

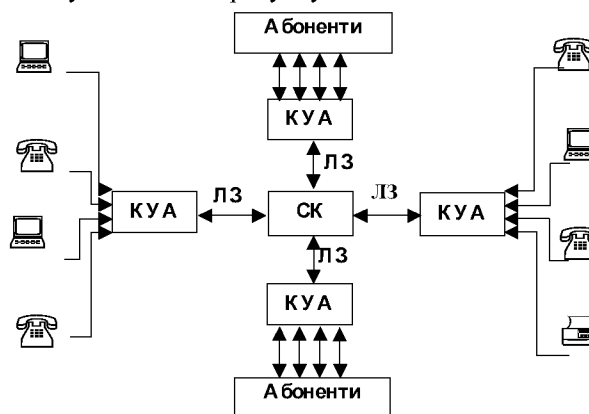
Рис. 2.28. Класифікація ліній зв'язку

Ці лінії мають свої переваги та недоліки. Безпроводові лінії зв'язку мають такі переваги: при їх організації не треба великих затрат на прокладання, як того потребують кабельні лінії, за їх допомогою можна налагодити зв'язок з рухомими об'єктами. Недоліком їх є залежність якості зв'язку від умов поширення радіохвиль, спрощується можливість несанкціонованого доступу.

Проводові ЛЗ значною мірою забезпечують необхідну конфіденційність передачі інформації, більшу захищеність від впливу сторонніх полів. Недоліком цих ліній є їх стаціонарність, досить значний час на побудову ліній та на її відновлення при пошкодженні кабелю.

2.2.2. Побудова ліній зв'язку

Будь-яка мережа зв'язку містить: кінцеве обладнання, ЛЗ, системи комутації, кінцеві пристрої. Узагальнена схема мережі зв'язку наведена на рисунку 2.29.



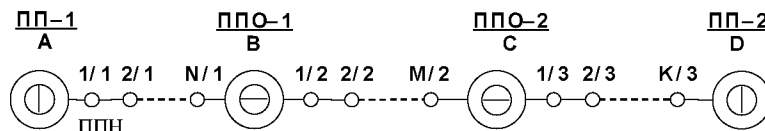
КУА — каналотвірною апаратура;

ЛЗ — лінія зв'язку; СК — система комутації

Рис. 2.29. Узагальнена схема мережі зв'язку

Кабельна ЛЗ є складною системою, в яку входять такі підсистеми: кінцеве обладнання (каналотвірна апаратура); проміжне обладнання (регенераційні або підсилювальні пункти); лінійно-кабельні споруди; система телеконтролю та телесигналізації; система дистанційного живлення; система утримання кабелю під надмірним тиском; система захисту лінії від небезпечних та заважаючих впливів.

Структурна схема магістральної кабельної ЛЗ наведена на рисунку 2.30.



ПП — прикінцевий пункт; ППО — підсилювальний пункт, що обслуговується; ППН — підсилювальний пункт, що не обслуговується; у знаменнику зазначено номер секції ППО-ППО, у чисельнику — номер ППН у цій секції; А, В, С, D — населені пункти, в яких встановлено обладнання

Рис. 2.30. Узагальнена структурна схема магістральної лінії зв'язку

У процесі поширення сигналів уздовж ЛЗ внаслідок загасання у направляючій системі відбувається поступове зменшення амплітуди сигналу та його викривлення, яке відбувається внаслідок дії перешкод різного походження. У підсилювальних (регенераційних) пунктах сигнал підсилюється до потрібного значення, або регенерується. ЛЗ для передачі аналогових сигналів будують за схемою з підсилювальними пунктами, а ЛЗ для передачі цифрових сигналів можуть містити як регенератори, так і підсилювачі. На

рисунку 2.31 наведена структурна схема підсилювальної (регенеративної) ділянки.

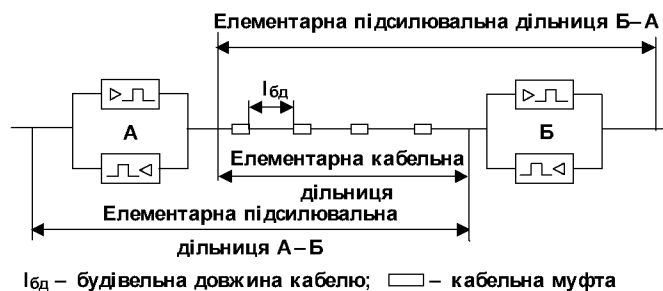


Рис. 2.31. Структурна схема підсилювальної ділянки

2.2.3. Кабелі зв'язку

Кабель — електротехнічний виріб, що містить сукупність направляючих систем, поєднаних в єдину конструкцію. Кабель має загальну металеву або пластмасову оболонку та захисні покриття. Кожна пара проводів створює електричне коло. Сучасні кабелі зв'язку класифікуються за цілим рядом ознак (рис. 2.32).

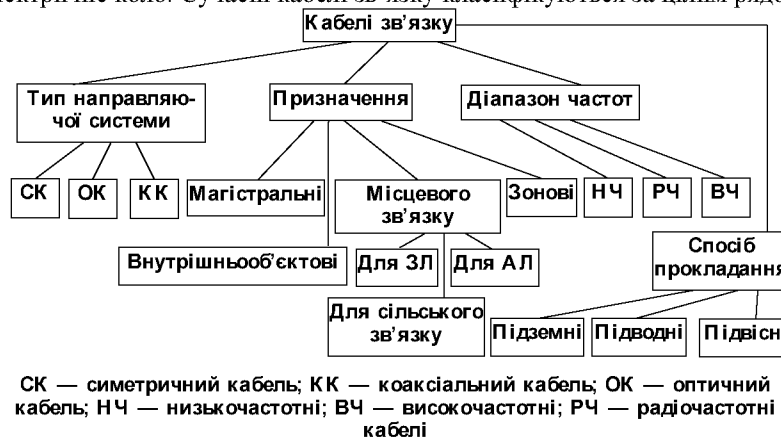


Рис. 2.32. Класифікація кабелів зв'язку

Крім того, кабелі класифікуються за типом ізоляції, способом скручування жил, матеріалом оболонок, типом броньових покриттів. Симетричний кабель містить однакові за електричними та конструктивними ознаками пари ізольованих проводів. Коаксіальний кабель містить одну або кілька коаксіальних пар, які можуть відрізнятися конструктивно. Оптичний кабель містить кілька волоконно-оптичних модулів, кожний з яких має 2, 4, 8 або 16 волоконних світловодів.

Основні конструктивні елементи кабелю: ізольовані струмоведучі провідники (жили), коаксіальні пари, волоконно-оптичні модулі; захисні оболонки; броньовані покриття.

Проводи кабелів зв'язку повинні мати малий електричний опір, гнучкість, достатню механічну міцність. Вони виготовляються з міді або алюмінію. Питомий електричний опір міді дорівнює 0,0175 Ом мм²/м, алюмінію — 0,0295 Ом мм²/м. Мідні жили кабелів МТМ мають стандартні діаметри проводів: 0,32; 0,4; 0,5; 0,6; 0,7 мм. У кабелях зонових зв'язку та з'єднувальних ліній діаметри проводів такі: 0,8; 0,9; 1,0; 1,1; 1,2 мм. Конструкції проводів СК наведені на рисунку 2.33.

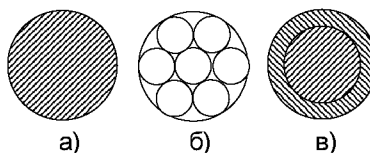


Рис. 2.33. Конструкції кабельних проводів: а) суцільний; б) гнучкий; в) біметалевий

Провід може бути суцільним (рис. 2.33, а), звитим з окремих тонких провідників (рис. 2.33, б) або біметалевим (рис. 2.33, в). Тонкі проводи виготовляються суцільними, виті проводи мають добру гнучкість. У біметалевих проводах зовнішній шар сталевий, а осердя мідне або алюмінієве, що забезпечує менший електричний опір. Зовнішні проводи коаксіального кабелю також мають різні конструкції: з суцільного згорненого провідника з поздовжнім швом типу «блискавка» (рис. 2.34, а), гофрованого (рис. 2.34, б), згорненого зі стрічки (рис. 2.34, в), виготовленого з тонких переплетених проводів (оплетення, рис. 2.34, г).

