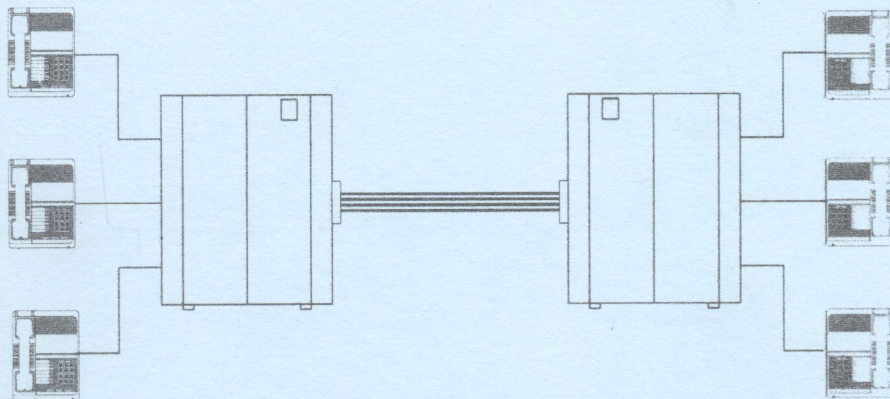


Г.Г.Бортник, О.А.Семенюк, О.В.Стальченко

# Системи передавання в електрозв'язку

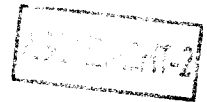


3731-17

Міністерство освіти і науки України  
Вінницький національний технічний університет

Г.Г.Бортник, О.А.Семенюк, О.В.Стальченко

## СИСТЕМИ ПЕРЕДАВАННЯ В ЕЛЕКТРОЗВ'ЯЗКУ



Затверджено Вченою радою Вінницького національного технічного університету як лабораторний практикум для студентів напряму підготовки 0924 – “Телекомунікації” всіх спеціальностей.  
Протокол № 4 від “ 25 ” листопада 2004 р.

НТБ ВНТУ



3731-17

621.391(075) Б 83 2005

Бортник Г.Г. Системи передавання в електр

УДК 621.391  
Б 21

*Рецензенти:*

**В.А.Лужецький**, доктор технічних наук, професор

**О.В.Осадчук**, доктор технічних наук, професор

**О.В.Тимченко**, доктор технічних наук, професор

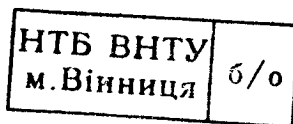
Рекомендовано до видання Вченою радою Вінницького національного технічного університету Міністерства освіти і науки України

**Бортник Г.Г., Семенюк О.А., Стальченко О.В.**

**Б 21 Системи передавання в електров'язку. Лабораторний практикум.** -  
Вінниця: ВНТУ, 2005. - 120 с.

В практикумі розглянуті фундаментальні основи побудови аналогових та цифрових багатоканальних систем зв'язку. Лабораторний практикум розроблено у відповідності з планом кафедри та навчальними програмами дисциплін "Системи передавання в електров'язку", "Телекомунікаційні системи".

УДК 621.391



© Г.Г.Бортник, О.А.Семенюк, О.В.Стальченко, 2005

## ЗМІСТ

Передмова.....	4
Основні вимоги до виконання лабораторних робіт .....	8
Лабораторна робота № 1 „Вивчення основних характеристик одностороннього каналу тональної частоти.....	11
Лабораторна робота № 2 „Дослідження станції СП-3С”.....	17
Лабораторна робота № 3 „Дослідження системи передачі В2-2”.....	28
Лабораторна робота № 4 „Дослідження диференціальної системи”..	35
Лабораторна робота № 5 „Дослідження системи передачі типу V-60”.....	47
Лабораторна робота № 6 „Дослідження абонентської високочастотної устанówki”.....	55
Лабораторна робота № 7 „Дослідження системи зв’язку з відкритим оптичним каналом” .....	61
Лабораторна робота № 8 „Дослідження цифрової багатоканальної системи зв’язку ІКМ-15/30” .....	68
Лабораторна робота № 9 „Дослідження лінійного регенератора системи ІКМ-30”.....	81
Лабораторна робота № 10 „Дослідження лінійних кодів в пакеті прикладних програм МАТЛАВ”.....	90
Лабораторна робота № 11 „Дослідження частотного методу захисту інформації”.....	101
Лабораторна робота № 12 „Дослідження цифрового скремблера телефонних сигналів”.....	105
Література .....	116
Додаток А .....	119

## Передмова

Дисципліна „Системи передавання в електров'язку” відноситься до циклу нормативних загальнопрофесійних дисциплін для підготовки студентів напряму підготовки 0924 „Телекомунікації” за спеціальністю 7.092401 „Телекомунікаційні системи та мережі”. Вона вивчається в десятому триместрі, тобто, після викладання природничо-наукових (фундаментальних) дисциплін.

Основною метою дисципліни є формування основних знань та положень про сучасні багатоканальні системи зв'язку, як аналогового, так і цифрового типу.

Основними задачами дисципліни є формування теоретичної бази, практичних навиків і уявлення про:

- основні методи розділення каналів;
- принципи побудови аналогових і цифрових систем зв'язку;
- ієрархічні методи синтезу багатоканальних систем зв'язку;
- організацію лінійних трактів та регенераційних дільниць;
- техніко-економічне обґрунтування та ефективність телекомунікаційних систем.

В результаті вивчення цієї дисципліни студенти повинні вміти:

- синтезувати структури багатоканальних систем зв'язку з частотним, часовим і кодовим розділенням каналів;
- оцінювати характеристики та параметри кінцевої апаратури та засобів індивідуального і групового перетворення сигналів;
- визначати основні показники лінійного обладнання і апаратури узгодження.

Вивчення даної дисципліни базується на матеріалі попередніх дисциплін „Теорія електричних кіл і сигналів”, „Теорія електров'язку”, „Основи схемотехніки”, „Технічна електроніка”, „Цифрова обробка сигналів”.

