

3.4. Волоконно-оптичні системи передачі

3.4.1. Загальні відомості про волоконно-оптичні системи передачі

Волоконно-оптична система передачі (ВОСП) — сукупність активних та пасивних пристроїв для передачі інформації на відстань оптичними волокнами за допомогою оптичних сигналів. Оптичним сигналом є модульоване випромінювання джерела (лазера або світлодіода), що передається по ВС як сукупність оптичних мод.

Інформація, що передається по ВС, як правило цифрова. Головний недолік ЦСП у порівнянні з АСП: необхідність застосування ширококутових направляючих систем стає в цифрових ВОСП несуттєвою, бо загасання ОК не залежить від частоти модулюючого сигналу.

Побудова ВОСП аналогічна побудові будь-якої провідної багатоканальної системи передачі, в складі якої є кінцеві та проміжні станції, з'єднані безперервною направляючою системою (рис. 3.25).



Рис. 3.25. Узагальнена структурна схема ВОСП

ВОСП містить типову кінцеву апаратуру ЦСП 1; комплект обладнання лінійного тракту оптичного (КОЛТ–О) 2, пристрій з'єднання станційних та лінійних кабелів (ПЗСЛК) 3; оптичний кабель 4; приймальний оптоелектронний модуль (ПОМ) 5; електронний регенератор 6; передавальний оптоелектронний модуль (ПрОМ) 7.

На передавальній кінцевій станції А первинні сигнали ТЧ надходять до типової апаратури, далі груповий сигнал подається до КОЛТ–О, де електронний сигнал кодується та перетворюється на форму, необхідну для передачі по волоконно-оптичному тракту, тобто формується лінійний оптичний сигнал.

При розповсюдженні вздовж кабелю оптичний сигнал загасає та внаслідок дисперсії спотворюється, тому для збільшення дальності зв'язку вздовж лінії встановлюються регенератори. На проміжній станції оптичний сигнал спочатку в ПрОМ перетворюється на електричний, відновлюється у регенераторі, надалі в ПОМ перетворюється знову на оптичний і далі надходить до ОК.

На приймальній кінцевій станції Б здійснюється перетворення оптичного сигналу на електричний, його регенерація, підсилення, відновлення до вигляду первинного сигналу — на прикінцевій станції А.

Для одного напрямку кожної ВОСП виділяється одне ОВ, що є еквівалентом двопровідної лінії. Таким чином, ВОСП аналогічна двонаправленій однокутовій чотирипровідній системі з металевим кабелем: один ВС задіяний для передачі в напрямку А–В, другий — в напрямку В–А. Взаємні впливи між окремими ВС у багатоволоконному ОК відсутні, тракти передачі та прийому як однієї, так і кількох ВОСП організуються одним ОК, отже ВОСП є однокабельними системами.

3.4.2. Пасивні елементи трактів ВОСП

Пасивні оптичні компоненти поєднують ті пристрої, які необхідні для передачі оптичного сигналу по волоконно-оптичному кабелю від передавального оптичного пристрою до приймального. До цих компонентів відносять: пристрої введення випромінювання, оптичні з'єднувачі, оптичні шнури, атенюатори, розгалужувачі, пристрої систем спектрального ущільнення.

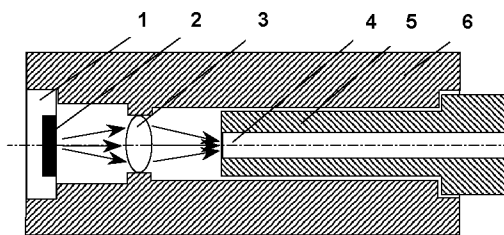
Пристрої введення випромінювання. Ці пристрої призначені для зменшення втрат при введенні випромінювання в ОК. У загальному випадку поверхня, з якої світло випромінювача перевищує поверхню осердя ВС (особливо одномодового), тому, щоб ефективно ввести світло у ВС, застосовують пристрої введення випромінювання. Ефективність введення випромінювання визначається:

$$\eta = \frac{P_{вс}}{P_{вп}}$$

де $P_{вс}$ — потужність, що введена у світловод;

$P_{вп}$ — потужність випромінювача.

Втрати введення визначаються як $\square = 10\lg(1/\eta)$. Ці втрати без спеціальних пристроїв можуть перевищувати 20 дБ, наявність пристроїв введення дозволяє зменшити їх до 2–4 дБ. Найчастіше для пристроїв введення потужності використовуються оптичні лінзи, які разом з випромінювачем монтується в корпусі передавального оптичного модуля. Типовий пристрій введення випромінювання зображений на рис. 3.26.



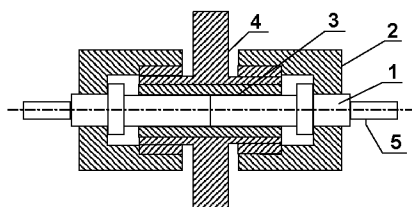
1 – держак випромінювача; 2 – випромінююча поверхня;
3 – фокусуюча лінза; 4 – ВС; 5 – наконечник ВС; 6 – корпус

Рис. 3.26 Пристрій введення випромінювання

Оптичні з'єднувачі. Оптичні з'єднувачі поділяються на роз'ємні та нероз'ємні. Роз'ємні пристрої призначені для швидкого та надійного багаторазового з'єднання різних компонентів волоконно-оптичної лінії та роз'єднання.

До роз'ємних з'єднувачів (РЗ) ставляться такі вимоги: малі втрати, що вносяться, стійкість до зовнішніх впливів, висока надійність, простота конструкції, незначне погіршення характеристик після багаторазових з'єднань.

Конструкція роз'ємного з'єднувача містить три елементи — дві вилок (армовані ВС з накидними гайками) та перехідну розетку (рис. 3.27).



1 – наконечник ВС; 2 – накидна гайка;
3 – втулка; 4 – розетка; 5 – ВС

Рис. 3.27. Роз'ємний з'єднувач

Головним елементом роз'ємного з'єднувача є наконечник 1 — оптичне волокно, армоване надтвердим металом. Торець наконечника має отвір, в який вмонтовується кварцове віконце, до якого безпосередньо підходить волоконний світловод.