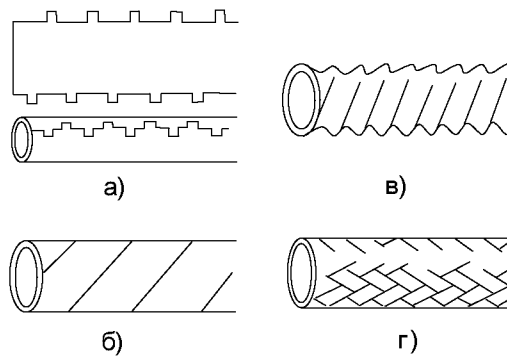


Рис. 2.34. Конструкції зовнішніх проводів коаксіальних кабелів: а) з повздовжнім швом типу «блискавка»; б) гофрований; в) стрічковий; г) оплетення

Ізоляція проводів повинна мати великий електричний опір, велику електричну міцність (пробивну напругу). Її параметри повинні бути стабільними протягом тривалого часу. Майже ідеальним діелектриком є повітря. Однак створити ідеальну ізоляцію практично неможливо, тому кабельна ізоляція, як правило, є комбінованою і містить як діелектрик, так і повітря, діелектрик повинен забезпечувати жорсткість конструкції, фіксувати взаємне розташування проводів уздовж кабелю. Найчастіше у кабелях використовуються такі діелектрики: поліетилен, полістирол (стирофлекс), фторопласт, а також спеціальна кераміка. Вони мають високі діелектричні якості у широкому спектрі частот, високу стійкість до вологи та агресивних середовищ.

У низькочастотних кабелях зв'язку використовується також кабельний папір. Найчастіше у кабелях зв'язку використовуються такі види ізоляції (рис. 2.35):

- трубчаста — виконується у вигляді паперової або пластмасової стрічки (рис. 2.35, а);
- кордельна — складається з корделю, що навитий на провід спіралью, та намотаної поверх корделю паперової або пластмасової (як правило, стирофлексової) стрічки (рис. 2.35, б);
- суцільна — виконується із суцільного поліетилену та пориста — виконується з пористого поліетилену (рис. 2.35, в);
- балонна — тонка поліетиленова трубка, в якій розташовано провід, трубка періодично або по спіралі стискається та фіксує провід (рис. 2.35, г);
- шайбова — виконується з поліетиленових, фторопластових або керамічних шайб, розташованих на провіднику через певні проміжки (рис. 2.35, д).

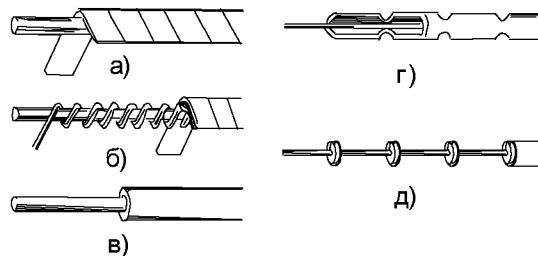


Рис. 2.35. Типи ізоляції кабелів зв'язку: а) трубчаста; б) кордельна; в) суцільна та пориста; г) балонна; д) шайбова

Скручування жил. Ізольовані жили симетричних кабелів скручуються в елементарні групи. Скручування створює кожній робочій парі однакові умови відносно взаємних та зовнішніх перешкод, а також забезпечує гнучкість кабелю, що необхідно при його прокладанні. Найпоширенішими є такі типи скручення (рис. 2.36):

- парна, складається з двох ізольованих жил, що створюють робоче електричне коло (рис. 2.36, а);
- четвіркове (або зіркове) скручення, що містить чотири жили, робочими є жили, які складають дві робочі пари: (1–2 та 3–4, рис. 2.36, б);
- подвійна парна, в якій робочі пари скручуються між собою, а дві пари скручуються у четвірку (рис. 2.36, в).

Застосовується також подвійне зіркове скручення, в якому чотири скручені пари знову скручуються як зіркове скручення. Жили у кабелях скручуються між собою, скручуються також четвірки та пари у скрученнях. У деяких високочастотних кабелях у центрі зіркової четвірки міститься заповнювач, що є поліетиленовим корделем діаметром 1,0–1,1 мм. Жили у групі мають різні кольори ізоляції. Кожна група обмотується по спіралі кольоровою ниткою. Це необхідно для ідентифікації проводів при з'єднанні будівельних довжин кабелю при будівництві лінії.

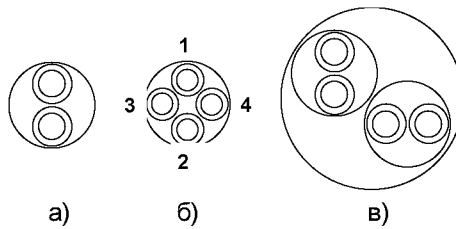


Рис. 2.36. Елементарні групи: а) парна; б) зіркова; в) подвійна парна

Загальне скручення кабелю. Скручені разом елементарні групи утворюють осердя кабелю. Існують дві основні системи скручення осердя: пучкове та повивне. У пучковому скрученні кілька груп скручуються у пучки, потім пучки скручуються між собою (рис. 2.37, а).

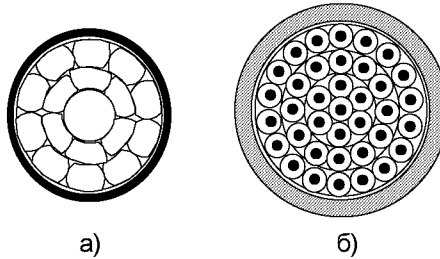


Рис. 2.37. Скручення груп у осердя: а) повивне; б) пучкове

У повивному скрученні окремі жили або елементарні групи розташовуються послідовними концентричними шарами (повивами) навколо центрального повиву, який складається з однієї або п'яти груп (рис. 2.37, б). Кожний повив має свій період скручування, суміжні повиви скручуються у різних напрямках, це зменшує взаємні впливи у фізичних колах. У кожному повиві має бути контрольна група, що відрізняється кольором ізоляції від усіх інших груп повиву. Кожний повив осердя, крім зовнішнього, обмотується по спіралі нитками.

Коаксіальна пара. Основним елементом коаксіального кабелю є коаксіальна пара з мідним або алюмінієвим зовнішнім провідником (рис. 2.38). В коаксіальних кабелях найчастіше використовується шайбова, балонна, пориста ізоляція. В радіочастотних кабелях використовується суцільна поліетиленова ізоляція та зовнішній провід у вигляді оплетення.

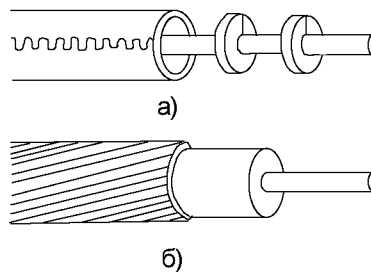
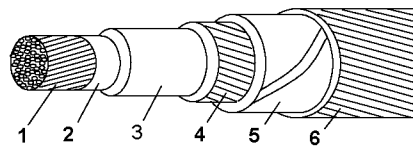


Рис. 2.38. Типи коаксіальних пар: з шайбовою (а) та пористою (б) ізоляцією

Захисні покриття. Захисні оболонки кабелю запобігають проникненню в його осердя вологи та герметизують його, вони виготовляються зі свинцю, алюмінію, полімерів (поліетилену, полівінілхлориду). Товщина оболонки залежить від її матеріалу, діаметра осердя під оболонкою, способу прокладання, типу захисних бронепокриттів.

Для запобігання механічних пошкоджень поверх оболонок накладаються броньовані покриття. Існують два основні види броні: зі сталевих стрічок, що намотуються на кабель у два шари з перекриттям; та з круглих оцинкованих сталевих дротів, що створюють повив. Кабелі з броньованим покриттям прокладаються у ґрунті, кабелі без броні — тільки у телефонній каналізації або в сталевих чи поліетиленових трубах. Між бронею та оболонкою накладається подушка: два-три шари кабельного паперу або кабельної пряжі, що просочена бітумом (джуту). Алюмінієві та сталеві оболонки мають антикорозійне покриття у вигляді полівінілхлоридного чи поліетиленового шланга. Поверх броні також накладається захисне антикорозійне покриття з кабельного паперу або кабельної пряжі, що просочені бітумом. На рисунку 2.39 наведено загальний вигляд кабелю із захисними покриттями.