Ця дисципліна є основою для вивчення таких дисциплін: „Системи комутації в електров'язку”, „Системи зв'язку з рухомими об'єктами”, „Системи документального електров'язку”, „Телекомунікаційні та інформаційні мережі” „Технічне обслуговування телекомунікаційних систем та мереж”.

Лабораторний практикум охоплює такі розділи дисципліни.

### І ВСТУП

Стан і перспективи розвитку багатоканальних телекомунікаційних систем. Основні особливості системи передавання в електров'язку. Єдина взаємозв'язана мережа зв'язку України. Первинна мережа. Вторинні мережі.

## 2 МОДЕЛІ ВЗАЄМОДІЇ ВІДКРИТИХ СИСТЕМ

Еталонна модель взаємодії систем. Характеристика рівневих протоколів. Семирівнева модель взаємодії відкритих систем. Мережні служби. Фізичний рівень. Канальний рівень. Мережний рівень. Транспортний рівень. Сеансовий, представницький та прикладний рівні.

## 3 ПЕРВИННІ СИГНАЛИ ЕЛЕКТРОЗВ'ЯЗКУ

Загальні характеристики сигналів. Рівні передачі сигналів. Телефонний (мовний) сигнал. Сигнал звукомовлення. Факсимільний сигнал. Телевізійний сигнал. Сигнал передачі даних.

## 4 КАНАЛИ ПЕРЕДАЧІ

Електричні характеристики каналів зв'язку. Узгодження каналу передачі з джерелом сигналу. Телефонні (мовні) канали. Широкусмугові канали. Уніфікація каналів передачі. Канали тональної частоти. Двосторонні канали. Узгоджувальні пристрої. Вплив розв'язувальних пристроїв на параметри двосторонніх каналів передачі.

## 5 ОСНОВНІ ПРИНЦИПИ БАГАТОКАНАЛЬНОГО ЗВ'ЯЗКУ

Класифікація методів розділення каналів. Формування каналного сигналу. Принципи розділення лінійно-незалежних каналних сигналів. Системи передавання (СП) з лінійним розділенням каналів. Нелінійне та комбінаційне розділення каналів. Метод зрівноваженого мосту.

Міжканальні завади. Показники ефективності та якості багатоканальних СП.

## 6 СП З ЧАСТОТНИМ РОЗДІЛЕННЯМ КАНАЛІВ (ЧРК)

Основи побудови СП з ЧРК. Вибір методу модуляції в СП з ЧРК. Критерії оцінювання виду модуляції.

Перетворювачі частоти. Основні характеристики перетворювачів частоти. Балансний модулятор. Генераторне обладнання аналогових СП. Електричні фільтри в СП з ЧРК. Диференціальні системи. Формування односмугових сигналів. Фільтровий, фазо-різницевий та фазофільтровий методи формування односмугових сигналів. Багатократне перетворення частоти. Демодуляція односмугових сигналів. Груповий сигнал систем передачі з ЧРК.

Завади в лінійному тракті СП з ЧРК. Лінійні спотворення в каналах і трактах СП з ЧРК.

Типова апаратура аналогових СП. Апаратура ЧРК для формування каналів первинної, вторинної, третинної та четвертинної груп. Складові обладнання та взаємозв'язок підсистем з ЧРК. Типові системи передачі для магістральної мережі зв'язку. Апаратура ущільнення для зонової мережі. Особливості побудови СП для місцевих мереж.

## 7 СПІЗ ЧАСОВИМ РОЗДІЛЕННЯМ КАНАЛІВ (ЧВРК)

Часове розділення. Вибір виду модуляції. Перехідні завади між каналами. Типова структура СПІЗ ЧВРК.

Особливості імпульсно-кодової модуляції (ІКМ). Цифрові різницеві схеми. Системи з лінійним передбаченням. Дельта-модуляція (ДМ). Адаптивна диференціальна імпульсно-кодова модуляція (ДІКМ) та ДМ. Дельта-сігма модуляція. Порівняння ІКМ та ДМ.

Методи кодування мовних сигналів у частотній області. Підсмугове кодування. Вокодери. Смугові та гармонічні вокодери. Піввокодери.

Способи часового групотворення. Стандартизація систем часового групотворення. Формування структури циклів цифрових СПІЗ (ЦСП). Узгодження швидкостей цифрових потоків.

Синхронізація в ЦСП. Пристрої тактової та циклової синхронізації.

## 8 АПАРАТУРА КІНЦЕВОЇ СТАНЦІЇ ЦСП

Індивідуальне обладнання. Кодери і декодери з лінійною шкалою. Нелінійні кодери та декодери. Системні шуми апаратури ЦСП-ІКМ. Генераторне обладнання ЦСП.

Підвищення ефективності каналних кодеків ЦСП. Кодування в частотній області. Гібридні методи кодування. Статистичне кодування на основі АТМ-технологій.

## 9 СТАНДАРТИ ЦСП

Стандарти плезіохронної передачі. Цифрові системи типу ІКМ-15, ІКМ-30. Структура групового сигналу системи ІКМ-30. Аналого-цифрове обладнання ІКМ-30. Кодер та декодер мовних сигналів. Кодер сигналу звукомовлення. Особливості контрольно-вимірjuвальної апаратури систем передавання типу ІКМ-30. Організація службового зв'язку в мережах на основі стандарту ІКМ-30.

Каналотвірна апаратура та первинні ЦСП. Індивідуальне та групове обладнання ЦСП. Стандарти ЦСП вторинного, третинного та четвертинного ступенів (ІКМ-120, ІКМ-480, ІКМ-1920). Ієрархічний принцип побудови плезіохронних ЦСП.

Асинхронний метод перенесення інформації. Принципи функціонування ЦСП за технологією АТМ. Мережа АТМ. Архітектурні аспекти побудови мережі АТМ загального користування.

