикальної підсистеми – це об'єднання в єдине ціле поверхових розподільників у єдине ціле в межах одного будинку. Максимальна довжина кабелів вертикальної підсистеми СКС становить 500 метрів за міжнародним стандарті й 300 метрів за американським стандартом.

Підсистема зовнішніх магістралей – містить кабелі, між КЗМ і КБ, підключене до них комутаційне обладнання у КЗМ і КБ, а також комутаційні шнури й/або перемички у КЗМ. Досить часто підсистема зовнішніх магістралей в якості топології використовує топологію типу кільце. Відповідно до міжнародного стандарту кабелі зовнішнього магістралі можуть мати максимальну довжину 1500 метрів. Додатково оговорюється, що максимальна довжина лінії між кросовою поверху КП та КЗМ не може перевищувати 2000 метрів (500 метрів вертикальна підсистема та 1500 метрів зовнішня магістраль).

При використанні одномодового кабелю дане значення може бути збільшене до 3000 метрів, при цьому довжина зовнішньої магістралі становить 2500 метрів.

Американський стандарт установлює довжину кабелів зовнішньої магістралі 1700 метрів і 2700 метрів для багатомодового та одномодового оптичного волокна відповідно.

Таблиця 6.1 – Залежність максимальної довжини кабельних трактів від типу моделі горизонтальної підсистеми СКС

Модель горизонтальної підсистеми	**Максимальна довжина кабельного тракту, м**		
	Клас D (Категорія 5/5e)	*Клас E/EA (Категорія 6/6A)*	*Клас F/FA (Категорія 7/7A)*
2-коннекторна	109 – FX	107 – 3– FX	109 – 2– FX
3-коннекторна без ТК (точки консолідації)	107 – FX	106 – 3 – FX	106 – 3 – FX
3-коннекторна з ТК (точкою консолідації)	107 – FX – CY	106 – 3– FX– CY	106 – 3 – FX – CY
4-коннекторна	105 – FX – CY	105 – 3 – FX – CY	105 – 3 – FX – CY

Примітки:

C – довжина кабельного тракту до точки консолідації;

F – сумарна довжина патч-кордів (абонентський кабель, комутаційний кабель, з'єднувальний кабель);

X – коефіцієнт втрат при підключенні патч-кордів (X= 1,5 для неекранованого кабелю та X= 1,5 для екранованого кабелю);

Y – коефіцієнт втрат при підключенні точки консолідації (X= 1,5 для неекранованого кабелю та X= 1,5 для екранованого кабелю)

У СКС використовуються наступні типи з'єднувальних шнурів (патч-кордів):

- комутаційний шнур – призначений для комутації (з'єднання) між двома комутаційними панелями (патч-панелями);
- кінцевий шнур – призначений для підключення активного мережного обладнання до комутаційної панелі;
- абонентський шнур – призначений для підключення активного мережного обладнання користувача до інформаційного роз'єму СКС.

Максимальна довжина всіх шнурів, які застосовуються при організації трактів горизонтальної підсистеми, становить 10 метрів. Довжина комутаційних шнурів у КБ та КЗМ у відповідності зі стандартом становить 20 метрів, а довжина кінцевих шнурів не більше ніж 30 метрів.

6.2 Загальна характеристика кабелів СКС

Сучасна структурована кабельна система може містити кілька десятків і навіть сотень кілометрів кабелю. Переважна більшість цих кабелів прокладаються у середині будинку у складі горизонтальної підсистеми та підсистеми внутрішніх магістралей. Одним із способів

підвищення техніко-економічної ефективності кабельних систем офісних будинків є мінімізація типів кабелів, що застосовуються для їх створення.

Для створення СКС стандарти дозволяють використовувати наступні типи кабелів:

- симетричні мідні кабелі на основі витої пари із хвильовим опором 100 Ом в екранованому та неекранованому виконанні;
- одномодові й багатомодові оптичні кабелі.

Мідні кабелі використовуються здебільшого для створення горизонтальної підсистеми. По них передаються як телефонні сигнали та дані низькошвидкісних застосувань, так і дані високошвидкісних застосувань. Застосування оптичних рішень у горизонтальній підсистемі також можливе, але поки що не так широко розповсюджено (це пов'язане з більш високою вартістю монтажу оптичних елементів і кабелів, а також з більш високою вартістю активного мережного обладнання). Підсистема внутрішніх магістралей створюється на базі як мідних, так і оптичних кабелів (електричні кабелі застосовуються для передавання, головним чином, телефонних сигналів, а оптичні кабелі забезпечують передавання даних високошвидкісних застосувань). Для створення зовнішньої магістралі застосовують, переважно, оптичні кабелі.

Коаксіальні кабелі не дозволені до використання стандартами. Це пояснюється низькою надійністю мереж, створених на їх основі, невисокою технологічністю та більш високою вартістю порівняно з кабелями на основі витих пар. Для забезпечення можливості роботи мережних пристроїв з коаксіальним мережним роз'ємом (інтерфейсом) використовують спеціалізовані адаптери різних видів.

Для створення горизонтальної підсистеми стандартами допускається застосування ***екранованого й неекранованого кабелю типу вита пара***. Екранований симетричний кабель має кращі електричні, а в деяких випадках і більш стійкі характеристики порівняно з неекранованим. Проте екранований кабель є дуже критичним до якості виконання монтажу й заземлення, має більшу вартість і гірші габаритно-вагові показники. Тому поки основним кабелем для передачі електричних сигналів у СКС, принаймні, в Україні, є кабелі на основі неекранованих витих пар.

Екрановані мідні кабелі ще поділяються на підгрупи (залежно від типу екрана) – з загальним або індивідуальним екраном. У першій редакції міжнародного стандарту визначалося 4 класи (групи) мідних кабелів на основі витої пари, опис і коротка характеристика цих класів наведені у табл. 6.2.

Маркування мідних кабелів, наведене в табл. 6.2, не дозволяє чітко визначити, який тип екрана реалізований у кабелі, у зв'язку з цим, у другій редакції стандарту воно було змінено, і сьогодні використовується у тому вигляді, який наведено на рис. 6.3.

Таблиця 6.2 – Первісна класифікація мідних кабелів

№ з/п.	Маркування кабелю	Опис
1	UTP	Неекранована вита пара.
2	FTP	Екранована вита пара, загальний екран з алюмінієвої фольги
3	S–FTP	Екранована вита пара, подвійний загальний екран з металевого обплетення (зовнішній) та з алюмінієвої фольги (внутрішній)
4	S–STP	Екранована вита пара, загальний екран з металевого обплетення й індивідуальний екран з алюмінієвої фольги для кожної пари провідників

Рисунок 6.3 – Повне маркування кабелів вита пара

Отже, можна відокремити такі види витих пар, які мають свої технічні характеристики, маркування та цільове призначення:

- кабель, який не має захисного екрану, носить назву неекранованої витої пари (UTP) (рис. 6.4а);
- за наявності зовнішнього захисного шару, виконаного з фольги, він носить назву FTP (рис. 6.4б);
- якщо у кожної пари є екран, а також зовнішній захист, то це екранована вита пара (STP);
- S/FTP — це кабель, у якого є фольгований захист у кожної пари, а також наявність зовнішнього екрана;
- коли в кабелю відсутній загальний екран, але є фольгований захист кожної пари, це U/STP;
- за наявності двох зовнішніх екранів і дренажного дроту між ними кабель носить назву SF/UTP.

Ще одним параметром, який характеризує мідні кабелі, є діаметр провідників кабелю, що вимірюється в AWG. AWG – це американський калібр проводу, AWG (англ. American Wire Gauge), при цьому, чим більше цифра калібру, тим тонше провід. Формула переведення номера калібру в діаметр у дюймах (inch) і міліметрах.

У СКС у відповідності зі стандартом ISO/IEC 11801:2002(E) дозволяється використовувати провідники з діаметрами від 0,4 до 0,65 мм, які приблизно відповідають діапазону калібрів AWG від 26 до 23. У табл. 6.3 показане співвідношення AWG у дюймах і міліметрах.

Таблиця 6.3 – Співвідношення AWG у дюймах і міліметрах

AWG	Діаметр, дюйми	Діаметр, мм	Площа, мм^2	Коментарі
22	0,0253	0,644	0,326	Кабелі категорії 7 і 7A
23	0,0226	0,573	0,258	Кабелі категорії 7 і 6, 6A
24	0,0201	0,511	0,205	Кабелі категорії, 6 і 5
25	0,0179	0,455	0,162	Кабелі категорії 5
26	0,0159	0,405	0,129	Кабелі категорії 5 і 3
27	0,0142	0,361	0,102	Не використовується в СКС

Категорії, зазначені у табл. 6.3, поділяються залежно від швидкості передачі інформації, інші ж характеристики не впливають на їхнє визначення. Таким чином, найвища категорія означає найбільший частотний діапазон і відмінні передавальні характеристики.

CAT1 відрізняється смугою частот 0,1 МГц та наявністю однієї пари. Є стандартним телефонним кабелем.

CAT2 з частотною смугою 0,2 МГц і двома парами провідників.

CAT3 зі смугою частот 16 МГц. У цій категорії можуть зустрічатися як 2, так і 4 пари провідників.

CAT4, смуга частот у якій становить 20 МГц, має 4 пари провідників. Наразі його не використовують.

CAT5 з частотною смугою 100 МГц, який здатний підтримувати швидкість передачі даних до 100 Мбіт/с та є найбільш широко розповсюдженим.

CAT6, у якого частотна смуга становить 250 МГц, є поширеним видом кабелю, що підтримує швидкість 1 Гбіт/с на відстані до 100 метрів.

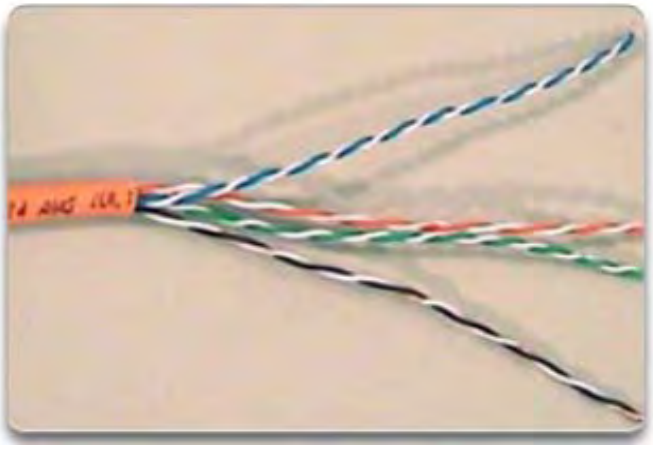
CAT7 зі смугою частот близько 600-700 МГц і здатністю підтримувати швидкість передачі даних до 10 Гбіт/с.

Також мідні кабелі (та і оптичні кабелі) можна охарактеризувати і за типом зовнішнього захисної оболонки. Зовнішня оболонка служить для захисту елементів внутрішньої конструкції кабелю від впливу зовнішнього навколишнього середовища. Сьогодні для виготовлення зовнішніх оболонок кабелів застосовуються різноманітні полімерні

матеріали, які характеризуються різними параметрами й мають відмінні один від одного характеристики, наведені в табл. 6.4.

Таблиця 6.4 – Перелік полімерних матеріалів, що використовуються для створення зовнішніх оболонок кабелів

Матеріал	Область застосування	Опис
Полівінілхлорид (PVC)	Зовнішні оболонки, ізоляція провідників	Негорючий, містить галогени
Фторовані полімери (FEP, ETFE)	Зовнішні оболонки	
Поліетилен (PE)	Ізоляція провідників	Не містить галогенів, горючий
Поліпропілен (PP)	Ізоляція провідників, заповнювачі	
Полістирол (PES)	Ізоляція провідників	
Поліуретан (PUR)	Зовнішні оболонки	
LS0H	Зовнішні оболонки	Оболонка, створена з комбінування декількох полімерних матеріалів. LS(Low smoke) – малодимна, 0H (zero halogens) не виділяє галогенів при горінні
LSFR0H	Зовнішні оболонки	Оболонка, створена з комбінування декількох полімерних матеріалів. LS (Low smoke) – малодимна, FR (Fire résistance) – важкогорюча, 0H (zero halogens) не виділяє галогенів при горінні



а.

б.

Рисунок 6.4 – Зразки кабелю вита пара

Контрольні питання до розділу 6

1. Охарактеризувати концепцію та надати визначення структурованих кабельних систем.
2. Перерахувати та охарактеризувати основні компоненти СКС.
3. Навести основні типи та характеристики кабелів типу вита пара.
4. Описати категорії (та їх особливості) кабелів типу вита пара.

Розділ 7 ВИЗНАЧЕННЯ ВІДСТАНІ ДО МІСЦЯ ПОШКОДЖЕННЯ НА ДРОТОВИХ ЛІНІЯХ ЗВ'ЯЗКУ

7.1 Визначення відстані до місця пошкодження лінії зв'язку приладом типу ПКП

Для визначення місця пошкодження необхідно перед усім встановити характер та ділянку пошкодження. Для цього проводять електричні випробування кіл (між сусідніми кінцевими чи проміжними пунктами) на цілісність проводів и опір їх ізоляції. Після цього на ушкодженій ділянці проводять електричні вимірювання на визначення місця пошкодження.

При усуненні кожного пошкодження в першу чергу повинно бути відновлено дію зв'язків, що працюють на даній лінії за рахунок тимчасових вставок. Потім усувають пошкодження і лінію приводять до нормального стану.

Найбільш розповсюдженими пошкодженнями кабельних ліній є:

- пониження опору ізоляції дротів, пониження ізоляції «оболонка-земля»,
- обрив дротів, пробій діелектрика, коротке замикання дротів.

При визначенні місця пошкодження ізоляції зазвичай користуються мостовими методами. Якщо на даній лінії є справний дріт, застосовують найпростіші методи мостів зі змінним та постійним відношенням плечей.

Вимірювання мостом зі змінним відношенням плечей проводять за схемою, представленою на рис. 7.1а. При рівновазі моста маємо:

$$r_1 R_x = r_2 (R_1 + R_2 - R_x).$$

Звідси опір пошкодженого дроту від місця вимірювання до місця пошкодження дорівнює:

$$R_x = r_2 R/(r_1 + r_2),$$

де $R = R_1 + R_2$ – опір кола, складеного із справного і пошкодженого проводів.

Якщо опір справного і пошкодженого проводів однакові ($R_1 = R_2$), то, знаючи опір кола R і довжину лінії L, по опору R_x визначають відстань до місця пошкодження:

$$l_x = 2L [r_2 / (r_1 + r_2)].$$

Вимірювання по методу моста з постійним відношенням плечей проводяться по схемі, представленій на рис. 7.1б (ключ К в положенні 1).

Встановивши потрібне співвідношення плечей $r_1 / r_2 = n$, зміною третього плеча r_3 добиваються рівноваги моста. При цьому:

$$r_1 (r_3 + R_x) = r_2 (R_1 + R_2 - R_x),$$

звідки

$$R_x = (R - n\, r_3) / (1 + n).$$

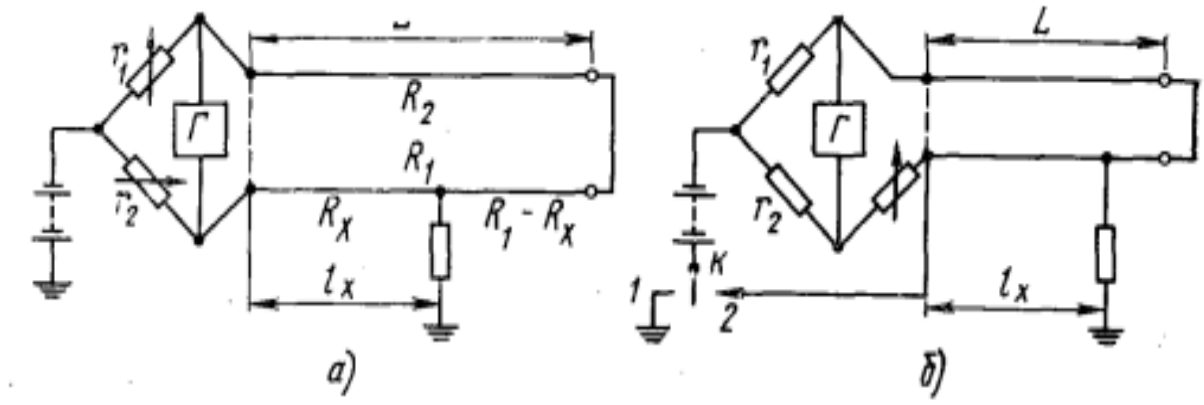


Рисунок 7.1 – Визначення місця пошкодження при вимірюванні:
а. за методом моста зі змінним співвідношенням плечей;
б. за методом моста із постійним співвідношенням плечей.

Опір $R = R_1 + R_2$ може бути змінений цим же пристроєм (ключ К в положенні 2). При $R_1 = R_2$ відстань до місця пошкодження по опору R_x визначається як

$$l_x = 2\, L\, (R - n\, r_3) / [\, (l + n)\, R\,].$$

При $n = 1$ маємо

$$l_x = L\, (1 - r_3 / R).$$

У випадку наявності двох справних дротів місце пошкодження може бути визначено методом трьох вимірювань, при якому усувається вплив провідних дротів, а допоміжні справні дроти можуть мати будь-який опір. Вимірювання можуть проводитися мостом як зі змінним, так і з постійним співвідношенням плечей.

Для визначення місця пошкодження ізоляції частіше всього застосовують переносний кабельний пристрій типу ПКП-5.

Визначення місця обриву жил може здійснюватись по результатам вимірювання ємності. Так як ємність дроту відносно землі пропорційна його довжині l, при визначенні місця обриву порівнюють ємність обірваного дроту C_x з ємністю справного C_l, а відстань до місця пошкодження знаходять по формулі:

$$l_x = l\ (C_x / C_l).$$

При обриві пари провідників визначити місце обриву можна, знаючи погонну ємність пари $C_п$ (паспортизоване значення для конкретного кабелю) та виміряне значення $C_в$:

$$l_x = C_в / C_п.$$

При наявності сусідніх дротів пропорційність між величиною ємності і довжиною пошкодженого дроту порушується, так як між окремими частинами цього дроту існує зв'язок через ємності з сусідніми дротами. Похибка, що вноситься сусідніми жилами, може бути усунута шляхом заземлення всіх інших жил.

Ємність можна вимірювати як змінним, так и постійним струмами. Але вимірювання змінним струмом частотою 800 Гц можливо тільки на непупінізованих кабелях довжиною до 5 км. У випадку більш довших ліній впливає хвильовий характер розповсюдження енергії. Тому на довгих лініях вимірювання проводять постійним струмом мостовим або балістичним методом. При мостовому методі вимірювань вимагається справна жила, при балістичному – місце пошкодження можна встановити і у випадку обриву усіх жил.

При визначенні місця пошкодження у випадку короткого замикання пари провідників проводиться вимірювання опору шлейфу $R_{шл}$ та отримане значення ділиться на величину погонного опору шлейфу R_1.

7.2 Визначення місця пошкодження трасопошуковими приладами

Визначення траси кабелю і глибини його закладання проводять кабелешукачем. В склад будь-якого шукача входять пристрої: генератор і шукач. Найбільше застосування отримав шукач ИП-7. Схема включення генератора в кабель показана на рис. 7.2а. *Визначення траси* ведеться індуктивним методом по схемі рис. 7.2б. Оператор рухається вздовж траси з шукачем та включеним головним телефоном. В положенні 1 котушки на шукачі пошук ведеться по максимуму звука в телефоні, а в положенні 2 – по мінімуму звука.

Визначення глибини залягання кабелю проводиться по схемі рис. 7.2в. Шукач розташовують паралельно поверхні землі і перпендикулярно лінії траси так, щоб рукоятка шукача була ближче до траси, а котушка, встановлена під кутом 45° до поверхні землі, – далі від лінії. Переміщуючи шукач перпендикулярно до траси, знаходять максимум звука. Відстань від центра котушки до лінії траси (на рисунку лінія А-В) відповідає глибині залягання кабелю.

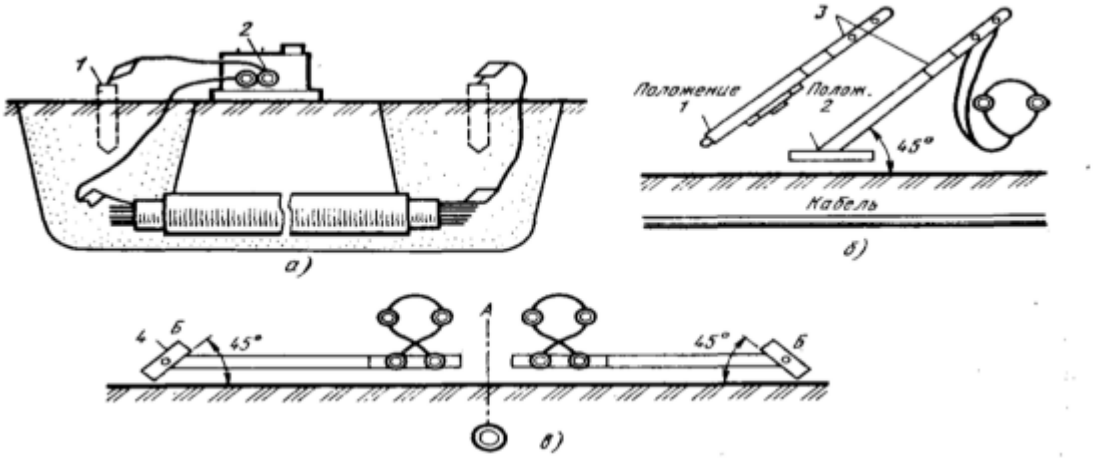


Рисунок 7.2 – Пошук траси кабелю і глибини його закладення:
а) включення генератора в жили кабелю;
б) пошук траси кабелешукачем;
в) визначення глибини закладення кабеля.
1 – заземлювач; 2 – генератор; 3 – кабелешукач; 4 – котушка кабелешукача

Місце пошкодження пластмасового шланга, що знаходиться поверх металевої оболонки кабеля, знаходиться за допомогою шукача ИМПИ-2. Комплект ИМПИ-2 включає генератор, індикатор імпульсів, штир кабелешукача, контактний штир, заземлювач і навушники. Генератор, що дає нечасті імпульси із частотою проходження 0,5 Гц, включають в металеву оболонку кабелю і землю. Оператор рухається по трасі кабелю з контактним штирем та індикатором імпульсів і визначає місце пошкодження шланга. Точність визначення місця ±20 см.

Місце зниженої електричної міцності ізоляції кабелю зазвичай визначають високовольтним мостом (ВВМ). ВВМ має на виході до 4-5 кВ постійної напруги, що дозволяє здійснювати пробій ізоляції кабелю в місці з пониженою електричною міцністю.

Для обмеження потужності, що передається в кабель, застосовується контур RC (рис. 7.3). Ємність складає 0,1…0,25 мкФ, опір підбирається таким способом, щоб період заряду конденсатора знаходився в межах 2…5 с.

При випробуванні електричної міцності ізоляції коаксіальної пари до точок 1 і 2 підключають її внутрішній і зовнішній провідники. У випадку випробування симетричних кабелів до одного полюса підключають пучок з’єднаних між собою жил, а до другого – заземлену оболонку кабелю.

Визначення місця пробою за допомогою ВВМ відомо як мостовий метод, або метод Муррея. Вимірювальна частина пристрою спільно з підключеними до нього жилами пошкодженого кабелю утворює схему моста зі змінним співвідношенням плечей. Збалансувавши міст, можна визначити співвідношення опорів, а знаючи довжину кабелю, що вимірюється, розрахувати відстань до місця пробою.

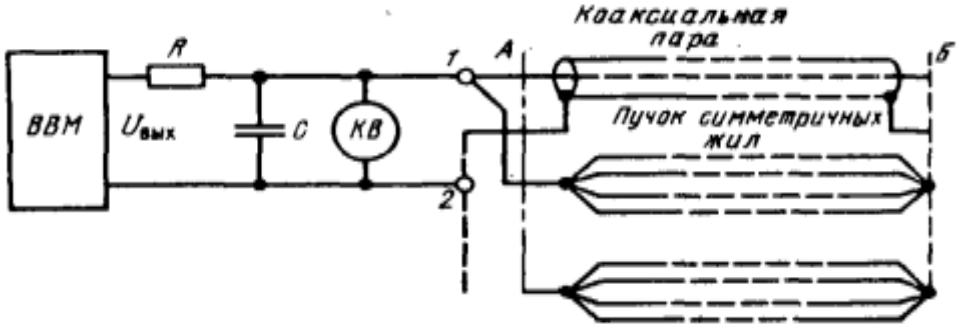


Рисунок 7.3 – Схема випробувань електричної міцності ізоляції напруги

Балансування моста проводиться дискретно в момент пробою ізоляції, що обумовлює проходження по петлі струму, що подається на вимірювальне коло. Точність визначення місця пошкодження високовольтним мостом складає порядку 2 %. На підсилювальній ділянці кабельної магістралі спочатку встановлюється дефектна будівельна довжина, а потім – місце пробою на будівельній довжині. Після відкриття котловану місце пробою уточнюється за допомогою шукача місця пробою (ШП), що представляє собою щуп з індуктивними датчиками в електростатичному екрані, що включений на вході підсилювача тональної частоти. На виході підсилювача включений індикатор: стрілочний пристрій і головний телефон. При знаходженні датчика ШП біля місця пробою в момент імпульсних розрядів прослуховується характерний тріск (щиглики), а мікроамперметр показує максимальне відхилення. Точність визначення місця пошкодження за допомогою ШП складає порядку 5%.

7.3 Визначення місця пошкодження імпульсними методами

Визначення місць пошкоджень кабелів імпульсними методами здійснюється за допомогою імпульсних приладів типу Р-5. Найбільше застосування отримали імпульсні методи для вимірювання і знаходження пошкоджень в коаксіальних кабелях.

Імпульсний метод заснований на використанні явища відбиття електромагнітних хвиль від місця зміни хвильового опору. У лінію посилаються короткотривалі електричні імпульси, які частково або повністю відбиваються від місця зміни хвильового опору (обрив, коротке замикання, поганий контакт, деформація зовнішнього провідника коаксіальної пари, місце переплутаних жил кабелю і ін.), повертаються назад і фіксуються в приймальній частині вимірювального приладу.

Знаючи швидкість розповсюдження електромагнітної енергії v і час t з моменту посилки імпульсу і повернення його назад, визначають відстань до місця пошкодження:

$$2\, l_x = v\, t;\ l_x = v\, t / 2.$$

Час пробігу зондуючого та відбитого імпульсів визначається за допомогою осцилографа, на екрані якого видно зондуючий імпульс, що подається в лінію, і відбиті імпульси. Для певного типу лінії шкала екрану може бути проградуйована безпосередньо в одиницях довжини, і тоді відстань до місця пошкодження можна встановити шляхом безпосереднього відліку за шкалою осцилографа. Напрям відгуку на імпульсній характеристиці дозволяє судити про характер пошкодження: напрям, співпадаючий із зондуючим імпульсом (рис. 7.4а), відповідає збільшенню хвильового опору: (обриву лінії); викид імпульсу протилежного напряму (рис. 7.4б) відповідає пошкодженню пов'язаному з пониженням хвильового опору (коротке замикання в лінії).

Точність визначення імпульсними приладами відстані до місця пошкодження залежить від відстані, яку проходить імпульс за час, рівний його тривалості. Отже, для того, щоб забезпечити велику точність, тривалість імпульсу повинна бути якомога меншою. Тому імпульсні вимірювання застосовуються переважно на лініях з широкою смугою пропускання частот.

Переваги імпульсного методу полягають в швидкості вимірювань, можливості визначення декількох одночасних пошкоджень, безпосередньому відліку результату на екрані приладу. Суттєвий недолік цього методу – його слабка чутливість до пониження опору ізоляції, оскільки навіть значно знижена в порівнянні з нормами величина опору ізоляції не змінює хвильового опору лінії.

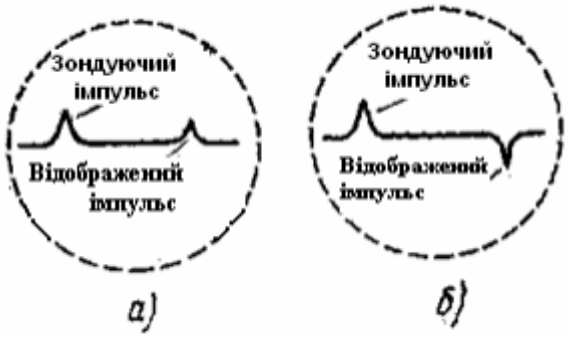


Рисунок 7.4 – Розташування імпульсів на екрані осцилографу

Контрольні питання до розділу 7

1. Навести та охарактеризувати найбільш розповсюджені пошкодження кабельних ліній.
2. Пояснити порядок використання мостових методів визначення місця пошкодження ізоляції.
3. Описати порядок визначення місця пошкодження трасопошуковими приладами.
4. Охарактеризувати переваги та недоліки імпульсного методу пошуку пошкоджень.

Розділ 8 ОСНОВНІ ПРИНЦИПИ ПОБУДОВИ ОПТИЧНИХ КАБЕЛІВ ЗВ'ЯЗКУ

8.1 Основи розповсюдження оптичного сигналу у волокні

Найбільш перспективним напрямком розвитку ліній зв'язку є використання оптичних кабелів, у яких як спрямовуюча система використовуються волоконно-оптичні світловоди.

Волоконно-оптичний світловод являє собою тонку двошарову скляну нитку круглого перетину, яка складається із серцевини та оболонки з різними оптичними характеристиками. Як серцевина у світловодах замість скла можуть бути використані рідина (тетрахлоретілен), спеціальні пластикові матеріали або газ. Волоконно-оптичні світловоди відносять до класу діелектричних хвилеводів [5].

Передача світла по волоконно-оптичних світловодах заснована на явищі повного внутрішнього відбиття. Якщо коефіцієнт переломлення серцевини n_1 більше коефіцієнта переломлення оболонки n_2, то для променів 1, 2 та 3 (рис. 8.1), які входять у світловод під невеликими кутами стосовно його осі, виконується умова повного внутрішнього відбиття: при падінні світлової хвилі на межу з оболонкою вся її енергія відбивається усередину серцевини.

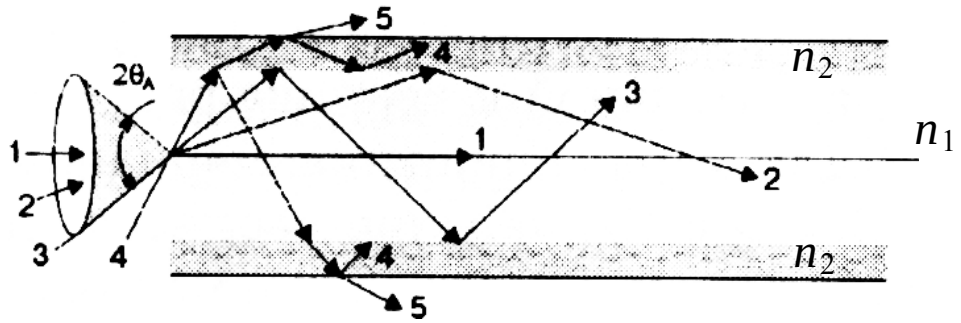


Рисунок 8.1 – Повне внутрішнє відбиття в двошаровому волоконно-оптичному світловоді

Те саме відбувається й при всіх наступних відбиттях і світло поширюється уздовж світловода, не виходячи назовні. Максимальний кут відхилення від осі, для якого ще має місце повне внутрішнє відбиття, визначається співвідношенням:

$$\sin\theta_a = \sqrt{n_1^2 - n_2^2} = A_0 .$$

Величина A_0 називається числовою апертурою світловода [7] й представляє важливу його характеристику при стикуванні з випромінювачем. Промені 4 (рис. 8.1), які падають на торець світловода

під кутом $\theta>\theta_a$, на межі серцевина–оболонка перетерплюють не тільки відбиття, але й переломлення. Тому частина енергії променя проникає в оболонку й поглинається в ній або випромінюється в зовнішній простір. В остаточному підсумку такі промені повністю розсіюються зі світловода. Для зменшення взаємних перешкод на оболонку світловода зовні наноситься тонке світлопоглинаюче покриття.

8.2 Затухання оптичних волокон

В міру поширення світлового випромінювання в оптичному середовищі воно ослаблюється − це є затухання середовища, чи у випадку оптичних волокон (ОВ) – *затухання* ОВ [3]. Ступінь такого ослаблення визначається *коефіцієнтом затухання* α, що у загальному виді дорівнює:

$$\alpha = \alpha_n + \alpha_p + \alpha_{дом} + \alpha_к + \alpha_{іч},$$

де α_n і α_p – коефіцієнти затухання, обумовлені втратами на поглинання і розсіювання світлової енергії відповідно; $\alpha_{дом}$ – коефіцієнт затухання, викликаний присутніми в ОВ домішками; $\alpha_к$ – додаткові втрати за рахунок скрутки, деформації і вигинів ОВ при виготовленні ОК (їх називають кабельними); $\alpha_{іч}$ – втрати на поглинання в інфрачервоній області.

Коефіцієнт затухання α_n, пов'язаний із утратами на діелектричну поляризацію і залежить від властивостей матеріалу ОВ.