- 1 — осердя кабелю; 2 — поясна ізоляція;
- 3 — оболонка; 4 — подушка; 5 — броня;
- 6 — захисне покриття

Рис. 2.39. Загальний вигляд кабелю з захисними покриттями

Екранування кабелів. Для захисту кабельних кіл від електромагнітних завад застосовується екранування окремих елементарних груп, повивів, а також осердя в цілому. В окремих випадках застосовується екранування і груп (чи повивів) і осердя разом. У коаксіальних кабелях обов'язково екрануються коаксіальні пари. Екран являє собою мідні, алюмінієві або сталеві стрічки, що намотуються в один або два шари з перекриттям на елементарну групу чи осердя кабелю.

Маркування кабелів. Під маркуванням розуміється певна система умовних позначень, що відображують основні класифікаційні ознаки та конструктивні особливості кабелів. Система маркування симетричних кабелів має вигляд

$$\underline{1} \underline{2} \underline{3} \underline{4} \underline{5} \underline{6} - n \square m \square d,$$

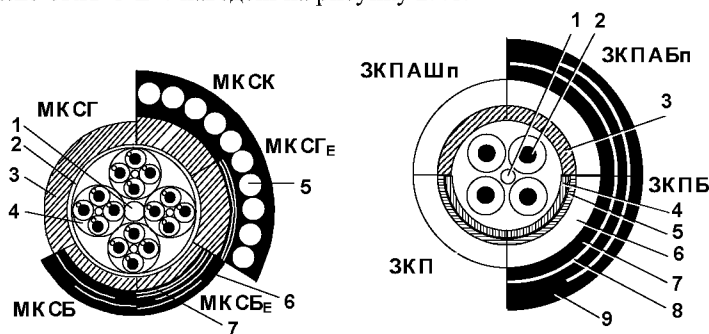
де на позиціях 1–3 позначається тип кабелю; позиція 4 відображує тип ізоляції струмоведучих жил; 5 — тип захисної оболонки; 6 — тип броні; n — кількість елементарних груп, m — кількість жил у групі; d — діаметр провідника, мм.

Високочастотні симетричні кабелі мають позначення МК — магістральний кабель, ЗК — зоновий кабель. Низькочастотні кабелі мають позначення ТЗ (телефонний зіркового скручення), Т — телефонний. Тип ізоляції позначається: С — стирофлексова кордельна; П — поліетиленова; В — полівінілхлоридна; паперова кордельна та паперова трубчаста ізоляція не позначаються. Типи захисної оболонки мають позначення: А — алюмінієва, С — сталевая, П — поліетиленова, В — полівінілхлоридна. Свинцева оболонка у маркуванні кабелів не позначається. Алюмінієві та сталеві оболонки покриваються поліетиленовими або полівінілхлоридними шлангами, таке покриття позначається літерами Шп або Шв. Позначення броньованих покриттів такі: Б — броня зі сталевих стрічок, К — броня з круглих дротів; якщо кабель не має броні, то це позначається літерою Г — голий. Якщо кабель має екран (або екрани), це позначається літерою «е».

У коаксіальних кабелях позначаються: тип кабелю, тип захисної оболонки, тип броні, кількість коаксіальних пар. Типи коаксіальних кабелів такі: КМ — коаксіальний магістральний; МКТ — малогабаритний коаксіальний телефонно-телевізійний; ВК — однокоаксіальний.

Симетричні високочастотні кабелі. Поширеним є кабель типу МК з кордельно-стирофлексною ізоляцією з різними захисними оболонками: МКС — з свинцевою оболонкою (її тип не позначається), МКСС — зі сталевною оболонкою. Кабель має 1, 4 або 7 симетричних четвірок. Різні модифікації кабелю МКС-4 □ 4 □ 1,2 наведені на рисунку 2.40. Цей кабель на сьогодні застосовується тільки на зонових лініях та на з'єднувальних лініях МТМ у поєднанні з цифровими системами передачі ІКМ-120.

Кабелі зонового зв'язку (ЗК) мають чотири мідні жили діаметром 1,2 мм з поліетиленовою ізоляцією різних кольорів. Жили скручені у четвірку навкруги поліетиленового корделя. Вся четвірка заповнюється поліетиленом з бутилкаучуком. Поверх заповнення накладений екран з двох мідних або алюмінієвих стрічок. Різновиди кабелю ЗКП-1 □ 4 наведені на рисунку 2.41.



- 1 — кордель;
- 2 — поясна ізоляція;
- 3 — свинцева оболонка;
- 4 — зіркова четвірка;
- 5 — сталеві дроти;
- 6 — сталеві стрічки;
- 7 — екран

Рис. 2.40. Кабель типу МКС-4 □ 4 □ 1,2

- 1 — кордель;
- 2 — ізольована жила;
- 3 — алюмінієва оболонка (ЗКПА);
- 4 — екранні стрічки (ЗКП, ЗКВ);
- 5 — бітумна суміш; 6 — шланг;
- 7 — подушка; 8 — сталеві стрічки;
- 9 — зовнішнє покриття

Рис. 2.41. Кабель типу ЗК

Для сільського зв'язку випускаються кабелі типів КС: КСПП — 1□4 та КСПП — 4□4. Конструкція

цього кабелю аналогічна конструкції кабелю ЗК, але він не має суцільного заповнення осердя. Випускаються кабелі таких марок: КСПП, КСПБ, КСППК, КСППт — кабель з вмонтованим носійним тросом для підвішування на опорах. Кабелі ЗК і КС можуть бути використані в діапазоні частот до 1,5 МГц.

Низькочастотні симетричні кабелі. Ці кабелі призначені для абонентських ліній МТМ, це багатопарні кабелі, вони містять до 2500 пар. Тип кабелю у маркуванні позначається літерою Т. На абонентських лініях застосовуються кабелі типів ТГ (голі, без броні) та ТБ (з бронею типу Б) з паперовою трубчастою або кордельною ізоляцією у свинцевих оболонках. Ці кабелі мають парне скручення груп та повивове скручення осердя. Більш сучасними є кабелі з поліетиленовою суцільною ізоляцією у поліетиленовій (ТПП) та полівінілхлоридній (ТПВ) оболонках. Випускаються також кабелі зі стрічковою бронею (ТППБ, ТПВБ) та кабелі у сталевій оболонці (ТПС).

Ці кабелі мають повивне (рис. 2.42, а), пучкове (рис. 2.42, б) та комбіноване, пучкове з повивним, скручення. Кабелі малої ємності (до 100×2) мають гідрофобне заповнення, що запобігає попаданню в кабель вологи.

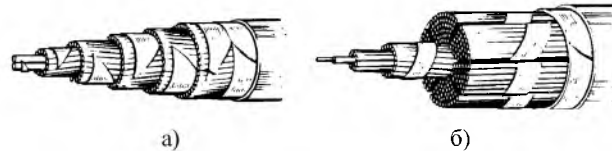
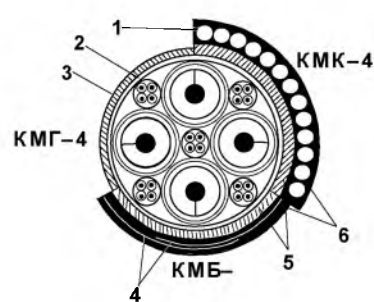


Рис. 2.42. Загальний вигляд міських телефонних кабелів

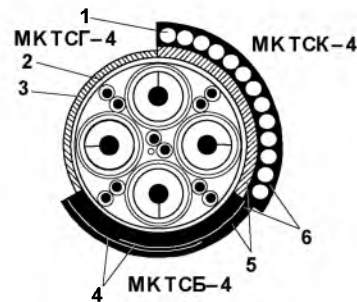
Коаксіальні кабелі. Магістральні коаксіальні кабелі КМ-4 містять чотири стандартні коаксіальні пари з діаметрами (d/D) 2,6/9,5 мм та п'ять службових симетричних четвірок (рис. 2.43).