При з'єднанні волоконних світловодів виникають додаткові втрати, що поділяються на зовнішні та внутрішні. Зовнішні викликані недосконалістю конструкції роз'ємного з'єднувача, внаслідок чого виникають порушення взаємного розташування торців волоконних світловодів (рис. 3.28).

Внаслідок радіального зміщення (рис. 3.28, а) торці осердь ВС перекриваються не повністю, частина випромінювання з одного ВС не надходить до другого. Внаслідок осьового зміщення виникає деяке загасання світла в зазорі та френелівські втрати (рис. 3.28, б, в). Френелівські втрати виникають внаслідок відбиття світла від межі розподілу n_1/n_0 та n_0/n_1 . При кутовому зміщенні (рис. 3.28, г) випромінювання з одного ВС не потрапляє у другий ВС.

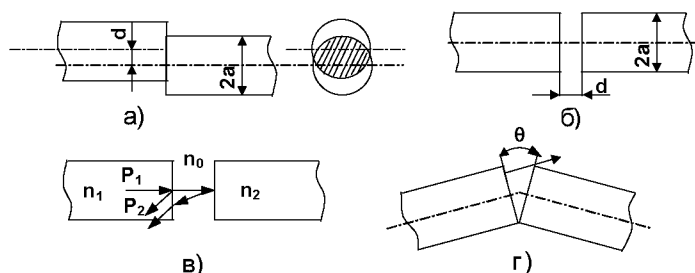


Рис. 3.28. Джерела зовнішніх втрат: а) радіальне зміщення; б) осьове зміщення; в) френелівські втрати; г) кутове зміщення

Зовнішні втрати викликаються також неякісною обробкою торців ВС (шорсткість та забруднення, неякісний злам торців ВС).

Внутрішні втрати виникають внаслідок варіації діаметрів осердь ВС, їх еліптичності, несоосності осердя та оболонки, а також відхилення коефіцієнтів заломлення від номіналів, що викликає різницю між апертурними кутами ОВ, що з'єднуються. Загальні втрати енергії у РЗ не перевищують 1–2 дБ. Зовнішній вигляд РЗ наведено на рис. 3.29.

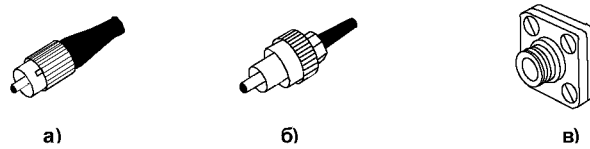


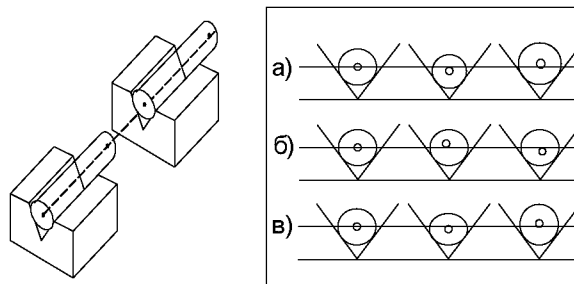
Рис. 3.29. Зовнішній вигляд оптичних з'єднувачів: а, б) вилючні частини різних стандартів; в) розетка

Для з'єднання оптоелектронних блоків застосовуються оптичні шнури. Оптичний шнур — це одноволоконний кабель довжиною до 5 м, має на кінцях з'єднувачі, призначений для з'єднання різних активних мережних або лінійних пристроїв (рис. 3.30).



Рис. 3.30. Приклади одноволоконних оптичних шнурів з різними з'єднувачами

Нероз'ємні з'єднання ВС виконуються зварними. Перед зварюванням ВС повинні бути точно відцентровані, зварювання здійснюється дуговим електричним розрядом. На якість з'єднання впливає відхилення конструктивних параметрів ОК від номіналів (рис. 3.31). В усіх випадках ці відхилення викликають осьове зміщення осердя ВС.



а) відхилення діаметрів оболонок ВС від номінальних;
б) неконцентричність осердя та оболонки;
в) некруглість оболонки

Рис. 3.31. Вплив геометрії волокна на якість з'єднання

При зварюванні ОВ центруються з використанням V-пазів або автоматично. При автоматичному центруванні втрати знаходяться у межах 0,05–0,1 дБ як для одномодових, так і для багатомодових ОВ.

3.4.3. Джерела оптичного випромінювання

Джерела оптичного випромінювання є базовими елементами ВОСП, вони перетворюють електричні сигнали (цифрові, аналогові) на адекватний оптичний сигнал. Джерела випромінювання повинні відповідати таким вимогам:

- довжина хвилі випромінювання повинна відповідати одному з вікон прозорості ВС;
- достатня оптична потужність;
- висока швидкодія;
- параметри випромінювача повинні мати високу стабільність при зміні температури оточуючого середовища;
- зміни параметрів випромінювача у процесі експлуатації не повинні перевищувати допустимих значень;
- конструкція випромінювача повинна забезпечувати ефективне введення оптичного випромінювання у ВС;
- можливість інтеграції з іншими компонентами ВОСП, низька вартість.

Цим вимогам відповідають напівпровідникові випромінювачі — світловипромінюючі діоди (СД) та лазерні діоди (ЛД). Їх характеристики та параметри:

- ват-амперна характеристика (ВтАХ) — залежність оптичної потужності від струму накачування;
- спектральна характеристика — залежність оптичної потужності від довжини оптичної хвилі;
- діаграма спрямованості — залежність яскравості від напрямку випромінювання;
- □_{max} — максимум спектрального розподілу, нм;
- □□ — ширина спектра випромінювання, за рівнем половинної потужності, нм;
- □□ — ширина діаграми спрямованості за рівнем половинної потужності, град;

- I_p — пороговий струм — струм, з якого починається генерація оптичної потужності, мА;
- P — потужність випромінювача, мВт;
- F_{max} — верхня гранична частота модуляції випромінювача, Гц.