Коефіцієнт затухання α_p, з одного боку, обумовлений неоднорідностями матеріалу ОВ, відстань між якими менша довжини хвилі, мікронеоднорідністю складу, локальним фазовим поділом скла, а з іншого боку − тепловими флуктуаціями показника переломлення. У результаті виникає хвиля зворотного напрямку, що послабляє корисний сигнал. Втрати на розсіювання часто називаються *релеєвськими,* і вони визначають нижню межу втрат, що зі збільшенням довжини хвилі зменшується.

Коефіцієнт затухання $\alpha_{дом}$ зв'язаний з наявністю в ОВ сторонніх домішок, що приводять до додаткового поглинання оптичної потужності. Такими домішками є іони металів (нікель, залізо, кобальт і ін.) і гідрооксидні групи (OH^-), які приводять до появи резонансних сплесків затухання $\alpha(\lambda)$ на визначених довжинах хвиль.

Коефіцієнт затухання $\alpha_к$ визначається деформацією ОВ у процесі виготовлення кабелю, викликаною скруткою, вигином, відхиленням від прямолінійного розташування і термомеханічними впливами, що мають

місце при накладенні оболонок і покрить на серцевину волокна. Ці додаткові втрати, в першу чергу, визначаються процесами розсіювання енергії на неоднорідностях, тому що приводять до випромінювання енергії в місцях деформації волокна і відповідно до зростання втрат.

Коефіцієнт затухання $\alpha_{іч}$ залежить від довжини хвилі оптичного випромінювання і за рахунок поглинання в інфрачервоній області зростає в показовому ступені з зростанням довжини хвилі

На рис. 8.2 представлені типові залежності основних складових втрат від довжини хвилі. Як видно з графіка, релеєвське розсіювання α_p обмежує нижню межу втрат у лівій частині, а інфрачервоне поглинання $\alpha_{іч}$ – у правій [4].

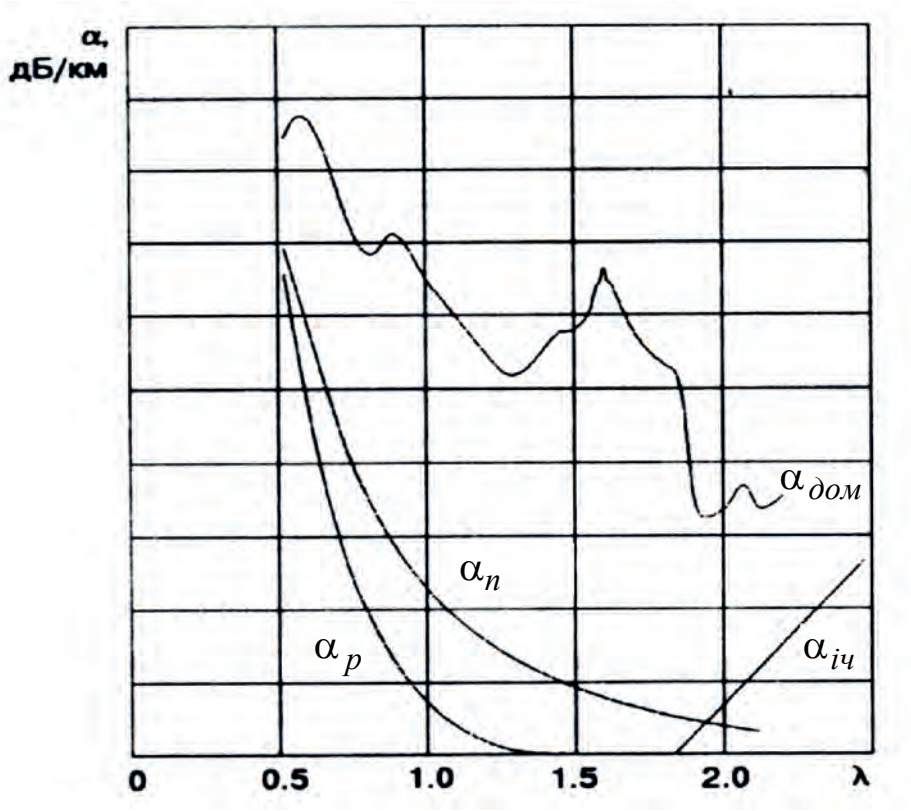


Рисунок 8.2 – Залежності складових оптичних втрат у волоконно-оптичному світловоді від довжини хвилі

Відомі в цей час конструкції оптичних кабелів мають загасання порядку 0,2…1 дБ/км. Однак в перспективі з переходом до довжин хвилі 2…10 мкм є підстави очікувати зниження втрат сотих долів дБ/км. На сьогодні найпоширеніше використання знаходять волокна з кварцового скла (SiO_2), перспективними матеріалами для виготовлення волокон вважаються: тетрафторид, ізирконій та фторид берилія [9].

У волоконно-оптичних світловодах передача енергії може відбуватися в одномодовому або багатомодовому режимі. Число мод (типів хвиль) у волокні залежить від довжини хвилі, радіуса серцевини й коефіцієнтів переломлення серцевини й оболонки. При одномодовому

режимі забезпечуються менші втрати й перекручування переданої інформації. Однак для одержання одномодового світловода його серцевина повинна мати діаметр, порівнянний з довжиною світлової хвилі, що дещо здорожує їхнє виготовлення.

8.3 Дисперсія оптичних волокон

У залежності від співвідношення діаметрів серцевини і оболонки, а також значень показника переломлення оптичні волокна можуть бути одномодовими чи багатомодовими, що визначається кількістю мод, які можуть поширюватися по даному ОВ. Під модою в оптичному зв'язку розуміється тип хвилі оптичного випромінювання, що характеризується визначеним розподілом поля в поперечному перерізі ОВ і визначеною фазовою швидкістю.

Багатомодові світловоди мають більший діаметр, тому їх перевагою є порівняна легкість виготовлення, з'єднання й кріплення. Але в багатомодовому режимі обмежується ширина смуги переданих частот через наявність дисперсії.

Діаметр оболонки світловодів стандартизований – 125 мкм, а діаметр серцевини в одномодових світловодах становить 8…10 мкм, а багатомодових – 50 або 62,5 мкм.

Дисперсія – це розсіювання в часі спектральних чи модових складових оптичного сигналу, що приводить до збільшення тривалості імпульсу оптичного випромінювання при поширенні його по ОВ і визначається різницею квадратів довжин імпульсів на виході і вході ОВ [7]:

$$\tau = \sqrt{\tau_{вих}^2 - \tau_{вх}^2},$$

де значення $\tau_{вих}^2$ і $\tau_{вх}^2$ визначаються на рівні половини амплітуди імпульсів.

Дисперсія не тільки обмежує частотний діапазон ОВ, але істотно знижує дальність передачі сигналів, тому що чим довше лінія, тим більше збільшення тривалості імпульсів.

Дисперсія в загальному випадку визначається трьома основними факторами: розходженням швидкостей поширення мод, які направляються, направляючими властивостями оптичного волокна і параметрами матеріалу, з якого воно виготовлено. У зв'язку з цим, основними причинами виникнення дисперсії є, з одного боку, велика кількість мод в ОВ *(міжмодова дисперсія),* а з іншого боку – некогерентність джерел випромінювання, які реально працюють у спектрі довжин хвиль *(хроматична дисперсія).*

Міжмодова дисперсія переважає в багатомодових ОВ і обумовлена відмінністю часу проходження мод по ОВ від його входу до виходу. Багатомодові ОВ бувають із ступінчатим значенням поперечного профілю показника переломлення (рис. 8.3, а) або з градієнтним, які мають коефіцієнт переломлення, що зменшується за параболічним законом від центра світловода до його країв (рис. 8.3, б). Міжмодова дисперсія градієнтних ОВ, як правило, на порядок і більш нижче, ніж у ступінчатих волокон. Це обумовлено тим, що за рахунок зменшення показника переломлення від осі ОВ до оболонки швидкість поширення променів уздовж їхніх траєкторій змінюється – так, на траєкторіях, близьких до осі, вона менша, а віддалених – природно, більша. Отже, промені, що поширюються найкоротшими траєкторіями (ближче до осі), мають меншу швидкість, а промені, що поширюються по більш протяжних траєкторіях, мають велику швидкість (рис. 8.3, в). У результаті час поширення променів вирівнюється і збільшення тривалості імпульсу стає меншим. Оскільки міжмодова дисперсія не залежить від характеристик джерела випромінювання, для багатомодових волокон її оцінюють по смузі пропускання ОВ (МГц·км). Значення міжмодової дисперсії дорівнює [10]:

$$\tau_{\text{мм}} = t_{\max} - t_{\min} = \frac{L}{c} n_1 \frac{(n_1 - n_2)}{n_2} = \frac{n_1 \Delta}{c} L,$$

де L − довжина волокна; c − швидкість світла.

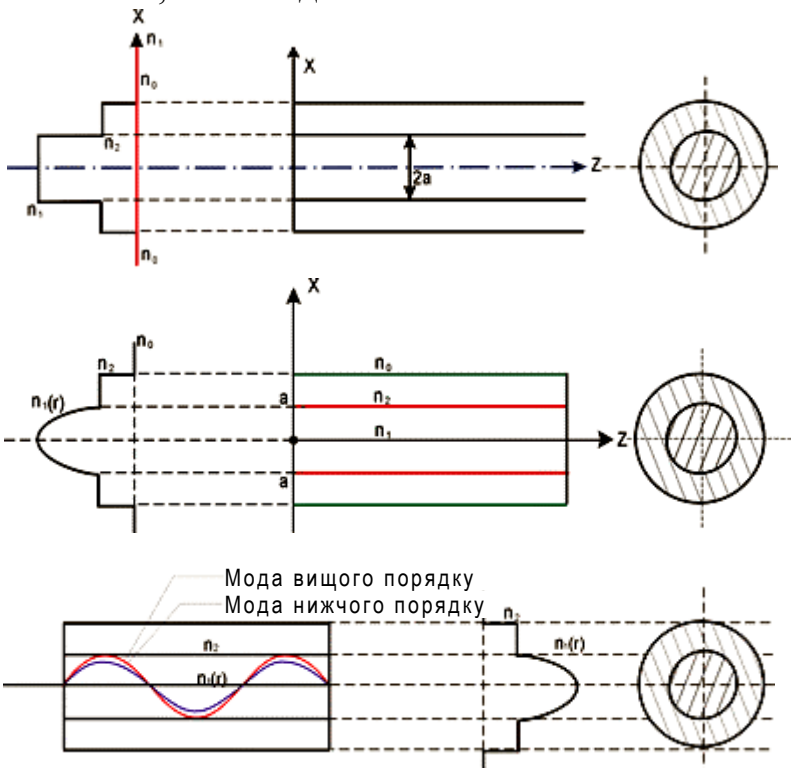


Рис. 8.3. – Типи волоконно-оптичних світловодів

Відмінність часу поширення частотних складових однієї моди приводить до виникнення так званої хроматичної (частотної) дисперсії, яка, у свою чергу, складається *з внутрішньомодової (хвилеводної)* дисперсії і *матеріальної* дисперсії.

Перший тип дисперсії обумовлений направляючими властивостями серцевини ОВ, а саме залежністю групової швидкості моди від довжини хвилі оптичного випромінювання, яка приводить до розходження швидкостей поширення частотних складових випромінюваного спектра. Тому внутрішньомодова дисперсія, в першу чергу, визначається профілем показника переломлення ОВ і пропорційна ширині спектра випромінювання джерела $\Delta\lambda$, тобто [10]:

$$\tau_{\text{вм}} = \Delta\lambda \cdot L \cdot B(\lambda),$$

де $B(\lambda)$ – питома внутрішньомодова дисперсія.

Другий тип дисперсії викликаний залежністю показника переломлення серцевини від довжини хвилі $n_1(\lambda)$, це, як і в попередньому випадку, приводить до різних швидкостей поширення спектральних складових джерела випромінювання. Виникаюча при цьому розбіжна затримка частотних складових випромінювання, яке поширюється в ОВ, визначає дисперсію матеріалу, що дорівнює [10]:

$$\tau_{\text{мат}} = \Delta\lambda \cdot L \cdot M(\lambda),$$

де $M(\lambda)$ – питома внутрішньомодова дисперсія.

Тут слід зазначити, що матеріальна дисперсія кварцового ОВ при визначеній частоті має нульове значення, оскільки при довжині хвилі $\lambda = 1{,}28$ мкм вона змінює свій знак. Ця крапка зветься крапкою *нульової матеріальної дисперсії.* Зрозуміло, що змінюючи співвідношення між модовою і матеріальною дисперсією, крапку нульової дисперсії можна переміщувати в невеликих межах. У загальному вигляді дисперсія на ділянці волокна довжиною L буде дорівнювати:

$$\tau = \sqrt{\tau_{\text{мм}}^2 + (\tau_{\text{вм}} + \tau_{\text{мат}})^2}.$$

8.4 Характеристики оптичних волокон за міжнародними стандартами

8.4.1 Багатомодові оптичні волокна

Характеристики багатомодових ОВ визначені в стандарті IEC 60793-2 (ОВ категорії A1a, A1b) та рекомендації ITU-T G.651 [12].

Конструктивні та передаточні характеристики багатомодових ОВ подано у табл. 8.1.

8.4.2 Одномодові оптичні волокна

Характеристики одномодових ОВ з незміщеною дисперсією визначені в стандарті IEC 60793-2 (категорія B1.1) та рекомендації ITU-T G.652 [8]. Рекомендацією G.652 передбачені наступні категорії ОВ:

– G.652.A – призначена для підтримування застосування рекомендованих в G.957 та G.691 апаратури рівня до STM-16, а також Езернета 10 Гбіт/с (до 40 км) та рекомендованої в G.693 апаратури рівня STM-256;

– G.652.B – призначена для підтримування застосування високошвидкісної рекомендованої в G.957 та G.691 апаратури рівня до STM-64 та рекомендованої в G.693 та G.959.1 апаратури рівня STM-256;

Таблиця 8.1 – Конструктивні та передаточні характеристики багатомодових ОВ

Характеристика	Категорія ОВ					
	G.651		IEC 60793-2 A1a		IEC 60793-2 A1b	
Діаметр серцевини (D_{CO}), мкм	50 ± 3				62,5 ± 3	
Діаметр оболонки (D_{CL}), мкм	125 ± 3					
Похибка концентричності серцевини/оболонки, %	≤ 6					
Некруглість серцевини, %	≤ 6					
Некруглість оболонки, %	≤ 2					
Діаметр захисного покриття, мкм	250 ± 15					
Похибка концентричності оболонки/захисного покриття, мкм	–		≤ 12,5		≤ 12,5	
Довжина хвилі, нм	850	1300	850	1300	850	1300
Максимальний коефіцієнт загасання, дБ/км	4,0	2,0	від 2,4 до 3,5	від 0,7 до 1,5	від 2,4 до 3,5	від 0,7 до 1,5
Мінімальна ширина смуги пропускання, МГц·км	1000	2000	200 – 800	200 – 1200	100 – 800	100 – 1000
Числова апертура	0,20 ± 0,02 або 0,23 ± 0,02				0,275 ± 0,015	

– G.652.C – подібна G.652.A але дозволяє передавання в розширеному діапазоні довжин хвиль від 1360 до 1530 нм;

– G.652.D – подібна G.652.B але дозволяє передавання в розширеному діапазоні довжин хвиль від 1360 до 1530 нм.

Конструктивні та передаточні характеристики одномодових ОВ подано у табл. 8.2.

Характеристики одномодових ОВ зі зміщеною дисперсією визначені в стандарті IEC 60793-2 (категорія B2) та рекомендації ITU-T G.653. Рекомендацією G.653 [14] передбачена одна категорія ОВ G.653.A – призначена для підтримування застосування рекомендованої в G.691 та G.692 апаратури з неоднаковими канальними відстанями в діапазоні 1500 нм.

Конструктивні та передаточні характеристики одномодових ОВ зі зміщеною дисперсією подано у табл. 8.3.

Характеристики одномодових ОВ зі зміщеною довжиною хвилі відсічки визначені в стандарті IEC 60793-2 (категорія B1.2) та рекомендації ITU-T G.654 [15]. Рекомендацією G.654 передбачені наступні категорії ОВ: G.654.A – базова та G.654.B – категорія для ОВ зі зміщеною довжиною хвилі відсічки. ОВ призначені для зазбезпечення застосування рекомендованої в G.691, G.692, G.657 та G.677 апаратури, що працює в діапазоні довжин хвиль 1550 нм.

Конструктивні та передаточні характеристики одномодових ОВ зі зміщеною довжиною хвилі відсічки подано у табл. 8.4.

Таблиця 8.2 – Характеристики одномодових ОВ з незміщеною дисперсією

Характеристика	Категорія ОВ					
	G.652.A	G.652.B	G.652.C	G.652.D	IEC 60793-2 B1.1	IEC 60793-2 B1.3
Діаметр модового поля (на довжині хвилі 1310 нм), мкм	(Від 8,6 до 9,5) ± 0,7					
Діаметр оболонки, мкм	125,0 ± 1,0					
Неконцентричність серцевини, мкм	≤ 0,8					
Некруглість оболонки, %	≤ 2					
Рівень стандартного випробування на стійкість до розриву, ГПа	≥ 0,69					
Довжина хвилі відсічки ОВ у складі ОК, нм	≤ 1260					
Втрати на макрозгинах, дБ λ=1550 нм	≤ 0,5	–		≤ 0,5		
λ=1625 нм	–	≤ 0,5		–		
Діапазон значень довжини хвилі нульової дисперсії λ_0, нм	≤ 1260					
Крутизна нульової дисперсії S_0, пс/(нм^2·км)	≤ 0,093					

Продовження таблиці 8.2

Коефіцієнт загасання (на довжині хвилі λ), дБ/км λ = 1310 нм	≤ 0,50	≤ 0,40	–	–	≤ 0,40	≤ 0,40
λ = 1550 нм	≤ 0,40	≤ 0,35	–	–	≤ 0,30	≤ 0,30
λ = 1625 нм	–	≤ 0,40	–	–	≤ 0,30	≤ 0,40
1310≤ λ ≤1625 нм*)	–	–	≤ 0,40	≤ 0,40	–	–
λ = 1383±3нм	–	–	*)	*)	–	–
Коефіцієнт ПМД: –число М кабельних секцій;	–	20			–	
–рівень ймовірності Q, %;	0,01				–	
–значення ПМД$_Q$, пс/(км)$^{1/2}$.	≤ 0,5	≤ 0,2	≤ 0,5	≤ 0,2	≤ 0,5	

*) Вказане середнє значення загасання на цій довжині хвилі повинне бути не більшим від специфікованої на λ=1310 нм величини, після водневого старіння згідно із IEC 60793-2-50 відповідного волокна категорії B1.3

Таблиця 8.3 – Характеристики одномодових ОВ зі зміщеною дисперсією

Характеристика	Категорія ОВ	
	G.653.A	IEC 60793-2 B2
Діаметр модового поля (на довжині хвилі 1550 нм), мкм	(від 7,8 до 8,5) ± 0,8	
Діаметр оболонки, мкм	125,0 ± 1,0	
Неконцентричність серцевини, мкм	≤ 0,8	
Некруглість оболонки, %	≤ 2	
Рівень стандартного випробування на стійкість до розриву, ГПа	≥ 0,69	
Довжина хвилі відсічки ОВ у складі ОК, нм	≤ 1270	≤ 1260
Втрати на макрозгинах (заміряні для 100 витків радіусом 37,5 мм кожний на відповідній довжині хвилі λ), дБ λ=1550 нм	0,5	
Діапазон значень довжини хвилі нульової дисперсії λ_0, нм	≤ 1600	від 1525 до 1575
Крутизна нульової дисперсії S_0, пс/(нм^2·км)	0,085	
Коефіцієнт загасання (на відповідній довжині хвилі λ), дБ/км 1310 нм	–	≤ 0,50
1550 нм	≤ 0,35	≤ 0,30
1625 нм	–	досліджується
Коефіцієнт ПМД, пс/(км)$^{1/2}$	≤ 0,5	

Характеристики одномодових ОВ з ненульовою зміщеною дисперсією визначені в стандарті IEC 60793-2 (категорія B4) та рекомендації ITU-T G.655 [16]. Рекомендацією G.655 передбачені наступні категорії ОВ:

– G.655.A – призначена для підтримування застосування рекомендованої в G.691, G.692, G.693 та G.959.1 апаратури. Щодо рекомендованої в G.691 апаратури залежно від довжини хвилі каналу та дисперсійної характеристики ОВ, максимальна початкова потужність має бути обмеженою, а типове мінімальне рознесення каналів слід обмежити 200 ГГц;

– G.655.B – призначена для підтримування застосування рекомендованої в G.691, G.692, G.693 та G.959.1 апаратури. Щодо рекомендованої в G.691 апаратури залежно від довжини хвилі каналу та дисперсійної характеристики ОВ, максимальна початкова потужність має бути більшою ніж для попередньої категорії, а типове мінімальне рознесення каналів слід обмежити 100 ГГц або менше. Вимоги щодо ПМД дозволяють застосовувати системи рівня STM-64 на дистанції принаймні 400 км;

Таблиця 8.4 – Характеристики одномодових ОВ зі зміщеною довжиною хвилі відсічки

Характеристика	Категорія ОВ		
	G.654.A	G.654.B	IEC 60793-2 B1.2
Діаметр модового поля (на довжині хвилі 1550 нм), мкм	(від 9,5 до 10,5) ± 0,7	(від 9,5 до 13,0) ± 1,0	(від 9,5 до 10,5) ± 0,7
Діаметр оболонки, мкм	125,0 ± 1,0		
Неконцентричність серцевини, мкм	≤ 0,8		
Некруглість оболонки, %	≤ 2		
Рівень стандартного випробування на стійкість до розриву, ГПа	≥ 0,69		
Довжина хвилі відсічки ОВ у складі ОК, нм	≤ 1530		
Втрати на макрозгинах (заміряні для 100 витків радіусом 37,5 мм кожний на відповідній довжині хвилі λ), дБ λ=1550 нм	0,5		
Коефіцієнт хроматичної дисперсії, пс/нм·км, на λ=1550 нм	≤ 20	≤ 22	≤ 20
Крутизна дисперсії *S*, пс/(нм^2·км), на λ=1550 нм	≤ 0,070		
Коефіцієнт загасання (на відповідній довжині хвилі λ), дБ/км 1550 нм	≤ 0,22		≤ 0,25
1625 нм	–		≤ 0,40
Коефіцієнт ПМД, пс/(км)$^{1/2}$	≤ 0,5		

– G.655.C – подібна G.655.B, але більш жорсткі вимоги щодо ПМД дозволяють застосовувати системи рівня STM-64 на дистанції понад 400 км та системи STM-256, рекомендовані в G.959.1.

Конструктивні та передаточні характеристики одномодових ОВ зі зміщеною дисперсією подано у табл. 8.5.

Характеристики одномодових ОВ для широкосмугових транспортних мереж визначені в рекомендації ITU-T G.656. Конструктивні та передаточні характеристики одномодових ОВ для широкосмугових транспортних мереж подано у табл. 8.6.

Таблиця 8.5 – Характеристики одномодових ОВ з ненульовою зміщеною дисперсією

Характеристика	Категорія ОВ			
	G.655.A	G.655.B	G.655.C	IEC 60793-2 B4
Діаметр модового поля (на довжині хвилі 1550 нм), мкм	(від 8,0 до 11,0) ± 0,7			
Діаметр оболонки, мкм	125,0 ± 1,0			
Неконцентричність серцевини, мкм	≤ 0,8			
Некруглість оболонки, %	≤ 2			
Рівень стандартного випробування на стійкість до розриву, ГПа	≥ 0,69			
Довжина хвилі відсічки ОВ у складі ОК, нм	≤ 1450			≤ 1480
Втрати на макрозгинах (заміряні для 100 витків радіусом 30 мм кожний на відповідній довжині хвилі λ), дБ λ=1550 нм	≤ 0,5			
λ=1625 нм	–	≤ 0,5	≤ 0,5	–
Діапазон робочих довжин хвиль, нм	від 1530 до 1565	від 1530 до 1565 або від 1565 до 1625		
Коефіцієнт хроматичної дисперсії, пс/нм·км, на λ=1530 нм	≥ 0,1	≥ 1,0		
на λ=1565 нм	≤ 6,0	≤ 10,0		
від 1565 нм до 1625 нм	–	досліджується		
Коефіцієнт загасання (на відповідній довжині хвилі λ), дБ/км на λ=1550 нм	≤ 0,35			≤ 0,30
на λ=1625 нм	–	≤ 0,4		
Коефіцієнт ПМД, пс/(км)$^{1/2}$	≤ 0,5		≤ 0,2	≤ 0,5

8.5 Оптичні кабелі зв’язку

8.5.1 Класифікація оптичних кабелів

Оптичний кабель (ОК) – кабельний виріб, що містить одне або більше оптичних волокон (ОВ) чи пучків ОВ всередині спільної оболонки, поверх якої в залежності від умов експлуатації, може знаходитись відповідне захисне покриття, в тому числі броня, силові та несучі елементи. За необхідності ОК може мати в своєму складі також електричні провідники [17].

ОК зв’язку класифікуються за умовами прокладання та експлуатації [17…20]:

– для безпосереднього прокладання в ґрунт;
– для прокладання в каналах кабельної каналізації;
– для прокладання в тунелях;
– для підвішування на опорах;
– для прокладання через водні перешкоди;
– морські;
– внутрішні;
– для міжблочних з’єднань.

Таблиця 8.6 – Характеристики одномодових ОВ для широкосмугових транспортних мереж

Характеристика	Категорія ОВ G.656
Діаметр модового поля (на довжині хвилі 1550 нм), мкм	(від 7,0 до 10,0) ± 0,7 або (від 8,0 до 11,0) ± 0,7 або (від 8,0 до 10,0) ± 0,7[*)]
Діаметр оболонки, мкм	125,0 ± 1,0
Неконцентричність серцевини, мкм	≤ 0,8
Некруглість оболонки, %	≤ 2
Рівень стандартного випробування на стійкість до розриву, ГПа	≥ 0,69
Довжина хвилі відсічки ОВ у складі ОК, нм	≤ 1450
Втрати на макрозгинах (заміряні для 100 витків радіусом 30,0 мм кожний на відповідній довжині хвилі λ), дБ λ=1550 нм	 ≤ 0,5
Діапазон робочих довжин хвиль, нм	від 1469 до 1625
Діапазон значень довжини хвилі нульової дисперсії λ_0, нм	–
Крутизна нульової дисперсії S_0, пс/(нм^2·км)	–
Коефіцієнт хроматичної дисперсії, пс/нм·км, на λ=1460 нм	≥ 2
на λ=1625 нм	≤ 8 або ≤ 11 або ≤ 15[*)]
на λ=1550 нм	–

Продовження таблиці 8.6

Коефіцієнт загасання, дБ/км на λ=1460 нм	≤ 0,40
на λ=1550 нм	≤ 0,35
на λ=1625 нм	≤ 0,40
Коефіцієнт ПМД, пс/(км)$^{1/2}$	досліджується
*) Питання знаходиться у стадії дослідження	

Конструкція ОК повинна забезпечувати захист ОВ протягом всього терміну служби ОК. Матеріали, які використовуються в конструкціях ОК, повинні бути сумісними між собою, бути екологічно чистими і не містити в своєму складі речовини, які можуть нанести шкоду навколишньому середовищу та обслуговуючому персоналу.

Оптичні характеристики ОК визначаються оптичними характеристиками закладених в них ОВ (див. розділ 8.4).

ОК може містити також електропровідні елементи: провідники дистанційного живлення, силові дротяні елементи, екрани, водоблокуючі бар'єри, металеві оболонки та бронепокриття. В цьому випадку електропровідні елементи мають бути однорідними за якістю та без дефектів. Електричний опір ізоляції поліетиленового захисного шланга повинен бути не менше 2000 МОм·км. ОК з електропровідними елементами мають витримувати напругу, прикладену між металевими елементами та між металевими елементами і землею, із номінальним значенням 10 кВ змінного струму частотою 50 Гц або з номінальним значенням 15 кВ постійного струму протягом 5 с.

В частині механічних характеристик, ОК мають бути стійкими до: розтягування, стирання оболонки та маркування, роздавлювання, удару (багаторазових ударів), циклічного згинання, згину за натягу, осьового закручування, пошкодження при утворенні петлі, перемотування, пошкодження пострілом, вібрації та галопування. Механічні характеристики, їх чисельні значення та критерії прийнятності повинні бути вказані в НД на конкретний ОК.

В частині ЗВФ, ОК мають бути стійкими до: циклічної зміни температури, води та вологи, утворенню водню, соляного туману та ядерного випромінювання. Характеристики стійкості до ЗВФ, їх чисельні значення та критерії прийнятності повинні бути вказані в НД на конкретний ОК.

8.5.2 Типові конструкції ОК

Основним елементом ОК є ОВ, тому усі конструктивні елементи ОК повинні забезпечувати надійну роботу ОВ протягом усього терміну служби кабелю.

Оскільки межі механічної міцності ОВ значно нижчі ніж у струмопровідних елементів металевих кабелів зв'язку, його обов'язково потрібно захищати. Для безпосереднього захисту на ОВ накладають захисні покриття. Розрізняють первинне захисне покриття та вторинний захист.

Первинне захисне покриття ОВ наноситься безпосередньо на оболонку ОВ. Первинне захисне покриття ОВ виготовляється з лаків на акрилатній основі, причому первинне захисне покриття виготовляється двошаровим. Перший (внутрішній) шар виготовляється з м'якого акрилату. Він забезпечує захист ОВ. Другий (зовнішній) шар виготовляється з твердого акрилату і забезпечує захист шару м'якого акрилату.

Вторинний захист накладається поверх первинного. Найбільш широкого застосування набули такі типи вторинного захисту:

–захист за допомогою вільного укладання ОВ в спеціальній трубці (оптичному модулі) або пазу профільованого осердя;

–захист за допомогою жорстких конструкцій;

–стрічкові структури.

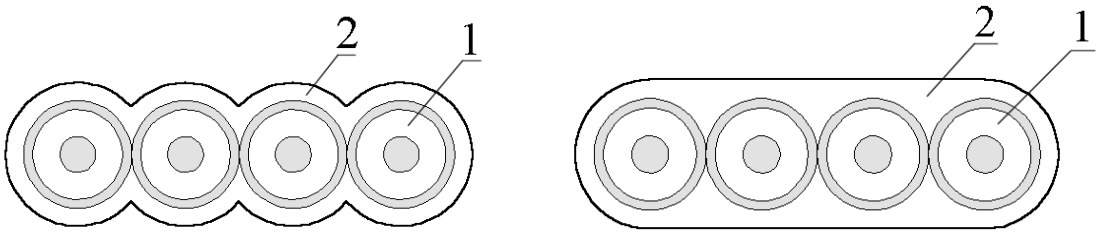
Оптичний модуль (ОМ) являє собою систему у вигляді пластмасової трубки, всередині якої розміщено одне або кілька ОВ. При потребі ОМ може бути заповнений гідрофобним заповнювачем. Трубки можуть виготовлятись з поліетилену, поліаміду, полібутилентерефталату або полікарбонату. ОВ в ОМ розташоване вільно по гелікоїді. Таке розміщення ОВ дозволяє значно вменшити вплив на нього зовнішніх навантажень, прикладених до ОК.

Іншим способом захисту ОВ є вільне його укладання в паз (пази) профільованого елемента (осердя). Пази нарізаються по гелікоїді. ОВ вільно укладаються в пази і фіксуються шляхом обмотування профільованого елемента скріпляючою обмоткою. В результаті утворюється система ідентична захисту за допомогою ОМ. Профільований елемент виготовлюють з поліетилену або поліпропілену. При потребі вільний простір може бути заповнений гідрофобним заповнювачем.

Жорсткі методи захисту ОВ використовують у випадках коли виникають потреби забезпечення малих радіусів вигину та досить високого рівня стійкості до роздавлюючих зусиль. При такому захисті покриття (жорсткий буфер) накладається безпосередньо на первинне захисне покриття. Матеріалом для жорсткого буфера служить поліамід або полібутилентерефталат, іноді фторопласт.

Стрічкові елементи являють собою груповий спосіб захисту кількох ОВ. Існує три основні типи отримання стрічкових елементів. Перший тип – „сандвіч" являє собою ряд (до 20) ОВ, що об'єднані разом за допомогою стрічки, яка підклеюється до ОВ за допомогою липкої речовини (адгезиву). Другий тип – являє собою ряд (до 12) ОВ, які з'єднані між собою за допомогою спеціального заповнення, як правило, такого ж складу, що й

первинне захисне покриття. Третій тип являє собою заключення 2 або 4 ОВ в капсулу з матеріалу аналогічного складу первинного захисного покриття. Два останніх типи стрічкових елементів (рис. 8.4) набули найбільш широкого застосування. Стрічкові конструкції, як правило, застосовуються у тих випадках, коли виникає потреба у щільних пучках (понад 100) ОВ.