Зовнішній провід цих кабелів виготовлений у вигляді трубки з мідної стрічки з поздовжнім швом. Ізоляція у коаксіальній парі — поліетиленова шайбова. Симетричні четвірки призначені для передачі сигналів службового зв'язку та телемеханіки. Застосовуються кабелі марок КМГ-4; КМБ-4; КМК-4. Ці кабелі використовуються у діапазоні частот до 17 МГц.



1 — броньований дрiт; 2 — поясна ізоляція; 3 — свинцева оболонка; 4 — дві бронестрічки; 5 — подушка; 6 — зовнішнє покриття (джут)

Рис. 2.43. Коаксіальний кабель КМ-4

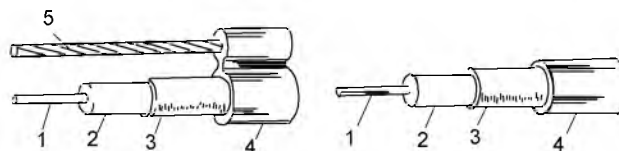


1 — броньований дрiт; 2 — поясна ізоляція; 3 — свинцева оболонка; 4 — дві бронестрічки; 5 — подушка; 6 — зовнішнє покриття (джут)

Рис. 2.44. Малогабаритний коаксіальний кабель типу МКТ-4

Малогабаритний коаксіальний телефонно-телевізійний кабель для зонового зв'язку та з'єднувальних ліній МТМ типу МКТ-4 має чотири коаксіальні пари 1,2/4,6 мм, п'ять службових пар та одну контрольну жилу (рис. 2.44). Ізоляція коаксіальної пари балонна.

На лініях зонового зв'язку застосовується також однокоаксіальний кабель ВКПАШп-2,1/9,4, що виготовляється у двох варіантах: із самоносійним тросом для підвішування на опорах (рис. 2.45, а) та для підземного прокладання (рис. 2.45, б). Ці кабелі використовуються у діапазоні частот до 1400 кГц.



1 — внутрішній провідник; 2 — поліетиленова пориста ізоляція; 3 — зовнішній провідник; 4 — зовнішня алюмінієва оболонка з поліетиленовим покриттям (Шп); 5 — трос для підвішування

Рис. 2.45. Однокоаксіальний кабель ВКПАШп-1: а) підвісний; б) для підземного прокладання

У таблицях 2.5–2.10 наведені електричні параметри кабелів.

Таблиця 2.5. Електричні параметри кабелів типу МКС (d = 1,2 мм)

Таблиця 2.6. Електричні параметри кабелю КМ–4 (2,6/9,4)

Продовження табл. 2.6.

Таблиця 2.7. Електричні параметри кабелю МКТ–4 (1,2/4,6)

Таблиця 2.8. Електричні параметри кабелю ЗКП–4 (d = 1,2 мм)

Таблиця 2.9. Параметри кабелів типу ТГ (на постійному струмі)

Таблиця 2.10. Параметри кабелів типу ТПП (на постійному струмі)

2.2.4. Оптичні кабелі

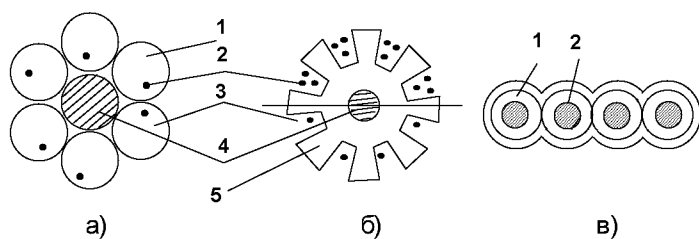
Направляючою системою оптичного кабелю є волоконний світловід. Основні вимоги до оптичного кабелю (ОК) зумовлені як особливостями волоконного світловоду, так і умовами прокладання та експлуатації ОК. Конструкція ОК повинна забезпечити стійкість до механічних впливів у процесі його прокладання, монтажу та експлуатації. Параметри передачі ОК не повинні перевищувати встановлених норм під час експлуатації.

Конструктивні елементи ОК такі: волоконно-оптичний модуль; силові та армуючі елементи; заповнюючі елементи; захисні покриття; броньовані покриття; жили дистанційного живлення.

Волоконно-оптичний модуль (ВОМ) — це трубка з поліетилену або іншого полімеру, в якій укладаються волоконні світловоди. Волоконно-оптичні модулі можуть бути одно- або багатоволоконними, вони містять 1, 4 або 16 волоконних світловідів.

Силові та армуючі елементи сприймають подовжнє навантаження та запобігають можливому пошкодженню ВС при великих розтягуючих зусиллях. Для силових елементів використовують металеві багатожильні тонкі сталеві дроти (тросики), полімерні нитки зі скловолокна, кевлару, вуглеродистого волокна, які не розтягуються під дією великих розтягуючих зусиль. Силові елементи розташовані у центрі ОК. Армуючі елементи виконують ті ж функції, що й силові, але вони містяться в окремих повивах або у повивах з ВОМ. Захисні покриття ОК звичайно полімерні (поліетилен, полівінілхлорид), але застосовуються також металеві покриття у вигляді алюмінієвих, мідних або сталевих гофрованих трубок. Броньовані покриття такі ж, як і в металевих кабелях (Б, К), але застосовується броня з переплетених тонких сталевих дротів–оплетення (позначається літерою О) та броня зі скляних, вкритих поліетиленовою оболонкою, стрижнів (позначається літерою С).

Базові конструкції ОК. Оптичні кабелі мають кілька базових конструкцій: з повивним скрученням, з профільованим осердям, стрічкову (рис. 2.46).



1 — полімерна трубка; 2 — волоконний світловод; 3 — гідрофобне заповнення; 4 — центральний силовий елемент; 5 — профільоване осердя

Рис. 2.46. Базові конструкції кабелів: а) повивного скручення; б) з профільованим осердям; в) стрічкова

В кабелі з повивним скрученням (рис. 2.46, а) у центрі міститься центральний силовий елемент, а навколо нього розміщуються шість ВОМ. Якщо модулі менше, то для забезпечення жорсткості осердя використовуються заповнюючі елементи (пластмасові корделі). У кабелях з профільованим осердям ВОМ містяться у його пазах. Подальше розміщення інших конструктивних елементів таке ж, як і в металевих кабелях. Металеві жили дистанційного живлення містяться в одному повиві з круглими дротами або склострижнями броньованих покриттів. Більшість сучасних ОК забезпечують довжину регенераційної ділянки до 90–100 км, тому вони не мають жил дистанційного живлення. ОК не утримуються під надмірним тиском, гідрофобне заповнення ВОМ та осердя забезпечує їх герметичність.

Класифікація ОК. Оптичні кабелі за типами волоконних світловодів, що входять до їх складу, діляться на одномодові та багатомодові. За призначенням та областю застосування ОК діляться на: магістральні, зонові, для міських телефонних мереж, внутрішньооб'єктові, станційні, монтажні.

Магістральні кабелі містять одномодові волоконні світловоди, вони оптимізовані для 2-го та 3-го вікон прозорості кварцового скла, мають мале загасання та малу дисперсію. Будівельна довжина цих кабелів дорівнює 2200 м. Залежно від умов прокладання вони мають мідні або алюмінієві гофровані оболонки, а також броню типів Б або К. У таблиці 2.11 наведені характеристики деяких магістральних кабелів.

На прикладі кабелю ОКЛAK наведемо позначення у маркуванні кабелів:

О К Л А К 01 0.3/3.5 4(8) 4

1 2 3 4 5 6 7 8

1 — тип кабелю; 2 — тип оболонки; 3 — тип броні; 4 — номер заводської розробки; 5 — загасання, дБ/км; 6 — питома хроматична дисперсія, пс/нм·км; 7 — кількість ОВ; 8 — кількість жил дистанційного живлення. Припустиме розтягуюче зусилля цих кабелів дорівнює вазі 1 км кабелю.