Принцип дії випромінювачів оснований на рекомбінації носіїв зарядів у напівпровіднику при протіканні через нього струму, внаслідок чого виникає випромінювання (рис. 3.32). У напівпровідникових випромінювачах форма вихідних оптичних сигналів з великою точністю відповідає формі струму накачування, тобто формі вхідних сигналів. Таким чином здійснюється пряма модуляція оптичного випромінювання.

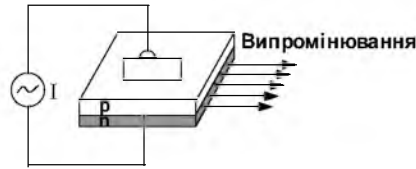


Рис. 3.32. Схема напівпровідникового випромінювача

ЛД відрізняється від СД тим, що напівпровідниковий кристал є резонатором, в якому накопичується електрична енергія. Резонатор ЛД утворюється торцевими поверхнями напівпровідникового кристала (рис. 3.33). Одна з поверхонь відбиває світло, з коефіцієнтом відбиття близьким до 1, друга напівпрозора, таким чином, накопичена енергія випромінюється назовні. Потужність ЛД завдяки накопичуванню енергії вища, ніж СД. Конструктивні відмінності СД та ЛД обумовлюють відмінності їх характеристик (рис. 3.34).



Рис. 3.33. Схема лазерного діода

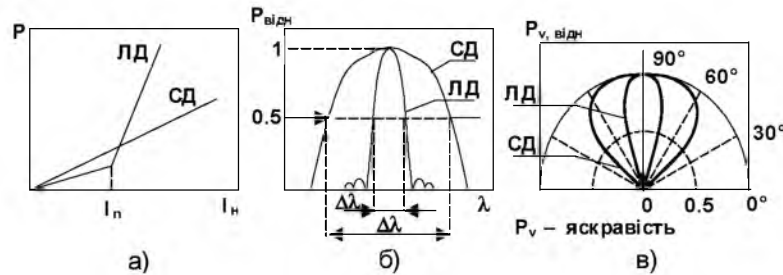


Рис. 3.34. Характеристики випромінювачів: а) ват-амперні; б) спектральні; в) діаграми спрямованості

Ват-амперна характеристика ЛД суттєво нелінійна (рис. 3.34, а), отже лазерні діоди не можуть використовуватись в аналогових системах, в цих системах використовуються СД. ЛД має вузьку ширину спектра випромінювання (рис. 3.34, б), це суттєва перевага порівняно з СД, тому що ширина спектра випромінювання визначає хроматичну дисперсію у ВС. ЛД менш інерційний, має значно вищу, ніж СД, граничну частоту модуляції та більшу потужність випромінювання.

В таблиці 3.2 наведено параметри випромінювачів.

Таблиця 3.2. Параметри випромінювачів

Примітка: ЛД-РЗЗ лазер з розподіленим зворотним зв'язком

У передавальних оптичних пристроях лазери обов'язково вміщуються у мікрохолодильник, що запобігає їх температурній деградації. Завдяки сучасним технологіям створено ЛД, що мають великий термін експлуатації — до 50000 годин.

3.4.4. Детектори оптичного випромінювання

Детектори оптичного випромінювання вирішують протилежне порівняно з випромінювачами завдання — вони перетворюють оптичні сигнали на ідентичні електричні. Фотоелектричне перетворення дозволяє здійснювати подальшу обробку інформації будь-якими засобами на основі електронних схем. Фотодетектор має оптичний вхід (керуюче коло) та електричний вихід (сигнальне коло). Параметри фотодетекторів повинні бути узгоджені з параметрами випромінювача та оптичного кабелю, а також з параметрами електричних кіл оптичного приймального пристрою.

До фотодетекторів ставляться такі вимоги:

- максимальна чутливість фотодетектора повинна співпадати з одним з вікон прозорості ВС;
- висока швидкодія;
- низький рівень власних шумів;
- висока надійність.

У ВОСП застосовуються напівпровідникові фотодетектори. Принцип дії напівпровідникового фотодетектора полягає в тому, що при падінні світла на $p-n$ перехід в останньому генерується фотострум (рис. 3.35). Напівпровідникова структура на основі $p-n$ переходу називається фотодіодною, а сам прилад — фотодіодом (ФД). На основі цієї структури створені інші фотоприймальні прилади: лавинні ФД, $p-i-n$ ФД, фототранзистори.

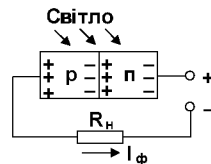


Рис. 3.35. Структура та ввімкнення ФД

Діапазони оптичних хвиль, в яких ефективність ФД найбільша, залежать від матеріалу напівпровідника.

Технічні характеристики ФД. Параметрами ФД є: струмова чутливість або струмовий відгук (S_r , А/Вт), квантова ефективність (\square), темновий струм (I_T , А), час спаду та наростання імпульсу фотоструму (\square_c , \square_n), максимально припустима зворотна напруга (U , В).

Струмова чутливість визначається як відношення фотоструму, що протікає через навантаження ФД, до оптичної потужності, що падає на світлочутливу поверхню ФД $S_r = I/P$. Квантова ефективність h визначається як $\square = N_e/N_\phi$, де N_ϕ — кількість фотонів, що падають на ФД, N_e — кількість електронів, які виникли в $p-n$ переході за одиницю часу. Цей параметр не може перевищувати 1, отже він характеризує ефективність перетворення «світло—струм».

Темновий струм протікає через ФД при відсутності оптичного сигналу та викликає шуми у приймальних пристроях. Цей струм залежить від матеріалу ФД, температури оточуючого середовища.