а) б)

Рисунок 8.4 – Типи стрічкових конструкцій ОВ:
а) конструкція з ОВ, що склеєні по їхніх бічних поверхнях;
б) конструкція, що має загальну оболонку із заливанням („капсула”)
1 – ОВ; 2 – адгезивний матеріал

ОВ є головним елементом ОК і разом з захисним покриттям визначає його конструкцію. В залежності від типу захисного покриття ОВ, розрізняють ОК з:

– вільним укладанням ОВ – модульні, з центральною захисною трубкою та з профільованим осердям;

– жорсткою конструкцією;

– стрічкові.

Значно нижча, в порівнянні з основними елементами металевих кабелів, межа механічної міцності на розрив ОВ вимагає застосування в конструкціях ОК таких специфічних елементів конструкції, як силові елементи, які повинні замикати на себе усі розтягуючі зусилля, що можуть прикладатись до ОК в процесі прокладання або технічної експлуатації.

В ОК модульного типу або повівної скрутки, де кілька ОМ або профільованих елементів скручуються навколо центрального елемента, який водночас виконує функцію силового елемента і має назву центрального силового елемента (ЦСЕ). ЦСЕ, як правило, виготовляються з склопластикового стрижня або сталевого каната в поліетиленовій оболонці. Діаметр ЦСЕ залежить від кількості та діаметра скручених навколо нього елементів.

У випадку коли в ОК використовується лише одна захисна трубка, яка розміщується в центрі конструкції ОК, усі силові елементи виносяться за кабельне осердя.

Захисту осердя ОК від вологи та інших зовнішніх впливів забезпечується безперервною металевою або неметалевою трубкою, яка розташована поверх осердя.

Поверх оболонки може накладатись броня з металевих стрічок, одного або кількох повівів металевих дротів, яка призначається для захисту від зовнішнього механічного та електричного впливу і в деяких випадках для сприйняття розтягуючих зусиль (броня із дротів) [16].

Поверх металевої оболонки, обплетення або броні накладається захисний шланг – суцільна випресована трубка з пластмаси.

ОК з вільним укладанням ОВ в даний час набули найбільшого застосування. Найбільш поширеною конструкцією ОК є конструкція, в якій ОВ укладені в захисні трубки (ОМ), які в свою чергу скручуються навколо ЦСЕ (рис. 8.5). До переваг такої конструкції слід віднести простоту ідентифікації ОВ та монтажу ОК.

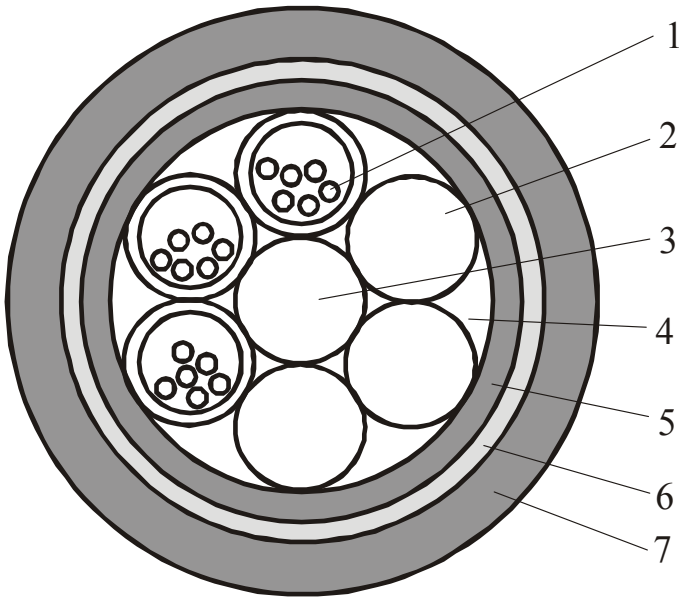


Рисунок 8.5 – ОК модульної конструкції для прокладання безпосередньо в ґрунт:
1 – 6-ти волоконний ОМ; 2 – кордель; 3 – ЦСЕ; 4 – гідрофобний заповнювач; 5 – внутрішня поліетиленова оболонка, 6 – сталева гофрована оболонка; 8 – поліетиленовий шланг

Іншою конструкцією є ОК, в якому ОВ укладаються в одній захисній трубці, значно більшого діаметра ніж діаметр ОМ. Ця трубка розміщується в центрі конструкції ОК і складає його осердя (рис. 8.6).

Усі силові елементи винесені за осердя. До переваг такої конструкції слід віднести відносно малі діаметри ОК. До недоліків – відносна складність ідентифікації ОВ та монтажу ОВ.

Третій варіант конструкції – це укладання ОВ у пази профільованого елемента, який водночас виконує функцію осердя (рис. 8.7). ЦСЕ в цьому випадку запресовується в центрі профільованого

елемента. До переваг таких ОК слід віднести відносну дешевизну, а до недоліків, складність монтажу ОК.

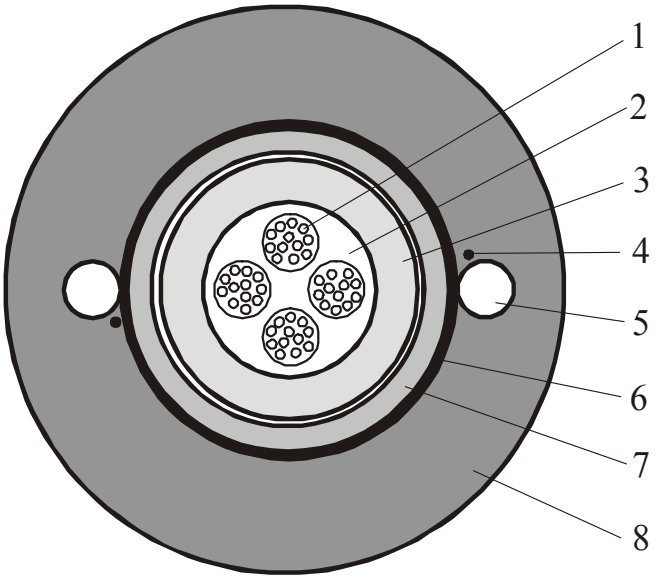


Рисунок. 8.6 – ОК з центральною захисною трубкою для прокладання безпосередньо в ґрунт:
1 – 12-ти волоконний пакет; 2 – гідрофобний заповнювач; 3 – центральна захисна трубка; 4 – струна; 5 – силовий елемент, 6 – сталева гофрована оболонка; 7 – шар арамідних ниток; 8 – поліетиленовий шланг

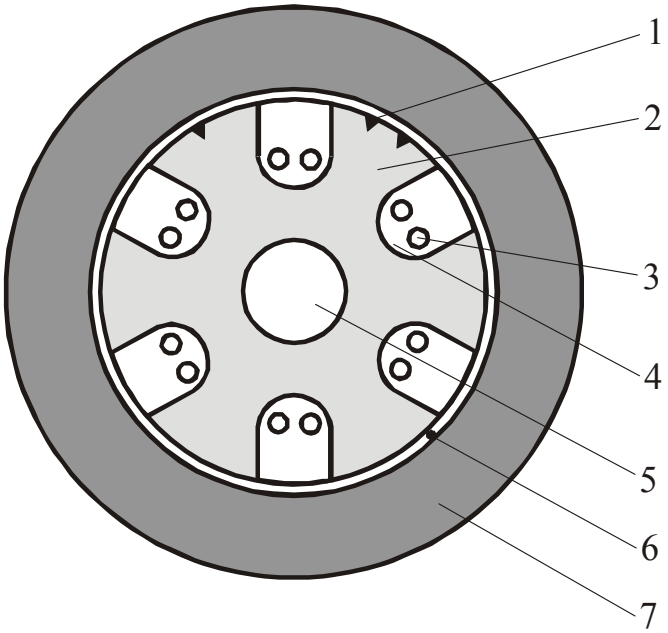


Рисунок 8.7 – ОК з профільованим елементом для прокладання в кабельній каналізації:
1 – маркувальні позначки; 2 – профільований елемент; 3 – ОВ;
4 – гідрофобний заповнювач; 5 – ЦСЕ; 6 – струна;
7 – поліетиленова оболонка

ОК жорсткої конструкції використовуються у тих випадках, коли треба забезпечити малі радіуси вигину, високу стійкість до удару та розтягуючих зусиль, що й визначає їх галузь застосування – всередині приміщень. Як правило, в таких ОК жорсткий буфер накладається безпосередньо на ОВ (рис. 8.8, а). Вже ця конструкція може служити як окремий ОК (такі ОК можуть використовуватися як патчкорди та піґтейли). У випадку коли потрібно більше одного ОВ, ОВ в жорсткому буфері можуть об'єднуватись (по 2, 4, 6, 8 або 12 ОВ) в спільній оболонці, утворюючи єдину конструкцію (рис. 8.8, б). При зростанні потреби у ОВ кілька, наприклад, 6-тиволоконних кабелів об'єднуються шляхом скручування та накладання спільної оболонки (рис. 8.9). Недолік таких ОК – складність монтажу, яка вимагає спеціального обладнання.

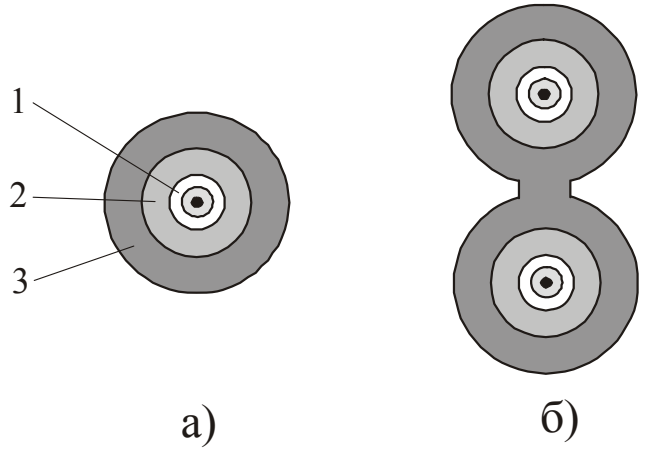


Рисунок 8.8 – Одно- (а) та двохволоконні (б) ОК для внутрішнього прокладання:
1 – ОВ в жосткому буфері; 2 – арамідні нитки; 3 – полівінілхлоридна оболонка

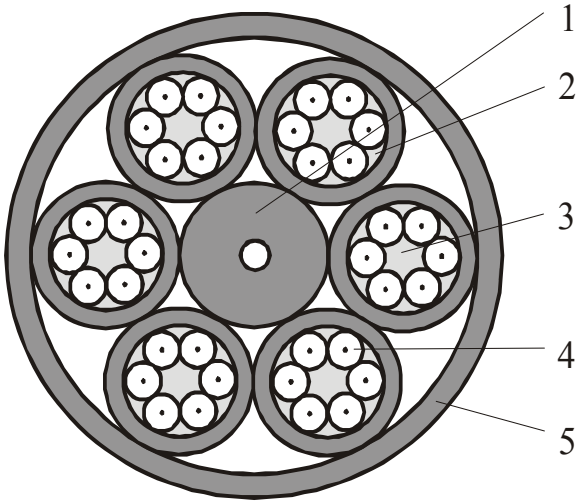


Рисунок 8.9 – 36-тиволоконний ОК для внутрішнього прокладання:
1 – центральний кордель в ПВХ оболонці; 2 – субюніт (6-тиволоконний ОК жорсткої конструкції в ПВХ оболонці); 3 – арамідні нитки;
4 – ОВ в жорсткому буфері; 5 – ПВХ оболонка

Стрічкові ОК застосовуються у випадках коли потрібна велика кількість ОВ. Стрічкові елементи можуть розміщуватись всередині захисної трубки (рис. 8.10) або пазах профільованого елементу (рис. 8.11). До переваг таких ОК слід віднести можливість формувати компактні багатоволоконні пучки. До недоліків – складність монтажу та дещо нижча стійкість ОК до згинів, осьових закручувань та розгячуючих зусиль.

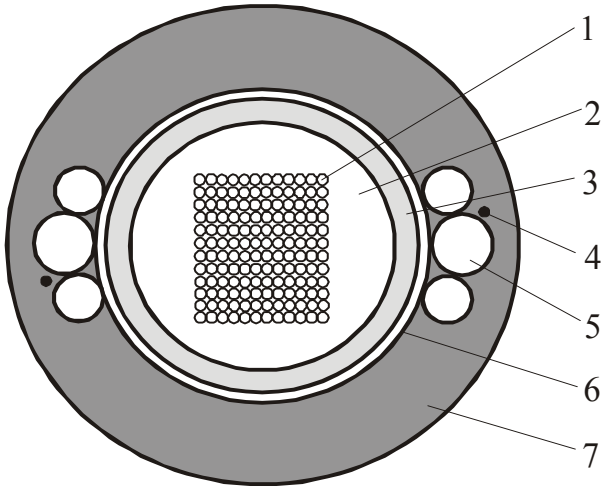


Рисунок 8.10 – Стрічковий ОК з центральною захисною трубкою для прокладання в кабельній каналізації:
1 – пакет зі стрічкових елементів; 2 – гідрофобний заповнювач;
3 – центральна захисна трубка; 4 – струна; 5 – силові елементи,
6 – водоблокуюча стрічка; 8 – поліетиленова оболонка

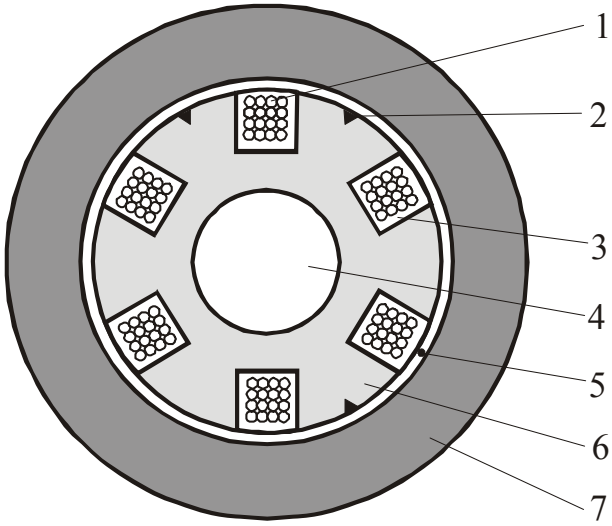


Рисунок 8.11 – Стрічковий ОК з профільованим елементом для прокладання в кабельній каналізації:
1 – пакет з волоконних стрічкових елементів; 2 – маркуючі позначки;
3 – гідрофобний заповнювач; 4 – ЦСЕ; 5 – струна; 6 – профільований елемент; 7 – поліетиленова оболонка

Ці конструкції є типовими. На їх базі можуть формуватись інші конструкції ОК, такі як розміщення ОМ в пазах профільованого осердя (рис. 8.12). Така конструкція відрізняється підвищеною стійкістю до ударів та роздавлювання.

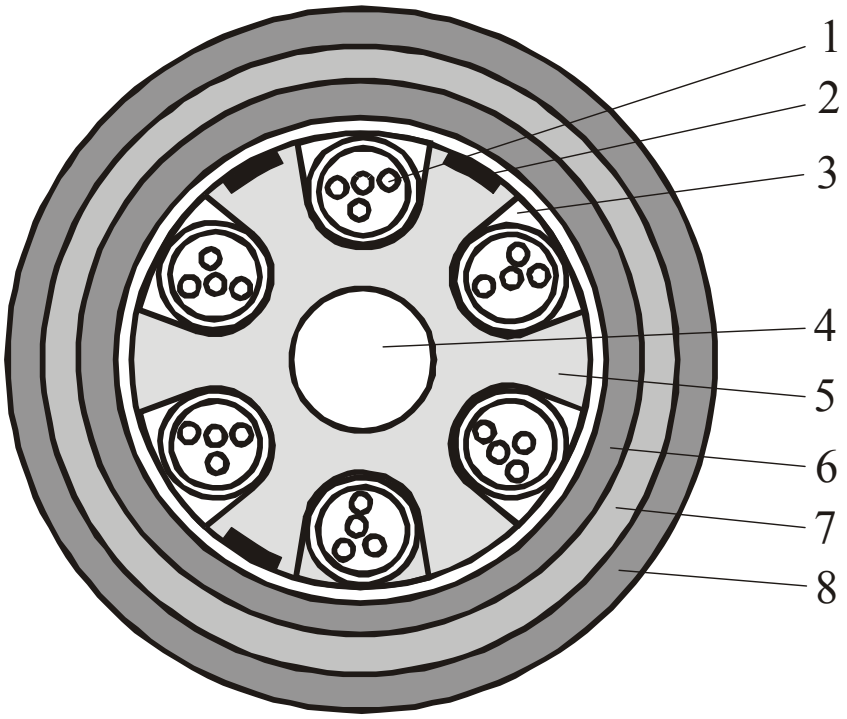


Рисунок 8.12. – Повітряний ОК з ОМ в пазах профільованого елемента:
1 – оптичні модулі; 2 – маркуючі позначки; 3 – гідрофобний заповнювач;
4 – ЦСЕ; 5 – профільований елемент; 6 – внутрішня поліетиленова
оболонка; 7 – шар арамідних ниток; 8 – зовнішня поліетиленова оболонка

Отже тип осердя визначає тип ОК. Поверх осердя накладаються захисні покриття (оболонка, броня, силові елементи або їх комбінація). Захисне покриття визначається умовами застосування ОК та відповідними чинниками довкілля.

Контрольні питання до розділу 8

1. Навести класифікацію оптичних кабелів.
2. Дати визначення та охарактеризувати затухання оптичного волокна.
3. Дати визначення та охарактеризувати дисперсії оптичного волокна.
4. Навести характеристики основних типів оптичних волокон.
5. Описати типові конструкції оптичних кабелів.

Розділ 9 МЕТОДИ З'ЄДНАННЯ ОПТИЧНИХ ВОЛОКОН

9.1 Загальні положення про з'єднання оптичних волокон

З'єднання ОВ можуть бути нероз'ємні та роз'ємні (рис. 9.1). В даний час відомі наступні методи з'єднань ОВ: зварювання, склеювання та механічні з'єднання.

Вибір того чи іншого методу визначається типом ОВ та його конструктивними особливостями, методами прокладання та економічними факторами.

До конструктивних відносяться: багаточисельність чи індивідуальність ОВ, що з'єднуються, постійність з'єднання, прямі та зворотні втрати в з'єднаннях, щільність розміщення ОВ, складність методу, універсальність монтажу [23].

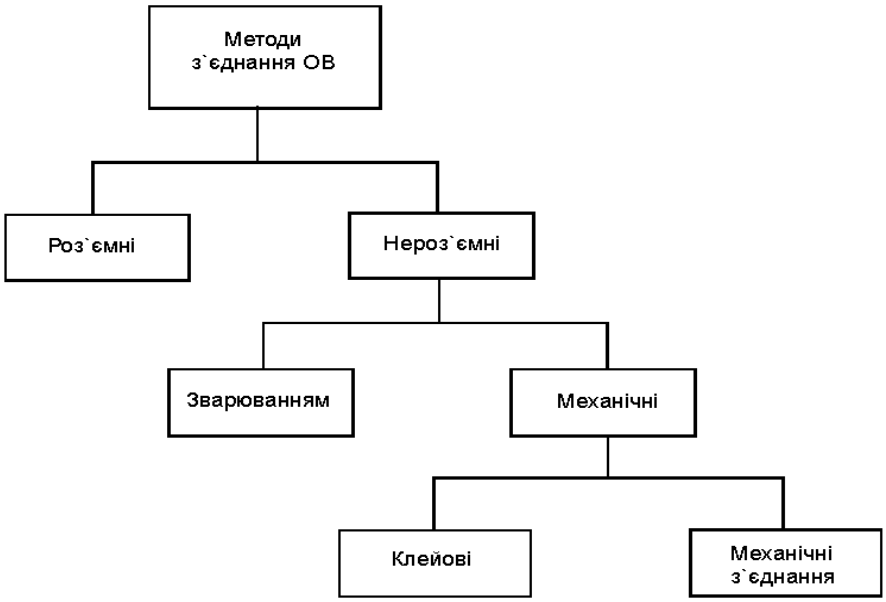


Рисунок 9.1 – Класифікація методів реалізації з'єднань ОВ

При виборі методу з'єднання слід враховувати стабільність загасання в місці з'єднання, механічну міцність з'єднання та стабільність роботи в умовах оточуючого середовища.

Економічні фактори: вартість матеріалів, що використовуються при з'єднанні, необхідного обладнання та інструментів, рівень професійної підготовки персоналу, працевтрати на прокладання та монтаж.

Загалом процес з'єднання ОВ складається з чотирьох етапів:

1. Підготування ОВ до з'єднання;
2. Юстирування ОВ;
3. З'єднання ОВ;
4. Захист місця з'єднання.

9.2 Підготування оптичних волокон до з'єднання

Підготування ОВ до з'єднання є операцією, що багато в чому визначає якість процесу з'єднання.

Підготування ОВ до з'єднання зводиться до виконання двох послідовних операцій:

1. Видалення захисної оболонки;
2. Сколювання торцевої поверхні.

Видалення захисного покриття ОВ може виконуватись як механічними так і хімічними засобами.

Після видалення захисної оболонки переходять до сколювання ОВ. Сколювання ОВ виконується для утворення гладкої („дзеркальної"), перпендикулярної до осі поверхні торця ОВ. Це, як правило, досягається шляхом застосування спеціального сколюючого інструмента або поліровки торця ОВ в спеціальному фіксаторі. Для забезпечення якісного з'єднання треба, щоб відхилення поверхні торця від перпендикуляра до осі ОВ не перевищувало 1%.

Процес сколювання пояснюється на рис. 9.2 [24]. Вивільнене від покрить ОВ (2) обережно притискається до поверхні спеціальної оправки (3) і при слабкому натяжінні на ньому, перпендикулярно до осі, спеціальним різцем (1), твердість якого в декілька разів повинна перевищувати твердість матеріалу ОВ (кварцового скла), наносять подряпину. Оправка вигинається, ОВ натягується на випуклій поверхні і під дією напруг, що виникають в ОВ розколюється по подряпині. При правильному виконанні утворюється перпендикулярна до осі волокна дзеркальна поверхня. Сьогодні в світі випускається широкий асортимент інструментів для сколювання ОВ, різних по виконанню та вартості.

Досить часто, навіть при досить якісному, на перший погляд, сколі дзеркально гладкою залишається лише частина торцевої поверхні [25], тоді як на іншій частині поверхні з'являються, так звані, пір'їва зона (1) та зона туману (2) (рис. 9.3). Для того, щоб уникнути цього виконують полірування торців при механічних способах з'єднань або попереднє оплавлення при зварюванні.

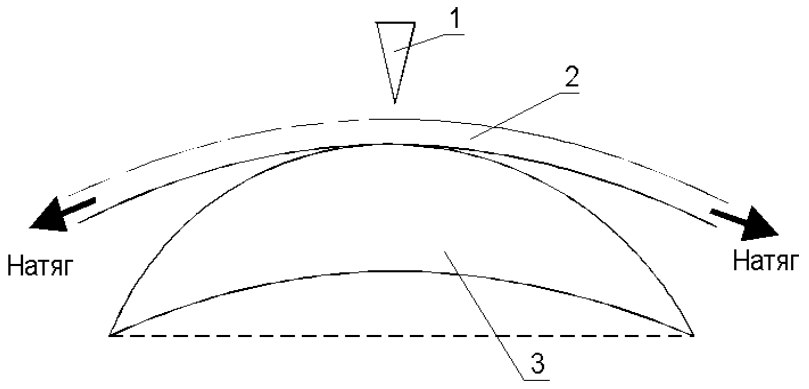


Рисунок 9.2 – Принцип роботи пристрою для сколювання торців ОВ

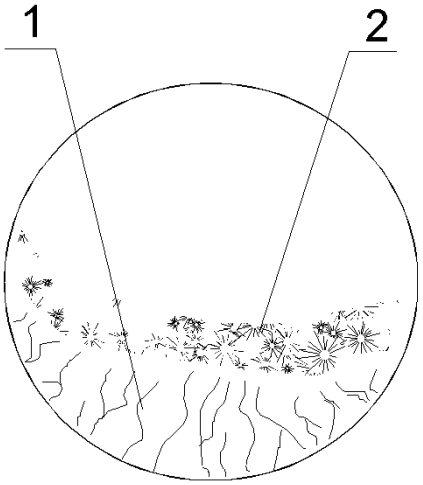


Рисунок 9.3 –Торцева поверхня сколотого ОВ

Після сколювання виконується перевірка якості торця ОВ. Перевірка якості, як правило, виконується за допомогою мікроскопа. На поверхні торців не повинно бути виступів, подряпин, обломів, зазубрин, пилу, грязі. Поверхня торця повинна бути перпендикулярна до осі ОВ (рис. 9.4).

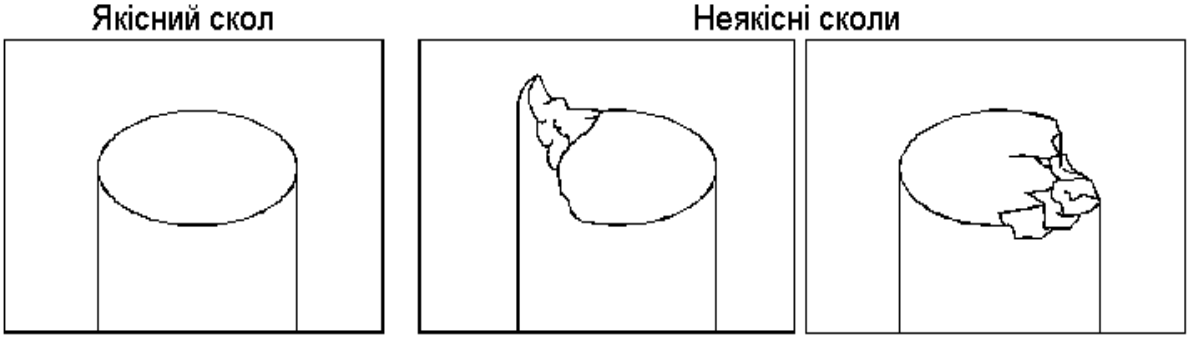


Рисунок 9.4 – Якість сколів

9.3 Зварні з’єднання

Найбільш розповсюдженим способом отримання нероз’ємних з’єднань ОВ є зварювання [26]. Зварювання передбачає розплавлювання кінців ОВ у результаті розміщення їх у полі потужного джерела теплової енергії – електричного розряду. Зварювання ОВ виконується в наступній послідовності:

1. Підготування торцьових поверхонь ОВ.

2. Юстирування ОВ. Після встановлення кінців ОВ у напрямній системі зварювального апарату, виконують їх вирівнювання (юстирування). Етапи даного процесу наведені на рис. 9.5 [27]:

а) первинне встановлення – кінці ОВ установлюються й виставляються відповідно маркерів;

б) находять світло, що розповсюджується через серцевину, тобто находять серцевини ОВ, що з’єднуються.

в) вирівнювання (юстирування) серцевин за їх геометричними розмірами або мінімуму втрат світла, що розповсюджується через серцевини ОВ;

г) установка відстані між кінцями ОВ.

3. Попереднє оплавлення торців ОВ. Ця операція виконується з метою часткової ліквідації мікронерівностей, що виникають на торцевих поверхнях під час сколювання ОВ. Струм у режимі оплавлення сягає 10...12 мА. Іноді цю операцію називають термо- або гарячою очисткою (fire cleaning).

4. Безпосереднє зварювання ОВ. При цій операції струм дуги сягає 12...16 мА.

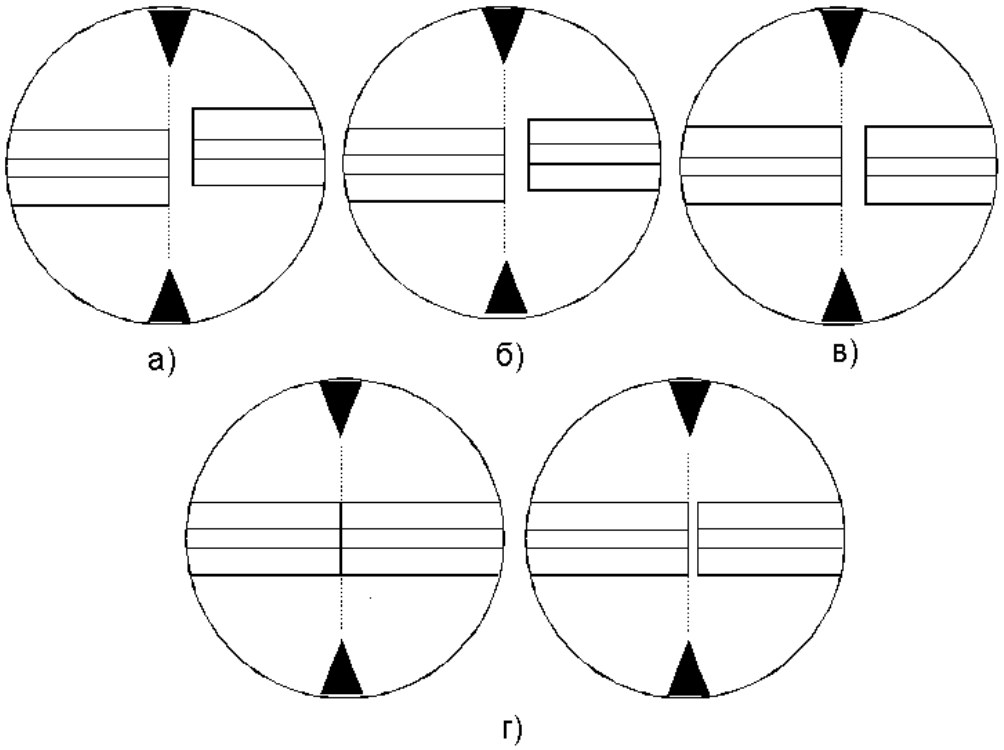


Рисунок 9.5 – Етапи юстирування ОВ

Для реалізації зварного з’єднання ОВ розроблено ряд зварювальних апаратів (рис. 9.6). Зварювальні апарати [28] можна класифікувати за: способом юстирування кінців ОВ (за геометричними розмірами серцевин або за втратами світла, що розповсюджується через місце зварювання); способу проведення операції (ручні та автоматичні); по типу контрольного пристрою (мікроскоп, монітор на рідких кристалах і т. ін.); кількості ОВ, що зварюються (одноволоконні та багатоволоконні).

Рисунок 9.6 – Зварювальний апарат FSM-40S

Як видно з наведеної послідовності виконання операцій по зварюванню ОВ, існує два способи реалізації процесу юстирування. Перший базується на вирівнюванні серцевин ОВ за їх геометричними розмірами (Profile Alignment System – PAS) шляхом бокового підсвітлювання кінців ОВ, що з'єднуються (рис. 9.7).

Другий спосіб (активний метод юстирування) базується на вирівнюванні серцевин ОВ шляхом мінімізації втрат світла, що розповсюджується через ОВ і місце їх з'єднання. В даний час існує три методи активного юстирування:

1. Перший метод полягає у використанні оптичних передавача та приймача на протилежних кінцях ОВ, що підлягають з'єднанню. Інформація від приймача передається назад бригаді робочих, що виконує з'єднання.

2. Другий метод полягає у використанні оптичного передавача на дальньому кінці та детектора у точці з'єднання. Оптичний сигнал виводиться з ОВ, що з'єднується, на невеликій відстані (наприклад, до 0,5 м) від місця з'єднання шляхом вигинання ОВ.

3. Третій метод є реалізацією LID-методу і являє собою процедуру юстирування, що обмежена лише місцем з'єднання. В основі цієї процедури лежить введення оптичного сигналу в серцевину першого ОВ та визначення його у серцевині іншого ОВ шляхом їх вигинання.

Метод LID (Local Injection and Detection) є найбільш ефективним, оскільки на відміну від інших, якість зварного з'єднання залежить не від індивідуальної майстерності виконавця, що здійснює зварювання, а від

зварювального апарата. До того, слід додати, що в сучасних апаратах, для керування процесами юстирування та зварювання використовуються мікропроцесори, що дозволяють досягти мінімальних (менше 0,1 дБ) втрат на з'єднаннях (рис. 9.8).