Передумови створення синхронної цифрової ієрархії. Порівняльний аналіз особливостей синхронної та плезіохронної системи передавання. Побудова транспортної мережі з використанням синхронної цифрової ієрархії. Загальна характеристика синхронної цифрової ієрархії. Перетворення та інформаційні структури в синхронній цифровій ієрархії. Апаратура та архітектура мереж синхронної цифрової ієрархії. Перспективи розвитку мереж синхронної цифрової ієрархії в Україні.

## 10 ЦИФРОВИЙ ЛІНІЙНИЙ ТРАКТ ЦСП

Спотворення лінійного сигналу в лінійному тракті. Лінійні коди ЦСП та їх особливості. Лінійні коди зі збереженням тактової частоти. Блочні двійкові коди. Коди з пониженням тактової частоти. Комбіновані лінійні коди.

Регенератори ЦСП. Тактова синхронізація регенератора. Автоматичні регулювання в регенераторі. Структура регенератора. Регенератор з розв'язувальним зворотним зв'язком.

Завади в лінійному тракті ЦСП. Завадозахищеність регенератора. Накопичення помилок в цифровому лінійному тракті. Очікувана ймовірність помилки на ділянці регенерації. Очікувана захищеність від власних шумів. Очікувана захищеність від завад лінійних переходів.

## 11 ТИПОВА АПАРАТУРА ЦСП

Каналотвірне та групотвірне обладнання. Обладнання транзита та виділення цифрових каналів і трактів.

ЦСП для зонних та магістральних мереж. ЦСП по металевих кабелях. ЦСП з відкритим оптичним каналом. Високошвидкісні волоконно-оптичні ЦСП. ЦСП для місцевої первинної мережі. Цифрова абонентська мережа.

Організація цифрових каналів в аналогових СП. Організація аналогових каналів в цифрових СП. Принципи нормування характеристик і параметрів СП.

## 12 ОСОБЛИВОСТІ ПРОЕКТУВАННЯ ЦИФРОВИХ І АНАЛОГОВИХ СИСТЕМ ПЕРЕДАЧІ

Етапи проектування. Проектування ЦСП і АСП по металевих кабелях. Проектування магістральних волоконно-оптичних СП. Особливості реконструкції магістралей.

## 13 ТЕХНІЧНА ЕКСПЛУАТАЦІЯ БАГАТОКАНАЛЬНИХ СП

Етапи експлуатації. Контроль технічного стану СП. Дистанційний контроль лінійного тракту ЦСП. Дистанційний контроль лінійного тракту аналогових СП. Надійність багатоканальних СП.

Методи та засоби вимірювання характеристик і параметрів телекомунікаційних систем.

## 14 ТЕНДЕНЦІЇ РОЗВИТКУ СП

Методологічні підходи до розробки СП. Нові вимоги, теоретичні методи та технічні засоби. Основні напрямки удосконалення систем і мереж електров'язку.



## ОСНОВНІ ВИМОГИ ДО ВИКОНАННЯ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ ТА ДО ОФОРМЛЕННЯ ЗВІТУ

Перед виконанням лабораторних робіт потрібно ознайомитись з матеріалом, викладеним в даному лабораторному практикумі та в рекомендованій до відповідної роботи літературі. До виконання лабораторних робіт допускаються студенти, які пройшли інструктаж з техніки безпеки при роботі в навчальній лабораторії з відповідними підписами в журналі інструктажу, виконали домашнє завдання до конкретної лабораторної роботи та виявили необхідну ступінь теоретичної підготовки.

Захист проводиться на основі звітів до лабораторних робіт в обсязі, зазначеному в лабораторному практикумі та оформлених у відповідності з вимогами ДСТУ. Звіт з лабораторної роботи готується один на бригаду.

Зразок титульного листа звіту до лабораторної роботи наведено у Додатку А. У звіті необхідно вказати назву та мету лабораторної роботи, навести склад лабораторного устаткування, подати методику виконання експериментальних досліджень.

Основна частина звіту містить усі необхідні розробки та обґрунтування прийнятих рішень, які супроводжуються відповідними розрахунками (в тому числі за допомогою ЕОМ), ілюстраціями, результатами власних експериментальних та теоретичних досліджень.

Всі формули у звіті нумерують арабськими цифрами. Номер вказують в круглих дужках з правої сторони, в кінці рядка, на рівні закінчення формули.

Наприклад,

Таким чином, пропускна здатність каналу

$$C_n = F \log_2(1+S/N), \quad (1)$$

де  $F$  – смуга робочих частот;

$S/N$  – відношення сигнал/шум.

Одиницю вимірювання, при необхідності, наводять в квадратних дужках

$$I = \frac{U}{R} [A]. \quad (2)$$

Числову підстановку і розрахунок виконують з нового рядка не нумеруючи. Одиницю вимірювання наводять в круглих дужках. Наприклад,

$$I = \frac{220}{100} = 2,2 (A).$$

Розмірність одного й того ж параметра в межах документа повинна бути однаковою. Якщо формула велика, то її можна переносити в наступні

рядки. Перенесення виконують тільки математичними знаками, повторюючи знак на початку наступного рядка. При цьому знак множення “•” замінюють знаком “х”.

Формула є частиною речення, тому до неї застосовують такі ж правила граматики, як і до інших членів речення. Якщо формула знаходиться в кінці речення, то після неї ставлять крапку. Формули, які слідують одна за другою і не розділені текстом, розділяють комою.

Посилання на формули в тексті дають в круглих дужках за формою: “... в формулі (2)”;

“... в формулах (7, ..., 10)”.

Для пояснення викладеного тексту рекомендується його ілюструвати графіками, кресленнями, фрагментами схем та ін., які можна виконувати чорною тушшю, простим олівцем середньої твердості та комп’ютерною графікою. Розміщують ілюстрації в тексті звіту.