Час наростання (спаду) імпульсів — важливі параметри ФД, рисунок 3.36 пояснює їх суть. Ці параметри визначають інерційність ФД, яка призводить до спотворення імпульсів та до міжсимвольної інтерференції при передаванні імпульсних послідовностей. Вони визначають смугу пропускання оптичного приймального пристрою ВОСП, а отже і швидкість передачі. Ці параметри залежать від конструкції та матеріалу ФД. У таблиці 3.3 наведені типові характеристики фотоприймачів.

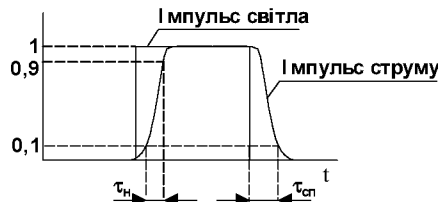


Рис. 3.36. Визначення часу наростання та спаду імпульсу

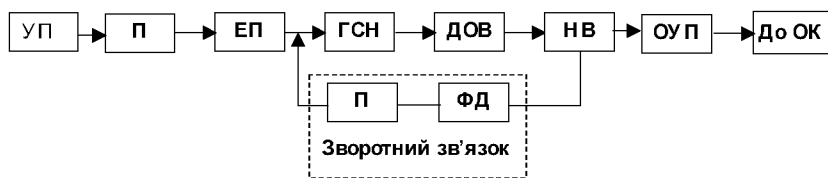
Таблиця 3.3. Типові характеристики фотоприймачів

У ВОСП використовуються також лавинні фотодіоди (ЛФД) — це прилади з внутрішнім підсиленням, їх чутливість підсилюється у M разів (M — коефіцієнт лавинного множення), але в стільки ж разів підвищуються шуми. В сучасних ЛФД коефіцієнт M дорівнює 50–200.

3.4.5. Оптичні передавальні пристрої

Оптичний передавальний пристрій (ОПерП) містить випромінювач та електронні кола, що здійснюють модуляцію оптичного випромінювання. Модуляція світла полягає у зміні потужності оптичного випромінювання згідно з вхідним електричним сигналом. За своєю суттю модуляція оптичного випромінювання є аналоговою. В ОПерП модуляція здійснюється в процесі генерації світла зміною струму накачування.

Всі ОПерП мають схеми підсилення та перетворення вхідних сигналів, схеми стабілізації режимів роботи компонентів ОПерП та стабілізації вихідної оптичної потужності, а також пристрої введення випромінювання у ВС. Стабілізація оптичної потужності необхідна для сталої роботи ВОСП, бо потужність ЛД змінюється залежно від температури оточуючого середовища та терміну експлуатації випромінювача. Така стабілізація здійснюється введенням зворотного зв'язку за оптичною носійною. Для стабілізації оптичної потужності ЛД вміщуються у мікрохолодильники. На рисунку 3.37 наведена типова схема ОПерП.



УП – узгоджувачий пристрій; П – підсилювач; ЕП – емітерний повторювач;
 ГСН – генератор струму накачування; ДОВ – джерело оптичного випромінювання; НВ – направлений відгалужувач; ОУП – оптичний узгоджувачий пристрій

Рис. 3.37. Структурна схема ОПерП

Узгоджувальний пристрій виконує узгодження рівнів вхідного сигналу з рівнями базових мікросхем, які використовуються в цифрових ОПерП, підсилювач при необхідності підсилює сигнал, емітерний повторювач є буферним каскадом, який узгоджує електричні опори джерела електричного сигналу (джерела напруги) з вхідним опором ГСН (джерела струму). Генератор струму накачування формує необхідний для роботи випромінювача струм накачування. Оптичний узгоджувачий пристрій потрібний для введення оптичної потужності у ВС. Від'ємний зворотний зв'язок діє так: частина оптичної потужності через направлений відгалужувач (НВ) надходить до ФД, фотострум підсилюється та надходить до ГСН. У схемах з лазерними випромінювачами для зворотного зв'язку по оптичній носійній використовується випромінювання із задньої стінки лазерного резонатора, тоді воно безпосередньо надходить до ФД.

Для підвищення надійності та зниження вимог до умов експлуатації та монтажу ОПерП виконують у вигляді передавальних оптичних модулів. Вони мають стандартні швидкості передачі: 2,048; 8,448; 34,448; 139,264 Мбіт/с.

Кожний модуль укомплектований кабельною частиною оптичного з'єднувача.

3.4.6. Оптичні приймальні пристрої

Функцією оптичного приймального пристрою (ОПрП) є оптична демодуляція (перетворення оптичних імпульсів на електричні за допомогою ФД) та подальша обробка електричних сигналів: підсилення, регенерація, фільтрація та ін. У ВОСП застосовується пряме (безпосереднє) детектування оптичних сигналів із застосуванням ФД та ЛФД. Структурна схема ОПрП наведена на рисунку 3.38.

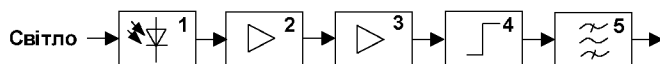


Рис. 3.38. Структурна схема ОПрП

Світлова хвиля падає безпосередньо на світлочутливу площину фотодетектора 1, де перетворюється на електричний сигнал, який підсилюється попереднім малошумовим підсилювачем 2, а далі головним підсилювачем 3, вирівнюється 4 та фільтрується 5. Попередній підсилювач виконує також функції узгоджувачого пристрою, це перетворювач типу «струм–напруга», він узгоджує власний опір генератора струму, яким є ФД, з вхідним опором наступного каскаду. Активним елементом попереднього підсилювача, як правило, є польовий транзистор.

Аналогічно до передавальних оптичних модулів, ОПрП виконуються у вигляді функціонально завершеного виробу оптоелектроніки — приймального оптичного модулю. Типовий модуль має оптичний з'єднувач або відрізок оптичного кабелю, електронні схеми підсилення та обробки електричного сигналу, а також пристрої для стабілізації режимів роботи.