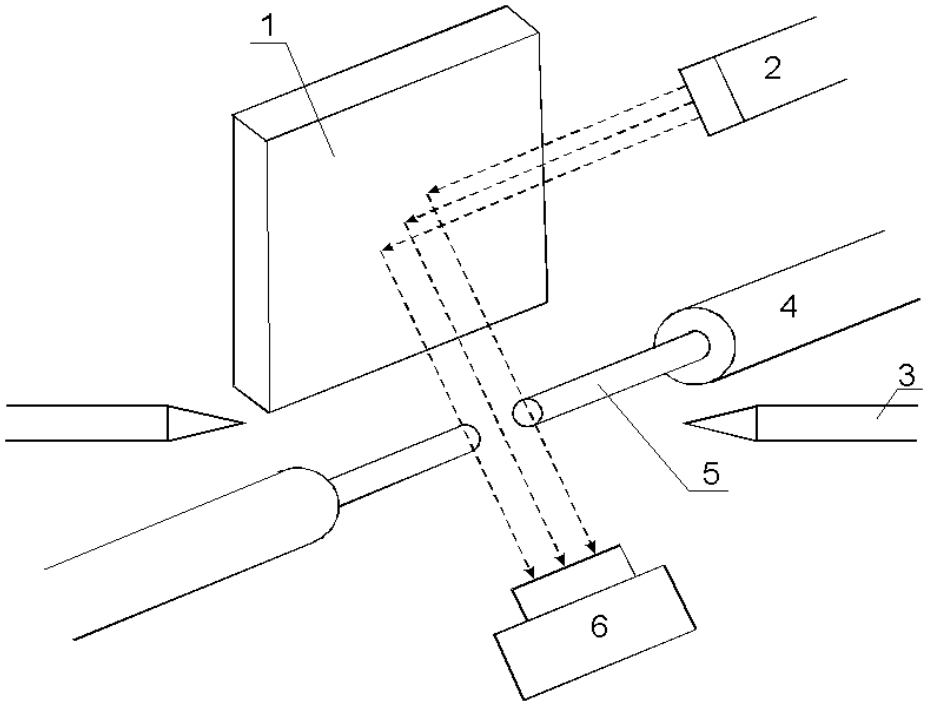


Рисунок 9.7 – Юстирування ОВ за геометричними розмірами:
1 – зафіксоване дзеркало; 2 – джерело випромінювання; 3 – електрод;
4 – ОВ; 5 – ОВ без захисного покриття; 6 – камера детектора

Як зазначалось вище, після юстирування переходять безпосередньо до зварювання ОВ. Цей процес складається з розведення ОВ, їх попереднього оплавлення (гарячої очистки), з'єднання ОВ та їх оплавлення. В процесі плавлення ОВ подаються одночасно для запобігання укорочення одного з них у місці зварювання. Ці операції (попереднє оплавлення та зварювання), як правило, виконуються автоматично. Для зняття механічної напруги в місці зварювання, в сучасних автоматичних зварювальних апаратах передбачено режим прогрівання місця з'єднання після зварювання. Такий режим називається режимом релаксації.

При з'єднанні ОВ методом зварювання досить важливою характеристикою є температура та точка плавлення скла. Може виникнути потреба в розробці спеціального циклу плавлення (час та величина струму як для попереднього оплавлення, так і для плавлення та релаксації) для різних типів ОВ, що з'єднуються методом зварювання.

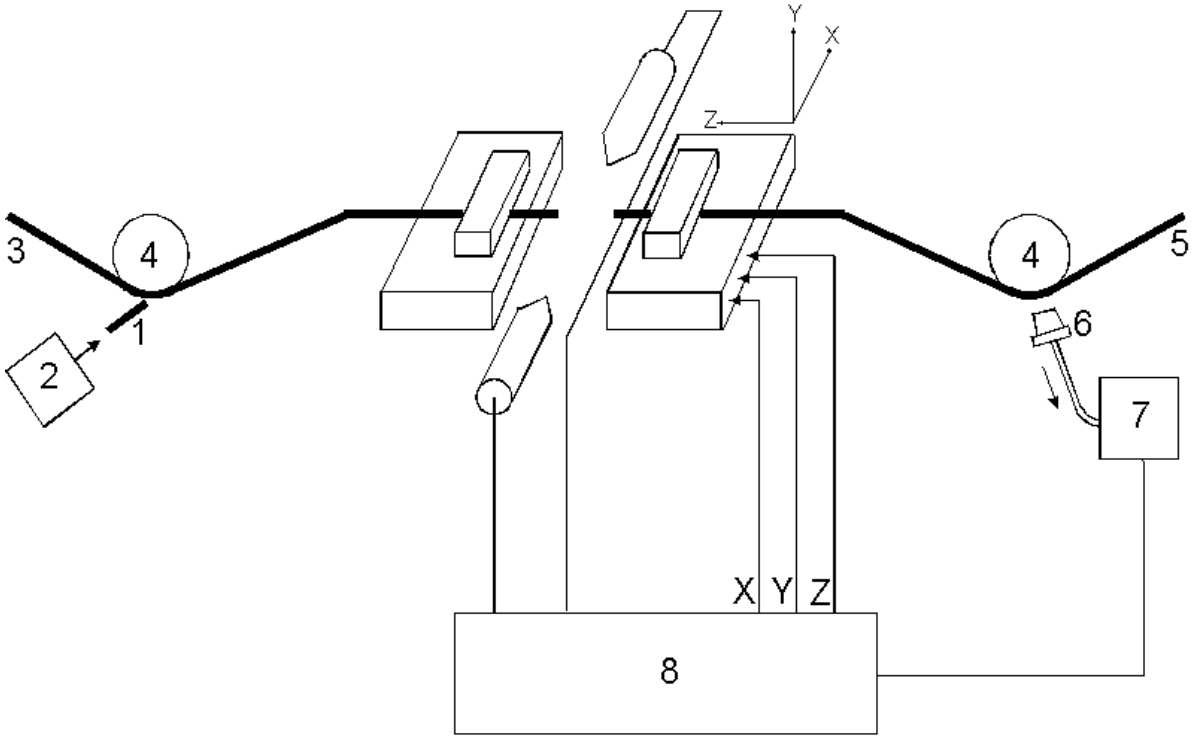


Рисунок 9.8 – Юстирування ОВ по мінімізації втрат світла:
1 – ОВ з великим діаметром серцевини; 2 – світловипромінювальний діод; 3 – перше ОВ; 4 – оправка; 5 – друге ОВ; 6 – фотодіод; 7 – підсилювач; 8 – мікропроцесор

При з'єднанні зварюванням ОВ, що мають неконцентричність серцевин, досить часто виникає порушення юстирування серцевин внаслідок дії поверхневого натягу. Це порушення можна мінімізувати шляхом:

– зменшення часу плавлення, за рахунок піддавання зварюванню зовсім невеликої частини ОВ, або зменшенням довжини вільного кінця ОВ в зварювальному пристрої, дозволяючи кінцям ОВ переміщуватись на досить малу відстань в процесі зварювання;

– використання компенсаційних програм, таких як управління зміщенням серцевини за допомогою метода навмисного зміщення осей.

Прикладом реалізації останнього метода може служити режим зварювання ОВ з концентричністю серцевин, що реалізовано в зварювальному апараті FSU 925 фірми Ericsson (Швеція). Цей режим отримав назву RTC (Real Time Control). В цьому режимі (рис. 9.9) після юстирування серцевин ОВ та проведення попереднього оплавлення відбувається компенсація поперечного зміщення серцевин в сторону протилежну похідній розбіжності. Зварювання ОВ відбувається чергуванням коротких імпульсів струму високої інтенсивності з імпульсами струму низької інтенсивності (релаксаційними імпульсами). При цьому після зварювання в електричному полі імпульсу високої інтенсивності в полі релаксаційного імпульсу відбувається переміщення ОВ під дією поверхневого натягу. Кількість чергуємих імпульсів,

залежить від зміщення серцевин ОВ, який постійно контролюється зварювальним апаратом. Але, як правило, кількість імпульсів не перевищує 2…3.

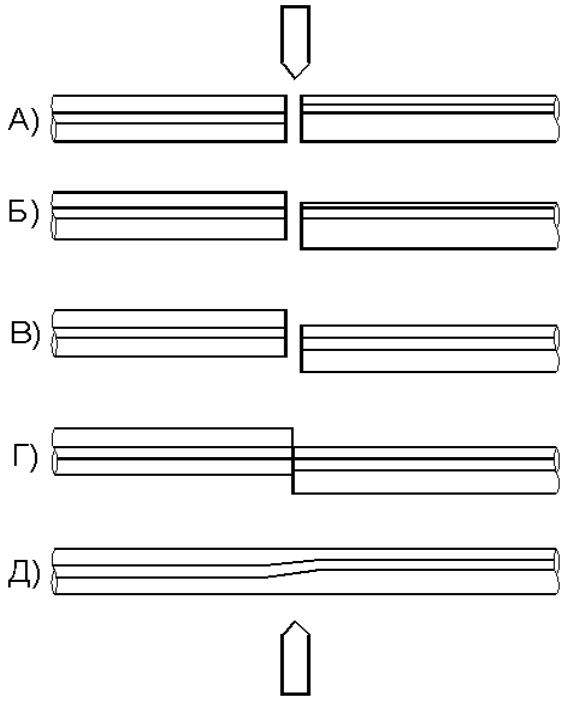


Рисунок 9.9 – Послідовність виконання з’єднання ОВ методом RTC: а) вихідна позиція; б) юстирування серцевин; в) компенсація зміщення; г) суміщення ОВ; д) після зварювання

При з’єднанні стрічкових елементів методом зварювання, крім основаних операцій: підготування ОВ, їх юстирування, з’єднання та захист місця з’єднання – необхідно здійснення ще трьох ключових операції: видалення розбігу торців ОВ, виконання плавлення усіх ОВ при одній і тій самій температурі, перевірка рівня загасання в з’єднанні.

Зварювання стрічкових елементів можливе лише при застосуванні повністю автоматичних зварювальних апаратів [29], за допомогою яких можна з’єднувати до 12 ОВ приблизно за 3 хвилини при середньому рівні втрат до 0,1 дБ. При зварюванні ОВ розміщуються з відповідним зміщенням від осі електродів, що забезпечує рівномірне нагрівання (рис. 9.10). До початку процесу зварювання та після його завершення виконується перевірка зміщення ОВ, стану поверхні торців, а також деформація. Якщо перевірка показала, що результати не відповідають вимогам, процес зварювання повторюють.

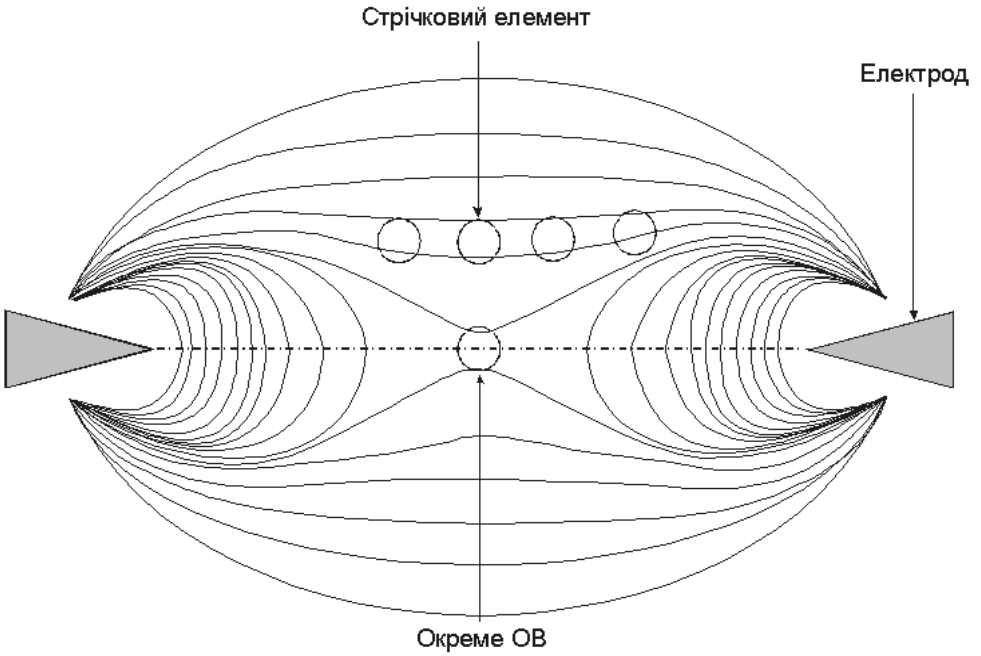


Рисунок 9.10 – Розподіл температури навколо електродів при виконанні операції зварювання

Після здійснення операції зварювання якість з'єднання перевіряться як візуально так і вимірюванням за допомогою рефлектометра.

При вимірюванні контролюється рівень втрат у з'єднанні. Якщо рівень втрат перевищує норму приймається рішення про повторне з'єднання й усі операції виконуються наново.

Дефекти зварювання [30], що можна виявити візуально можна розподілити на п'ять типів: наявність пузирів, стоншення, стовщення, нестикування (розрив) та викривлення (рис. 9.11). Причини та способи видалення дефектів наведені в табл. 9.1.

Таблиця 9.1 – Дефекти зварних з'єднань ОВ

Дефект	Причина	Спосіб видалення
Пузир	Неякісний скол або бруд на кінці ОВ	Повторний скол ОВ та зварювання. При стійкому отриманні неякісного сколу, слід замінити сколювач
Стоншення	Невірне (сильне) розтягування	Повторний скол ОВ та зварювання
Стовщення	Невірне (слабке) розтягування	Повторний скол ОВ та зварювання
Розрив	ОВ не зведені разом або надто великий струм при Зварюванні	Повторний скол ОВ та зварювання
Викривлення	Неперпендикулярні торці ОВ або надмірне зведення кінців ОВ	Повторний скол ОВ та зварювання. При стійкому отриманні неперпендикулярного сколу, слід замінити сколювач

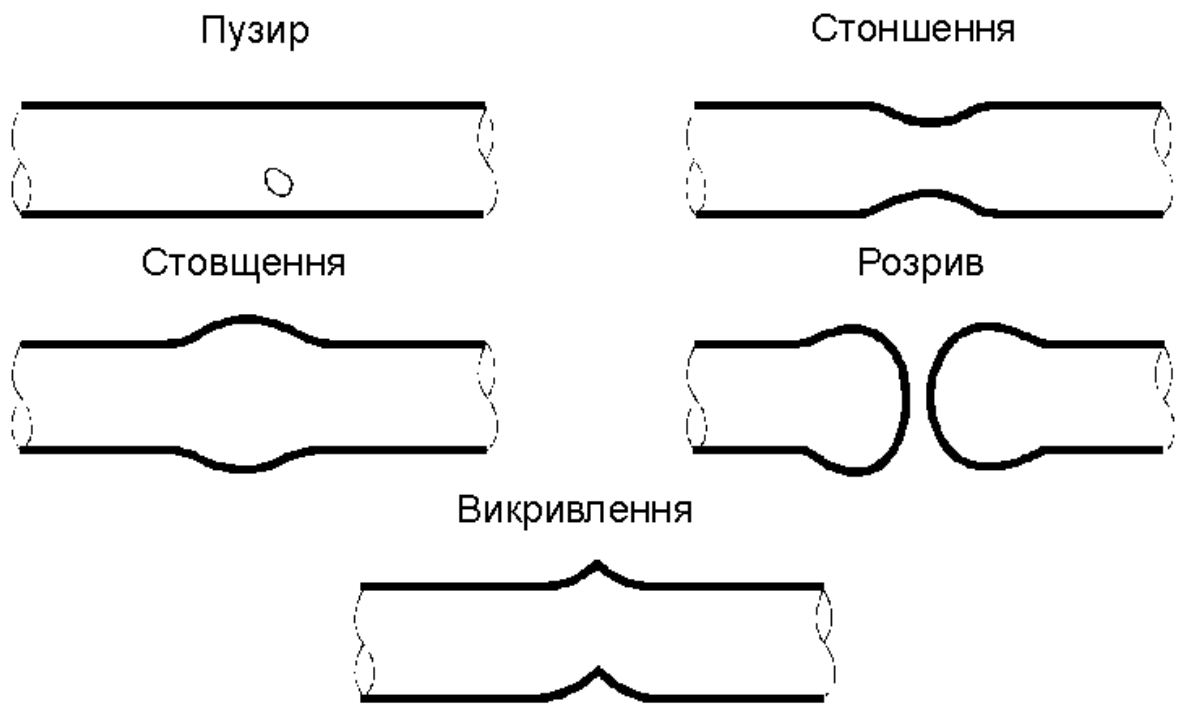


Рисунок 9.11 – Дефекти зварювання ОВ

Після отримання зварного з’єднання місце з’єднання захищається [25] шляхом термічного усаджування комплекту деталей для захисту місця зварювання (рис. 9.12).

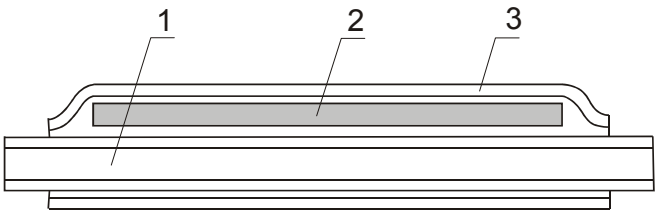


Рисунок 9.12 – Комплект деталей для захисту місця зварювання:
1 – гільза; 2 – металевий стрижень; 3 – термоусадна трубка

9.4 Клейові з’єднання

Іншим способом отримання нероз’ємних з’єднань ОВ є склеювання. До переваг цього способу слід віднести: оперативність, відсутність деформації серцевин ОВ, що з’єднуються. Це сприяє отриманню малих втрат, відсутності напруги в області стику, забезпеченню добрих міцністних якостей та ін. Однак обмежений строк служби та часова нестабільність втрат в клейових з’єднаннях стримує широке застосування цього методу отримання нероз’ємних з’єднань.

Для отримання клейових з’єднань використовують суміщення та фіксацію ОВ: в капілярі, в прямокутній трубці, за допомогою V-образної канавки, за допомогою стрижнів.

Узагальнена технологія отримання таких з’єднань [26] за допомогою капіляра має наступні етапи (рис. 2.13):

1. Підготування ОВ до з’єднання;
2. Введення ОВ у капіляр;
3. Нагнітання імерсійної рідини, гелю або клею;
4. Регулювання з’єднання, юстирування ОВ;
5. Нанесення шару адгезивної речовини;
6. Цементація адгезиву ультрафіолетовим опромінюванням.

9.5 Механічні нероз’ємні з’єднувачі

Останнім часом широкого застосування отримали з’єднання ОВ за допомогою механічних з’єднувачів [24]. Це визначається цілим рядом позитивних якостей з міркувань економії та надійності. Так, за даними різних фірм, що випускають обладнання для ВОЛЗ, вартість одного механічного з’єднувача складає від 15 до 40 доларів в той час, як вартість пристроїв для отримання зварних з’єднань ОВ − 15...30 тис. доларів. Крім того, отримання з’єднань за допомогою механічних з’єднувачів займає не більше 3 хв. і може виконуватись робітниками порівняно низької кваліфікації. Виконання же зварних з’єднань є досить трудомістким і вимагає більш високої кваліфікації обслуговуючого персоналу. Крім того, втрати в зварних з’єднаннях досить суттєво залежать від режимів зварювання, а сама операція вимагає великих витрат часу на один стик, необхідність юстирування і т. ін.

З широкого кола задач, що вирішуються при створенні механічних з’єднувачів ОВ, як першочергова, може бути виділена задача конструювання з’єднувачів для найбільш широко використовуваних в даний час систем з модуляцією інтенсивності світла. В таких з’єднувачах втрати світла при його передачі з одного ОВ в інше повинні бути мінімальні, самі з’єднувачі мати високу ремонтоздатність, а їх збирання та монтаж – як можливо більш простими.

В світловодних системах, які побудовані на одно- та багатомодових ОВ з малим загасанням (менше 0,5…0,7 дБ/км), вимоги до значень втрат в з’єднаннях найбільш жорсткі. Тому недоцільно в подібних лініях використовувати з’єднувачі із загасанням більше ніж 0,1 дБ. Для відносно коротких ліній міжстанційного зв’язку, абонентських та локальних мереж передачі інформації, де вимоги до ОВ менш жорсткі, можуть використовуватись відносно прості і дешеві з’єднувачі з більшим значенням втрат.

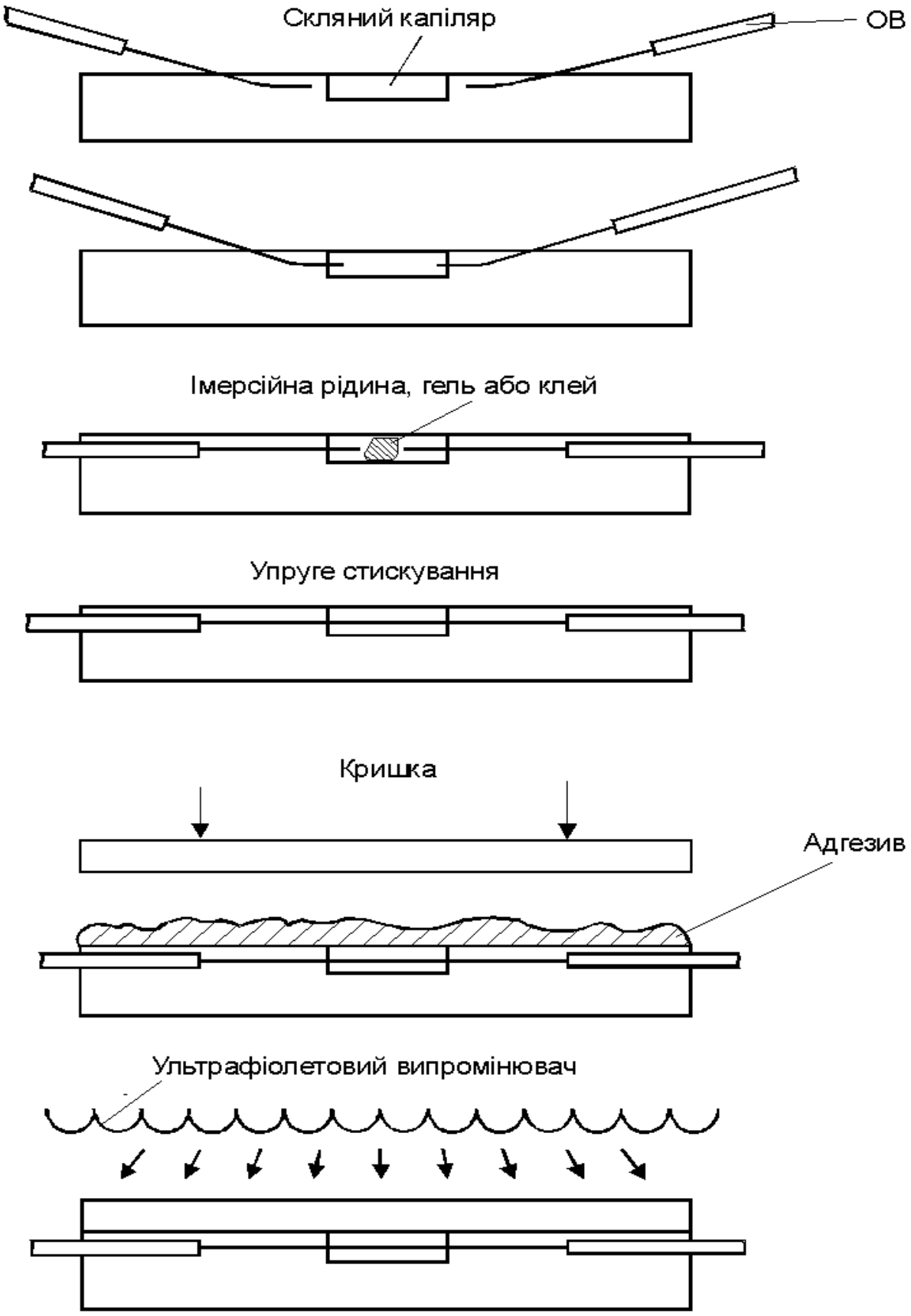


Рисунок 9.13 – Технологія отримання клейових з’єднань за допомогою капіляра

Існує безліч різних видів механічних з'єднувачів. Однак всі вони вимагають виконання сколу, а іноді ще й поліровки, торців ОВ в процесі їх підготування до з'єднування. Юстирування та з'єднання ОВ виконується в спеціальній спрямовуючій системі з наступною їх фіксацією за місцем.

Для узгодження стику ОВ в механічних з'єднувачах можуть використовуватись різні рідини, гелі, мастила та адгезиви. Оскільки рідини тяжко утримуються і легко забруднюються, то їх рідко використовують в механічних з'єднувачах. Мастила теж рідко використовуються в механічних з'єднувачах, бо вони не отверджуються і не забезпечують надійного оточення стику. Гель – рідкий матеріал, який після отвердіння приймає стійкі форми і надійно забезпечує поперечний зв'язок, зберігаючи при цьому свої характеристики на протязі усього терміну служби, що й визначило його широке застосування.

Механічні з'єднувачі можуть бути активними, в яких є можливість вирівнювати та оптимізувати положення ОВ за мінімумом втрат, і пасивними.

За можливостями поновного використання механічні з'єднувачі можуть бути разового та багаторазового використання.

У світі існує безліч конструкцій механічних з'єднувачів, але не усі вони використовуються в зв'язку. Серед тих, що використовуються найбільш широкого застосування отримали механічні з'єднувачі, які детальніше будуть розглянуті нижче.

Механічний з'єднувач ОВ типу Fibrlok (рис. 9.14) компанії 3М складається з трьох частин – пластмасо-алюмінієвої основи 1, металевого елемента 2 із м'якого алюмінієвого сплаву, всередині якого виконується з'єднання ОВ 3, та пластмасової кришки 4. ОВ уводять в з'єднувач крізь отвір 5. Для оптичного узгодження в місці стику кінців ОВ, що з'єднуються, використовується спеціальний гель 6.

З'єднувачі Fibrlok використовуються для з'єднування багатомодових та одномодових ОВ. Загасання в з'єднанні не перевищує 0,2 дБ (для більш ніж 90 % з'єднань); дозволене зусилля на розтягування 0,34 кг; діапазон робочих температур: – 40 ^{o}C... + 80 ^{o}C; втрати на відбиття 45 дБ; час, що потрібен для здійснення одного з'єднання – не більше 3 хвилин; термін служби – 30 років.

Механічний з'єднувач CSL LightSplice компанії Lucent Technologies являє собою польовий з'єднувач, що призначений для отримання постійних та тимчасових з'єднань ОВ з зовнішнім діаметром захисного покриття 250 або 900 мкм.

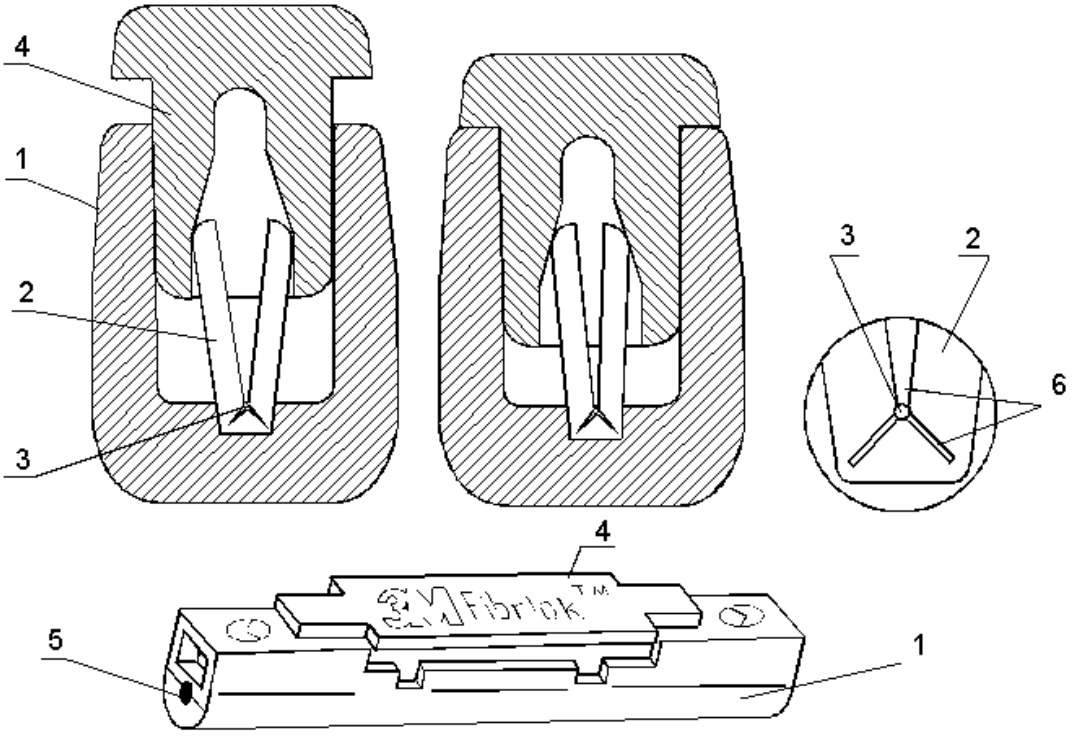


Рисунок 9.14 – Механічний з’єднувач Fibrlok

З’єднувач складається з прозорого пластикового корпусу 1, скляної капілярної трубки 2 та металевої пружини 3 з тонким шаром еластичного матеріалу 4, що розміщено вздовж усієї контактної поверхні пружини (рис. 9.15). Прозорий матеріал корпусу дає змогу візуально контролювати процес з’єднання ОВ 5. В з’єднувачі не використовується затверджування адгезиву, однак для мінімізації втрат використовують спеціальні гелі.

Достоїнством даного з’єднувача є швидкість та легкість отримання з’єднання, а також можливість використання на всіх ступенях мереж зв’язку: магістральних, абонентських, локальних, інформаційних та мережах керування та телеметрії.

Даний з’єднувач призначений для роботи в широкому діапазоні робочих температур. Втрати на з’єднання одно- та багатомодових ОВ не перевищує 0,2 дБ. Втрати на відбиття не більше 50 дБ. Час, що потрібен для монтажу одного з’єднувача 2…3 хв.

Механічний з’єднувач обертального типу Rotary Mechanical Splice (RMS) компанії Lucent Technologies є найбільш складним, працеємким серед вищеперелічених, але він дозволяє досягти найменших втрат у з’єднаннях одномодових ОВ. На відміну від попередніх з’єднувачів, де величина втрат головним чином залежить від якості сколу торцевих поверхонь ОВ, RMS дозволяє настроюватись простим обертанням двох скляних втулок, які утримують підготовлені кінці ОВ (рис. 9.16).

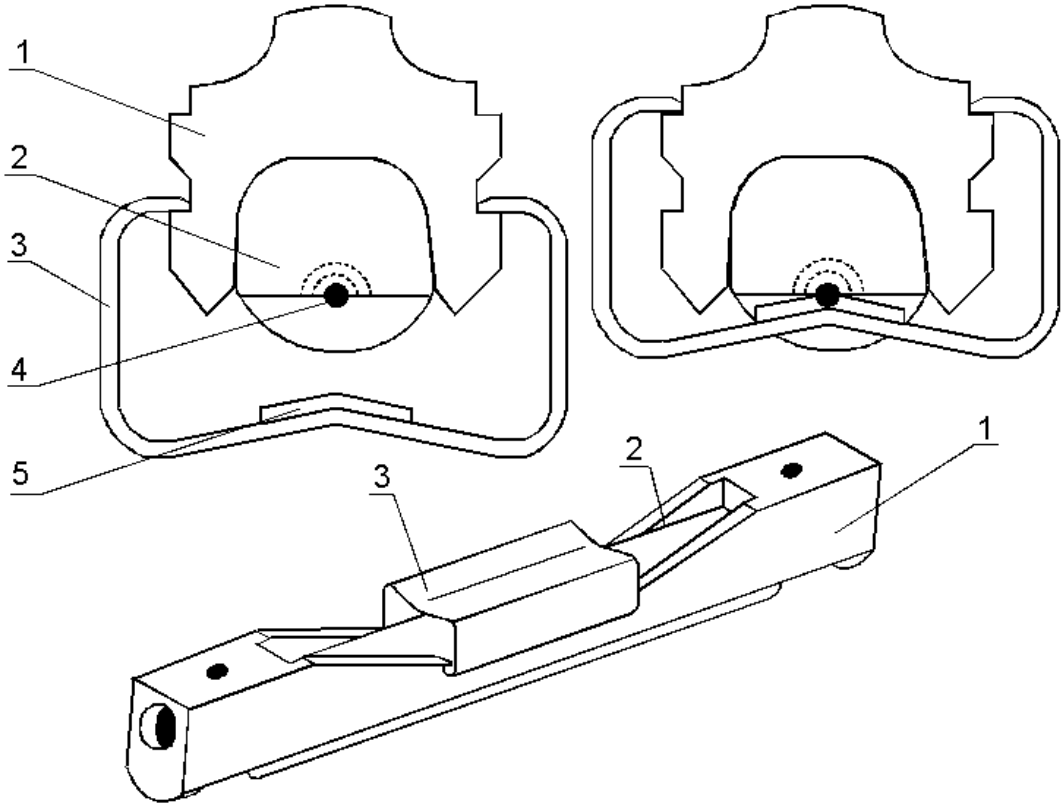


Рисунок 9.15 – Механічний з’єднувач CSL LightSplice

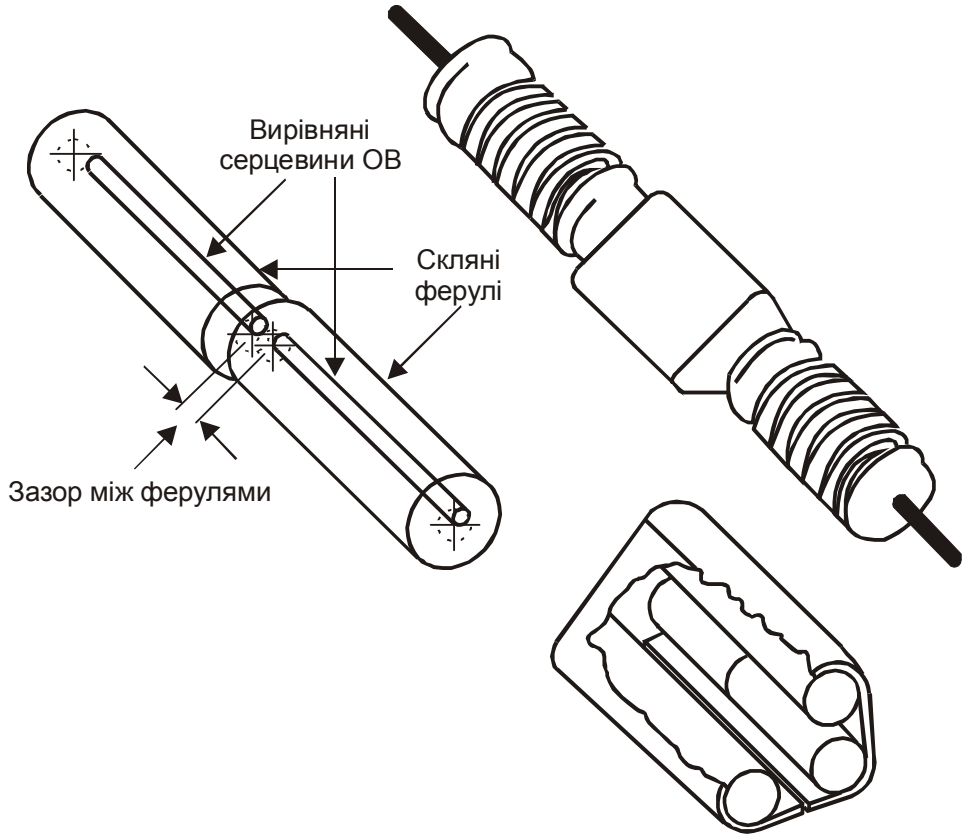


Рисунок 9.16 – Механічний з’єднувач RMS

З’єднувач складається з двох втулок 1 з капілярами. ОВ 2 вкладаються в капіляри після попереднього нанесення на них адгезиву.