Таблиця 2.11. Характеристики магістральних кабелів

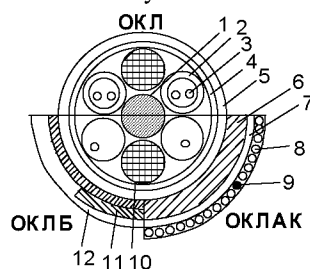
Позначення: □ — загасання, □ — питома хроматична дисперсія,
ДЖ — дистанційне живлення

Для зонових ВОЛЗ застосовуються як одномодові, так і багатомодові кабелі з градієнтним (параболічним) профілем показника заломлення, які використовують у 2-му та 3-му вікнах прозорості волоконних світловодів. Конструкції цих кабелів практично не відрізняються від конструкцій магістральних кабелів, їх будівельна довжина дорівнює 2200 м. Ці кабелі мають позначення ОКЗ та ОКЛ. В таблиці 2.12 наведені характеристики багатомодових кабелів зонових ВОЛЗ.

Таблиця 2.12. Характеристики багатомодових зонових кабелів

Позначення: □F — смуга пропускання

На рисунку 2.47 наведені конструкції кабелів типу ОКЛ.



1 — центральний світловий елемент; 2 — оболонка ВОМ;
3 — волоконний світловод; 4 — поясна ізоляція;
5 — полімерна оболонка; 6 — металева оболонка; 7 — круглі дроти (броня типу К); 8 — жили ДЖ; 9 — кордель;
10 — броня типу Б; 11 — броня типу Б; 12 — зовнішнє покриття

Рис. 2.47. Конструкції кабелів типу ОКЛ

Ці кабелі багатомодові, тому в їх позначенні вказується смуга пропускання, а не дисперсія. Для організації з'єднувальних ліній МТМ та інших ліній місцевих мереж використовуються головним чином багатомодові кабелі на основі градієнтних волокон. Але для МТМ використовуються тільки одномодові кабелі. Будівельна довжина цих кабелів складає 1000 м, це обмеження викликане зусиллям, що прикладається при протягуванні кабелів у міській кабельній каналізації.

Для ВОЛЗ місцевих мереж випускаються багатомодові кабелі ОК та кабелі ОКК (одномодові та багатомодові). Конструкції цих кабелів аналогічні до конструкцій зонових кабелів. В таблиці 2.13 наведені характеристики багатомодових кабелів ОК та ОКК.

Таблиця 2.13. Характеристики кабелів ОК та ОКК

* — одномодовий ОК; хроматична дисперсія $\Delta = 6$ пс/нм·км. В цих кабелях позначається діаметр осердя ВС (10 мкм або 50 мкм).

Станційні кабелі призначені для з'єднання лінійних кабелів з кінцевим обладнанням систем передачі у приміщеннях АТС та у регенераційних пунктах, що не обслуговуються. Вони мають довжину від кількох метрів до кількох десятків метрів, містять одне або два оптичні волокна, можуть містити армуючий елемент. Випускаються кабелі марок ОКС та ОЛ як одномодові, так і багатомодові. Тип волоконного світловоду станційного кабелю (одномодовий чи багатомодовий) повинен відповідати типу волоконного світловоду лінійного кабелю.

2.2.5. Електромагнітні впливи в лініях зв'язку

Проблема електромагнітної сумісності в лініях зв'язку. Окремі кола ліній зв'язку знаходяться під постійним впливом сторонніх ЕМП того чи іншого походження. Ці поля наводять струми та напруги у трактах ЛЗ, створюють завади, погіршують якість зв'язку. Ці впливи зводяться до електромагнітних впливів або просто впливів на ЛЗ. Суть проблеми електромагнітної сумісності (ЕМС) полягає в тому, що радіотехнічні пристрої та пристрої зв'язку змушені працювати в умовах впливу сторонніх полів, спектри яких повністю або частково співпадають. Не кожне стороннє поле створює перешкоди. Якщо спектри стороннього та власного полів не співпадають, перешкоди відсутні (рис. 2.48, а), і має місце, коли спектри повністю або частково перекриваються (рис. 2.48, б).

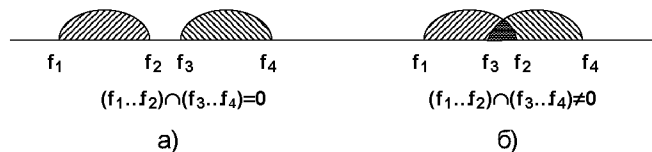


Рис. 2.48. Поняття завади: а) завада відсутня; б) завада наявна

Ця проблема є загальною для всіх систем та пристроїв, пов'язаних з генерацією, прийманням та обробкою електричних сигналів. Проблема ЕМС має дві сторони: одні пристрої самі створюють впливи, інші ж підпадають під дію цих впливів. Проблема ЕМС потребує оптимального вирішення, що досягається також двома шляхами: захистом мереж та пристроїв від впливів, обмеження впливів ЕМП пристроїв, що створюють ці поля. У першому випадку використовується екранування, застосування направляючих систем, які не зазнають цих впливів (оптичні кабелі) або в яких ці впливи незначні (коаксіальні кабелі). У другому випадку необхідно передбачити заходи щодо обмеження впливів з боку зовнішніх джерел.

Фізична суть усіх електромагнітних впливів, незважаючи на різноманітність джерел їх походження, єдина: вплив на кола зв'язку виникає внаслідок того, що ці кола знаходяться в ЕМП, що створюється джерелом впливу (рис. 2.49). Звичайно окремо аналізуються електричний (рис. 2.49, а) та магнітний (рис. 2.49, б) впливи.

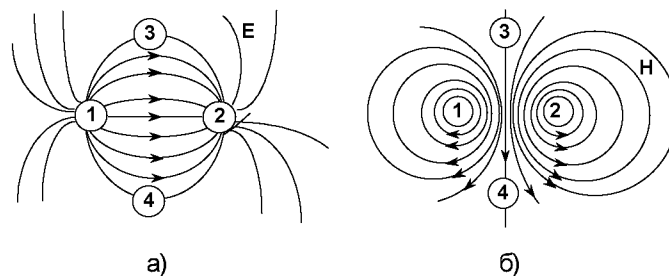


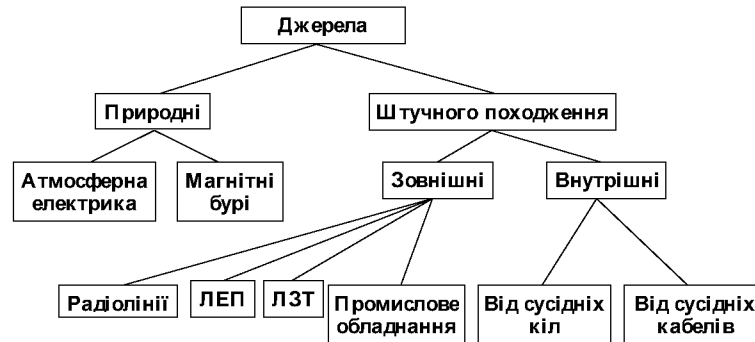
Рис. 2.49. Суть впливів: а) електричного; б) магнітного

Якщо до лінії 1–2 прикладено напругу U_1 , навколо провідників створюється електричне поле E . На пасивній лінії 3–4 з'являються електричні заряди, які, переміщуючись в замкнутому колі, створюють електричний струм I_2 (рис. 2.49, а). Якщо ж по активному колу 1–2 протікає струм I_1 , він створює магнітне поле, тоді у проводах пасивної лінії 3–4 внаслідок електромагнітної індукції виникає різниця потенціалів E_2

(рис. 2.49, б).

Класифікація електромагнітних впливів. Велика різноманітність та особливість кожного з джерел впливів потребує їх класифікації (рис. 2.50).

Внутрішні впливи в одному кабелі називаються взаємними. Зовнішні та внутрішні впливи відрізняються за рядом ознак. Потужність зовнішніх впливів змінюється у великих межах, їх спектри співпадають зі спектрами сигналів частково (рідше повністю), зовнішні впливи діють на обмежених ділянках лінії, відстань між лінією зв'язку та джерелом впливів велика, час дії цих впливів найчастіше обмежений.



ЛЕП – лінія електропередач; ЛЗТ – лінії залізничного транспорту

Рис. 2.50. Класифікація джерел впливів

Взаємні впливи діють уздовж всієї лінії протягом усього часу, на малій відстані, спектри цих впливів повністю співпадають із спектром сигналу, що передається в лінії.