В тексті ілюстрацію розміщують симетрично до тексту після першого посилання на неї або на наступній сторінці, якщо на даній вона не вміщується без повороту.

На всі ілюстрації в тексті звіту мають бути посилання. Посилання виконують за формою: “...показано на рисунку 1.” або в дужках за текстом (рисунком 1), на частину ілюстрації: “... показані на рисунку 2,б”. Посилання на раніше наведені ілюстрації дають з скороченим словом *дивись* (див. рисунок 3).

Між ілюстрацією та текстом пропускають один рядок (3 інтервали). Всі ілюстрації в ПЗ називають рисунками і позначають під ілюстрацією симетрично до неї за такою формою: “Рисунок 5 – Найменування рисунка”. Крапку в кінці не ставлять, знак переносу не використовують. Якщо найменування рисунка довге, то його продовжують у наступному рядку починаючи від найменування.

Таблицю розміщують симетрично до тексту після першого посилання на даній сторінці або на наступній, якщо на даній вона не вміщується і таким чином, щоб зручно було її розглядати без повороту, або з поворотом на кут 90° за годинниковою стрілкою.

На всі таблиці мають бути посилання за формою: “наведено в таблиці 1”;

“... в таблицях 1 –5” або в дужках по тексту (таблиця б). Посилання на раніше наведену таблицю дають з словом *дивись* (див. таблицю 4) за ходом чи в кінці речення.

Таблицю розділяють на графи (колонки) та рядки. В верхній частині розміщують шапку таблиці, в якій вказують найменування граф. Діагональне ділення шапки таблиці не допускається. Ліву графу (боковик) часто використовують для найменування рядків. Допускається не розділяти рядки горизонтальними лініями. Мінімальна відстань між основами рядків - 8 мм. Розміри таблиці визначаються обсягом матеріалу.

Таблиці нумерують в межах звіту і позначають зліва над таблицею за формою: “Таблиця 2 – Найменування таблиці”. Крапку в кінці не ставлять.

Якщо найменування таблиці довге, то продовжують у наступному рядку починаючи від слова “Таблиця”.

Таблиця може бути великою як в горизонтальному, так і в вертикальному напрямках або іншими словами може мати велику кількість граф і рядків. В таких випадках таблицю розділяють на частини і переносять на інші сторінки або розміщують одну частину під іншою чи поряд.

Якщо частини таблиці розміщують поряд, то в кожній частині повторюють шапку таблиці, а при розміщенні однієї частини під іншою - повторюють боковик. Якщо в кінці сторінки таблиця переривається і її продовження буде на наступній сторінці, в першій частині таблиці нижню горизонтальну лінію, що обмежує таблицю, не проводять.

При перенесенні частин таблиці на інші сторінки, повторюють або продовжують найменування граф. Допускається виконувати нумерацію граф на початку таблиці і при перенесенні частин таблиці на наступні сторінки повторювати тільки нумерацію граф.

У всіх випадках найменування (при його наявності) таблиці розміщують тільки над першою частиною, а над іншими частинами зліва пишуть “Продовження таблиці 2” без крапки в кінці.

Інші вимоги до виконання таблиць – відповідно до чинних стандартів на технічну документацію.

В заключній частині звіту формулюються основні висновки до роботи. Висновки оформлюють із заголовком “Висновки” з нової пронумерованої сторінки, починаючи з абзацу. В тексті аналізуються основні підсумки лабораторної роботи, дають оцінку одержаним результатам, визначають перспективи їх покращення. Вказують значення виконаної лабораторної роботи для вивчення даної дисципліни.

Цикл лабораторних робіт вибирається викладачем з урахуванням виділеного часу студентам на виконання лабораторного практикуму.

# Лабораторна робота № 1

## Вивчення основних характеристик одностороннього каналу тональної частоти

**Мета роботи** – вивчити основні параметри та характеристики односторонніх каналів і взаємозв'язок між ними, а також вивчення методів експериментального та теоретичного дослідження каналів.

- Обладнання:**
1. Лабораторний макет;
  2. Вольтметр ВЗ-38А;
  3. Генератор ГЗ-33.

### Теоретичні відомості

Каналом зв'язку називається сукупність лінійних і станційних пристроїв і споруд, за допомогою яких сигнали передаються від джерела до споживача інформації. Одностороннім каналом називається чотириполосник, що складається з вузлів апаратури та відрізків ліній, які використовуються для передачі сигналів певного виду зв'язку в одному напрямку. Каналами тональної частоти називаються канали, що працюють в діапазоні частот від 0,3 до 3,4 кГц.

Кількісне співвідношення між потужностями, напругами або струмами в каналах зв'язку часто подаються у відносних логарифмічних одиницях – децибелах або неспрах, що називаються рівнями передачі. Рівні передачі можуть визначатися:

за потужністю:

$$p_n = 10 \lg \left( \frac{P_x}{P_0} \right), \text{ дБ}$$

$$p_n = 0,5 \ln \left( \frac{P_x}{P_0} \right), \text{ несп}$$

за напругою:

$$p_n = 20 \lg \left( \frac{U_x}{U_0} \right), \text{ дБ} \tag{1.1}$$

$$p_n = \ln \left( \frac{U_x}{U_0} \right), \text{ несп}$$

за струмом:

$$p_c = 20 \lg \left( \frac{I_x}{I_0} \right), \text{ дБ}$$

$$p_c = \ln \left( \frac{I_x}{I_0} \right), \text{ неП}$$

У виразах (1.1),  $P_x$ ,  $U_x$ ,  $I_x$  – величини потужності, напруги і струму, які діють в точці каналу, що розглядається.  $P_0$ ,  $U_0$ ,  $I_0$  – відповідно величини потужності, напруги і струму, прийняті за еталонні для визначення рівня передачі.

Із формул (1.1) випливає, що рівень передачі буде додатний, якщо величини з індексом  $x$  будуть більші величини з індексом  $0$ . В загальному випадку  $p_n \neq p_n = p_c$ .