3.4.7. Коди оптичних лінійних трактів

Характеристики джерел оптичного випромінювання, особливості модуляції світла, передачі по ВС, детектування зумовлюють використання спеціальних цифрових сигналів (світловодних кодів). Коди лінійних сигналів ВОСП повинні бути завадостійкими, мати обмежений спектр, забезпечувати можливе виділення тактової частоти для пристрою тактової синхронізації, можливість виправлення помилки, не мати довгих послідовностей нулів та одиниць.

Найпростішим є код без повернення до нуля на тактовому інтервалі — NRZ. Одиниця в цьому коді передається імпульсом, а нуль — паузою. Але цей код має низьку завадостійкість, неможливість виявлення помилки, довгі послідовності нулів та одиниць ускладнюють виділення тактової частоти, а також викликають коливання постійної складової. Наявність постійної складової збільшує рівень шумів. Код RZ — код з поверненням до нуля на тактовому інтервалі, одиниця передається комбінацією 10, а нуль — комбінацією 00. Повернення до нуля при передачі кожної одиниці покращує синхронізацію, але наявні довгі послідовності нулів, тому можливий зрив синхронізації.

Досить простим є код *L* (манчестерський). Це двопозиційний код, у якому символ 0 передається послідовністю 01, а символ 1 — послідовністю 10, у цьому випадку імпульсна послідовність не містить більше двох однакових символів поруч, тому легко виділяється тактова частота. Недоліком цього коду є необхідність подвоєння тактової частоти. На рисунку 3.39 наведені приклади формування світловодних кодів.

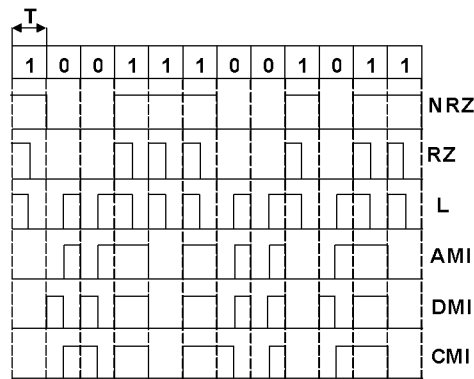


Рис. 3.39. Формування лінійних кодів

3.4.8. Цифрові ВОСП

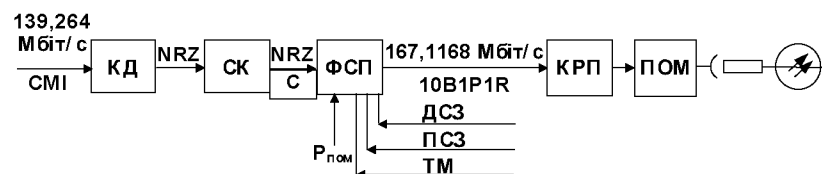
Цифрові ВОСП призначені для мереж зв'язку загального користування всіх ступенів ієрархії: магістральних, зонових, місцевих. Номенклатура цих систем досить велика, це системи виробництва різних фірм України, Росії, Німеччини і т. д. Незважаючи на досить велике розмаїття цих систем, їм притаманні загальні якості:

- системи стандартизовані згідно зі ступенями ієрархії швидкості передачі;
- загальні принципи побудови оптичного лінійного тракту;
- загальні принципи організації технічного обслуговування.

У таблиці 3.4 наведені технічні характеристики деяких ВОСП.

Таблиця 3.4. Характеристики ВОСП

Магістральна ВОСП «Сопка-4». ВОСП «Сопка-4» з одномодовим оптичним кабелем, загасання якого не перевищує 0,5 дБ/км на довжині хвилі 1,3 мкм, призначена для магістральних ліній зв'язку первинної мережі. Лінійне обладнання цієї системи складається з кінцевої, проміжної станцій та контрольно-вимірювальної апаратури. У проміжному обладнанні можливе виділення цифрових потоків або окремих каналів. Обладнання має стандартні цифрові стики. Структурна схема системи аналогічна схемі, що наведена на рисунку 3.25. На рисунку 3.40 зображена структурна схема передавальної частини комплексу обладнання лінійного тракту оптичного КОЛТ-4-0.



КД – кодер; СК – скремблер; ФСР – формувач сигналу передачі; КРП – коректор передачі; ДСЗ – дільничий службовий зв'язок; ПСЗ – постанційний службовий зв'язок; ТМ – телемеханіка

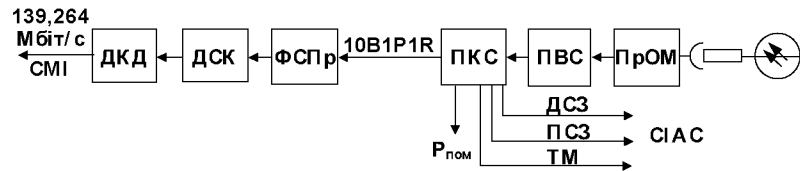
Рис. 3.40. Передавальна частина КОЛТ-4-0

На кінцевій передавальній станції А сигнал стиків у коді (СМІ) зі швидкістю 139,265 Мбіт/с надходить до кодера, де перетворюється на код NRZ без зміни швидкості. Далі сигнал скремблюється та надходить до ФСР, в якому здійснюється формування сигналу в коді 10В1Р1R. Цей сигнал крім інформаційного містить сигнали службового зв'язку та телемеханіки. У КРП відбувається корекція імпульсної послідовності, далі електричний сигнал у ПОМ перетворюється на оптичний.

На кінцевій приймальній станції Б (рис. 3.41) оптичний лінійний сигнал зі швидкістю 167,1168 надходить до ПрОМ, перетворюється на електричний, далі у ПВС імпульси регенеруються за амплітудою, тривалістю та місцезнаходженням на тактовому інтервалі. В ПКС з імпульсної послідовності виділяються сервісні сигнали. Потім у ФСР відбувається перетворення сигналу з коду 10В1Р1R на код NRZ з подальшим дескремблюванням у ДСК та декодуванням у ДКД. Сигнал зі швидкістю 139,264 Мбіт/с надходить до типової кінцевої апаратури.