2.2.6. Взаємні впливи в лініях зв'язку

При аналізі взаємних впливів одна лінія вважається активною (що створює вплив), тобто до неї підключено генератор, інша — пасивною (на неї діє вплив). Лінії мають на кінцях узгоджені навантаження (рис. 2.51).

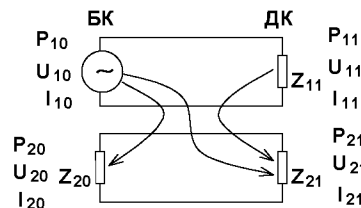


Рис. 2.51. До визначення взаємних впливів

Основні визначення теорії взаємних впливів. Кінець лінії, до якого підключено генератор, називається ближнім кінцем (БК), а протилежний — дальнім кінцем (ДК). На ближньому кінці активної лінії діють потужність P_{10} , напруга U_{10} та струм I_{10} , на дальньому — P_{11} , U_{11} , I_{11} . На пасивну лінію діє електромагнітне поле активної лінії, внаслідок чого в ній виникають: на ближньому кінці P_{20} , U_{20} , I_{20} та на дальньому кінці P_{21} , U_{21} , I_{21} , (Z_{11} , Z_{20} , Z_{21} — опори навантаження).

Взаємні впливи визначаються вторинними параметрами: перехідним загасанням на ближньому кінці A_0 , перехідним загасанням на дальньому кінці A_1 , захищеністю A_3 , які для узгодженої на кінцях лінії дорівнюють

$$A_0 = 10 \lg (P_{10}/P_{20}); \quad A_1 = 10 \lg (P_{10}/P_{21});$$

$$A_3 = 10 \lg (P_{11}/P_{21}); \quad A_1 = A_3 + \square l.$$

При виготовленні кабелів конструктивна однорідність та просторова симетрія практично недосяжні, це викликає появу омичної асиметрії, відхилення робочих ємностей від номінальних, асиметрію ємностей «жила–оболонка». Наявність цих факторів призводить до появи електричних та магнітних зв'язків, які відображуються еквівалентними схемами мостів зв'язків у кабельній четвірці (рис. 2.52). Лінія 1–2 є активною (на рисунку 2.52 генератор не вказаний), а лінія 3–4 — пасивною.

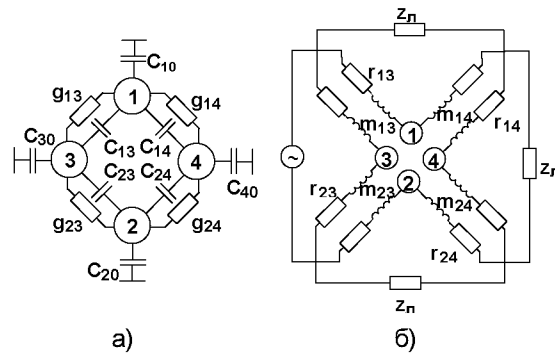


Рис. 2.52. Еквівалентні схеми мостів зв'язків: а) електричного; б) магнітного

Ємнісний зв'язок між парами у четвірці викликає взаємні впливи у вигляді перехідних розмов. Ці зв'язки у четвірці визначаються за формулами:

$$k_1 = (C_{13} + C_{24}) - (C_{14} + C_{23}) \text{ — зв'язок між основними колами;}$$

$$k_2 = (C_{13} + C_{14}) - (C_{23} + C_{24}) \text{ — зв'язок між першим основним та штучним колами;}$$

$$k_3 = (C_{13} + C_{23}) - (C_{14} + C_{24}) \text{ — зв'язок між другим основним та штучним колами.}$$

Асиметрія ємностей відносно землі (оболонки) викликає вплив від зовнішніх джерел (ЛЕП, радіостанції та ін.):

$$e_1 = C_{10} - C_{20} \text{ — асиметрія у першому колі;}$$

$$e_2 = C_{30} - C_{40} \text{ — асиметрія у другому колі;}$$

$$e_3 = (C_{10} + C_{20}) - (C_{30} + C_{40}) \text{ — асиметрія у штучному колі.}$$

Ємнісний зв'язок та асиметрія — погонні параметри, мають розмірність Ф/км.

Штучна (або фантомна) лінія створюється за схемою (рис. 2.53), це дозволяє чотирьома проводами здійснити зв'язок трьох абонентів. Така схема використовується для організації службового зв'язку.

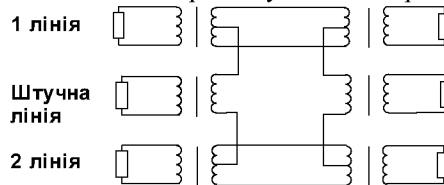


Рис. 2.53. Схема штучної лінії

Відхилення робочої ємності (C_{12} та C_{34} на рисунку 2.52, а не вказані) від середнього значення викликає відбиті хвилі, які впливають на вхідний опір лінії та збільшують взаємні впливи.

Взаємні впливи залежать від частоти сигналу, довжини лінії. На ближньому кінці взаємні впливи більші, ніж на дальньому. Струми завад на дальньому кінці не залежать від довжини лінії. Характер струмів завад з різних ділянок лінії наведено на рисунку 2.54.

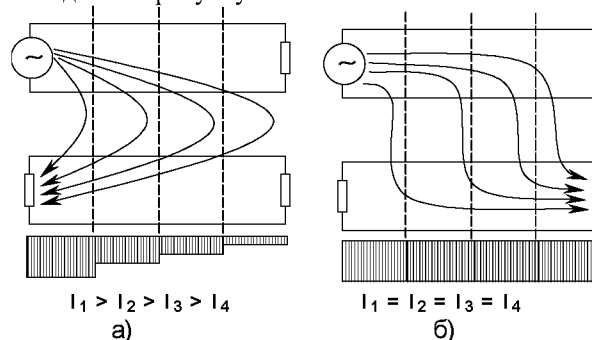


Рис. 2.54. Характер струмів завад різних ділянок лінії: а) на ближньому кінці; б) на дальньому кінці

На рисунку 2.55 наведено залежності перехідних впливів від довжини лінії та частоти. Взаємні впливи на ближньому кінці спочатку зменшуються, а потім стабілізуються, бо струми перешкод з віддалених ділянок лінії загасають та діє власне загасання лінії. Із зростанням частоти в лінії зростає випромінювання електромагнітної енергії, що веде до зростання електромагнітних зв'язків, а отже і впливів.

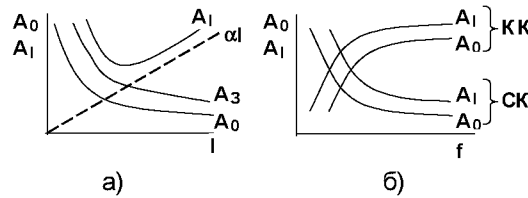


Рис. 2.55. Залежність параметрів взаємних впливів: а) від довжини лінії; б) від частоти

У коаксіальних кабелях із зростанням частоти підвищується ефект самоекранування, електромагнітна енергія за межі зовнішнього провідника не проникає, взаємні впливи зменшуються. Тому коаксіальні кабелі використовуються на високих частотах.

2.2.7. Захист кіл та трактів ліній зв'язку від взаємних впливів

Для зменшення взаємних впливів кіл та трактів ліній застосовують ряд заходів.

1. Використання систем передачі та направляючих систем, що забезпечують малі взаємні впливи: цифрових систем передачі, коаксіальних кабелів; підвищення однорідності ліній.
2. Скручування в елементарних групах та груп між собою на стадії виробництва кабелів та їх екранування.
3. Симетрування кабелів зв'язку — комплекс заходів, що здійснюється у процесі будівництва чи реконструкції лінії. Розрізняють симетрування схрещуванням та концентроване.

Схрещування у кабелях. Принцип схрещування полягає в тому, що струми завод з однієї ділянки лінії компенсуються струмами завод з другої ділянки лінії (рис. 2.56).

Проводи у кабельній четвірці при схрещуванні можна з'єднати за різними схемами, кожній схемі відповідає своє позначення — оператор схрещування (табл. 2.14). Оператор містить три позиції. Знак першої позиції вказує з'єднання жил першої пари, другої — з'єднання жил другої пари, третьої — з'єднання у штучній лінії.