Рівні передачі діляться на абсолютні, відносні та вимірювальні. Рівень передачі називається абсолютним, якщо за еталон прийняти потужність  $P_0 = 1$  мВт. Еталонні величини напруги і струму для визначення абсолютних рівнів обчислюються виходячи з того, що еталонна потужність  $P_0$  (1 мВт) виділяється на деякому опорі  $R_0$ .  $R_0$  в каналах зв'язку може приймати дискретний ряд значень – 600, 150, 135, 75 Ом, відповідні значення  $U_0$  та  $I_0$  знаходять застосовуючи закон Ома.

Відносний рівень передачі визначається при умові, що еталонні величини вибираються у відповідності до режиму, встановленого на початку тракту. Відносний рівень показує різницю абсолютних рівнів в точці, що розглядається і на початку тракту. Якщо відносний рівень за потужністю визначається за формулою

$$p_n = 10 \lg \left( \frac{P_x}{P_1} \right),$$

де  $P_1$  – потужність на початку тракту, то після ділення чисельника і знаменника на  $P_0 = 1$  мВт і логарифмування одержимо

$$p_n = 10 \lg \left( \frac{P_x / P_0}{P_1 / P_0} \right) = p_{nx} - p_{n1},$$

де  $p_{nx} = 10 \lg \left( \frac{P_x}{P_0} \right)$  – абсолютний рівень за потужністю в точці тракту, що розглядається.

$$P_{n1} = 10 \lg \left( \frac{P_1}{P_0} \right), \text{ – абсолютний рівень за потужністю на початку}$$

тракту.

Між рівнями передачі, визначеними за потужністю, напругою або струмом легко встановлюється взаємозалежність, якщо відомі опори  $Z_x, Z_0$ , на яких виділяється відповідна потужність  $P_x$  або  $P_0$ . В цьому випадку:

$$P_n = 10 \lg \left( \frac{U_x^2}{|Z_x|} \times \frac{Z_0}{U_0^2} \right) = 20 \lg \left( \frac{U_x}{U_0} \right) - 10 \lg \left( \frac{Z_x}{Z_0} \right) = p_n - 10 \lg \left( \frac{Z_x}{Z_0} \right),$$

або

$$P_n = 10 \lg \left( \frac{I_x^2}{I_0^2} \times \frac{Z_0}{|Z_x|} \right) = p_c - 10 \lg \left( \frac{Z_x}{Z_0} \right).$$

Вимірювальним рівнем називається абсолютний рівень в точці тракту, що розглядається, при умові, що на його початку включений генератор синусоїдальних коливань з частотою 800 Гц, внутрішнім опором 600 Ом і е.р.с. рівною 1,55 В.

Застосування рівнів передачі дозволяє замінити більш трудомісткі операції множення та ділення коефіцієнтів передачі пристроїв каналу простими операціями додавання – віднімання рівнів, що зручніше на практиці. При цьому Міжнародний Союз електрозв'язку рекомендує застосовувати десяткові логарифмічні одиниці – децибели.

Основними характеристиками та параметрами каналів тональної частоти є: частотна характеристика коефіцієнта передачі, діаграма рівнів передачі, залишкове загасання та динамічний діапазон каналу.

Діаграма рівнів є графіком зміни відносного рівня вимірюваного гармонічного сигналу по довжині каналу. Вона будується при проектуванні каналу і періодично контролюється під час експлуатації. Приклад діаграми рівнів для телефонного каналу рис.1.1 а) в одному напрямку передачі зображений на рис. 1.1 б).

Під терміном „залишкове загасання” –  $a_{зал}$  робоче загасання каналу при підключенні до нього навантаження, що дорівнює номінальним вхідним опорам. Математично залишкове загасання визначається, як різниця між сумою всіх згасань і сумою всіх підсилень в каналі –

$$a_{зал} = \sum_p a_p - \sum_i S_i,$$

де  $p$  – кількість загасань,  $i$  – кількість підсилень каналу.  $Z_{вх}$  і  $Z_{вих}$  каналу є рівними величинами, тому  $a_{зал}$  можна визначити за формулою

$$a_{зал} = P_{вх} - P_{вих},$$

де  $P_{вх}, P_{вих}$  – рівні передачі на вході і виході каналу.

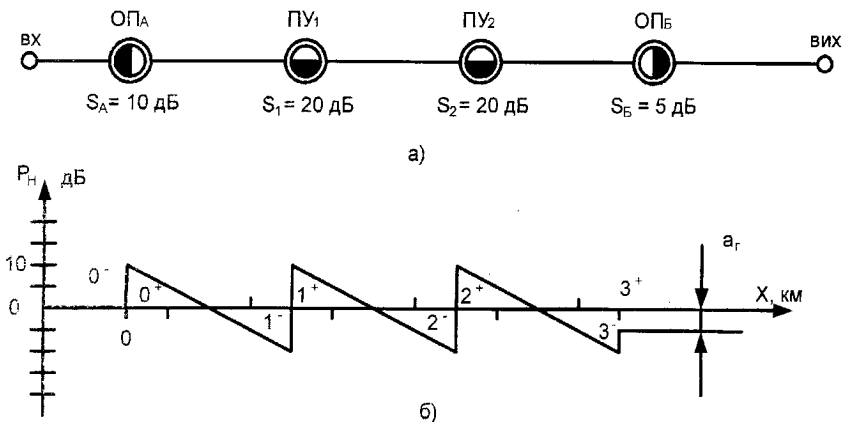


Рисунок 1.1 – Діаграма рівнів телефонного каналу

Для телефонного зв'язку номінальне значення залишкового загасання при  $f = 800$  Гц встановлено рівним 7 дБ. Необхідність такого залишкового загасання визначається умовами стійкості каналу, допустимими спотвореннями від зворотного зв'язку та дією струмів електричного відлуння.