Після цементації адгезиву ультрафіолетовим опромінюванням, кінці ОВ, що виступають за межі втулки, обламуються і шліфуються. Після підготування ОВ, втулки розміщуються в середині муфти вирівнювання 3, що являє собою трикутник, в кожному куті якого розміщені напрямні стрижені. Ці стрижені міцно утримують втулки, при цьому дозволяючи їм обертатись навколо своєї осі. Втрати в з'єднанні постійно контролюються шляхом вимірювання потужності за допомогою спеціально розробленого вимірювального блоку.

Змонтований з'єднувач фіксується в муфті за допомогою спеціальних пружин 4, що працюють на стиск.

Середні втрати на з'єднаннях одномодових ОВ без активного регулювання 0,2 дБ, а з настройкою 0,05 дБ, багатомодових відповідно 0,25 та 0,1 дБ. Втрати на відбиття не більше 50 дБ. Діапазон робочих температур: – 40 ^{o}C... + 80 ^{o}C. Час на монтаж одного з'єднувача 7…8 хв.

Механічний з'єднувач CORELINK компанії AMP [33] призначається для механічного з'єднання одномодових та багатомодових ОВ з діаметром 125 мкм. З'єднувач (рис. 9.17) складається з алюмінієвого елемента 2 для юстирування та з'єднання ОВ, що розміщується в прозорому корпусі 3. Корпус, крім того, що утримує алюмінієвий елемент, ще й працює на стискання за допомогою чого досягається фіксація ОВ, що були з'єднані.

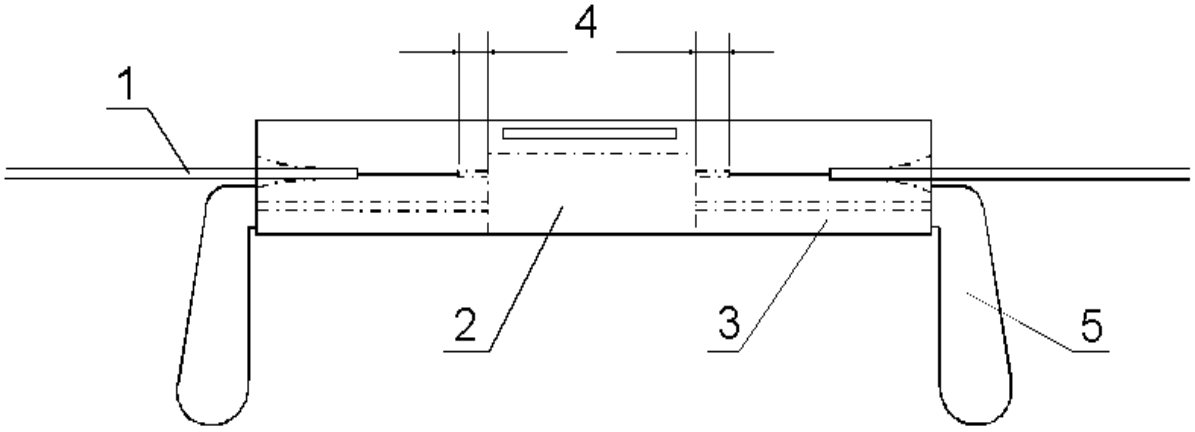


Рисунок 9.17 – Механічний з'єднувач CORELINK

При монтажі підготовлені ОВ після повороту спеціального ключа 5 на кут 90°, який розсуває стінки корпуса і відкриває вхід до спрямовуючого алюмінієвого елемента, вводяться у корпус з'єднувача до спеціальної позначки, що забезпечує потрібний зазор 4 і запобігає пошкодженню торців ОВ. Після чого ОВ через відкритий вхід вводяться в алюмінієвий напрямний елемент до повного контакту. Після чого ключ повертається у вихідне положення і виймається. При цьому стінки корпуса сходяться і надійно фіксують ОВ. Для оптичного узгодження в місці стику кінців ОВ використовується спеціальний гель. З'єднувач може використовуватись багаторазово.

Рівень втрат, що вносяться з'єднувачем до 0,1 дБ. Втрати на зворотне відбиття порядку 55 дБ. Діапазон робочих температур: – 40 ^{o}C... + 80 ^{o}C. Час на монтаж одного з'єднувача не перевищує 3 хв.

З'єднання кількох ОВ виконується згідно основним положенням, що були перелічені вище. Однак це пов'язано з більшою складністю при юстируванні та розміщенні ОВ. Число ОВ у з'єднанні повинно відповідати кількості ОВ в одному стрічковому елементі кабелю, а саме з'єднання повинно бути виконано у вигляді єдиного модуля.

З точки зору мінімального загасання важливо використовувати з'єднувальні модулі з відмінними геометричними характеристиками, які можуть досить точно відтворюватись та легко виготовлюватись. Для цього переважно використовуються модулі, що мають форму плаского паралелепіпеда. Матеріали, що використовуються при цьому, повинні зберігати свою стабільність в часі і не залежати від зміни температури та вологості.

Прикладом механічного з'єднувача для стрічкових елементів може служити силіконовий з'єднувач Array Splice (рис. 9.18) компанії Lucent Technologies [34]. Юстирування ОВ в з'єднувачі досягається за допомогою елементів із V-образними канавками. Кожний модуль з'єднувача розраховано на розміщення ОВ одного кабелю. Торці ОВ поліруються. Два модулі стикуються з третім елементом механізму юстирування і кріпляться за допомогою клею.

В іншій конструкції з'єднувача Rapid Ribbon Splice [35] компанії Lucent Technologies (рис. 9.19) використовуються стрічкові елементи 1, в яких ОВ зачищаються та розділяються. ОВ 2 обох стрічкових елементів юстируються в спільних пазах безкорпусного елемента (підложки) 3, що виконано з пластмаси зі скловолоконним зміцненням. ОВ закріплюють в пазах і захищають за допомогою кришки-футляра 4 та еластичних муфт 6, утворюючи складну конструкцію. Цей пристрій має спеціальні пружинні затиски 5. Величина втрат у з'єднанні, як правило, не перевищує 0,3 дБ.

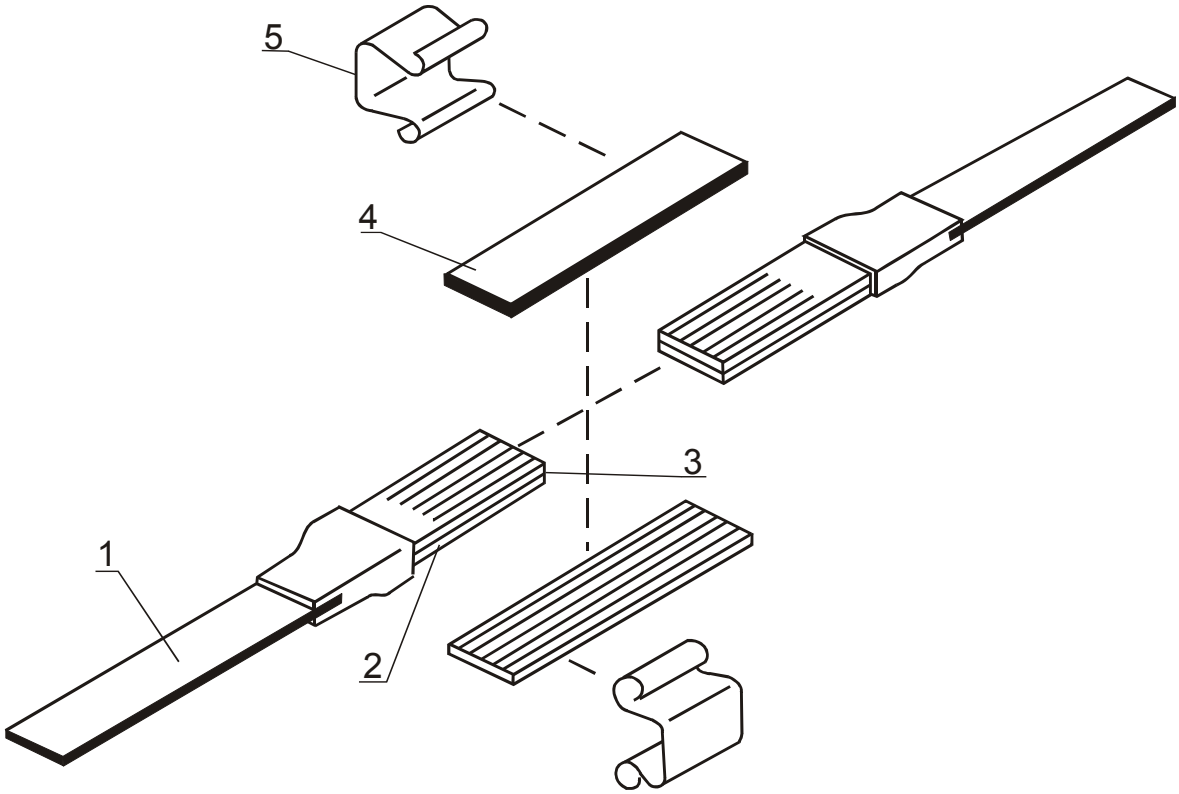


Рисунок 9.18 – Механічний з’єднувач Array Splice:
1 – стрічковий елемент, 2 – блок з’єднувача, 3 – кінці ОВ,
4 – еластична муфта, 5 – пружинні затиски

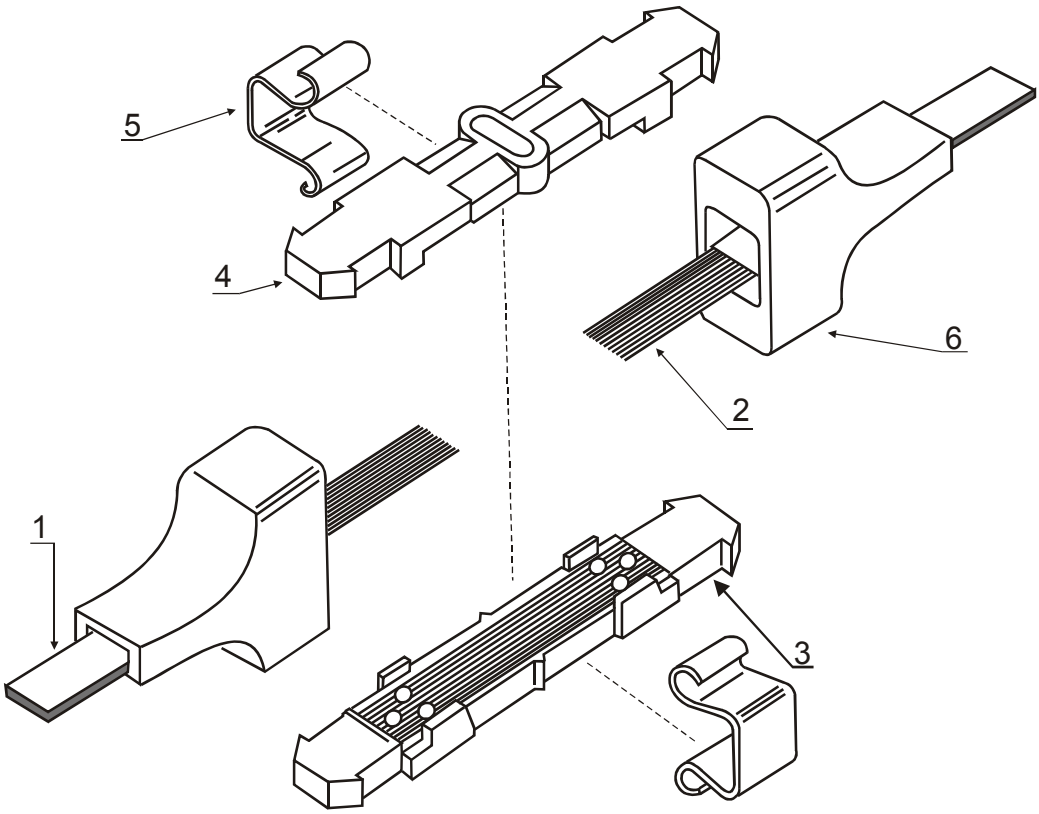


Рисунок 9.19 – Механічний з’єднувач Rapid Ribbon Splice

9.6 Механічні роз’ємні з’єднувачі

Потреба в роз’ємних з’єднаннях виникає при багаторазовому підключенні ОВ до джерел (приймачів) випромінювання та стикування ОВ між собою. При цьому повинні бути забезпечені мінімальні втрати в місцях з’єднань. Конструктивні рішення роз’ємних з’єднань, як правило, істотно розрізняються, що, в першу чергу, обумовлено специфічними особливостями активних елементів лінійного тракту: джерела випромінювання (світлодіода, лазерного діода) та фотодетектора.

При розробці оптичних роз’ємних з’єднувачів намагаються забезпечити малі втрати, створити прості, дешеві і, одночасно, надійні конструкції. Повне задоволення усіх цих вимог в одній конструкції оптичного з’єднувача проблематично. На даний час розроблена велика кількість типів і конструкцій оптичних роз’ємних з’єднувачів, які можуть використовуватись на різних за призначенням та довжиною волоконно-оптичних ліній зв’язку.

Найбільш широкого застосування отримали роз’ємні з’єднувачі штекерного типу. Основними елементами таких роз’ємних з’єднувачів є два штекери-кінцевика (ферулі), в яких закріплюються ОВ та муфта, що служить для їх з’єднання. Помилки при виготовленні кожного з цих елементів викликають за собою появу втрат у роз’ємному з’єднувачі. Головними факторами, що викликають такі втрати в роз’ємних з’єднувачах є поперечне зміщення осей та кут між ними.

На сьогодні у світі розроблено понад 70 типів роз’ємних з’єднувачів [23]. Характеристики найбільш розповсюджених типів роз’ємних з’єднувачів (рис. 9.20) наведено в табл. 9.2.

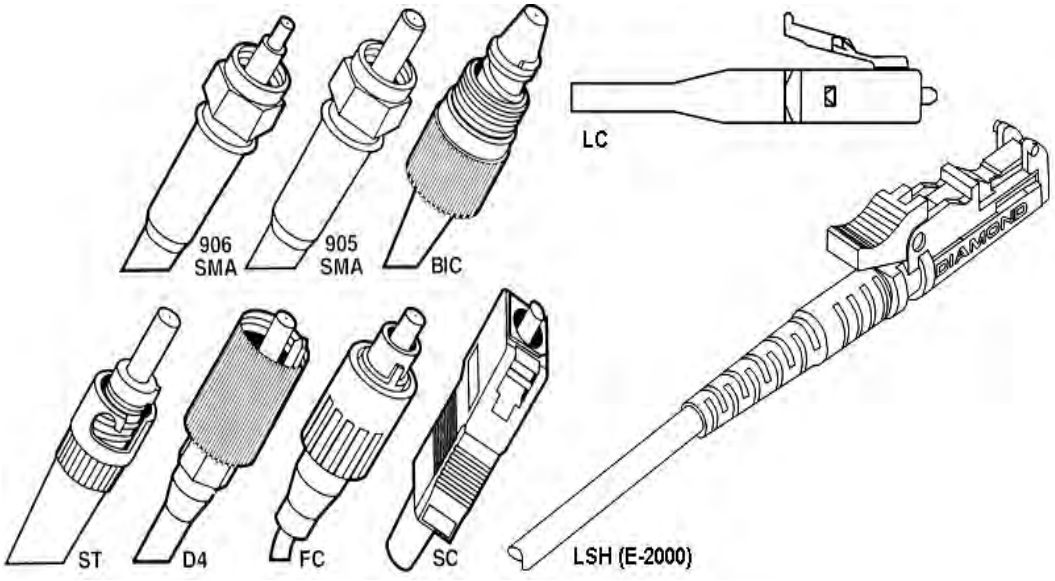


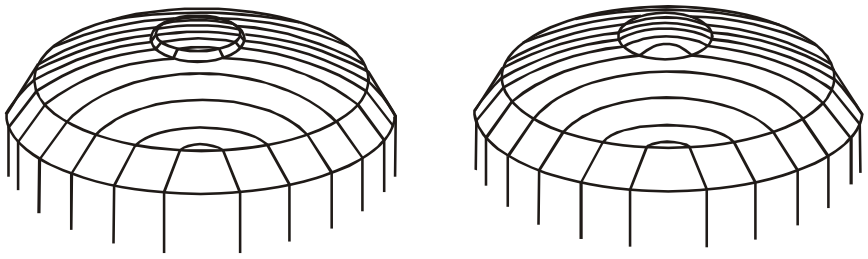
Рисунок 9.20 – Основні типи оптичних роз’ємних з’єднувачів

Однією, чи не головною, з причин виникнення втрат в роз’ємних з’єднувачах є наявність френелівського відбиття. З метою мінімізації

рівня цих втрат було запропоновано кілька способів зашпорювання та підготування торців ОВ в штекерах. Один з таких способів отримав назву «фізичний контакт» (physically contact – PC). При цьому способі ОВ фіксуються у ферулі, після чого їх кінці певним чином поліруються з метою досягнення повного контакту торцевих поверхонь. В залежності від ступені та форми полірування торцевих поверхонь розрізняють [36] «супер фізичний контакт» (super physically contact – SPC) та «ультрафізичний контакт» (ultra physically contact – UPC) (рис. 9.21).

Таблиця 9.2 – Характеристики основних типів роз'ємних з'єднувачів

Тип роз'ємного з'єднувача	Конструктивна особливість			Застосовуємі ОВ
	Корпус	Феруль	Кріплення	
SMA	Металевий	Металевий циліндричний	Різьбове	Багатомодові
Biconic	Пластиковий	Керамічний конічний	Різьбове	Одномодові та багатомодові
ST	Металевий	Керамічний циліндричний	Байонетний замок	Одномодові та багатомодові
D4	Металевий	Металевий циліндричний	Різьбове	Одномодові та багатомодові
FC	Металевий	Металевий або керамічний циліндричний	Різьбове	Одномодові та багатомодові
SC	Пластиковий	Цирконієвий циліндричний	Замок типу Pull-Push	Багатомодові
LSH (E-2000)	Пластиковий	Керамічний циліндричний	Замок типу Pull-Push	Одномодові та багатомодові
LC	Пластиковий	Цирконієвий циліндричний	Замок типу Pull-Push	Одномодові та багатомодові



а) б)

Рисунок 9.21 – Торцеві поверхні штекерів роз'ємних з'єднувачів з super PC (а) та ultra PC (б) фізичними контактами

Роз'ємні з'єднувачі з фізичним контактом мають типовий рівень Френелівського відбиття понад −40 дБ.

Іншим способом зниження рівня енергії відбитого сигналу є метод полірування торців ОВ під кутом $7^{\circ}...12^{\circ}$ від перпендикуляра до осі ОВ.

Зниження рівня досягається тому, що відбите світло намагається розповсюджуватись з більшим кутом ніж кут, під яким ОВ приймає його. Кутові з'єднання можуть досягати рівня енергії відбитого світла більше ніж −55 дБ. Правда рівень втрат в роз'ємних з'єднувачах з кутовим поліруванням торців ОВ дещо більший ніж при наявності фізичного контакту, але їх можна знизити за рахунок створення фізичного контракту (angle physically contact – APC). На рис. 9.22 наведено три основні методи отримання APC фізичного контакту.

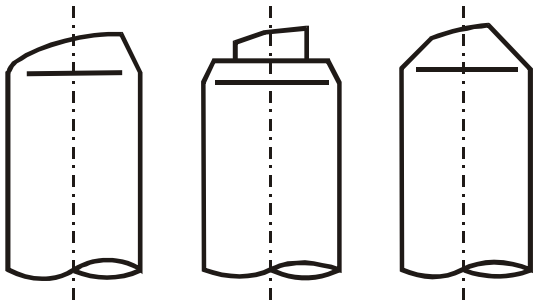


Рисунок 9.22 – Основні методи отримання кутового фізичного контакту: уніформа (а), сходинка (б) та конус (в)

Передавальні характеристики основних типів оптичних роз'ємних з'єднувачів подано у табл. 9.3.

Практично усі роз'ємні з'єднувачі, що використовуються в даний час, виконують з'єднання окремих ОВ. Для з'єднання стрічкових конструкцій з окремими ОВ або іншими стрічковими елементами використовують багатоволоконний роз'ємний з'єднувач.

На рис. 9.23 показано невеликий литий роз'ємний з'єднувач для 4-волоконних стрічкових елементів, який може використовуватись в заводських або польових умовах [37]. Між торцями ОВ використовується узгоджуючий матеріал.

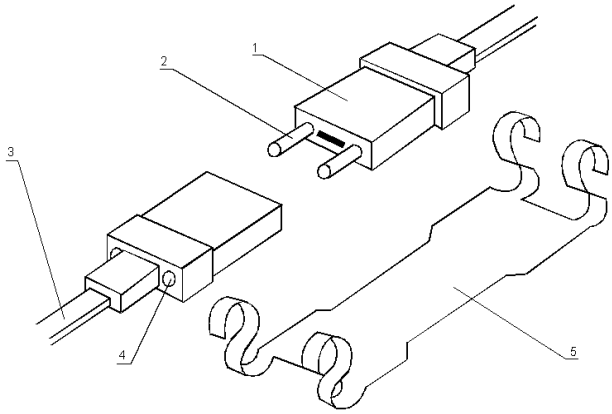


Рисунок 9.23 – Литий роз'ємний з'єднувач для 4-волоконних стрічкових елементів:
1 – гільза; 2 – спрямовуючий стрижень; 3 – стрічковий елемент;
4 – спрямовуючий отвір; 5 – пружний затиск

Таблиця 9.3 – Передавальні характеристики основних типів оптичних роз'ємних з'єднувачів

Тип роз'ємного з'єднувача	Тип контакту	Тип ОВ	Втрати			
			на проходження, дБ		на відбиття, дБ	
			типові	макс.	типові	макс.
SMA (906)	-	Багатомодове	0,7	1,5	-	-
Biconic	-	Одномодове	0,6	-	-	-
	-	Багатомодове	0,7	-	-	-
ST	SPC	Одномодове	0,2	0,5	45	40
	UPC	Одномодове	0,2	0,4	-	55
	PC	Багатомодове	0,2	0,5	40	30
D4	SPC	Одномодове	-	0,6	-	45
	UPC	Одномодове	-	0,6	-	55
FC	SPC	Одномодове	0,2	0,4	47	40
	UPC	Одномодове	0,2	0,4	-	55
	APC	Одномодове	0,3	0,5	63	58
	PC	Багатомодове	0,2	0,5	40	30
SC	SPC	Одномодове	0,2	0,4	47	40
	UPC	Одномодове	0,2	0,4	-	55
	APC	Одномодове	0,3	0,5	63	58
	PC	Багатомодове	0,2	0,5	40	30
LSH (E-2000)	PC	Одномодове	0,2	0,4	50	-
	APC	Одномодове	0,2	0,4	70	-
	PC	Багатомодове	0,2	0,4	40	-
LC	PC	Одномодове	0,2	-	50	-
	PC	Багатомодове	0,2	-	20	-

9.7. Рекомендації по вибору способу з'єднання оптичних волокон

Питання монтажу лінійного тракту волоконно-оптичної системи передачі охоплює різні галузі науки та техніки. Існуючі методи з'єднань ОК передбачають використання, головним чином, нероз'ємних з'єднань. Для з'єднання окремих будівельних довжин ОК найбільш розповсюдженим методом є зварювання ОВ в полі електричного розряду. Ця технологія добре відпрацьована, створено технологічне обладнання, що забезпечує низький рівень втрат в з'єднаннях як багатомодових, так і одномодових ОВ (до 0,1 дБ). Останнім часом істотну конкуренцію зварюванню складають нероз'ємні механічні з'єднувачі.

Для роз'ємного з'єднання ОВ між собою та підключення їх до кінцевого обладнання в даний час розроблена велика кількість різних типів оптичних роз'ємних з'єднувачів. Причому, в місці стику як багатомодових, так і одномодових ОВ отримані втрати на рівні зварних з'єднань (0,1…0,3 дБ).

Вибір того, чи іншого способу з'єднань ОВ визначається: типом ОВ та його конструктивними особливостями, методами прокладання та економічними факторами.

Так при будівництві міжміських волоконно-оптичних ліній зв'язку великої довжини, із застосуванням багатоволоконних (понад 12 ОВ) одномодових ОК при виборі способу з'єднання ОВ слід виходити з критеріїв: надійності лінії, потреби досягти великих довжин регенераційних ділянок, необхідності отримання великої кількості з'єднань ОВ.

Якщо розглядати кожний з цих критеріїв, то:

1. *Надійність*. Як показники надійності можуть бути розглянуті термін служби, стабільність та механічні характеристики з'єднань. Майже усі виробники обладнання для отримання з'єднань ОВ гарантують термін експлуатації 20…30 років. Механічні характеристики зварних з'єднань визначаються, головним чином, механічними властивостями ОВ (максимальне зусилля на розрив від 20 до 50 Н), а механічних – конструкцією з'єднувача (від 20 до 35 Н);

2. *Рівень втрат*. При сучасному рівні зварювальної техніки можна досягти рівня втрат на з'єднаннях одномодових ОВ порядку 0,1 дБ. Більшість механічних з'єднувачів має цей показних на рівні 0,2 дБ. Винятком може бути лише Rotary Mechaical Splice компанії Lucent Technologies, рівень втрат в якому може бути не більше 0,1 дБ.

3. *Економічність*. Велика кількість з'єднань може призвести до рентабельності купівлі, навіть, досить коштовного зварювального апарату, бо собівартість одного з'єднання в цьому випадку може бути менше собівартості одного з'єднання отриманого за допомогою механічного з'єднувача.

Отже, при будівництві міжміських ВОЛЗ великої довжини найбільш доцільним є використання для виконання з'єднань ОВ зварювальних апаратів.

При будівництві міжміських зонових ВОЛЗ невеликої довжини (до 200 км) із застосуванням як одномодових, так і багатомодових ОК з кількістю ОВ більше 8, при виборі способу з'єднання ОВ слід головним чином спиратись на собівартість з'єднань та рівень втрат в них. При аналізі економічних показників, слід враховувати: чи дана ВОЛЗ є разовим будівництвом, чи в перспективі буде побудована досить велика мережа ВОЛЗ, чи вже є зварювальний апарат. У випадку, коли ВОЛЗ, яка будується є єдиною, і в перспективі будівництво нових ВОЛЗ не передбачується, а також коли немає жорстких обмежень по втратах на

з’єднаннях доцільним є використання нероз’ємних механічних з’єднувачів. Але коли передбачається створення цілої мережі ВОЛЗ, або коли вже є зварювальний апарат більш рентабельним є застосування зварних з’єднань ОВ.

При будівництві ВОЛЗ місцевих мереж для вибору способу з’єднання ОВ слід також спиратись на вищенаведені міркування.

На сучасному етапі спостерігається впровадження ОК на абонентських розподільчих лініях. В цьому випадку застосовують ОК з великою кількістю ОВ. У світовій практиці для з’єднання ОВ розподільчих ОК, як правило, використовують механічні з’єднувачі типу Fibrlok компанії 3M, CSL LightSplice компанії Lucent Technologies та CORELINK компанії AMP, оскільки в цих лініях немає суворих обмежень по рівню втрат на з’єднаннях. Але великі обсяги з’єднань роблять економічно більш доцільним застосування зварювальних апаратів.

При будівництві локальних інформаційно-обчислювальних мереж, які характеризуються використанням маловолоконних (4…8 ОВ) ОК, та невеликими відстанями між терміналами найбільш ефективним виявляється застосування механічних з’єднувачів.

Вибір того, чи іншого типу роз’ємних з’єднувачів повинно бути визначено конкретним проектом на базі вивчення пропозицій фірм виробників конкретного типу апаратури систем передачі, вимірювальної техніки і т. ін.

9.8 Аналіз втрат, що виникають в процесі монтажу оптичних кабелів

З’єднання ОК призводить до виникнення втрат енергії оптичного сигналу. В порівнянні з традиційними кабелями, втрати в з’єднаннях ОВ можуть бути, досить великими, досягати і навіть перевищувати за величиною рівня кілометричного загасання самих ОВ. Причини, які викликають втрати в місцях з’єднань ОВ, можна умовно поділити на дві групи: „внутрішні” та „зовнішні” (рис. 9.24).

До першої групи відносяться втрати, які виникають через невідповідності оптико-геометричних параметрів ОВ, що з’єднуються. До цієї групи відносяться: різниця в діаметрах серцевин, різниця в числових апертурах, невідповідність профілів показників переломлення та самих показників переломлення, еліптичність та неконцентричність ОВ, що з’єднуються.

Друга група факторів обумовлена конструкцією з’єднання, що використовується. Це втрати через: поперечне та повздовжнє зміщення осей, непаралельність (кутове зміщення) осей, неперпендикулярність торців ОВ в їх осях, відбиття при переході випромінювання із одного середовища в інше (френелівські втрати).

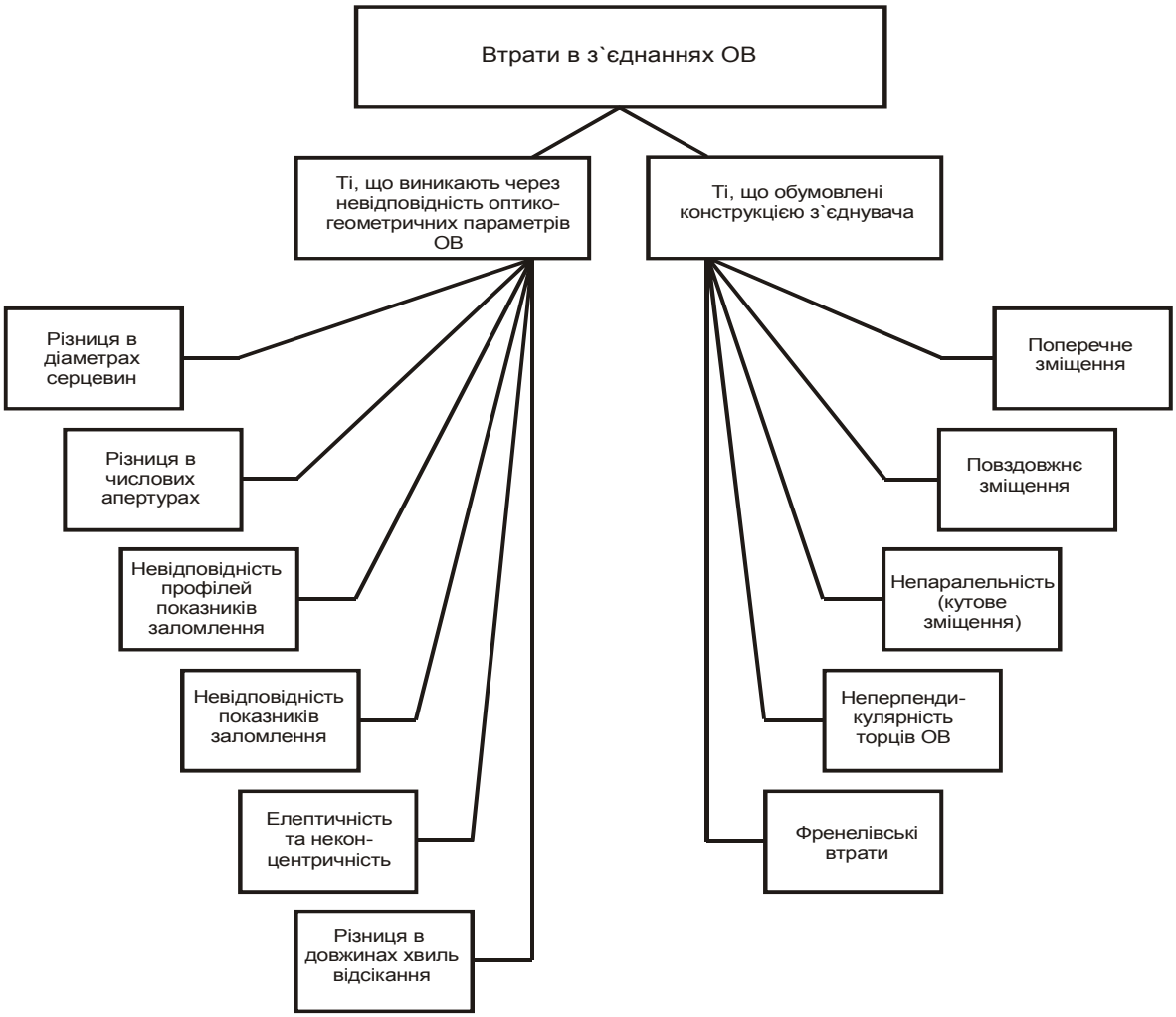


Рисунок 9.24 – Класифікація втрат в з’єднаннях ОВ

Френелівські втрати виникають на кордоні розділу двох середовищ. При з’єднанні волокон за допомогою неузгоджених механічних з’єднувачів або оптичних роз’ємних з’єднувачів, коли існує два (скло/повітря/скло) кордони розділу середовищ, френелівські втрати можна визначити за формулою [38]:

$$A = -10\lg\left[\frac{4n_1 n_0}{(n_1 + n_0)^2}\right]^2,$$

де: n_1 – показник переломлення серцевини ОВ; n_0 – показник переломлення оточуючого середовища (повітря).