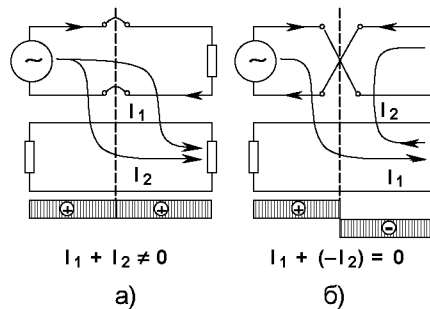


Рис. 2.56. З'єднання двох ділянок кабелю зі зв'язками однакових знаків: а) без схрещування; б) зі схрещуванням

Таблиця 2.14. Схеми та оператори схрещування

Концентроване (конденсаторне) симетрування. Після схрещування залишаються залишкові зв'язки, які компенсуються включенням конденсаторів, таким чином, щоб $k_1 = k_2 = k_3 = 0$.

2.2.8. Зовнішні впливи на лінії зв'язку

Вплив атмосферної електрики. При потужних грозових розрядах, напруга яких сягає кількох мільйонів вольт, струми блискавки, які попадають у кабель, руйнують його оболонку. Пошкодження виникають як при прямому попаданні блискавки у кабель, так і в разі її попадання в землю, дерева, опори ліній електропередачі та ліній зв'язку, що знаходяться на відстані до 15–20 м поблизу кабелю. При попаданні блискавки в землю на деякій відстані від кабелю виникає електрична дуга в напрямку до кабелю. В цьому разі виникають такі пошкодження: пробій ізоляції між жилами, а також між жилами та оболонкою кабелю; розплавлення, обрив або коротке замикання жил; розплавлення свинцевої оболонки, пошкодження броні, пошкодження зовнішнього покриття.

Вплив ліній електропередачі. Впливи, які чинять ЛЕП, поділяються на електричні, магнітні та гальванічні. Електричні впливи виникають внаслідок дії ЛЕП, що створюють потужні електричні поля. Такі ЛЕП діють на повітряні лінії зв'язку, на кабельні лінії вони діють менше, бо електричне поле значно загасає

в ґрунті. Магнітні впливи створюють лінії з великими струмами (це лінії електрифікованого залізничного транспорту), які утворюють потужні магнітні поля. На лінії зв'язку діють як лінії змінного, так і постійного струму, перші впливають на частоті 50 Гц та на вищих гармоніках, які співпадають зі смугою КТЧ; другі — за наявності пульсацій, які виникають внаслідок випрямлення струму. Гармонічні складові цих пульсацій діють у діапазоні до 30 кГц.

Гальванічний вплив створюють лінії, які використовують землю як один із проводів (електрифіковані залізниці, трамвайні колії). Гальванічний вплив виникає також на лініях зв'язку, де дистанційне живлення здійснюється за схемою «провід–земля». Ці лінії створюють блукаючі струми, які протікають по землі, і є причиною корозії металевих кабельних оболонок.

2.2.9. Будівництво лінійних споруд зв'язку

Вибір траси кабельної лінії зв'язку. При проектуванні траси кабельної ЛЗ аналізується кілька альтернативних варіантів, які порівнюються між собою за такими показниками: протяжність ЛЗ; кількість населених пунктів, які будуть охоплені зв'язком; кількість природних (річки, болота, озера та інші) та штучних (авто- та залізничні шляхи) перешкоди. На основі аналізу цих показників обирається компромісний варіант. Траса ЛЗ повинна проходити вздовж автошляхів різного значення (державних, місцевих), підсилювальні та регенераційні пункти, що обслуговуються, розташовуються у населених пунктах, де є гарантоване електричне живлення. Іноді допускається спрямлення траси на кілька кілометрів, щоб скоротити її довжину.

Підготовка кабелю до роботи. Перед початком монтажних робіт керівники робіт та безпосередні виконавці повинні вивчити необхідну технічну документацію. При прийманні кабелю до монтажу перевіряються: герметичність оболонки, достатність запасу кінців кабелів для їх монтажу, правильність розміщення кабелю в траншеях, глибина закладання кабелів в котлованах, додержання вимог щодо групування будівельних довжин, опір ізоляції у колах «оболонка–броня» та «броня–земля» в кабелях зі шланговими покриттями. Глибина прокладання кабелю у ґрунті становить 0,8...1,2 м. При будівництві лінії споруджуються кабельні майданчики. Кабельні майданчики призначені для розміщення кабелів уздовж траси, будівельного обладнання, контрольно-вимірювальної апаратури, вони розміщуються по можливості ближче до траси, через 15...20 км.

При будівництві волоконно-оптичних ліній зв'язку передбачається 100 %-ий вхідний контроль кабелів на кабельному майданчику, барабани з ОК не повинні мати механічних пошкоджень.

Підготовка котлованів. Для виконання робіт з монтажу підземного кабелю та для укладення змонтованої кабельної муфти копається котлован, розміри та форма якого залежать від умов виконання робіт, типу та кількості кабелів.

Прокладання підземних кабелів. Безпосередньо перед монтажем кабелю вимірюється опір ізоляції шлангових покриттів та надлишковий тиск в довжинах кабелю, що зрощуються. На дні котловану кабелі викладаються так, щоб кінці накладались один на інший. Радіуси згинів кабелів не повинні перевищувати 15-кратного діаметра їх оболонок. Кабелі з'єднуються у кабельних муфтах, вони виконані з того ж матеріалу, що й зовнішня оболонка кабелю.

Прокладання підземних кабелів здійснюється двома способами: 1) спеціальними кабелеукладачами, коли практично одночасно здійснюється підготовка траншеї, розмотування та прокладання кабелю; 2) вручну, в попередньо підготовлену траншею. Прокладання кабелю в траншею здійснюється з барабанів, які встановлюються на автомашини.

При прокладанні ОК не допускаються його перегини, обмежується мінімальний радіус згину кабелю. Розмотування кабелю здійснюється за допомогою механізмів, динамометром контролюється зусилля тяжіння. Швидкість руху машини, з якої укладається кабель, не повинна перевищувати 1 км/год. Не допускається розмотування кабелю його тяжінням, без обертання барабана.

Прокладання кабелів через шосейні та залізничні шляхи. Щоб не припинити рух транспорту під час будівництва кабельної лінії, на перетині траси з шосейними та залізничними шляхами кабелі укладаються в попередньо закладені під проїздом частиною азбоцементні або пластмасові труби. Прокладання труб здійснюється способом горизонтального буріння ґрунту, буріння здійснюється гідравлічним буром, азбоцементні труби для підвищення їхньої гідроізоляції покриваються гарячим бітумом. Для буріння ґрунту по обидві сторони шляху, під яким прокладається кабель рийється котлован.

Прокладання кабелів через водні перешкоди. Звичайно траса лінії зв'язку проходить уздовж автошляхів, в цьому разі кабель прокладається вздовж пішохідної частини мосту. Якщо кабель прокладається безпосередньо через річку, повинні виконуватися такі умови:

- кабельний перехід розташовується на прямолінійних ділянках річки з нерозмивним руслом, пологими, що не руйнуються берегами, мінімальною шириною заплави;
- перехід через суднохідні та сплавні ріки розташовується нижче за течією від мостів.

Прокладання через водні перешкоди оптичних кабелів має деякі особливості. Оптичні кабелі мають досить низьку плавучість, тому вони прокладаються у трубопроводі, заглибленому в дно водоймища. При

прокладанні магістральних оптичних каналів первинної мережі здійснюється резервування кабельного переходу прокладанням двох кабелів на відстані не менше 300 м один від одного. В основному та резервному кабелях підключається по 50 % волоконних світловодів. Якщо ухил берега перевищує 30°, оптичний кабель укладається зигзагоподібно з відхиленням від осі прокладання на 1,5 м, довжина ділянки прокладання повинна бути не меншою 5 м.

Кабельна каналізація. При будівництві кабелів в містах голі (неброньовані) кабелі прокладають в спеціальній кабельній каналізації, що містить трубопроводи та оглядові кабельні колодязі (рис. 2.57).