### Домашнє завдання

1. Якою буде потужність сигналу на виході каналу, якщо на вході каналу потужність сигналу складає 100 мВт, а загасання каналу 12 дБ?
2. У скільки разів послабиться сигнал на виході каналу зв'язку довжиною 5 км на основі мідних провідників, якщо потужність на вході каналу складає 250 мВт, послаблення складає 0,03 дБ/км.

### Опис лабораторного обладнання

Для експериментальних досліджень використовують лабораторний макет, генератор синусоїдальної напруги та вольтметр. Лабораторний макет для вивчення характеристик каналу тональної частоти складається із з'єднаних між собою моделей ліній зв'язку та підсилювачів сигналу, як це зображено на рис. 1.2. Лінія зв'язку моделюється триланковою схемою з RC-ланок, розрахованих так, щоб вони приблизно передавали основні характеристики реальної лінії з вхідним опором 600 Ом.

При експериментальних дослідженнях на вхід макета каналу включають генератор і встановлюють напругу з частотою 800 Гц та амплітудою 1,55 В. Для знімання діаграми рівнів підключають вольтметр в різні точки макета, які імітують відповідні точки лінії.

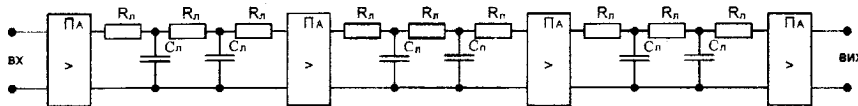


Рисунок 1.2 – Функціональна схема моделі каналу

При моделюванні підсилювальні елементи каналу описуються виразом  $U_{\text{вих}} = K \cdot U_{\text{вх}}$ ,

де  $U_{\text{вх}}$  – напруга на вході підсилювача,  $U_{\text{вих}}$  – напруга на його виході,  $K$  – коефіцієнт передачі.

Відрізки лінії передачі модулюються виразом:  $U_{(x)} = U_0 \cdot \exp(-\alpha x)$ ,

де  $U_{(x)}$  – напруга в точці відрізка лінії віддаленого від її початку на відстань  $X$ ,  $U_0$  – напруга на початку відрізка лінії,  $\alpha$  – дійсна частина постійної розповсюдження.

### Порядок виконання роботи

1. Обчислити значення еталонних напруг і струмів для визначення абсолютних рівнів передачі при різних входніх опорних напругах лінії. Результати показані в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Результати визначення еталонних напруг і струмів

$R_{\text{вх}}, \text{ Ом}$	$U_0, \text{ В}$	$I_0, \text{ А}$
600		
150		
135		
75		

2. Включити лабораторний макет, генератор ГЗ-33, вольтметр. Подати на вхід досліджуваної лінії напругу з частотою – 0,8 кГц і амплітудою – 1,55 В.

3. Виміряти за допомогою вольтметра напругу в усіх доступних для вимірювання точках макета лінії. За цими результатами визначити відповідні абсолютні ( $P_{0x}$ ) та відносні ( $P_x$ ) рівні передачі сигналу. Результати вимірювань і розрахунків звести в таблиці 1.2.



Таблиця 1.2 – Результати вимірювань рівнів передачі

X, км	$U_x$ , В	$U_{0x}$ , В	$P_{0x}$ , дБ	$P_x$ , дБ
0				
1				
2				
3				

4. За результатами, отриманими в п.3, розрахувати рівні передачі сигналу між вказаними точками. Результати занести в таблицю 1.3.

Таблиця 1.3 – Результати розрахунків рівнів передачі

Точки каналу	0 – 1	1 – 2	2 – 3
P, дБ			

5. За результатами експериментів і розрахунків побудувати діаграму рівнів каналу і визначити його залишкове загасання.

### Вказівки до звіту

Звіт з лабораторної роботи повинен містити:

- результати розрахунку еталонних значень  $U_0$  і  $I_0$  (табл. 1.1);
- результати досліджень моделі каналу (табл. 1.2 і табл.1.3);
- графік діаграми рівнів;
- значення залишкового загасання каналу.

### Контрольні запитання

1. Що таке канал тональної частоти та односторонній канал?
2. Перерахувати та дати означення основних характеристик і параметрів каналу зв'язку, що розглядалися в роботі.
3. Дати означення рівнів передачі і написати вирази для їх визначення.
4. Яка розмірність рівнів передачі?
5. Як визначити еталонні величини, необхідні для розрахунків абсолютних рівнів передачі?
6. Склад і призначення вузлів лабораторного макета та методики дослідження діаграми рівнів [1-8].

## Лабораторна робота № 2

### Дослідження станції СП-3С

**Мета роботи** – виконати дослідження основних характеристик і параметрів станції СП-3.

- Обладнання:**
1. Станція СП-3;
  2. Вольтметр ВЗ-38А;
  3. Осцилограф С1-76;
  4. Генератор ГЗ-118;
  5. Аналізатор спектра СК4-56;
  6. Джерело живлення.

#### Теоретичні відомості

Станція СП-3 призначена для організації абонентських або міжстанційних з'єднувальних ліній для сільських автоматичних станцій шляхом створення на повітряних лініях з типовими профілями і колами зі сталених проводів діаметром 3 і 4 мм, що обладнані лінійним захистом і захистом абонентського пункту, трьох каналів тональної частоти і одного каналу низької частоти. Існують три модифікації станції:

- 1) СП-3С – для організації міжстанційних з'єднувальних ліній (універсальний півкомплект);
- 2) СП-3А/А – для організації абонентських ліній (абонентський півкомплект);
- 3) СП-3А/С – для організації абонентських ліній (станційний півкомплект).