Якщо n_1=1,46 − показник переломлення кварцового скла, а n_0=1 − показник переломлення повітря, то $A \approx 0{,}309$ дБ, що є теоретичним мінімумом втрат на таких з’єднаннях. Для зменшення цих втрат в механічних з’єднаннях ОВ, як правило, використовують імерсійні (узгоджуючі) речовини, котрі мають показник переломлення, який збігається, або майже збігається з показником переломлення серцевини

ОВ і світлова хвиля переходить з одного ОВ до іншого з невеликим відбиттям, тобто з малими втратами (не більше 0,2 дБ).

При наявності поперечного зміщення потужність світлової хвилі, що пройшла, залежить від профілю показника переломлення, величини поперечного зсуву та діаметра модового поля. Для одномодових ОВ втрати в з'єднаннях при наявності поперечного зміщення визначаються за формулою [38]:

$$A = -10lg\left(\frac{2W_1W_2}{W_1^2 + W_2^2}\right)^2 \exp\left[\frac{2d^2}{W_1^2 + W_2^2}\right],$$

де: d – величина поперечного зсуву (мкм); W_1, W_2 – діаметр модового поля (мкм).

Діаметр модового поля, це величина, яка характеризує область перетину ОВ по якому розповсюджується більша частина енергії робочої хвилі ОВ. Для гаусового розподілу він може бути наближено розрахований за формулою:

$$W = \mathrm{a}\left(0{,}65 + 1{,}619V^{-1,5} + 2{,}879V^{-6}\right),$$

де а – діаметр серцевини ОВ (мкм);

$$V \approx \frac{2\pi a}{\lambda}\sqrt{n_1^2 - n_0^2};$$

де λ – робоча довжина хвилі (мкм).

Кутові зміщення ОВ досить часто виникають при з'єднанні ОВ за допомогою механічних та роз'ємних з'єднувачів. Енергія світлової хвилі, що пройшла через таке з'єднання залежить для багатомодових ОВ від показника переломлення серцевини та оболонки та кутового зміщення, а для одномодових, крім того, від діаметра модового поля та довжини хвилі. Таким чином втрати на з'єднаннях з кутових зміщенням ОВ можна визначити за формулою [38]:

$$A = -10lg\left(\frac{2W_1W_2}{W_1^2 + W_2^2}\right)^2 \exp\left[\frac{2(\pi n_0 W_1 W_2 \theta)^2}{(W_1^2 + W_2^2)\lambda}\right],$$

де: θ – кут між осями ОВ (рад).

При з'єднаннях ОВ за допомогою зварювання, механічних та роз'ємних з'єднувачів можуть виникати втрати енергії світлової хвилі внаслідок різниці діаметрів модових полів з'єднуємих ОВ. Такі втрати можна знайти за формулою [38]:

$$A = -10lg\left(\frac{2W_1W_2}{W_1^2 + W_2^2}\right)^2.$$

При використанні механічних з'єднувачів досить часто виникають втрати енергії світлової хвилі внаслідок наявності зазору між торцями ОВ. Такі втрати можна знайти за формулою [32]:

$$A = -10lg\left(\frac{4\left(Z^2 + \frac{W_1^2}{W_2^2}\right)}{\left[4Z^2 + \frac{W_1^2 + W_2^2}{W_2^2}\right]^2 + \frac{4Z^2W_2^2}{W_1^2}}\right),$$

де $Z = \frac{\varepsilon}{n_0 W_1 W_2 k}$; $k = \frac{2\pi}{\lambda}$; ε – відстань між торцями ОВ (мкм).

Результати розрахунків втрат світлової енергії через зазор, поперечне та кутове зміщення приведені на рис. 9.25.

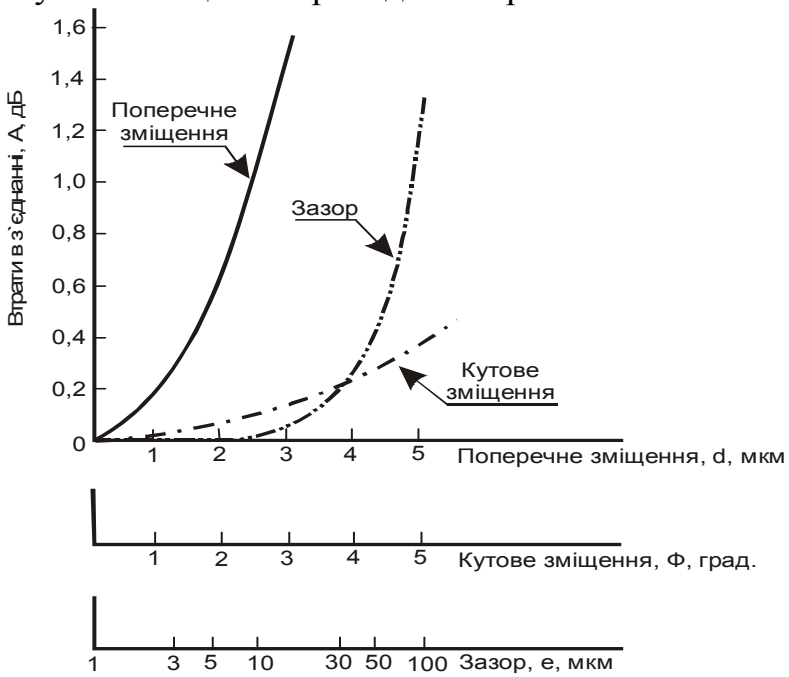


Рисунок 9.25 – Втрати в з'єднаннях [38]

Контрольні питання до розділу 9

1. Навести класифікацію методів реалізації з'єднань ОВ.
2. Описати порядок виконання та особливості зварних з'єднань ОВ.
3. Навести основні типи та конструктивні особливості механічних з'єднувачів ОВ.
4. Охарактеризувати втрати, що виникають в процесі монтажу оптичних кабелів.

РОЗДІЛ 10. МУФТИ ТА КІНЦЕВЕ ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ МОНТАЖУ ОПТИЧНИХ КАБЕЛІВ

10.1 Загальні вимоги до муфт для монтажу оптичних кабелів зв'язку

Відомо, що ОВ, як і місця їх з'єднань, мають підвищену чутливість до усіх видів механічних навантажень – розтягу, вигину, поперечного стискання і т. ін. Захист ОВ і місць їх з'єднань від впливу цих навантажень здійснюється шляхом вільної укладки місць з'єднань та запасу ОВ в муфті, а механічні навантаження, що діють на ОК, повинні замикатись на її корпусі без передачі зусиль на ОВ. Ця вимога є головною до конструктивного устрою муфти [8, 22, 38].

Попадання вологи в ОК через негерметичність муфти може викликати корозію ОВ, а також зростання в ньому внутрішніх наруг, як наслідок деформації при замерзанні вологи, що чинить вплив на параметри передачі сигналу по ОК. Тому забезпечення герметичності місць з'єднань ОВ є ще однією з важливих вимог до оптичних кабельних муфт.

Навіть наявність парів вологи, з часом, може призвести до підвищення коефіцієнта загасання ОВ, тому у конструкцію муфти часто включають вологопоглинаючі елементи, наприклад, пакети з силікагелем.

При з'єднанні ОВ повинен передбачуватись їх технологічний запас від 80 до 100 см, потрібний для здійснення можливих наступних з'єднань при ремонті кабельної лінії. Цей запас повинен укладатись безпосередньо в муфті за дозволеним для волокон радіусам.

Крім того укладені ОВ повинні фіксуватись в муфті, бо при остаточному розміщенні змонтованої муфти можливі їх переміщення, що може призвести до появи макро- та мікровигинів. Під впливом цих вигинів відбувається спонтанне незворотне зростання існуючих в ОВ мікротріщин, що призводить до підвищення загасання та руйнування ОВ. Таке ж явище відбувається і при витягуванні ОК з муфти під дією розтягуючих навантажень.

Отже, конструкція муфти повинна забезпечувати можливість викладки технологічного запасу ОВ з його жорсткою фіксацією, а також неможливість витягування ОК з муфти під дією розтягуючих навантажень.

При розробці методів та засобів захисту з'єднань ОК керуються існуючим досвідом монтажу традиційних електричних кабелів.

Для проведення ремонтно-профілактичних робіт конструкція муфти повинна забезпечувати доступ до місць з'єднань ОВ та повторне її використання після розкриття, що дозволить знизити витрати часу на проведення ремонтно-профілактичних робіт та їх вартість.

По можливості муфта повинна бути універсальною, придатною для з’єднання ОК усіх марок при прокладанні їх в ґрунт, в кабельній каналізації та у випадку підвішування на опорах.

Зовнішній корпус муфти, як правило, виготовляють з матеріалів, що забезпечують механічну міцність. До них відносяться, перш за все, корпуси з спеціальних сортів сталі, корпуси зі сталі з полімерним покриттям, а також спеціальних пластмас.

Таким чином кабельна муфта призначається:

– для відновлення цілісності оболонки ОК, у тому числі, при потребі, механічної безперервності силових елементів;

– для захисту організатора ОВ, в якому розміщуються з’єднання та технологічний запас ОВ, на усіх типах мереж від впливу оточуючого середовища за усіх умов використання;

– для забезпечення, у випадку потреби, електричного зв’язку та заземлення металевих елементів ОК, якщо вони є в кабелі.

– Для задоволення цих вимог конструкція муфти повинна відповідати наступним характеристикам:

– муфта повинна бути герметичною;

– забезпечення можливості укладання технологічного запасу

– ОВ за дозволеним радіусом з фіксацією місць з’єднання ОВ;

– запобігання можливості витягування ОК з муфти під дією механічних навантажень;

– забезпечення легкого доступу до місць з’єднань ОВ при проведенні ремонтно-профілактичних робіт і можливості повторного використання муфти після демонтажу;

– універсальність конструкції для різних типів ОК;

– мати оптимальні габарити та масу;

– бути екологічно чистою;

– бути економічно ефективною.

10.2 Аналіз існуючих типів муфт для монтажу оптичних кабелів зв’язку

Основними класифікаційними ознаками є призначення муфти та її конструктивне виконання (рис. 10.1). За призначенням оптичні муфти розподіляються на лінійні, які використовуються для захисту місць з’єднань окремих будівельних довжин лінійного ОК, та станційні, які використовуються в місцях з’єднань лінійного та станційного ОК. За конструктивною ознакою оптичні муфти можуть бути „прохідного” (вхід та вихід ОК з різних сторін муфти) та „тупикового” (вхід та вихід ОК з однієї сторони муфти) типів [8]. За кількостю ОК, що з’єднуються, муфти можуть бути з’єднувальні та розгалужувальні.

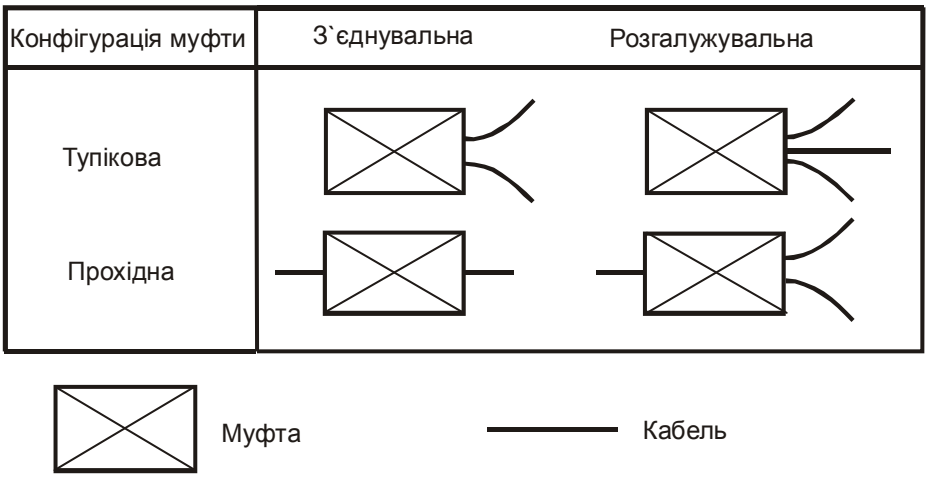


Рисунок 10.1 – Класифікація муфт

Для існуючих оптичних муфт характерні істотні розбіжності як за формою корпуса, так і конструктивних елементів, котрі розміщуються в ній, способам герметизації вводів ОК і т. ін.

Однак для усіх муфт характерна наявність ряду конструктивних елементів, що визначають їх надійність та можливість використання в певних умовах. До цих елементів слід віднести [22]:

1. Корпус муфти та пристрої його герметизації;
2. Тип кабельного вводу та способи його герметизації;
3. Спосіб фіксації ОК в муфті;
4. Конструкцію організатора для укладки та фіксації місць з’єднань та технологічного запасу ОВ.

10.2.1 Корпус муфти та способи герметизації його елементів

Як зазначалось вище, сучасні муфти мають корпуси різних форм, серед яких можна виділити три основні групи: трубчасті, пласкі прямокутні та круглі. Кожна з груп має як позитивні, так і негативні особливості, що і визначають їх використання.

Так трубчасті муфти прості в монтажі і мають можливість повторного використання після її розкриття, малу матеріалоємність та відносно малу вартість. До числа недоліків деяких конструкцій таких муфти можна віднести відсутність можливості контролю орієнтації організатора при остаточному розміщенні муфти після монтажу, та досить великі габаритні розміри, зменшення яких призводить до створення можливості укладки ОВ за радіусами менше дозволеного.

Позитивним в конструкції пласких прямокутних муфт є можливість укладка технологічного запасу ОВ виконується за дозволеними радіусами вигину з їх жорсткою фіксацією при досить оптимальних габаритах, існує можливість наступного використання муфти після її демонтажу, простота монтажу і демонтажу.

На відміну від конструкцій, які були розглянуті вище, пласка кругла муфта дозволяє розмістити запас ОК на корпусі муфти при збереженні позитивних характеристик, притаманним трубчастим та пласким прямокутним муфтам. Недоліком муфти є її неуніверсальність (не передбачені можливості монтажу електричних кіл для ОК, що їх містять, зашпорювання броні та силових елементів, використання для ОК з різними діаметрами) та деяка складність монтажу і демонтажу муфти.

Таким чином, найбільшого поширення отримали трубчасті та пласкі прямокутні муфти.

Після монтажу кабелю елементи корпусу муфти збирають, а стики герметизують. Існує два найбільш поширені підходи до герметизації корпусів муфт: холодний та гарячий.

Переважними методами герметизації муфт слід вважати холодні, бо вони (за винятком герметизації за допомогою заповнювача) дозволяють повторно використовувати систему герметизації після демонтажу муфти і не вимагають використання для реалізації джерел теплового впливу.

Герметизація корпусів муфт холодними методами, головним чином, здійснюється традиційним способом за допомогою прокладок, які встановлюють між деталями, які з'єднуються, або за допомогою герметизуючих компаундів та речовин.

Герметизуючі та ущільнювальні речовини, що отримали широке застосування у багатьох країнах світу, являють собою: компаунд на основі епоксидних смол з наповнювачем у вигляді подрібненої гуми (затвердіння якої забезпечується при додаванні поліетиленполіаміду), швидкозатвердлий двокомпонентний поліуретановий герметик, швидкозатвердлий низькоекзотермічний не розширюємий двокомпонентний герметик, а також термоусадна мастика та різноманітні силікагелі.

Існуючі методи герметизації муфт у „чистому" вигляді, як правило, не використовуються, а використовуються їх комбінації.

До гарячих методів герметизації елементів корпусу муфти відносяться: використання термоусадних матеріалів та зварювання елементів муфти.

Герметизація за допомогою термоусадних матеріалів досягається за рахунок використання термоусадних трубок, на внутрішню поверхню яких нанесено тонкий шар підклеюючого матеріалу, наприклад, севілена. Відрізки термоусадних трубок, по одному на кожний стик, надягають на кінці кабелів або елементів корпусу до початку монтажу. Після завершення монтажу відрізки термоусадних матеріалів насувають на стики і рівномірно прогрівають [39]. Усаджуючись при цьому по діаметру, відрізки термоусадних трубок щільно обтягують стики і разом з розплавленим підклеюючим матеріалом забезпечують герметичність і механічну міцність стику (рис. 10.2).

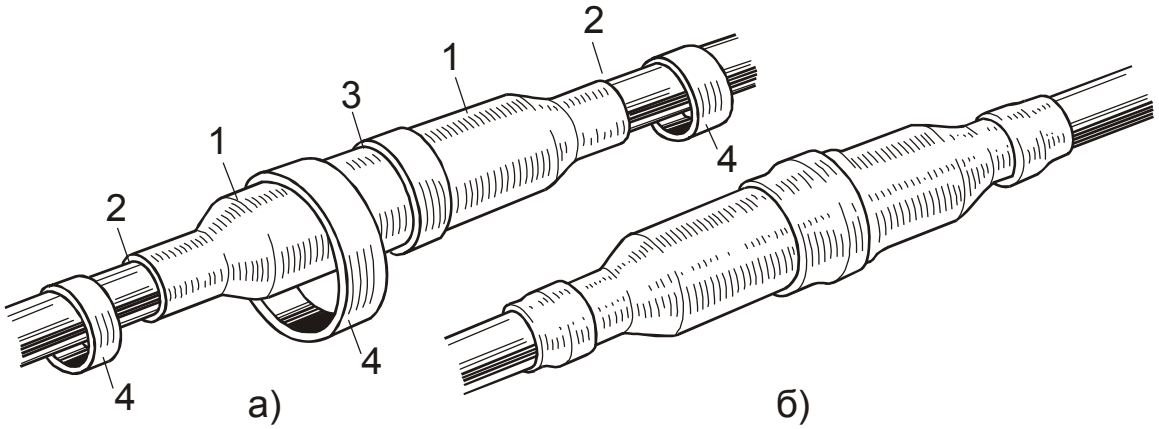


Рисунок 10.2 – Герметизація стиків частин муфт та кабельного вводу за допомогою термоусадних матеріалів:
а) відрізки термоусадних трубок, що заздалегідь насунуті на кінці кабелів, які з'єднуються;
б) загальний вигляд готової муфти
1 – частини муфти; 2 – стик муфти та кабелю; 3 – стик частин муфти;
4 – відрізки термоусадних трубок

При герметизації за допомогою наплавлення (рис. 10.3) поліетиленова стрічка грає роль присадкового матеріалу. При розплавленні вона створює зварний шов-перемичку між елементами муфти. Склострічка [39] захищає зону зварки від оксідування та забруднення продуктами горіння, а також від місцевих перегрівів. Надійність зварки залежить від чистоти зварюваних поверхонь і присадкового матеріалу та дотримання теплового режиму. Склострічка знімається після охолодження поліетилену до температури 50 ^{o}C ... 60 ^{o}C. Перевага гарячого методу – простота здійснення. Недоліки: потреба в джерелі теплового впливу; неможливість повторного використання елементів герметизації після демонтажу муфти.

3.2.2. Типи кабельного вводу та способи його герметизації

Ввід ОК може бути виконано:

– у вигляді патрубків на один або кілька ОК;
– у вигляді збірних конструкцій.

Основні вимоги до кабельних вводів:

– забезпечення волого- та газонепроникнення з’єднань, вводів ОК в корпус муфти;
– можливість використання герметизуючих елементів для різних діаметрів ОК;
– можливість повторного монтажу муфти.

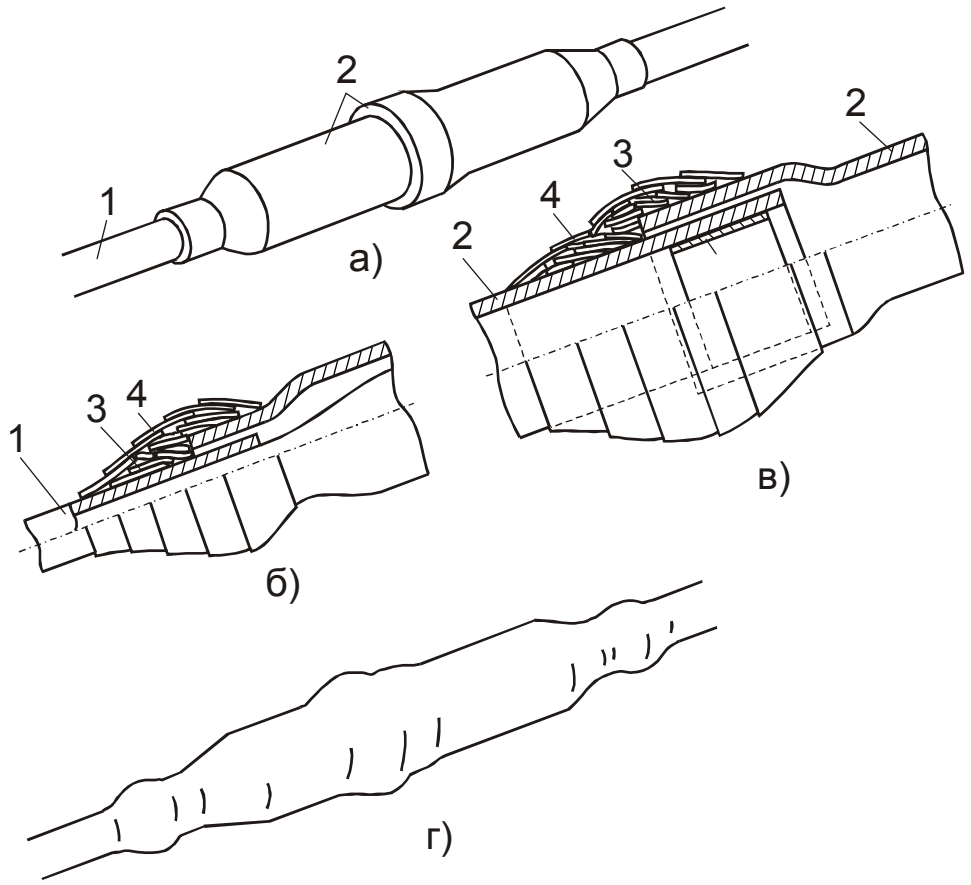


Рисунок 10.3 – Зварювання поліетиленових муфт способом наплавлення поліетиленової стрічки під склострічкою:
а) насування напівмуфт на кабелі, що з'єднуються;
б) підготовлений до зварювання стик конуса муфти з кабелем;
в) підготовлений до зварювання стик частин муфти;
г) загальний вигляд готової муфти.
1 – кабель; 2 – частини муфти; 3 – поліетиленова стрічка; 4 – склострічка; 5 – опорне кільце

Як і для традиційних електричних кабелів зв’язку, методи герметизації вводів ОК розподіляються на гарячі та холодні.

Холодні вміщують у собі підходи, що засновані на використанні: механічних затисків, ущільнюючих втулок, заповнювачів, герметиків та клейових речовин. Гарячі вміщують у собі методи, що засновані на: кріпленні термоусадних матеріалів та зварюванні елементів муфти з оболонкою ОК.

Герметизація за допомогою механічних затисків (рис. 10.4) досягається за рахунок спеціального гумового ущільнювача для надійного механічного закріплення ОК в патрубці та гідроізоляції ділянки його вводу в муфту кільцевий ущільнювач, який розміщується між внутрішньою частиною патрубка та ОК, притискається до внутрішньої конусної частини патрубка за допомогою гайки. Затиск гайки сприяє деформації кільцевого ущільнювача, надійній герметизації ділянки вводу ОК та його жорсткому закріпленню.

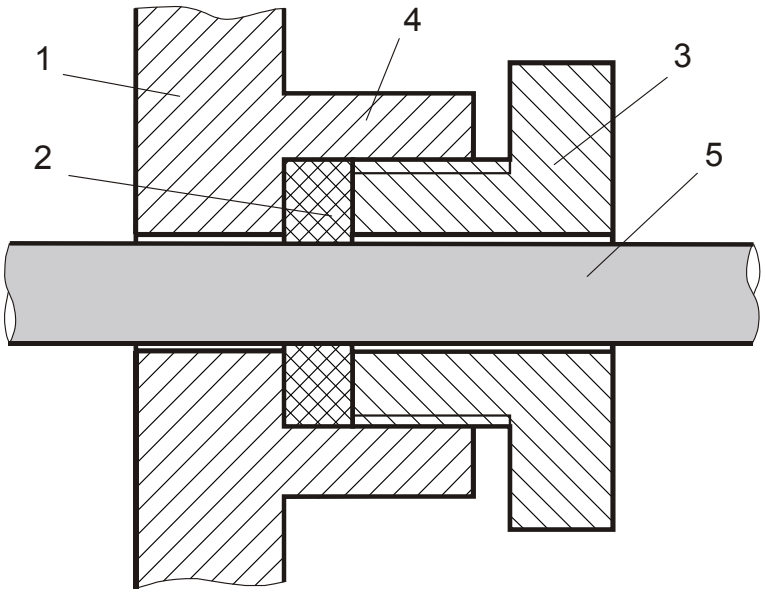


Рисунок 10.4 – Герметизація механічним затиском:
1 – корпус муфти; 2 – кільцевий ущільнювач; 3 – гайка;
4 – патрубок; 5 – ОК

Переваги такого методу полягають можливості повторного використання після демонтажу муфти; можливості використання для різних діаметрів ОК (шляхом використання номенклатури гумових ущільнювачів різних діаметрів). До недоліків слід віднести: потребу забезпечення рівномірності нанесення герметизуючої речовини; можливість нещільного притискання трубчастої частини гумового ущільнювача до герметизуючої речовини та появи між ними зазору; складність конфігурації ущільнювача.

Герметизація за допомогою ущільнювальної втулки (рис. 10.5) досягається за рахунок використання ущільнювальної втулки, на зовнішню та внутрішню поверхню якої наноситься шар герметику. Втулка вставляється у гніздо корпуса муфти, що має спеціальні пази. За рахунок притискання її кришкою муфти (на рис. умовно не показана), що має гніздо з такими ж пазами, як і корпус, відбувається деформація втулки, що перешкоджає тим самим проникненню вологи в муфту по зовнішній поверхні ущільнювальної втулки і зовнішній поверхні ОК. Для компенсації різниці в діаметрах ОК та внутрішнього отвору ущільнювальної втулки на кабель може намотуватись липка стрічка.

Переваги методу: можливість повторного використання після демонтажу муфти; можливість використання для різних діаметрів ОК (шляхом намотування на кабель липкої стрічки або підбору типорозмірів втулок); простота реалізації. Недоліки: вимоги високої однорідності матеріалу ущільнювальної втулки; вимоги до рівномірності нанесення герметику як на оболонку ОК, так і на зовнішню поверхню ущільнювальної втулки.

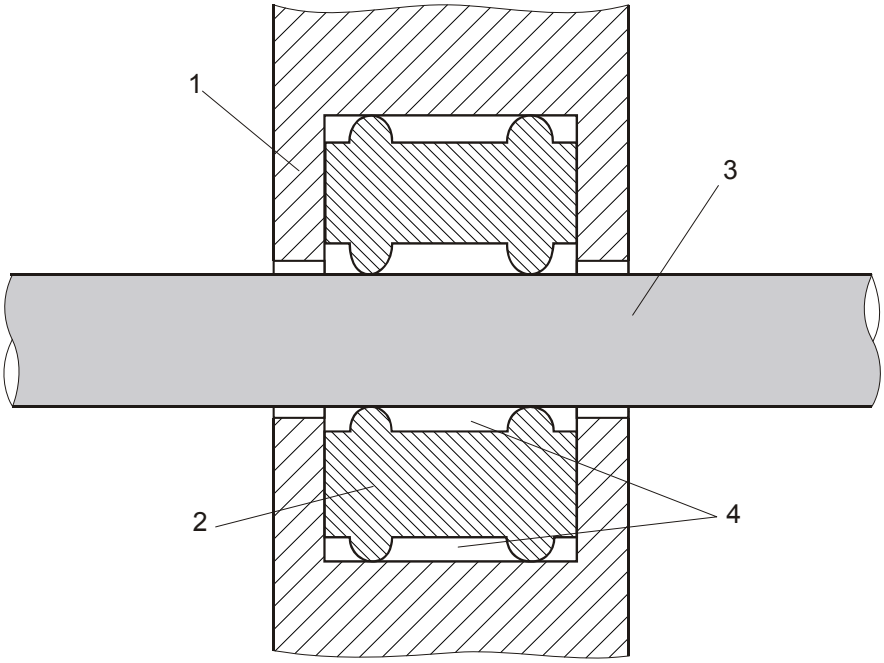


Рисунок 10.5 – Герметизація за допомогою ущільнювальної втулки:
1 – корпус муфти; 2 – ущільнювальна втулка; 3 – ОК; 4 – герметик

При методі герметизації з використанням заповнювачів (рис. 10.6), герметизація досягається за рахунок використання ущільнювальної маси, яка заливається через отвір в спеціальний об'єм у корпусі муфти. Для формування об'єму ущільнювальної маси використовують прокладки. З часом відбувається затвердіння ущільнювальної гідрофобної маси.

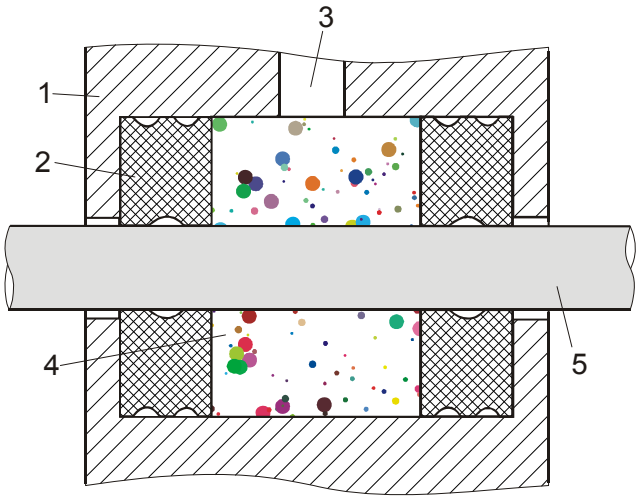


Рисунок 10.6 – Герметизація за допомогою заповнювачів:
1 – корпус муфти; 2 – втулка; 3 – отвір з пробкою для заливання герметика; 4 – герметик; 5 – ОК

До переваг даного методу слід віднести: простоту реалізації; можливість використання для різних діаметрів ОК (при умові підбору типорозміру прокладок та застосування герметиків). До недоліків: неможливість повторного використання після демонтажу муфти; додаткові витрати часу на заливання заповнювача.

Герметизація за допомогою термоусадних матеріалів та за допомогою наплавлення поліетиленової стрічки під шаром склострічки (зварюванням) була розглянута в п. 10.2.1 і використовується для герметизації лише патрубкових вводів. Переваги методу: можливість застосування для різних діаметрів ОК (при умові компенсації різниці в діаметрах ОК та внутрішнього отвору). Недоліки: неможливість повторного використання після демонтажу муфти; потрібен набір допоміжних деталей (гільзи, конуси і т.ін.).

10.2.3. Способи фіксації ОК в муфті

Як правило, фіксація ОК в муфті відбувається за рахунок фіксації його силових елементів та оболонок. Фіксація оболонок частіше здійснюється в пристрої вводу ОК в муфту за допомогою методів, які були розглянуті в п. 10.2.2. Фіксація силових елементів здійснюється всередині муфти шляхом:

– з'єднання силових елементів встик (за допомогою зв'язування, перепаювання, механічних з'єднувачів);

– фіксація силових елементів за допомогою затискачів, колодок або гвинтових фіксаторів, які розміщуються на основі або в корпусі муфти;

– встановлення затискачів-фіксаторів, які запобігають витягуванню ОК із корпуса муфти.

Іноді фіксація ОК в муфті здійснюється комбінованим способом, шляхом встановлення захватів на оболонку ОК, що з'єднуються, з затиском до центрального силового елементу.