Система ТМ необхідна для автоматичного контролю стану апаратури лінійних трактів з 8-ми волоконним оптичним кабелем, станом приміщень регенераційних пунктів, що не обслуговуються. Передача сигналів ТМ здійснюється без переривання зв'язку сумісно з інформаційним сигналом. В системі передбачається автономне живлення регенераційного пункту, що не обслуговується (РПН), від джерела постійного струму — радіоізотопного термоелектрогенератора. Структурна схема РПН наведена на рисунку

3.41.



ПВС – пристрій відновлення сигналів; ПКС – пристрій комутації та синхронізації; ФСПр – формувач сигналу прийому; ДСК – дескремблер; ДКД – декодер; СІАС – сигнал індикації аварійного стану

Рис. 3.41. Приймальна частина КОЛТ-4-О

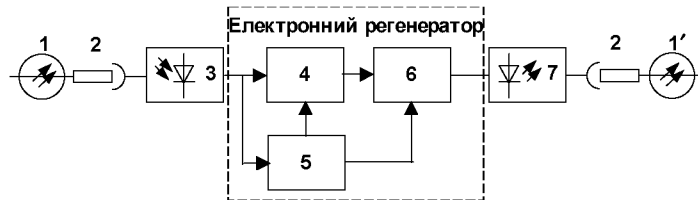


Рис. 3.42. Структурна схема регенератора (для одного напрямку передачі)

З'єднувальним кабелем 1 через оптичний з'єднувач 2 регенератор підключається до магістрального кабелю. У ПРОМ 3 оптичний сигнал перетворюється на електричний та надходить до електронного регенератора. З імпульсної послідовності у пристрої тактової синхронізації 5 виділяються синхроімпульси, у пристрої вирішування 4 приймається рішення про наявність символу «0» або «1», у пристрої формування сигналу ФС 6 імпульсна послідовність відновлюється, у ПОМ 7 вона перетворюється на послідовність оптичних імпульсів. Технічні характеристики системи «Сопка-4» наведені у таблиці 3.5.

Таблиця 3.5. Технічні дані ВОСП «Сопка-4»

Зонава ВОСП «Сопка-3-М» (ВОСП-480М). Ця система з одномодовим оптичним кабелем з довжиною хвилі 1,55 мкм призначена для зонавих ліній зв'язку. Довжина регенераційної ділянки для цієї системи становить 70...100 км. Побудова КОЛТ-3-О аналогічна побудові КОЛТ-4-О. У таблиці 3.6 наведені технічні дані системи «Сопка-3-М».

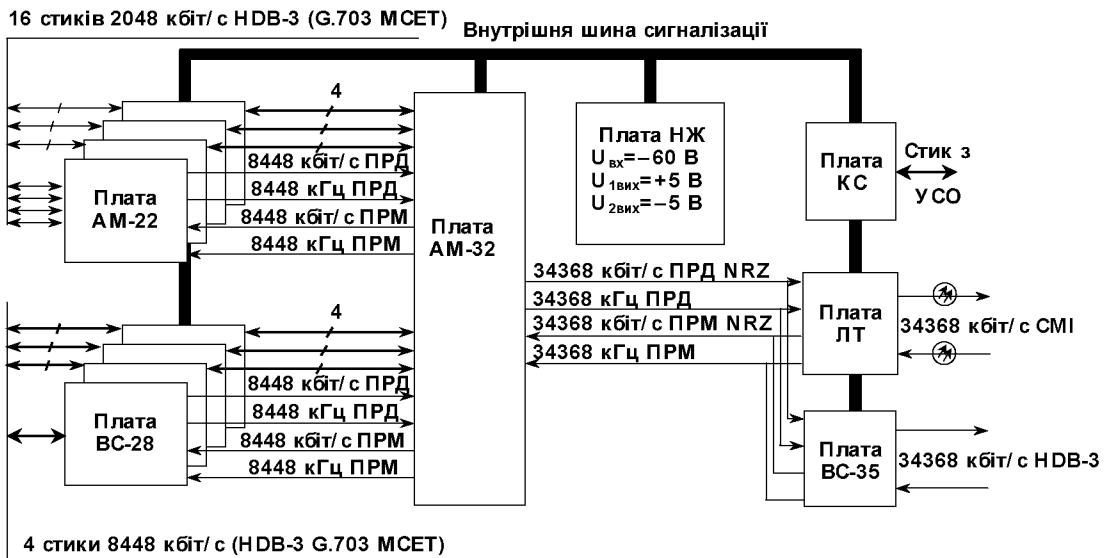
Таблиця 3.6. Технічні дані ВОСП «Сопка-3-М»

Блок ОТГ-35. Українською промисловістю випускається блок ОТГ-35 призначений для асинхронного мультишлексування методом позитивного вирівнювання швидкостей 16 первинних цифрових потоків зі швидкістю передачі 2,048 Мбіт/с або 4 вторинні зі швидкістю 8,448 Мбіт/с, або їх комбінацій у груповий третинний цифровий потік зі швидкістю 34,368 Мбіт/с, передачі цього сигналу по ОК. Блок містить електричний стик 34 Мбіт/с для підключення до внутрішньостанційного коаксіального кабелю. Передбачається також можливість встановлення додаткового комплексу при необхідності формування двох незалежних групових третинних сигналів.