Станція СП-3 відноситься до аналогових систем прийому-передачі телефонних сигналів з організацією трьох телефонних каналів та каналу низької частоти. Відповідно застосовується частотне розділення каналів з односмуговою модуляцією (ОСМ). Односмугова модуляція є різновидом амплітудної модуляції (АМ), тобто амплітуда високочастотного коливання змінюється за законом повідомлення. Але на відміну від АМ при використанні ОСМ в тракт передачі поступає лише верхня або нижня бічна смуга частот. Аналітичний вираз однотональної ОСМ можна записати таким чином

$$U(t) = \frac{U_0 m}{2} \cos(\omega_0 \pm \Omega)t, \quad (2.1)$$

де:  $U_0$  – амплітуда високочастотного коливання



- $m$  – коефіцієнт модуляції;
- $\omega_0$  – частота високочастотного коливання;
- $\Omega$  – частота модулюючого коливання.

Перевагою ОСМ є ефективне використання смуги частот, відведеної для зв'язку і ширина смуги частот одного каналу при ОСМ дорівнює:

$$\Delta F_k = \Delta f_c, \quad (2.2)$$

- де:  $\Delta F_k$  – ширина смуги частот каналу;
- $\Delta f_c$  – ширина смуги частот модулюючого сигналу.

Це дає можливість на базі ОСМ організувати найбільшу в порівнянні з іншими видами модуляції кількість каналів у відведеній для зв'язку смузі частот.

У системі СП-3 використано фазорізницевий метод формування односмугових сигналів. Оскільки первинні сигнали є низькочастотними, то формування каналних сигналів зводиться до зміщення спектрів первинних сигналів по осі частот в задані діапазони без інверсії або з інверсією спектра. При зміщенні спектра зв'язок між первинними та каналними сигналами можна записати у вигляді:

$$u_k(t) = A(t) \cos[\Omega_k t + \theta_a(t)], \quad (2.3)$$

$$u_{ki}(t) = A(t) \cos[(2\omega_{a0} + \Omega_k)t + \theta_a(t)], \quad (2.4)$$

- де:  $u_k$  – каналні сигнали  $k$ -го каналу без інверсії;
- $u_{ki}$  – каналні сигнали  $k$ -го каналу з інверсією;
- $A(t)$  – обвідна первинного сигналу;
- $\theta_a(t)$  – фаза первинного сигналу;
- $\omega_{a0}$  – центральна частота спектра первинного сигналу;
- $\Omega_k$  – зміщення, яке визначає смугу частот, в яку переноситься спектр первинного сигналу.

Приймемо за частоту перетворення  $k$ -го каналу величину  $\Omega_{ки} = \Omega_k$  при формуванні каналного сигналу без інверсії спектра і  $\Omega_{ки} = 2\omega_{a0} + \Omega_k$  – при формуванні каналного сигналу з інверсією спектра. Тоді формули (2.3), (2.4) можна переписати у вигляді

$$u_k(t) = A(t) \cos[\Omega_{ки} t \pm \theta_a(t)], \quad (2.5)$$

де знак „+” характеризує каналний сигнал з прямим, а знак „-” з інверсним спектром. Скориставшись тригонометричним перетворенням (2.5) можна записати у вигляді

$$u_k(t) = A(t) \cos \theta_a(t) \cos \Omega_{ки} t \pm A(t) \sin \theta_a(t) \sin \Omega_{ки} t. \quad (2.6)$$

Вираз (2.6) можна розглядати як алгоритм створення ОСМ. Для цього первинний сигнал  $a(t)=A(t)\cos\theta_a(t)$  необхідно помножити на гармонічне коливання  $\cos\Omega_{кп}t$  і з отриманого добутку відняти ( або з ним взяти суму) добуток квадратурного сигналу  $\sigma_a(t)=A(t)\sin\theta_a(t)$  на коливання  $\sin\Omega_{кп}t$ . Сигнал  $\sigma_a(t)$  можна отримати з первинного сигналу поворотом фази всіх його спектральних складових на  $90^\circ$ , таким же чином можна отримати коливання  $\sin\Omega_{кп}t$  з  $\cos\Omega_{кп}t$ . Структурна схема фазорізницевого перетворювача частоти показана на рисунку 2.1.

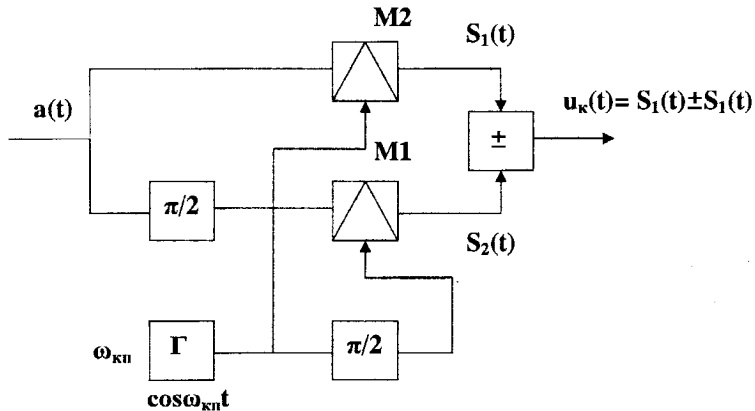


Рисунок 2.1 – Структурна схема фазорізницевого перетворювача частоти

Перемноження сигналів виконують балансні модулятори M1, M2, зміну фази на кут  $\pi/2$  здійснюють фазообертачі. Таким чином створюється ОСМ сигнал.

Для опису роботи СП-3 доцільно розглянути структурну схему станції рисунка 2.2. Функцію узгодження каналів зв'язку зі станцією СП-3 виконують комплекти низькочастотних кінцевих блоків (КНКБ). У відповідності з тим, до якої комплектації системи відноситься КНКБ, вони можуть забезпечувати:

- перехід від чотирипровідної схеми каналів до двопровідної; за командами АТС відключення транзитних подовжувачів (двопровідний транзит) або відключення дифсистеми (чотирипровідний транзит); – у СП-3С;
- приймання сигналів, які надходять з АТС і формування відповідних керуючих сигналів, що подаються із сигнального каналу для передавання на протилежну сторону; замикання шлейфа на АТС в такт з інформацією, яка надходить з протилежної станції; – у системі СП-3А/С

- живлення мікрофонних кіл телефонних апаратів; передачу по абонентській лінії сигналів взаємодії; сприймає інформацію про замикання шлейфу абонентської лінії і подає на вхід сигнального каналу інформацію для передачі на прогилежну станцію; – у системі СП-3А/А.