10.2.4. Конструкція організатора

Організатори призначаються для:

– забезпечення укладки та фіксації усіх з'єднань ОВ кабелів, що введені в муфту у заздалегідь визначеному порядку при різних типах реалізації їх з'єднань;

– забезпечення мінімального збільшення оптичного загасання ОВ після їх розміщення в організаторах;

– забезпечення можливості повторного розміщення ОВ при повторному їх з'єднанні;

– забезпечення слабкого натяжіння ОВ для можливості його юстирування та повторного з'єднання;

– забезпечення механічного захисту ОВ.

Як правило, усі організатори мають в своєму складі одну або декілька плат (касет) або з'ємних блоків, на яких передбачені засоби для розміщення місць з'єднань ОВ та зберігання запасу ОВ. Основні відмінності між організаторами заключаються в методі отримання

доступу до з’ємних блоків або касет для забезпечення можливості повторного монтажу, а саме:

– розміщення касети на центральному силовому елементі або розтяжках каркасу муфти;

– розміщення пакету касет в корпусі муфти з фіксацією за допомогою фіксаторів або болтового з’єднання;

– розміщення касет на кронштейнах основи муфти, що аналогічно перегортання сторінок.

Крім того організатори можуть відрізняться формою блоку або касети (рис. 10.7) та фіксаторами, які розраховані на утримання різних типів з’єднань ОВ.

Однією з головних вимог до організаторів оптичних з’єднувальних муфт є дотримання дозволеного радіусу вигину ОВ. Рекомендується, щоб радіус вигину ОВ був не менше 30 мм, який дозволяє забезпечити залишкову деформацію ОВ, що не перевищує 0,2 %, і тим самим, запобігти пошкодженням ОВ через механічну втому. Однак, в деяких випадках може виникнути потреба запобігання збільшення оптичного загасання на довжинах хвиль, що перевищують 1300 нм. В цьому випадку рекомендований дозволений радіус вигину повинен складати 37,5 мм.

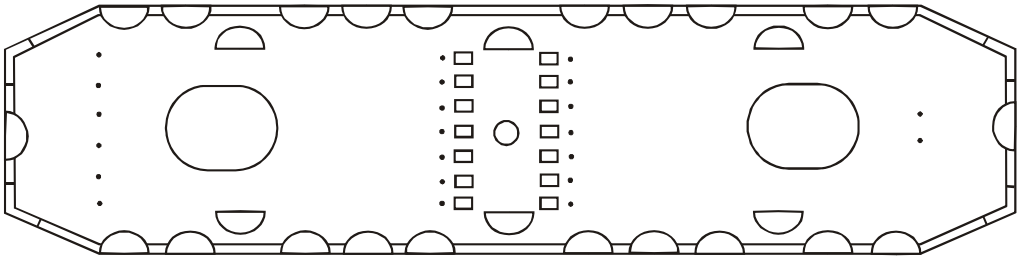
10.3 Оптичні муфти для монтажу оптичних кабелів зв’язку

Однією з перших конструкцій міських з’єднувальних муфт була муфта СМОК [42] (абревіатура утворена з російськомовної назви – „соединительная муфта оптического кабеля”), що випускається згідно ТУ 45-86 АХП4.468.049. Вона використовується для зрощування будівельних довжин ОК місцевих мереж, які прокладаються в кабельній каналізації, колекторах та тунелях.

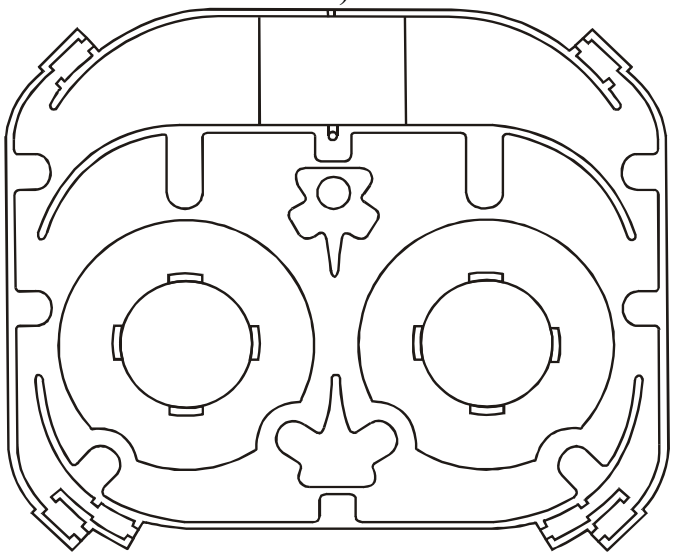
Конструктивно муфта (рис. 10.8, а) являє собою поліетиленову трубу довжиною 800 мм, зовнішнім діаметром 66 мм та два поліетиленові конуси, що розраховані на ввід ОК із зовнішнім діаметром від 6 до 12 мм. Для надання муфті механічної міцності, всередині труби передбачується металевий каркас, що складається з двох жолобів. Здовжена конструкція дозволяє розташувати муфту на двох консолях сусідніх кронштейнів, що запобігає її пошкодженню у випадку, коли на неї стане одягнена людина.

При розробці муфта СМОК розраховувалась максимум на вісім ОВ та невеликі діаметри ОК, які з’єднуються, що є її головним недоліком. Крім того, є й інші істотні недоліки. Це вільне розміщення запасу ОВ, їх контакт зі стінками металевого каркасу та фіксація жмута ОВ та захисних гільз прив’язкою до центрального силового елемента. При викладанні довжин ОК, що були з’єднані, в колодязі, в муфті може відбуватись небажане переміщення центрального елемента з прив’язаним жмутом ОВ, що призводить до їх обриву або затисканню. Важливим недоліком є,

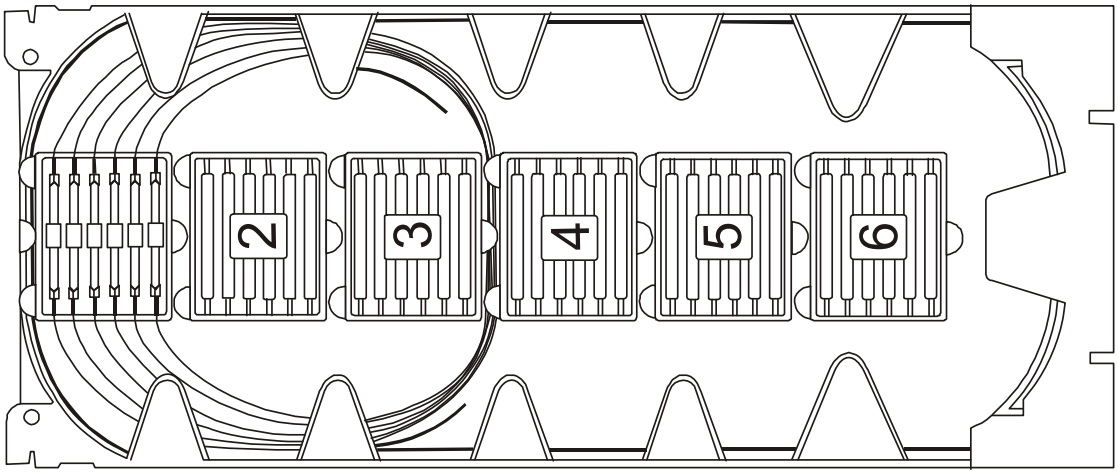
також, малий радіус вигину ОВ – 25 мм. Велика довжина муфти, також, створює певні незручності при її монтажі та експлуатації.



а)



б)



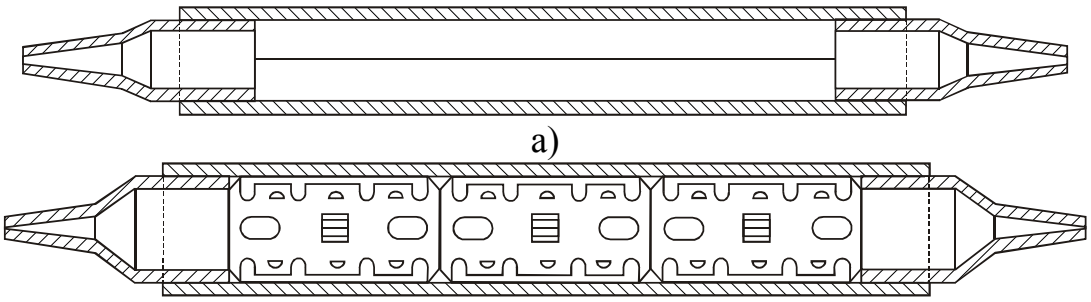
в)

Рисунок 10.7 – Касети організаторів муфт:
а) ММЗОК; б) NCD 504 [35]; в) 2600LG [36]

Герметизація кабельного вводу, конусів та корпусу здійснюється за допомогою термоусадних матеріалів або наплавленням поліетилену під склострічкою.

З’єднувальна муфта МГОК (російськомовна назва – „муфта городского оптического кабеля”), випускається згідно ТУ 45-89 АХПО.446.003 (рис. 10.8, б) [38]. Використовується для тих же цілей, що

і муфта СМОК, і являє собою модернізацію її конструкції. Нестандартна поліетиленова труба зовнішнім діаметром 66 мм замінена стандартною трубою зовнішнім діаметром 90 мм. Збільшились, також, розміри металевого каркасу, що значно додало механічної міцності. При модернізації були враховані великий і нестабільний розбіг зовнішніх діаметрів ОК, та можливість монтажу внутрішньозонових ОК у випадку їх прокладання в кабельній каналізації, колекторах та тунелях. До муфти були зроблені кілька поліетиленових конусів, що дало змогу виконувати пряме з'єднання і одне відгалуження ОК із зовнішнім діаметром від 9 до 27 мм.



а)

б)

Рисунок 10.8 – З'єднувальні муфти для міських ОК:
а) СМОК; б) МГОК

Збільшення діаметра муфти дозволило використати спеціальні касети для викладання запасу ОВ та захисних гільз. Збільшився радіус вигину ОВ. Муфта розрахована на з'єднання в ній 12 ОВ.

В стані поставки муфта являє собою комплект деталей та монтажних матеріалів. В питаннях технології монтажу, проблеми залишились ті самі. Герметизацію кабельних вводів в більшості випадків доводиться виконувати наплавленням поліетиленової стрічки під склострічкою. До недоліків муфти слід віднести її велику довжину, що викликано необхідністю забезпечення стійкості до можливих навантажень зверху. Існує модифікація муфти на одне розгалуження – муфта МГОКР.

В даний час в Росії випускається муфта МОГ (російськомовна назва – „муфта оптическая городская", ТУ 5296-006-27564371-95). На відміну від муфт СМОК та МГОК муфти МОГ дозволяють з'єднувати до 64 ОВ; виконувати до п'яти розгалужень; монтувати будь-який ОК для місцевих мереж зв'язку. Муфти можуть випускатись у вкороченому та тупиковому варіантах і використовуватись для монтажу ОК всередині приміщень. Спосіб герметизації кабельного вводу та елементів корпусу муфти за допомогою термоусадних матеріалів.

В муфті також реалізовані: роздільне розташування запасу ОВ та силових елементів, можливість розміщення великого запасу ОВ в модулях та викладка їх з радіусом не менше 37,5 мм, викладка ОВ всередині касети організатора у вторинному покритті з радіусом не

менше 35 мм біля торців касети та до 40 мм в місцях укладки захисних гільз КДЗЗ за рахунок розміщення ложементів під кутом 45^{o}, універсальність касети та механічна фіксація КДЗЗ.

Для фіксації організатора використовується лоток швелероподібної форми. Організатор може мати: від однієї до чотирьох касет на 16 ОВ кожна.

При ремонтних роботах з муфти знімається лише кожух − труба. Після ремонту герметизація конуса здійснюється зварюванням під склострічкою, стрічкою "Радлен", термоусадними манжетами компанії Raychem, або армокастом за технологією компанії 3М.

Одною з перших конструкцій вітчизняних міжміських з'єднувальних муфт була муфта ММЗОК (російськомовна назва – „муфта междугородного зонового оптического кабеля"), яка випускається згідно ТУ 45-89 АХПО.446.004. Муфта може використовуватись при з'єднанні будівельних довжин магістральних та зонових ОК зв'язку, що прокладаються в кабельній каналізації, колекторах та тунелях, ґрунтах усіх категорій, окрім тих, що піддаються мерзлотним деформаціям.

Муфта являє собою складну конструкцію, що складається з восьми деталей. Після збирання та герметизації, що виконується гарячим способом, утворюються два корпуси – зовнішній та внутрішній (рис. 10.9, а). При монтажі на ОК, які прокладаються в ґрунт, простір між внутрішнім та зовнішнім корпусами заливають гідрофобним заповнювачем. Є варіант на одне розгалужування – муфта ММЗОКР.

До недоліків муфти слід віднести недостатню експлуатаційну надійність як наслідок великої кількості стиків, що підлягають герметизації, обмежені можливості по кількості з'єднуємих ОВ (не більше 8), недостатньо міцне відновлення покрить та відсутність повздовжньої герметизації ОК.

З'єднувальна муфта МКО (російськомовна назва – „муфта Калибр оптическая"), що виготовляється згідно ТУ 45-89 АХПО.446.005 являє собою модернізовану конструкцію муфти ММЗОК. Замість восьми деталей муфта має лише чотири (рис. 10.9, б). Корпус посилено за рахунок плавних переходів з циліндричних частин на конусні. В іншому, залишились ті самі недоліки. Є варіант на одне відгалуження − муфта МКРО.

В даний час для монтажу зонових ОК розроблена муфта МТОК-48. Довжина муфти 510 мм, діаметр 142 мм. З'єднання кожуха з очольником виконано на гвинтах. Патрубки очольника розміщені з однієї сторони під кронштейном з деталями для кріплення касет, дротів службового зв'язку або дистанційного живлення та центральних силових елементів так, щоб модулі з ОВ, що входять у зону монтажу не мали додаткових вигинів. На кронштейні закріплені скоби для організації викладки запасу ОВ в модулях. Касети з'ємні, універсальні (від муфти МОГ). Максимальна ємність муфти 48 ОВ. Кількість вхідних патрубків від двох до п'яти.

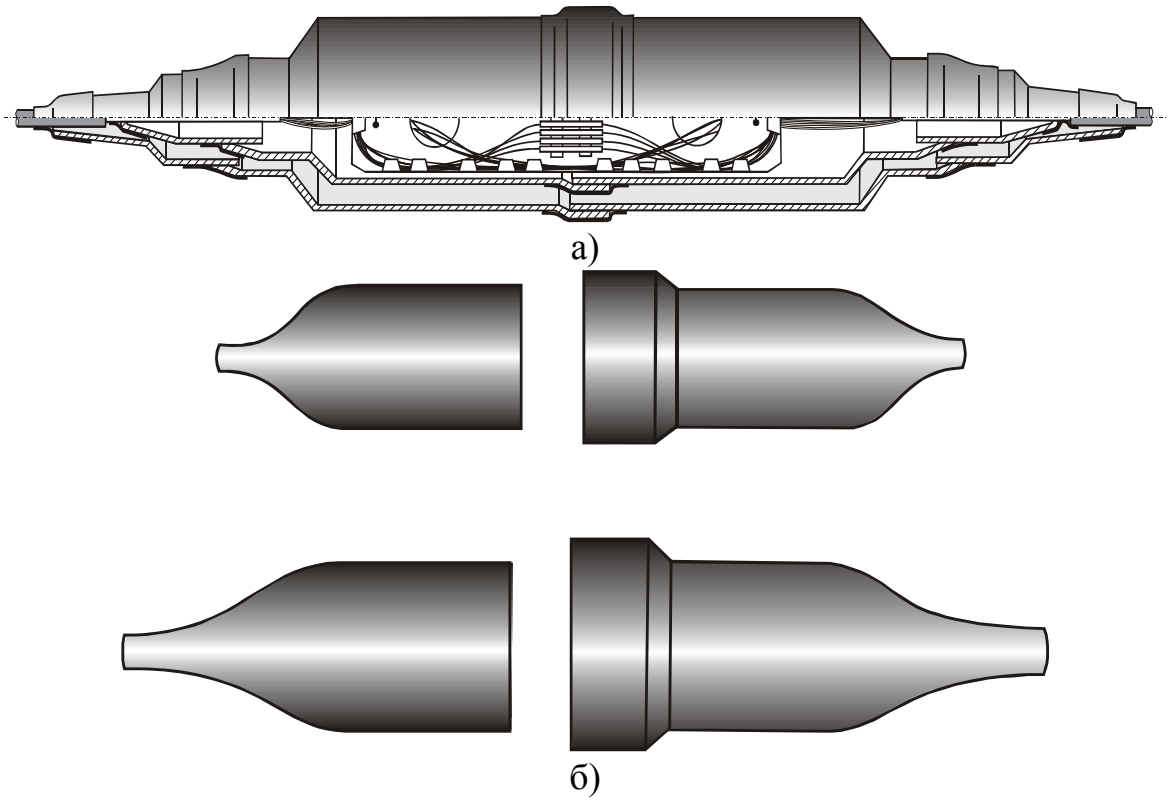


Рисунок 10.9 – Муфти для міжміських ОК:
а) ММЗОК; б) МКО

Герметизація кабельного вводу здійснюється заливанням очольника саморозширюємим герметиком ВІЛАД-31. Муфта може використовуватись для монтажу усіх типів зонових та міських ОК з зовнішнім діаметром від 15 до 27 мм.

Крім вітчизняних виробів в Україні та інших країнах СНД широко використовують з'єднувальні муфти деяких зарубіжних фірм.

З'єднувальна муфта фірми Raychem марки FOSC 100 [44] являє собою муфту тупикового типу (рис. 10.10). Корпус виконано з високоміцної пластмаси. Складається з основи та кронштейна з прикріпленим блоком касет та зовнішнього циліндричного корпусу тупикової конструкції. Основа має кілька заглушених патрубків, які відкриваються в міру потреби вводу ОК різних діаметрів. Кабельні вводи та корпус з основою герметизуються термоусаджуємими манжетами. Блок касет виконано у вигляді книжки і, в залежності від типорозміру муфти, може вміщувати від однієї до десяти касет. В кожній касеті укладається запас 12 або 24 ОВ з захисними гільзами.

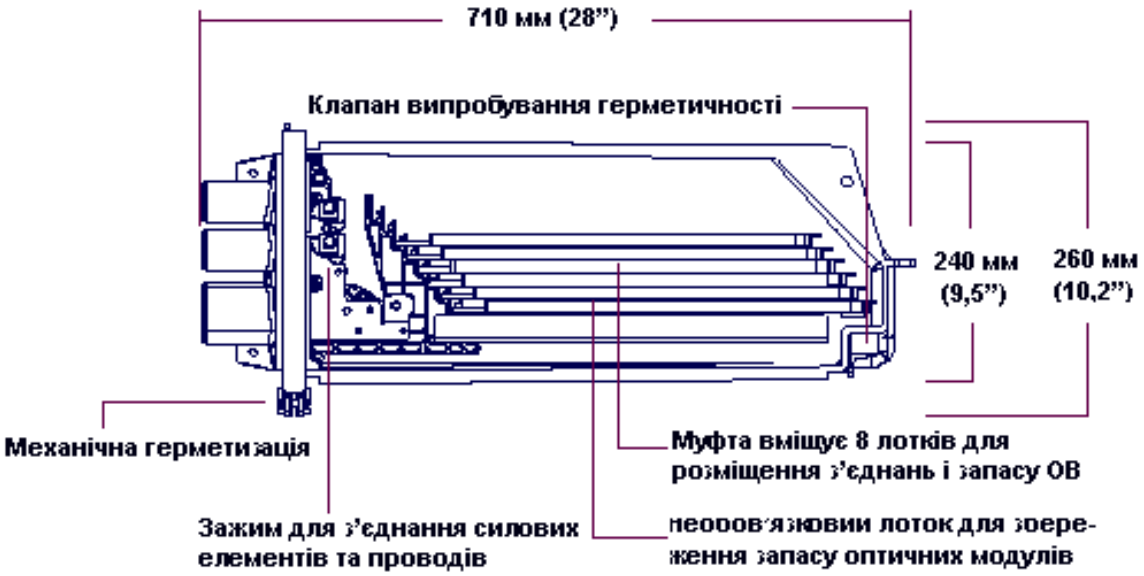


Рис. 10.10 – З'єднувальна муфта фірми Raychem марки FOSC 100

Муфта зручна в монтажі. При ремонті вимагає заміни термоусаджуємих манжет. Великі розміри муфти та тупикова конструкція являють певні труднощі з її розміщенням в умовах кабельної каналізації, але добре себе зарекомендувала при прокладанні ОК в ґрунт та підвішуванні на опорах.

Муфта FOSC 400 [45] компанії Raychem (рис. 10.11) є модифікацією муфти FOSC 100. Муфти FOSC 400 відрізняються від попередньої розробки способом кріплення кожуха до основи – за допомогою хомута з замком. Стик герметизується спеціальним ущільнювачем. Герметизація кабельних вводів, як і в FOSC 100, здійснюється за допомогою термоусадних манжетів.

Муфта має кілька модифікацій, що відрізняються габаритами, кількістю кабельних вводів, касет організатора та їх розмірами.

З'єднувальна муфта фірми Lucent Technologies марки 2500LG [41] складається з основи, ковпака, касет для розміщення оптичних з'єднань та викладки запасу ОВ (загальною кількістю до 24 зварних або механічних з'єднань) та елементів для герметизації місць вводу ОК. Муфта виготовлюється з високоміцної пластмаси. Герметизація вводу кабелів виконується за допомогою гумових ущільнювачів та спеціального гелю. Подвійна система герметизації дозволяє з'єднувати два розподільчі та до чотирьох ОК, які відгалужуються.

Рисунок 10.11 – З’єднувальна муфта фірми Raychem марки FOSC 400

Касети кріпляться до кронштейнів основи. Замість касети може бути встановлена панель на 4 роз’єми типу ST, що дозволяє здійснити роз’ємні з’єднання ОВ. Основа з’єднується з ковпаком муфти за допомогою фіксаторів. Муфта розбірна і може використовуватись декілька разів.

Розміри муфти та тупикова конструкція являють певні труднощі у випадку її експлуатації в умовах кабельної каналізації. До інших недоліків муфти, слід віднести конструкцію фіксаторів, що з’єднують основу і корпус, та відносну складність монтажу.

Муфта виробляється у двох модифікаціях, що відрізняються наявністю додаткових кабельних вводів: 2500LG/DC з чотирма патрубками закритими гвинтами-заглушками, 2500LG/SC з двома закритими вікнами для встановлення додаткових кабельних вводів.

З’єднувальна муфта фірми Lucent Technologies марки 2600LG [41] являє собою збільшений варіант муфти 2500LG. Муфта складається з основи, ковпака, касет для розміщення оптичних з’єднань і викладки запасу ОВ (загальною кількістю до 216 або 288 індивідуальних зварних або механічних з’єднань) та елементів для герметизації місць вводу ОК. Муфта виготовлюється з високоміцної пластмаси. Герметизація вводу ОК виконується за допомогою гумових ущільнювачів та спеціального гелю. Муфта розрахована на з’єднання до шести ОК.

Касети кріпляться до кронштейнів основи і можуть бути замінені панеллю на 36 або 48 роз’ємів типу ST. Основа з’єднується з ковпаком муфти за допомогою спеціального хомута.

Муфта може використовуватись кілька раз. До недоліків муфти, можна віднести великі розміри, та відносну складність монтажу.

Муфта випускається в двох модифікаціях, що відрізняються конструкцією організатора: 2600LG/SC1 дозволяє організувати до 216 індивідуальних або до 36 стрічкових нероз'ємних з'єднань ОВ, або до 36 роз'ємних з'єднань ОВ; 2600LG/SC – до 288 індивідуальних або 48 стрічкових нероз'ємних з'єднань ОВ, або до 48 роз'ємних з'єднань ОВ.

Муфта 2550SC компанії Lucent Technologies являє собою усереднену модифікацію муфт 2500LG та 2600LG. Муфта дозволяє з'єднувати до 4 ОК. Організатор муфти дозволяє розмістити до 48 індивідуальних зварних з'єднань ОВ, або до 24 механічних з'єднувачів, або до 8 роз'ємних з'єднувачів типу ST.

Муфта NCD 504 [41] фірми Ericsson (Швеція) (рис. 10.12) складається з корпусу пласкої прямокутної форми, кришки, від 1-ї до 12-ти касет для викладки запасу ОВ та елементів для герметизації місць вводу кабелів та місця з'єднання корпусу з кришкою. Корпус з'єднується з кришкою за допомогою болтів і герметизується за допомогою гумового ущільнювача. Герметизація вводу ОК виконується за допомогою термоусадних трубок. Касети для викладки запасу ОВ кріпляться до дна основи за допомогою фіксаторів та шпильки.

Існує металевий варіант муфти із нержавіючої сталі – муфта NCD 503, яка в Україні була використана Укрзалізницею при будівництві ВОЛЗ вздовж залізниці з підвішуванням ОК на опорах контактної мережі.

Цілу групу муфт пропонує фірма RXS (Німеччина) [47]. Муфта марки USCO являє собою муфту прохідного типу. Корпус виготовлено з високоміцної пластмаси. Конструкція збірна. Корпус пласкої форми. Використовується для прямого з'єднання та одного або двох розгалужувань. Герметизація кабельного вводу та корпусу здійснюється ущільнюючими втулками та валиками. Кришка муфти з основою з'єднується за допомогою болтів. В центрі муфти розташовано організатор, що складається з блоку із 6 касет для укладання ОВ та захисних гільз, загальною кількістю до 72 ОВ. Зручна в монтажі.

Муфта UC складається із збірних фланців, загальної основи, на якій розміщено організатор, що складається з 6 касет для укладання з'єднань та технологічного запасу ОВ, загальною кількість до 72 ОВ. Корпус являє собою пластиковий кожух, з якого формується труба, та спеціальний замок, який з'єднує половини кожуха. Використовується для прямого з'єднання та одного або двох розгалужувань. Герметизація кабельного ввода та корпусу здійснюється ущільнюючими втулками та валиками. Досить зручна в монтажі. Існує модифікація UCN, яка може використовуватись як для монтажу ОК так і металевих кабелів зв'язку.

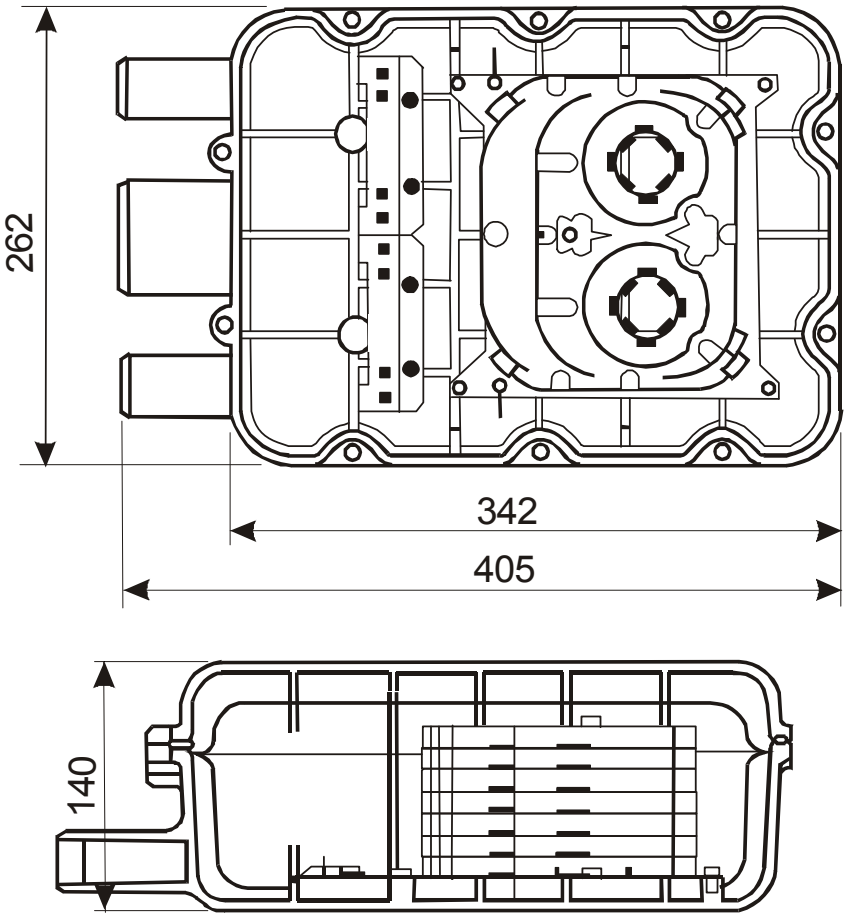


Рисунок 10.12 – Муфта NCD 504 фірми Ericsson (Швеція)

Муфта UCNC являє собою муфту тупикового типу. Корпус виконано з високоміцної пластмаси. Складається з основи та каркасу з прикріпленим блоком з 12 касет та зовнішнього циліндричного корпусу тупикової конструкції. Основа має кілька заглушених патрубків, які відкриваються в міру потреби вводу ОК різних діаметрів. Кабельні вводи герметизуються термоусаджуємими манжетами. Герметизація корпусу відбувається за допомогою прокладок та спеціального хомута. Максимальна кількість ОК, що з'єднуються, шість, а ємність до 144 ОВ.

З'єднувальна муфта компанії Reichle&De-Massari [48] складається з корпусу, вхідного та вихідного фланців. Вхідний фланець з'єднується з корпусом за допомогою гайки. Вихідний фланець з'єднується з корпусом за допомогою двох напівкруглих скоб та фіксуючого кільця. Герметизація стиків фланців та корпусу відбувається за допомогою гумового ущільнювача. Організатор розміщується всередині корпусу на загальній основі.

Кабельні вводи герметизуються за допомогою термоусадних манжетів.

Муфти випускаються в двох модифікаціях: артикул R30115 з двома входами та трьома виходами для ОК з діаметрами до 22 мм, з 6 касетами на 72 ОВ; артикул R20117 з трьома входами та 8 виходами для ОК з діаметрами до 22 мм, з 10 касетами на 120 ОВ.

10.4 Вибір типу муфти

При виборі найбільш підходящої муфти крім довідкових та нормативно-технічних матеріалів слід розглянути наступні питання [22, 23]:

1. Матеріали, що використовуються для муфти, повинні бути сумісні з матеріалами, з яких виробляються оболонки ОК. Вони також повинні бути сумісні з іншими матеріалами, що, як правило, використовуються для лінійно-кабельних споруд з метою запобігання корозії або інших хімічних пошкоджень.

2. Проект може передбачувати з'єднання більш ніж двох кабелів.

3. Муфта повинна бути спроможною протидіяти впливам оточуючого середовища на лінійно-кабельні споруди, наприклад, при прокладанні безпосередньо в ґрунті, при занурюванні у ґрунтові води, при прокладанні в кабельних каналізації або при підвішуванні повітряних кабелів.

4. У випадку потреби повинна існувати можливість демонтажу та перемонтажу муфти без переривання зв'язку.

5. Якщо для монтажу муфти та/або для припаювання муфти до оболонки ОК вимагається джерело тепла, то на робочому місці потрібно передбачити відповідне джерело тепла (з газовим пальником або з електричним нагрівом). Потрібно прийняти до уваги обов'язковий контроль за джерелом тепла для захисту персоналу та запобігання пошкодження муфти або ОК.

6. Потрібно передбачити допуски на час затвердіння заливних компаундів при теплій та холодній погоді та при високій вологості.

7. В усьому діапазоні температур при прокладанні повинні бути реалізуємі і можливі будь-які механічні зашпорювання та інші операції.

8. У випадку застосування ОК з електричними колами (мідні дроти ДЖ, службового зв'язку, сигналізації і таке інше), повинна бути передбачена можливість для безпечного з'єднання струмопровідних елементів ОК.

9. Муфта повинна бути механічно міцною, а касети, що розміщуються в ній та з'єднання ОВ не повинні пошкоджуватись під впливом вібрації, переміщення ОК або інших механічних впливах. Для запобігання пошкодження сусідніх кабелів при виконанні ремонтних робіт може виникнути потреба в передбаченні якого-небудь додаткового механічного захисту.

10. Муфта повинна задовольняти вимогам безпеки, та електромагнітної сумісності.

11. Необхідно враховувати сумарну вартість встановлення муфти: вартість матеріалів та обладнання, що використовується, а також праці, що витрачено на встановлення муфти, з відповідними допусками на

наступне технічне обслуговування та на повторні демонтажі муфти для видалення відказів, для переключення кабелів і таке інше.

10.5 Узагальнена технологія монтажу оптичних кабелів

Монтаж муфт повинен виконуватись у відповідності до інструкції з інсталяції або технологічної карти на монтаж конкретного типу муфти [49 – 51].

Монтаж з'єднувальних муфт повинен виконуватись в спеціально обладнаній монтажно-вимірювальній автомашині з закритим кузовом типу КУНГ.

Всередині кузова повинно розміщуватись робоче місце, що обладнано пристрієм для закріплення кінців ОК, який монтується, і розміщення монтажних інструментів. Також повинно бути передбачено місце для транспортування пристрою для зварювання ОВ та роботи з ним під час монтажу, а також ящики для монтажних матеріалів та інструментів.