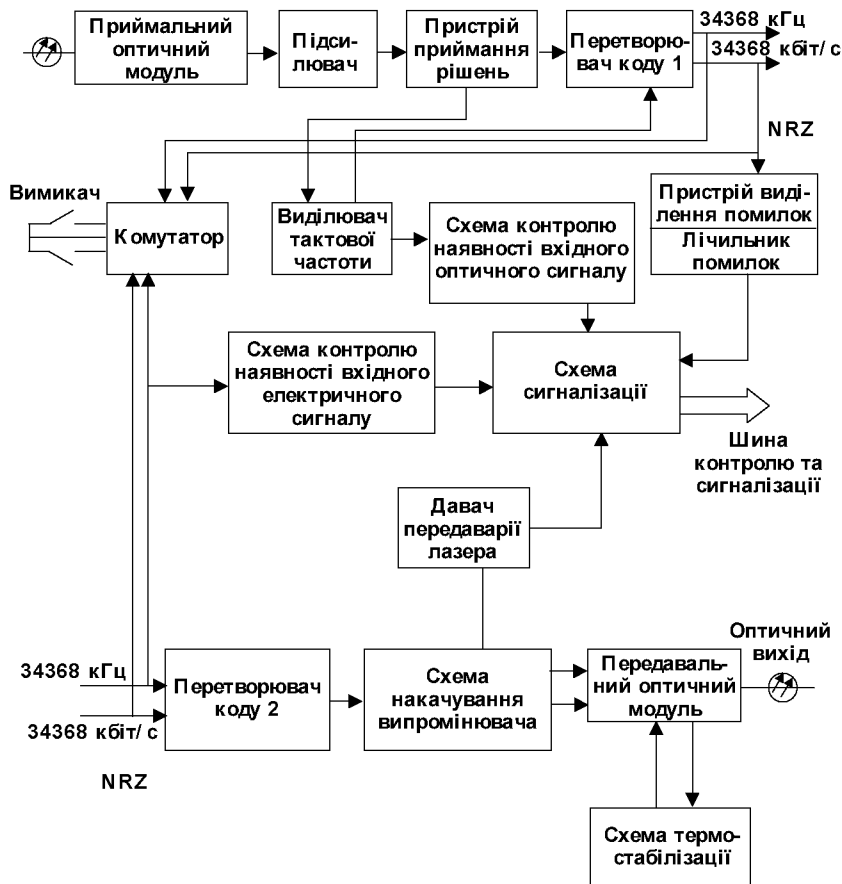
Первинні інформаційні потоки від 16 систем ІКМ-30 надходять на чотири плати АМ-22, де біполярні сигнали перетворюються на уніполярний двійковий код, виділяється тактова частота 2,048 МГц та 4 перетворені потоки об'єднуються в груповий потік зі швидкістю 2,048 Мбіт/с. Стик апаратури вторинного групоутворення зі швидкістю передачі 8,448 Мбіт/с із блоком ОТГ здійснюється на платі ВС-28.

Отримані на платах АМ-22 та ВС-28 групові потоки надходять до плати АМ-32, де вони об'єднуються в груповий сигнал зі швидкістю 34,368 Мбіт/с. Сформований груповий цифровий сигнал надходить до плати лінійного тракту ЛТ, перетворюється в оптичний лінійний сигнал у кодї СМІ та подається у лінійний тракт. При встановленні у блок ОТГ-35 замість плати ЛТ плати ВС-35 груповий цифровий сигнал зі швидкістю 34,368 Мбіт/с перетворюється в сигнал у кодї HDB3. Структурна схема блока ОТГ-35 наведена на рисунку 3.43.

У напрямку прийому в платі ЛТ оптичний лінійний сигнал перетворюється в біполярний електричний сигнал. При встановленні в блок ОТГ-35 на місце плати ЛТ плати ВС-35 сигнал із коду HDB3 перетворюється в код NRZ. На платі АМ-32 виконується розподіл складових потоків по каналах. Отримані сигнали 8,448 Мбіт/с надходять до плати ВС-28, де перетворюються для стику з апаратурою вторинного групоутворення, або до плати АМ-22, де здійснюються розподільні первинні компонентні сигнали зі швидкістю 2,048 Мбіт/с, а також перетворення цифрових двійкових потоків у біполярні сигнали в кодї HDB3.



Контроль роботи вузлів блока ОТГ-35 здійснюється за допомогою плати контролю та сигналізації (КС), дані з якої надходять до уніфікованого сервісного обладнання (УСО). Блок містить також плату напруг живлення (НЖ). На рисунку 3.44 наведена структурна схема плати ЛТ.



Вона містить такі функціональні вузли: приймальний оптичний модуль; підсилювач; вирішувальний пристрій; виділювач тактової частоти; перетворювачі кодів 1 та 2; схему контролю наявності вхідного оптичного сигналу; схему контролю наявності вхідного електричного сигналу; схему накачування випромінювача; схему термостабілізації; передавальний оптичний модуль, схему сигналізації, виділювач помилок, лічильник помилок, комутатор, кнопку «Запуск».

Передавальна частина. Вхідними електричними сигналами є інформаційний у коді NRZ та тактова частота f_T . Після перетворювача коду 2 сигнал в коді СМІ надходить до схеми накачувача випромінювача, де перетворюється в лінійний оптичний сигнал. Рівень потужності оптичного сигналу на виході випромінювача стабілізується схемою автоматичного регулювання. Схема термостабілізації забезпечує робочу температуру лазерного діода. Система сигналізації контролює наявність вхідного електричного сигналу та перевищення гранично допустимої величини струму накачування. Кнопка «Запуск» вмикає номінальну потужність випромінювача лазера.

Приймальна частина. Оптичний сигнал у коді СМІ надходить до приймального оптичного модуля, де

перетворюється в електричний та підсилюється, підсилювач забезпечує необхідний рівень сигналу. Вирішувачий пристрій аналізує амплітуду сигналу та приймає рішення про наявність символів «1» чи «0». ВТЧ забезпечує виділення тактової частоти з інформаційного сигналу та встановлення фази тактової частоти. Електричний сигнал у кодї СМІ та тактова частота надалі надходять до плати АМ-32.

Система сигналізації контролює наявність оптичного сигналу на вході плати, а також виділяє помилки в лінійному сигналі з порушення алгоритму коду СМІ. Виділені сигнали помилки надходять до лічильника помилок.

ВОСП місцевого зв'язку. На міській телефонній мережі застосовуються системи ІКМ-120-4/5 та «Сопка-3Г».