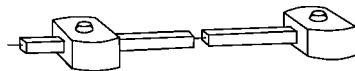


Рис. 2.57. Кабельна каналізація

Кабельна каналізація забезпечує можливість додаткового прокладання необхідної кількості кабелів без пошкодження вуличних покриттів. Кількість каналів у трубопроводі передбачається з урахуванням розвитку телефонної мережі. Кожний канал каналізації використовується для прокладання одного або двох–трьох кабелів залежно від їх діаметрів. Оптичні кабелі прокладаються в окремих каналах. Трубопровід кабельної каналізації закладається на глибині 0,4–0,7 м, під трамвайними коліями — 1,1 м. Відстань між колодязями складає 125–150 м. Для кабельних трубопроводів застосовують азбоцементні або пластмасові труби.

На рисунку 2.58 наведено вигляд блока з азбоцементних труб, а на рисунку 2.59 наведено вигляд колодязя та розміщення кабелів у колодязі.

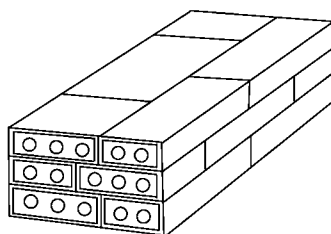


Рис. 2.58. Блок труб кабельної каналізації

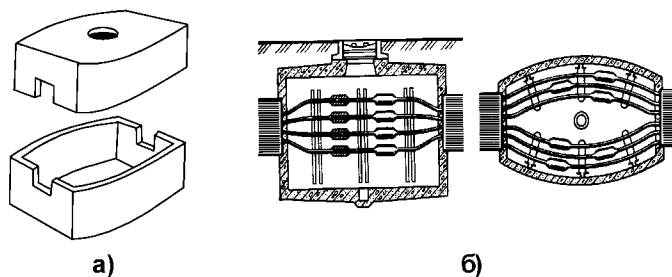


Рис. 2.59. Збірний колодязь (а) та розміщення (б) кабелів у колодязі

На вхідний отвір колодязя встановлюється круглий чавунний люк з двома кришками — зовнішньою та внутрішньою. Для укладання кабелів у середині колодязя розміщуються кронштейни з консолями.

Перед прокладанням кабелів у каналізації проводяться підготовчі роботи: кабельні колодязі очищуються від води, вентилуються, канали підготовлюються до прокладання кабелів.

В процесі прокладання кабелів у колодязі викладаються петлі, що створюють експлуатаційний запас, необхідний у разі проведення ремонтних робіт. Цей запас залежить від типу кабелів та складає кілька метрів.

У вільні канали кабелі затягуються за допомогою сталевих тросів діаметром 5–6 мм. Для з'єднання кабелю з тросом на його кінець надівається сталева панчоха, при протягуванні панчоха зменшується у діаметрі та щільно охоплює кабель (рис. 2.60).



Рис. 2.60. Кінцева панчоха для протягування кабелів

Кабель може протягуватися за допомогою лебідки або вручну (рис. 2.61). Для зменшення тертя між стінками каналу та кабелем кабель перед прокладанням змащується технічним вазеліном.

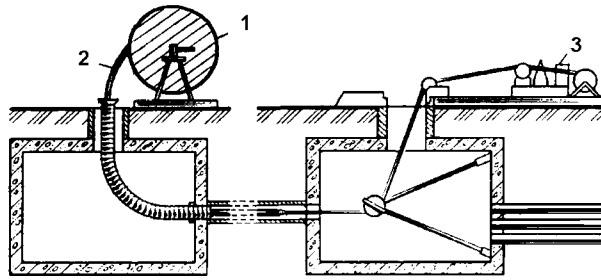


Рис. 2.61. Схема протягування кабелю в каналізації

2.2.10. Утримання кабелів зв'язку під надмірним тиском

Утримання кабелів зв'язку під надмірним тиском є найефективнішим засобом підвищення надійності кабельних ліній, це дозволяє систематично контролювати стан кабельних оболонок, визначити місце їх пошкодження, запобігати проникненню вологи в кабель. Для утримання міжміських кабелів під тиском лінія поділяється на секції герметичності, довжина яких визначається типом кабелю. Герметичність кінців секцій забезпечується газонепроникними муфтами, які встановлюються в підсилювальних пунктах. Надмірний тиск в кабелі підтримується автоматичним підкачуванням газу, для чого використовуються спеціальні установки. Оптичні кабелі та кабелі МТМ малої ємності (до 100 пар) під надмірним тиском не утримуються, їх герметизація забезпечується тим, що серцевина кабелів заповнюється гідрофобною речовиною.

Питання та завдання для самоконтролю

1. Дайте визначення направляючої системи.
2. Які види інформації передаються по НС? Назвіть галузь застосування повітряних ліній зв'язку, коаксіальних кабелів, хвилеводів.
3. Поясніть суть поверхневого ефекту. Як цей ефект впливає на параметри кабелю?
4. Назвіть первинні та вторинні параметри передачі кабелів. Наведіть залежність первинних та вторинних параметрів передачі від частоти.
5. Поясніть зміст хвильового опору.
6. Поясніть зміст загасання.
7. Поясніть переваги та недоліки оптичних кабелів.
8. Поясніть принцип дії волоконних світловодів.
9. Дайте визначення апертурного кута.
10. Наведіть визначення одномодового та багатомодового ВС.
11. Дайте визначення дисперсії, назвіть складові дисперсії. Як впливає дисперсія на передачу сигналів?
13. Наведіть основні конструктивні елементи кабелів зв'язку, скручень у кабелях зв'язку.
14. Дайте визначення поняття «вікно прозорості» ВС.
15. Які лінії звуться однорідними, неоднорідними? Яким параметрами визначаються неоднорідні лінії?
16. В чому полягає суть електромагнітних впливів у лініях зв'язку?
17. Назвіть параметри взаємних впливів у лініях зв'язку.
18. В чому особливість взаємних впливів у коаксіальних кабелях?
19. Наведіть приклад схеми штучної лінії.
20. Поясніть суть схрещування у кабелях зв'язку.
21. Назвіть міри захисту трактів і кіл від взаємних впливів.
22. Що називається телефонною каналізацією?

Задача 1. Виберіть тип НС для одночасової передачі таких видів інформації: 1000 КТЧ, 1 канал телебачення, 2 канали радіомовлення.

Розв'язання: визначимо еквівалентну загальну кількість КТЧ (табл. 2.1) та необхідну смугу частот.

$$N_{\text{КТЧ}} = 1000 + 1 \cdot 1500 + 2 \cdot 5 = 2510 \text{ КТЧ}$$

$$\square F = 2510 \cdot 4 = 10040 \text{ кГц.}$$

Для передачі цих видів інформації необхідний коаксіальний кабель.

Задача 2. Визначте радіус одномодового ВС у другому вікні прозорості, якщо $n_1 = 1,44$; $n_2 = 1,410$.

Розв'язання: ВС буде одномодовим, якщо виконується умова

$$\frac{2\pi \cdot a \sqrt{n_1^2 - n_2^2}}{\lambda} < 2,405;$$

$$\text{отже } 2a < \frac{2,405\lambda}{2\pi\sqrt{n_1^2 - n_2^2}} \leq \frac{2,405 \cdot 1,30}{2\pi\sqrt{1,414^2 - 1,410^2}} \approx 1,7$$

Задача 3. Визначте опір коаксіальної R_2 пари на частоті 16 МГц, якщо на частоті 4 МГц R_1 дорівнює 70 Ом/км.

Розв'язання: опір коаксіальної пари пропорційний , тому

$$R_2 = R_1 \sqrt{\frac{F_2}{F_1}} = 70 \sqrt{\frac{16}{4}} = 140 \text{ Ом.}$$

Задача 4. Виберіть тип НС для передачі одночасно таких видів інформації: 10000 телефонних каналів, 2 каналів телебачення, 100 каналів високошвидкісної передачі даних.

Задача 5. Визначте апертурний кут одномодового ВС у другому та третьому вікнах прозорості.

Задача 6. Визначте опір коаксіальної пари з мідними провідниками на частоті 15 МГц, якщо $d/D = 2,6/9/4$.