Для сидіння монтажників повинні бути стільці з регульованою висотою, що можуть обертатись. В передній частині кузова повинна бути шафа для зберігання та транспортування вимірювальних приладів та верстат для виконання супутніх робіт. В кузові повинні бути передбачені місця для габаритних інструментів, обладнання та матеріалів.

Освітлення в салоні кузова може бути природне − через вікна, або штучне − від ламп в плафонах напругою 12 В, що розміщені біля монтажного столу та верстака. Живлення усіх електроспоживачів повинно здійснюватись від бортової мережі 12 В, або портативної бензоелектростанції. Для підключення бензоелектростанції до щитка живлення повинен бути комплект шнурів на котушках.

Для проведення вимірювань під час монтажу слід використовувати ще одну монтажно-вимірювальну автомашину на іншому кінці будівельної довжини ОК.

Для монтажу муфт повинні використовуватись спеціальні інструменти та прилади, що вказані у відповідних розділах інструкцій з інсталяції або технологічних карт на монтаж муфт.

Роботи по монтажу муфти розпочинають з підготування ОК до монтажу. Для цього, перед початком робіт треба пересвідчитись в тому, що кінці прокладеного ОК герметично зашпорені поліетиленовими ковпачками (перевіряється візуально). Зняття ковпачків дозволяється лише перед монтажем або при необхідності проведення додаткових контрольних вимірювань з обов'язковою герметизацією кінців ОК до початку монтажу. Якщо ковпачки відсутні, необхідно переконатись у відсутності води (вологи) в ОК. Запас ОК для монтажу з'єднувальної муфти в монтажно-вимірювальній автомашині повинен бути не менше 8 м з кожної будівельної довжини.

Далі переходять безпосередньо до монтажу муфти. Монтаж муфт вміщує в себе проведення наступних операцій:

1. При необхідності, перед початком монтажу ОК виконують підготування кабельних вводів: зняття заглушок, просвердлювання отворів, розбирання складних конструкцій.

2. Кінці ОК на довжині 2,5 м протирають ганчір'ям (спочатку змоченим в бензині, а потім – сухим) з метою його очищення від бруду, пилюки, мастильних та, можливо, хімічних речовин.

Якщо герметизація вводу здійснюється шляхом усадки термоусадних матеріалів, на кожний кінець ОК насувають по одному пояску термоусадної трубки, після чого кінці ОК вводять у кабельний ввід.

На відстані 1,2...2,0 м від кінців ОК видаляють зовнішню поліетиленову оболонку та гідрофобне заповнення. Після цього видаляють армуючі елементи, внутрішню оболонку та корделі, якщо такі є. При необхідності, організовують перепаювання (з'єднування) металевих оболонок ОК та вивід заземлення.

3. Герметизація кабельних вводів виконується згідно інструкції з інсталяції або технологічної карти на монтаж. Методи герметизації кабельних вводів були розглянуті вище.

4. Після герметизації кабельного вводу виконують фіксацію силових елементів ОК. Методи фіксації силових елементів були розглянуті вище.

5. З'єднання мідних дротів виконується в ОК де вони є. Дроти зрощують колір в колір. Скручування перепаюють. Зрощування мідних дротів можна виконувати і після зварювання ОВ та остаточного встановлення касети.

6. Після герметизації кабельного вводу переходять до підготовки організатора. Для цього, в залежності від конструкції організатора, встановлюють або знімають частину касет, на робочу поверхню яких виводять оптичні модулі, пучки ОВ або групи стрічкових елементів, що попередньо були очищені від гідрофоба. При наявності оптичних модулів, після їх виведення на лицьову поверхню касети з ОВ видаляють трубки модулів, а ОВ відчищають від гідрофоба.

В міру проведення монтажу муфти, встановлюють наступні касети із складу організатора.

7. З'єднання ОВ відбувається згідно обраної ще на стадії проектування технології. Місця з'єднань ОВ (механічні з'єднувачі, зварні з'єднання із захисним комплектом і т.ін.) розміщують у спеціальних фіксаторах. Після чого викладають технологічний запас ОВ.

Після завершення з'єднання останнього ОВ, касети організатора закривають і фіксують (зв'язують).

8. Встановлення корпуса муфти та його наступна герметизація виконується у відповідності до інструкції з інсталяції або технологічної

карти на монтаж. Методи герметизації корпусів муфт були розглянуті вище.

9. Встановлення змонтованої муфти.

Змонтована муфта, в залежності від умов прокладання кабелю, може розміщуватись в котловані, в наглядовому улаштуванні, в приміщенні або на опорі повітряної лінії. Технологічний запас ОК (приблизно по 6 м) змотується кільцями і розміщується біля муфти. Радіус змотування ОК не повинен бути меншим за дозволений для даного типу ОК.

10.6 Розподільне та кінцеве обладнання

10.6.1 Загальні вимоги до розподільного та кінцевого обладнання

Останнім часом в багатьох країнах світу розпочалось широкомасштабне впровадження ОК на абонентських лініях. Це впровадження провадиться у відповідності до програми "волокно в дім" (FTTH – fiber to the home).

Згідно цієї програми абонентський ОК з'єднує абонентські термінали з центральним терміналом (вузлом) обміну. При необхідності на абонентській мережі можуть використовуватись два типи абонентських ОК, що відрізняються між собою кількістю ОВ: магістральні та розподільні. Розгалуження магістральних ОК, як правило, виконується за допомогою шаф оптичних розподільних, а розподільних ОК – в розгалужувальних муфтах або коробках розподільних оптичних. З'єднання оптичних абонентських кабелів з центральним терміналом здійснюється за допомогою оптичного кросу.

В напрямку міжвузлової з'єднувальної лінії абонентські лінії, від центрального терміналу, через стояки розподільчі оптичні та розподільну муфту або пристрій стику станційних та лінійних кабелів об'єднуються в лінійний ОК. В цьому випадку в якості центрального терміналу можуть служити SDH або PDH системи передачі.

Вимоги, які висуваються до перелічених вище пристроїв: кросів, шаф, коробок − такі самі як і до муфт. Однак умови їх використання частину цих вимог роблять менш актуальними. Так головними вимогами для термінального та розподільного обладнання оптичних кабелів є:

– захист організатора в якому розміщуються з'єднання та технологічний запас ОВ від впливу оточуючого середовища при усіх умовах використання;

– забезпечення можливості укладання технологічного запасу ОВ за дозволеним радіусом з фіксацією місць з'єднань ОВ;

– забезпечення легкого доступу до місць з'єднань ОВ при проведенні ремонтно-профілактичних робіт;

– універсальність конструкції для різних типів ОК;
– герметичність, при умові використання на відкритому просторі;
– мати як можливо оптимальні габарити та масу;
– бути економічно ефективною.

10.6.2. Пристрої стику станційних та лінійних кабелів

Як правило, лінійний ОК через станційний колодязь заводиться в шахту станційного приміщення, де він за допомогою муфти стикується з ОК в оболонці, що не розповсюджує горіння. Далі цей кабель по кабельростам подається в апаратний зал до кінцевого або розподільного обладнання. В цьому обладнанні багатоволоконний лінійний ОК з'єднується (розгалужується) з одноволоконними (маловолоконними) станційними ОК, за допомогою яких здійснюється підключення лінійного ОК до приймально-передавальної апаратури або іншого абонентського розподільного та кінцевого обладнання.

Найпростішим прикладом кінцевого обладнання є стандартний пристрій стику станційних та лінійних ОК (ПССЛК). ПССЛК (рис. 10.13) використовуються для з'єднання лінійного ОК, що введений у приміщення, в якому розміщується обладнання ВОСП з одноволоконними ОК, що підключаються до апаратури.

Рисунок 10.13 – Варіант конструкції ПССЛК

Пристрої ПССЛК можуть встановлюватись зверху на стояках оптичних лінійних трактів, на металевих конструкціях або на стіні таким чином, щоб можна було проводити їх монтаж та ремонтні роботи на

столі, що розміщується в безпосередньому наближенні від місця встановлення ПССЛК.

Вітчизняні пристрої ПССЛК мають цілий ряд недоліків. Так, в них ОВ лінійного ОК з'єднуються безпосередньо зі станційними одноволоконними ОК. Ці станційні кабелі мають довжину від 20 до 30 м, і у випадку їх резервування, вони скручуються в бухточки, місце для зберігання яких в даному пристрої не передбачається. Крім того в процесі експлуатації станційні ОК досить часто виходять із ладу, їх заміна вимагає перемонтажу ПССЛК. До інших недоліків слід віднести складність доступу до окремих ОВ та місць з'єднань, а також обмежена кількість ОВ, що з'єднуються (максимум 8).

Сучасні зарубіжні пристрої такого типу ОВ лінійного ОК з'єднуються з короткими відрізками ОВ, що армовані роз'ємними з'єднувачами, які виводяться на лицьову панель пристрою. Підключення приймально-передаючої апаратури здійснюється за допомогою з'єднувальних світловодних шнурів.

Позитивним в таких конструкціях є те, що в пристрої використовуються стандартні організатори, вихід із ладу станційного з'єднувального шнура не викликає потреби в перемонтажі пристрою, роз'ємні з'єднувачі резервних ОВ лінійного ОК просто закриваються заглушками. Однак слід зазначити, що вивід на лицьову панель роз'ємних з'єднувачів призводить до збільшення розмірів пристрою.

10.6.3. Стояки оптичні розподільні (оптичний крос)

Стояки оптичні розподільні (Optical distribution frame) розміщуються всередині станційних приміщень або шаф і призначаються для підключення, переключення (кросування) оптичних абонентських ліній. Основою стояка є металевий каркас на якому розміщені направляючі для станційних або лінійних ОК та блоки, які складаються з плати з'єднань та лицьової панелі (рис. 10.14).

На платі з'єднань відбувається з'єднання ОВ лінійного ОК та з'єднувальних світловодних шнурів. Панель призначається для виводу роз'ємних з'єднувачів, якими армовано шнури.

На стояках може розміщуватись розподільче обладнання різних типів, яке встановлюється в міру необхідності. Загальна кількість ОВ, що можуть з'єднуватись на одному стояку залежить від типорозміру каркасу та плат з'єднань, що змонтовані на ньому. Кількість стояків залежить від кількості абонентських ліній.

Шафи оптичні розподільчі призначаються для з'єднання магістрального та розподільних ОК з метою найбільш економічної побудови та ефективного використання кабельної мережі.

В шафах можуть бути виконані ряд робіт по включенню та перерозподілу магістральних кабельних ліній при зміні навантаження

розподільних ОК та пошкодженні одного з ОК, що заведені в дану шафу. Крім того, із шафи можна перевіряти працездатність кожного ОВ магістрального та розподільних ОК.

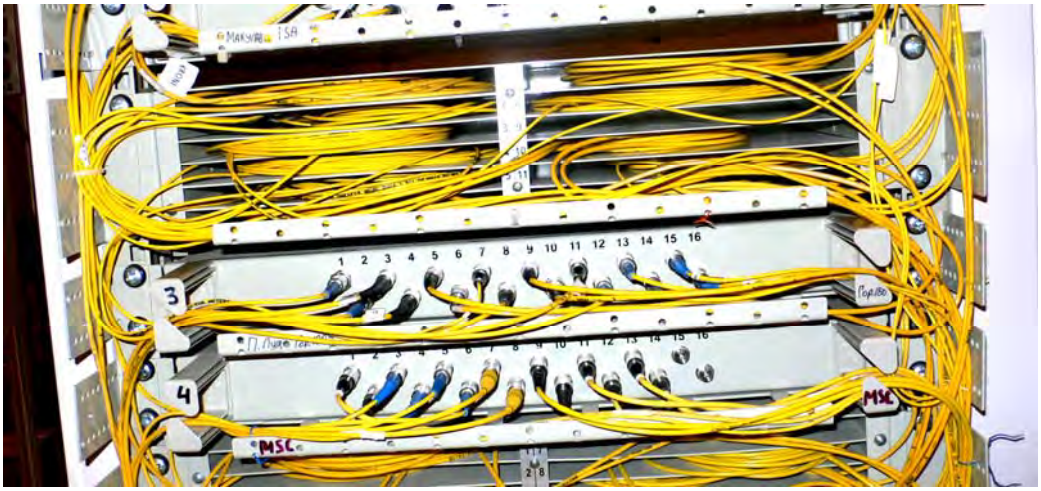


Рисунок 10.14 – Розподільчий пристрій стійкового типу

10.6.4. Шафи оптичні розподільні

Шафи оптичні розподільні складаються зі сталевого каркасу та корпусу з дверцятами, що відкриваються зовні, і мають запірні пристосування (рис. 10.15). Шафи можуть розміщуватись: в під'їздах будинків, в підсобних приміщеннях, на вулиці.

Всередині шафи, як правило, розміщуються стояк оптичний розподільчий або комплект термінального абонентського обладнання. Ємність однієї шафи може сягати 500 пар ОВ.

10.6.5. Коробки (бокси) оптичні розподільні

Коробки оптичні розподільні призначаються для підключення абонентських внутрішньо-об'єктових ОК до розподільного ОК. Коробки оптичні, як правило, розміщуються всередині приміщень, де розміщені абонентські термінали, або поряд з ним.

Конструктивно коробки оптичні розподільні нагадують пристрої стику станційних та лінійних ОК, з тією різницею, що роз'ємні з'єднувачі не виносяться на лицьову панель, а розміщуються всередині коробки (рис. 10.16, 10.17). Крім того, до коробок оптичних розподільних пред'являються більш високі вимоги по герметичності, що обумовлено умовами їх використання.

В більшості випадків короби оптичні розподільні розраховані на з'єднання 12 пар ОВ.

Рисунок 10.15 – Шафа оптична розподільна FEC-864

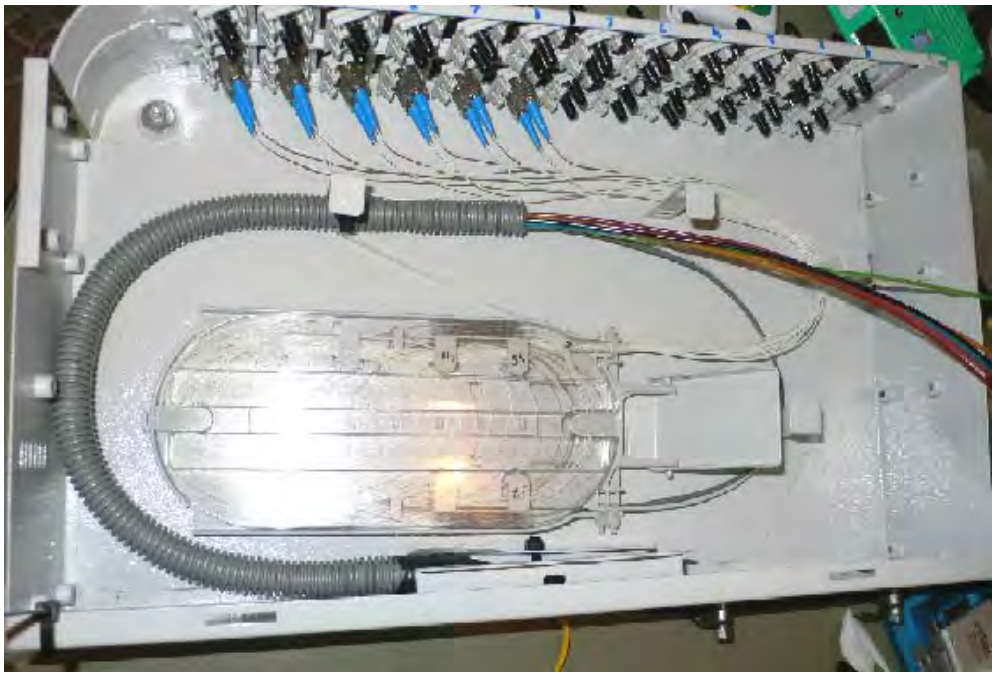


Рисунок 10.16 – Коробка розподільча настінна

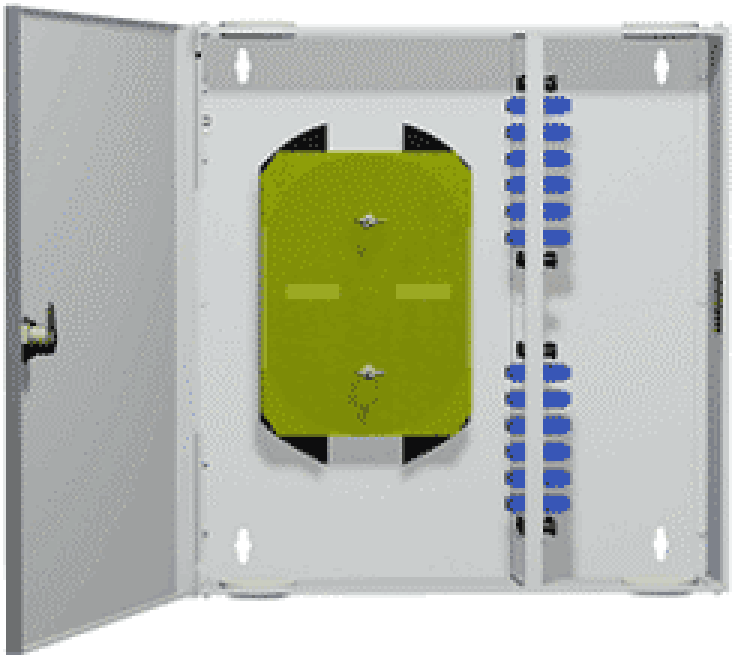


Рисунок 10.17 – Коробка розподільча настінна КРН-24

Контрольні питання до розділу 10

1. Навести основні типи муфт для монтажу оптичних кабелів зв’язку.
2. Описати способи фіксації оптичних кабелів в муфті.
3. Навести основні конструктивні складові оптичних муфт для монтажу оптичних кабелів.
4. Охарактеризувати розподільне та кінцеве обладнання для монтажу оптичних кабелів.

Додаток
ОСНОВНІ ТЕХНІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ МУФТ ДЛЯ МОНТАЖУ ОПТИЧНИХ КАБЕЛІВ

Таблиця А.1 – Габарити муфт та характеристики кабельних вводів

Муфта	Габаритні розміри, мм	Маса, кг	Кількість портів (кабельних вводів)
1	2	3	4
СМОК	1090 × 66	3,0	2 для ОК з діаметрами від 6 до 12 мм
МГОК	1070 × 90		2 для ОК з діаметрами від 9 до 27 мм
МГОКР	1070 × 90		3 для ОК з діаметрами від 9 до 27 мм
МОГ	1100 × 90		2 для ОК з діаметрами від 15 до 25 мм
МОГ ××/1;2	1100 × 90		3 для ОК з діаметрами від 15 до 25 мм
МОГ ××/1;3	1100 × 90		4 для ОК з діаметрами від 15 до 25 мм
МОГ ××/2;2	1100 × 90		4 для ОК з діаметрами від 15 до 25 мм
МОГ ××/2;3	1100 × 90		5 для ОК з діаметрами від 15 до 25 мм
ММЗОК	750 × 135		2 для ОК з діаметрами від 17 до 27 мм
ММЗОКР	750 × 135		3 для ОК з діаметрами від 17 до 27 мм
МКО	750 × 135		2 для ОК з діаметрами від 15 до 27 мм
МКРО	750 × 135		3 для ОК з діаметрами від 15 до 27 мм
МТОК	510 × 142		2…5 для ОК з діаметрами від 15 до 27 мм
FOSC-100B/H	520 × 140		1 овальний на 2 ОК з діаметром від 12 до 25 мм, 4 круглих для ОК з діаметром від 5 до 18 мм
FOSC-100D/E-D36	670 × 223		1 овальний на 2 ОК з діаметром від 12 до 25 мм, 4 круглих для ОК з діаметром від 5 до 25 мм, 1 круглий для ОК з діаметром від 5 до 30 мм
FOSC 400 A4	420 × 180		1 овальний на 2 ОК з діаметром від 10 до 25 мм, 4 круглих для ОК з діаметром від 5 до 19 мм
FOSC 400 B2	540 × 180		1 овальний на 2 ОК з діаметром від 10 до 25 мм, 2 круглих для ОК з діаметром від 5 до 32 мм

Продовження табл. А.1

1	2	3	4
FOSC 400 B4	540 × 180		1 овальний на 2 ОК з діаметром від 10 до 25 мм, 4 круглих для ОК з діаметром від 5 до 19 мм
FOSC 400 D5	710 × 260		1 овальний на 2 ОК з діаметром від 10 до 25 мм, 5 круглих для ОК з діаметром від 5 до 32 мм
2500LG/DC, 2500LG/SC	432 × 178	3,6	6 для ОК з діаметром від 10 до 22 мм
2600LG/SC, 2600LG/SC1	787 × 229	7,7	3 овальні на 6 ОК з діаметром від 7,5 до 22 мм
2550SC	440 × 180	3,0	2 овальні на 4 ОК з діаметром від 7,6 до 22,8 мм
NCD 504	405 × 262 × 140	4,0	1 овальний на 3 ОК 2 круглі для ОК з діаметром від 13 до 24 мм
USCO 4-6	309 × 138× 110		4 для ОК з діаметром до 32 мм
USCO 4-8	363 × 150× 124		2 для ОК з діаметром до 32 мм 1 для ОК з діаметром до 47 мм
UC 6-9	430 × 153		3 порти, кожний на ОК від 13,5
UC 6-20	727 × 153		до 18 мм, 4 для ОК з діаметром
UCNC 7-22 H	630 × 250		вид ЁЁ до 32 мм та
UCNC 7-28 H	780 × 250		2 для ОК з діаметром від 12 до 26 мм
UCNC 7-22 O	630 × 250		4 для ОК з діаметром від 2 до 22
UCNC 7-28 O	780 × 250		мм та овальний на 1 ОК з діаметром від 21 до 40 мм, або на 2 ОК (від 8 до 28 мм), або на 3 ОК (від 8 до 20 мм)
R30115	400 × 140		5 для ОК з діаметрами до 22 мм
R30117	400 × 180		11 для ОК з діаметрами до 22 мм

Таблиця А.2 – Характеристики організаторів

Муфта	Кількість касет в організаторі, шт	Кількість з'єднань ОВ		
		індивідуальних		стрічкових
		зварних	механічних	
1	2	3	4	5
СМОК	не має	8		
МГОК	1	12		
МОГ-16	1	16		
МОГ-32	2	32		
МОГ-48	3	48		
МОГ-64	4	64		

Продовження табл. А.2

1	2	3	4	5
ММЗОК	1	8		
МКО	1	8		
МТОК	4 (5)	48 (60)		
FOSC-100B/H	до 4	до 48		
FOSC-100D/E-D36	до 8	до 288		
FOSC 400 A4	2	16	32	24 (стрічки по 4 ОВ)
FOSC 400 B2	4	48	96	96 (стрічки по 4 ОВ), 288 (стрічки по 12 ОВ)
FOSC 400 B4	4	48	96	96 (стрічки по 4 ОВ), 288 (стрічки по 12 ОВ)
FOSC 400 D5	6	288	576	864 (стрічки по 12 ОВ)
2500 LG/DC	1	24	24	
2500 LG/SC	1	24	24	
2500 LG/DC48	1	54	54	
2500 LG/SC48	1	54	54	
2600 LG/SC	12 на 24 ОВ або 8 на 36 ОВ	288	288	48
2600 LG/SC1	9 на 24 ОВ або 6 на 36 ОВ	216	216	36
NCD 504	до 12	до 144		до 96
UC 6-9	6 (12)	36 (72)	72	
UC 6-20	12 (24)	72 (144)	144	
UCSO 4-6	2	12 (24)	24	
UCSO 4-8	6	36 (72)	72	
UCNC	12	72 (144)	144	
R30115	6	72	72	
R30117	10	120	120	

СПИСОК СКОРОЧЕНЬ

DSL – Digital Subscriber Line – цифрова абонентська лінія
АЛ – абонентська лінія
АМЗ – автоматична мережа зв’язку
АМЗ – автоматизована мережа зв’язку
АМТС – автоматична міжміська телефонна станція
ВАК – вузол автоматичної комутації
ВМС – внутрізонові мережні станції
ЗАКТМ – загальнодержавна автоматично комутаційна телефонна мережа
ЗЛ – з’єднувальна лінія
МВВ – мережні вузли виділення
МгМС – магістральні мережні станції
МгМС – магістральні мережні станції
ММС – місцеві мережні станції
МТМ – міська телефонна мережа
РАТС – районна АТС
СТМ – сільська телефонна мережа
ТМВ – територіальні мережні вузли
ТМВ – територіальні мережні вузли
ТП НТМ – транспортна платформа Національної телекомунікаційної мережі
СКС – структурована кабельна система
КП – комутаційна панель
ІР – інформаційна розетка
PAS – Profile Alignment System
ПССЛК – пристрій стику станційних та лінійних оптичних кабелів

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Власов В.Е., Парфёнов Ю.А. Кабели цифровых сетей электросвязи. М.: Эко-Трендз, 2005. 216 с.
2. Гроднев И.И., Шварцман В.О. Теория направляющих систем связи. М.: Связь, 1966.
3. Евстегнеев А.А., Козырев Н.Е., Хакимов Н.З., Яковлев Е.А. Кабельно-линейные сооружения связи. М.: Воениздат, 1973. 380 с.
4. Парфёнов Ю.А. Кабели связи. М.: Эко-Трендз, 2003. 216 с.
5. Вакуленко О.В., Голь В.Д., Жук О.Г., Борисов І.В. Кабельні лінії зв’язку. К.: ВІТІ НТУУ „КПІ”, 2008. 155 с.
6. Голь В.Д., Руденко Е.М. Технології монтажу оптичних кабелів зв’язку. К.: ВІТІ НТУУ „КПІ”, 2008. 84 с.
7. Овчинников А.А., Шабалин Н.И. Волоконно-оптические линии связи. − Л.: ВАС, 1988. − 88 с.
8. Берлин Б.З. и др. Волоконно-оптические системы связи на ГТС: Справочник − М.: Радиосвязь, 1994. − 160 с.
9. Каток В.Б. Волоконно-оптичні системи зв'язку. − К.: , 1999. − 483 с.
10. Гауэр Дж. Оптические системы связи. − М.: Радио и связь, 1989. − 504 с.
11. Голь В.Д. Хмельов К.П. Волоконно-оптичні системи передавання типу „Сопка-3М” та П-336. − К.: КВІУЗ, 1999. − 80 с.
12. ITU-T Recommendation G.651. Characteristics of a 50/125 μm multimode graded index optical fibre cable (Характеристики кабелю з багатомодовими градієнтними оптичними волокнами 50/125 мкм).
13. ITU-T Recommendation G.652. Characteristics of a single-mode optical fibre cable (Характеристики кабелю з одномодовими оптичними волокнами).
14. ITU-T Recommendation G.653 Characteristics of a dispersion-shifted single-mode optical fibre cable (Характеристики кабелю з одномодовими оптичними волокнами зі зміщеною дисперсією).
15. ITU-T Recommendation G.654 Characteristics of a cut-off shifted single-mode optical fibre and cable (Характеристики одномодових оптичних волокон та кабелів зі зміщеною довжиною хвилі відсікання).
16. ITU-T Recommendation G.655 Characteristics of a non-zero dispersion shifted single-mode optical fibre cable (Характеристики кабелю з одномодовими оптичними волокнами зі зміщеною ненульовою дисперсією).
17. ГОСТ 2990-78. Кабели, провода и шнуры. Методы испытаний.
18. IEC 60794-1-1. Optical fibre cables- Part 1: Generic specification General. (Волоконно-оптичні кабелі Частина 1: Загальні технічні умови Основні положення).

19. ITU-T Recommendation L.10 Optical fibre cables for duct and tunnel application (Волоконно-оптичні кабелі для прокладання в трубах та тунелях).

20. ITU-T Recommendation L.26 Optical fibre cables for aerial application (Волоконно-оптичні кабелі для повітряного застосування).

21. ГОСТ 15845-80. Изделия кабельные. Термины и определения.

22. Каток В.Б., Руденко І.Е. Рекомендації по вибору способу з'єднання оптичних волокон оптичних кабелів зв'язку. К.: Вид. Мінзв'язку України, 1996.

23. Каток В.Б., Руденко І.Е. Монтаж оптичних кабелів зв’язку. Частина 1. З′єднання оптичних волокон. Навчальний посібник. К.: КІЗ УДАЗ ім. О.С.Попова. 1997. 46 с.

24. Унгер Х.Г. Планарные и волоконные оптические волноводы. - М.: Мир, 1980. 656 с.

25. Каток В.Б., Руденко І.Е. Сучасні технології з’єднань волоконних світловодів із складу оптичних кабелів зв’язку // Інформатизація та нові технології. − № 1, 1996. − С. 41 – 43.

26. Mahlke G., Gossing P. Fiber optic cables: fundamentals, cable engineering, systems planning. - Berlin; Munchen: Siemens-Aktienges., 1993. 244 p.

27. FSM-40S Optical Fiber Fusion Splicer. Fujikura Ltd.

28. Fukutomi H. Dr. Perspective of Optical Fiber Industry in the 21st Century. Japan 21st, June 1996. 144 p.

29. Каток В.Б., Руденко І.Е. Аналіз технічних характеристик з’єднань світловодів оптичних кабелів зв’язку // Квантовая элктрон. Вип. 47, 1995. − С. 50−58.

30. Комплект деталей для защиты места сварки волокон. Технические условия ТУ 4-87.

31. The Two Fiber Mechanical Splice of Low Loss for Optical Fiber Cable / M.Miyazaki, M.Mizutani, H.Shimoyama, M.Kurokawa, Y.Okawa // IEEE Trans. Compon., Hybrids, and Manuf. Technol. 13, № 4, 1990. p. 807−810.

32. AMP CORELINK Splice Workstation 503605. Instruction Sheet 408–4131.

33. Lucent Technologies. LC Connector Family. A High Density Fiber Optic Solution for SYSTIMAX© SCS and ExchangeMAX© SCS. 5132FS Issue 4.5 ML 12/99.

34. Refi J.J. abc of the Telephone: Fiber Optic Cable − A LightGuide. abc TeleTraining, Inc., Geneva, Ill, 1991, 208 p.

35. Nilsson-Gistvik S.. Optical Fiber Theory for Communications Networks. Ericsson Cbles A.B. 1994. 219 p.

36. МСЭ-Т: Конструкции, прокладка, соединение и защита оптических кабелей связи (Издание 1994). Женева, 1994.

37. Каток В.Б., Руденко І.Е. Аналіз втрат, що виникають в процесі монтажу оптичних кабелів зв'язку/ Зв'язок, 1996, № 2.

38. Комаров О.М., Кулешов С.М. Отечественные оптические муфты // Весник связи. № 2, 1997.

39. Строительство кабельных сооружений связи: Справочник / Д.А. Барон, И.И. Гроднев, В.Н. Евдокимов и др. М.: Радио и связь, 1988.

40. Joint Closure Type NCD 504. Ericsson Cables AB Product Information.

41. 2500LG Series Lightguide Splice / Drop Closure Assembly Instructions. AT&T. 1991.

42. Муфта соединительная оптического кабеля связи СМОК. Технические условия АХП4.468.049 ТУ. 1986.

43. Муфты оптические городские МОГ. Технические условия ТУ 5296-006-27564371-95.

44. Raychem. FOCS-100B2/H Fibre Optic Splice Closure with integrated organiser system. 1993.

45. Raychem. FOSC 400 - Fiber Optic Splice Closure. 1993.

46. AT&T Product Specification. 2600LG Fiber Optic Splice Closure. Issue 3. April 24. 1995.

47. Universal Closures for Fiber Optic Cables UC, USCO. RXS Kabelgarnituren GmbH. Issue 03/96 4.

48. Assembly Instruction for Fiber Optic Splice Closure Reichle+De-Massari. 09.08.1994/0/KG.

49. Руководство по монтажу соединительных муфт на оптических кабелях связи марок ОЗКГ-2 и ОЗКГ-3. М.: ССКТБ, 1990.

50. Технологическая карта на монтаж прямой и разветвительной муфт внутризонового оптического кабеля связи марки ОЗКГ-1-0,7-4/4. М.: ССКТБ, 1989.

51. Технологическая карта на монтаж прямой и разветвительной муфт оптического кабеля ГТС. М.: ССКТБ, 1989.

52. Визначення місця пошкодження на проводових мережах зв’язку. Навчально методичні вказівки до виконання лабораторної роботи з дисципліни «Оптичні перспективні та проводові лінії зв’язку». Укладачі: Манько О.О., Лущевський О.В. Київ: ДУТ. 2015. 11 с.

53. Царьов Р.Ю. Структуровані кабельні системи: навч. посіб. для студентів вищих навчальних закладів. / Царьов Р.Ю., Нікітюк Л. А., Резніченко П. І. Одеса: ОНАЗ ім. О.С. Попова, 2013. – 260 с.: іл.

Підручник

ВАКУЛЕНКО О.В.,
ГОЛЬ В.Д.,
ІРХА М.С.,
ХАХЛЮК О.А.

ЛІНІЇ ПЕРЕДАЧІ

Підписано до друку 29.11.2021. Формат 60×84 1/16.
Друк офсетний. Папір офсетний. Гарнітура Times New Roman. Умов. друк. арк. 7,44. Обл. вид. арк. 8,0.
Замовлення № 291121.