Апаратура вторинної цифрової ієрархії ІКМ-120-4/5 призначена для організації міжстанційних зв'язків МТМ та дозволяє організувати з'єднувальні лінії між АТС різних типів (декадно-кроковими, координатними, електронними). Апаратура використовується для роботи по оптичних кабелях на довжині хвилі 1,3 мкм. На МТМ ще експлуатуються ці системи з довжиною хвилі 0,85 мкм. Прикінцева станція ІКМ-120-4/5 містить:

- пристрій узгодження з обладнанням АТС;
- типову прикінцеву апаратуру вторинного часового групоутворення;
- комплект обладнання лінійного тракту оптичного;
- пристрій з'єднання станційних та лінійного кабелів;
- уніфіковане сервісне обладнання.

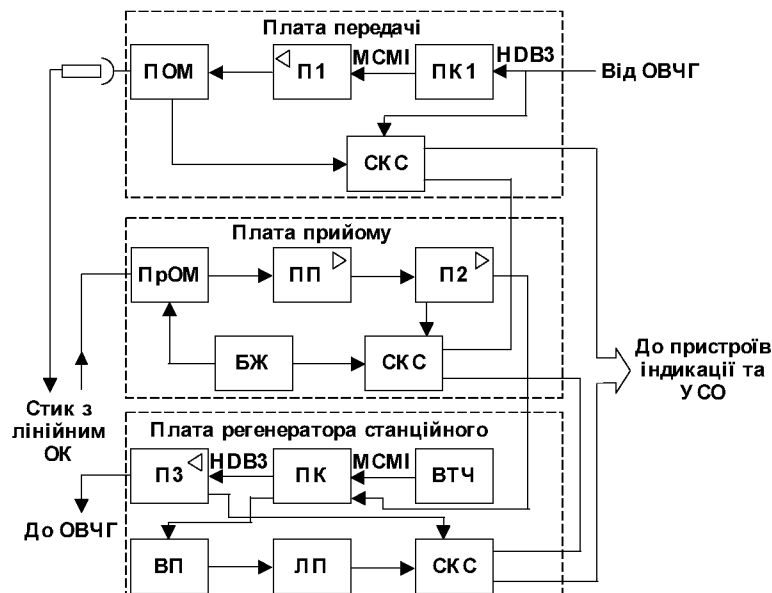
Для системи ІКМ-120-4/5 розроблені 4 модифікації КОЛТ, дані яких наведені в табл. 3.9.

Таблиця 3.9. Технічні характеристики ВОСП ІКМ-120-4/5 з різними типами комплектів лінійного тракту

Примітка: КОЛТ-26, 27 промисловістю не випускаються, але ще знаходяться в експлуатації

Структурна схема комплекту лінійного тракту КОЛТ системи ІКМ-120-4/5 наведена на рисунку 3.45.

Вхідний інформаційний сигнал від обладнання типової апаратури надходить до плати передачі. У ПК1 сигнал з коду НДВЗ перетворюється на сигнал з кодом МСМІ, у ПОМ перетворюється на оптичний та надходить до ОК. На платі прийому оптичний сигнал у ПрОМ перетворюється на електричний, підсилюється та надходить на плату регенератора станційного. У ПК він перетворюється з коду МСМІ на код НДВЗ, підсилюється підсилювачем ПЗ та надходить до типової апаратури. До складу плати РС входять: пристрій виділення тактової частоти, пристрій виявлення помилок, лічильник помилок. До складу всіх плат входять схеми контролю та сигналізації, які фіксують порушення режимів роботи кожної плати та аварійні стани. Сигнали з СКС надходять до уніфікованого сервісного обладнання, в якому накопичуються дані про стан системи.



П – підсилювач; СКС – схема контролю та сигналізації; ВТЧ – виділювач тактової частоти; ВП – виділювач помилок; ЛП – лічильник помилок; БЖ – блок живлення; ПК – перетворювач коду; УСО – уніфіковане сервісне обладнання; ОВЧГ – обладнання вторинного часового групоутворення

Рис. 3.45. Структурна схема комплекту лінійного тракту ІКМ-120-4/5

Питання та завдання для самоконтролю

1. Наведіть узагальнену структурну схему АСП і поясніть призначення основних функціональних вузлів системи передачі.
2. Поясніть способи організації двосторонніх каналів зв'язку та суть розділення зустрічних напрямлень передачі.
3. В чому суть індивідуального та групового методів побудови каналотвірної апаратури?
4. Поясніть призначення та принципи роботи апаратури спряження у АСП.
5. Яку структуру має цикл ЦСП?
6. Чому в ЦСП використовуються спеціальні лінійні коди?
7. Перелічити вимоги до енергетичного спектра у ЦСП.
8. Які недоліки мають плезіохронні цифрові системи передачі PDH?
9. Наведіть спрощену модель синхронної системи передачі SDH і поясніть основні принципи її функціонування.
10. Які основні методи захисту використовуються в SDH системах?
11. Наведіть приклад архітектурних розв'язків телекомунікаційної мережі на основі SDH-апаратури.
12. Наведіть узагальнену схему ВОСП.
13. Які вимоги ставляться до оптичних з'єднувачів у ВОСП?
14. Наведіть недоліки та переваги лазерів і світлодіодів.
15. Наведіть структурну схему оптичного передавального та приймального пристроїв.

Задача 1. Максимальна амплітуда переданого сигналу $2B$, крок квантування $0,01B$. Закодувати сигнал з напругою $1,27B$.

Розв'язання: необхідне число розрядів при кодуванні дорівнює $m = \log_2 (X_{max}/\Delta X + 1)$; $X_m = 2B$; $\Delta X = 0,01 B$. Отже, $m = \log_2(2/0,01 + 1) = 8$, тому що значення m може бути тільки цілим. Переданий сигнал відповідає $1,27/0,01 = 127$ рівням квантування. У двійковому коді одержимо 01111111.

Задача 2. Визначити надмірність і коефіцієнт зміни тактової частоти при використанні коду 2B1Q.

Розв'язання. Надмірність визначається за формулою $r = 1 - (k/n)\log_2 M$. У коді 2B1Q: $n = 2$, $k = 1$, $M = 4$.
Отже

$$r = 1 - (1/2)\log_2 4 = 0.$$

Коефіцієнт зміни тактової частоти дорівнює $k/n = 1/2$.