Пристрій індивідуальний (ПІ) виконує:

- фільтрування та модуляцію телефонного сигналу або сигнального каналу;
- демодуляцію групового сигналу або сигнального каналу з відповідним підсиленням;

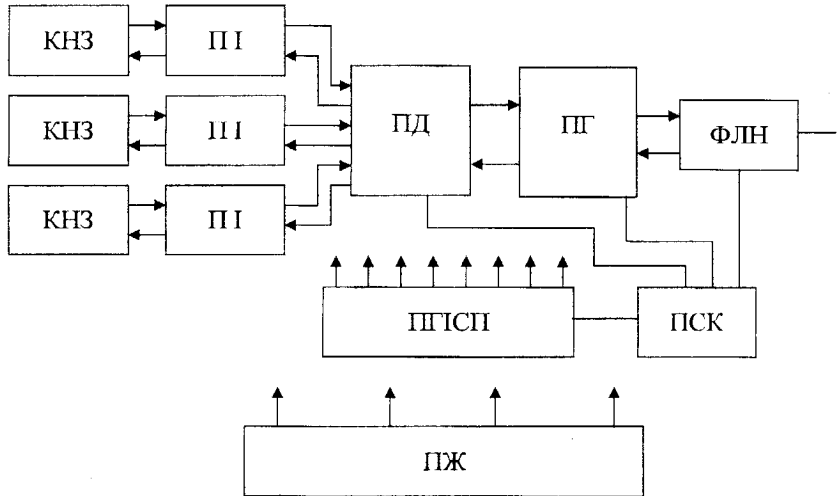


Рисунок 2.2 – Структурна схема системи СП-3

Блок пристрою додаткового (ПД) виконує такі функції:

- створення групового спектра сигналу та фільтрування продуктів перетворювача (20 – 32 кГц);
- надходження прийнятого групового спектра сигналу на ПІ кожного каналу.

Пристрій груповий (ПГ) забезпечує:

- підсилення верхньої бічної смуги частот (20 – 32 кГц) для подальшої передачі;
- перенесення спектра групового сигналу на нижню бічну смугу частот (4,3 – 15,7 кГц) та подальше його підсилення для передачі;
- підсилення і корегування прийнятого сигналу;
- перенесення спектра прийнятого групового сигналу на верхню бічну смугу (20 – 32 кГц);

Пристрій фільтрів лінійних і напрямних (ПФЛН) забезпечує:

- виділення верхньої (20 – 32 кГц) або нижньої (4,3 – 15,7 кГц) бічних смуг частот;
- виділення спектра низькочастотного каналу;
- забезпечує гальванічну розв'язку між лінією зв'язку і станцією.

Пристрій генераторний індивідуального і системного перетворення (ПГСП) генерує несучі частоти; частоти необхідні для перенесення спектра з верхньої бічної смуги у нижню і навпаки; контрольну частоту 19,834 кГц і сигнальну частоту 3828 Гц.

Пристрій сигналізації і контролю ПСК відповідно забезпечує перевірку режиму роботи системи та лінії зв'язку, а також забезпечує аварійну сигналізацію.

Пристрій живлення (ПЖ) забезпечує живлення блоків системи.

Таким чином, СП-3 являє собою систему з частотним розділенням каналів тональної частоти з використанням односмугової амплітудної модуляції. Частотний спектр сигналу в лінії зв'язку зображено на рис. 2.2.

**Тракт передачі.** Телефонний сигнал надходить на пристрій КНКБ, який здійснює узгодження каналу тональної частоти з СП-3. З блока КНКБ, сигнал надходить на блок ПІ, який здійснює попередню фільтрацію сигналу, виділяючи смугу 0,3 – 3,4 кГц та односмугову модуляцію з відповідною несучою частотою 20 кГц, 28 кГц, 32 кГц – відповідно канал І, ІІ, ІІІ. Далі сигнали з виходів модуляторів трьох каналів надходять до блока ПД, де відбувається підсумовування сигналів і створення та обмеження спектра групового сигналу смугою 20 – 32 кГц. Фільтрування необхідне для додаткового придушення продуктів перетворення та для нормальної роботи наступних блоків. Відфільтрований груповий сигнал надходить до блока ПГ. У випадку роботи в режимі Б-А сигнал підсилюється і надходить до блока ФЛН, а в режимі роботи А-Б спектр сигналу переноситься на смугу частот 4,3 – 15,7 кГц підсилюється і також надходить на блок ФЛН. Блок ФЛН здійснює розділення каналів прийому-передачі, виділення спектра низькочастотного сигналу та узгодження лінії зв'язку зі системою СП-3.

**Тракт приймання.** Сигнал з лінії зв'язку надходить на блок ФЛН на відповідний напрямний фільтр. З виходу ФЛН сигнал підсилюється та коригується з метою компенсації спотворень, зумовлених частотнозалежними затуханнями лінії зв'язку. Підсилений відкорегований сигнал надходить у блок ПГ, де або направляється до блока ПД у випадку режиму А-Б, або спектр сигналу перетворюється у спектр сигналу смугою 20 – 32 кГц додатково фільтрується і також надходить до блока ПД. У блоці ПД відбувається частотне розділення сигналу на канали за допомогою смугових фільтрів. Сигнал кожного з каналів надходить на відповідний блок ПІ, де відбувається демодуляція каналного сигналу.

Далі телефонний сигнал надходить через блоки КНКБ у двопровідну лінію.

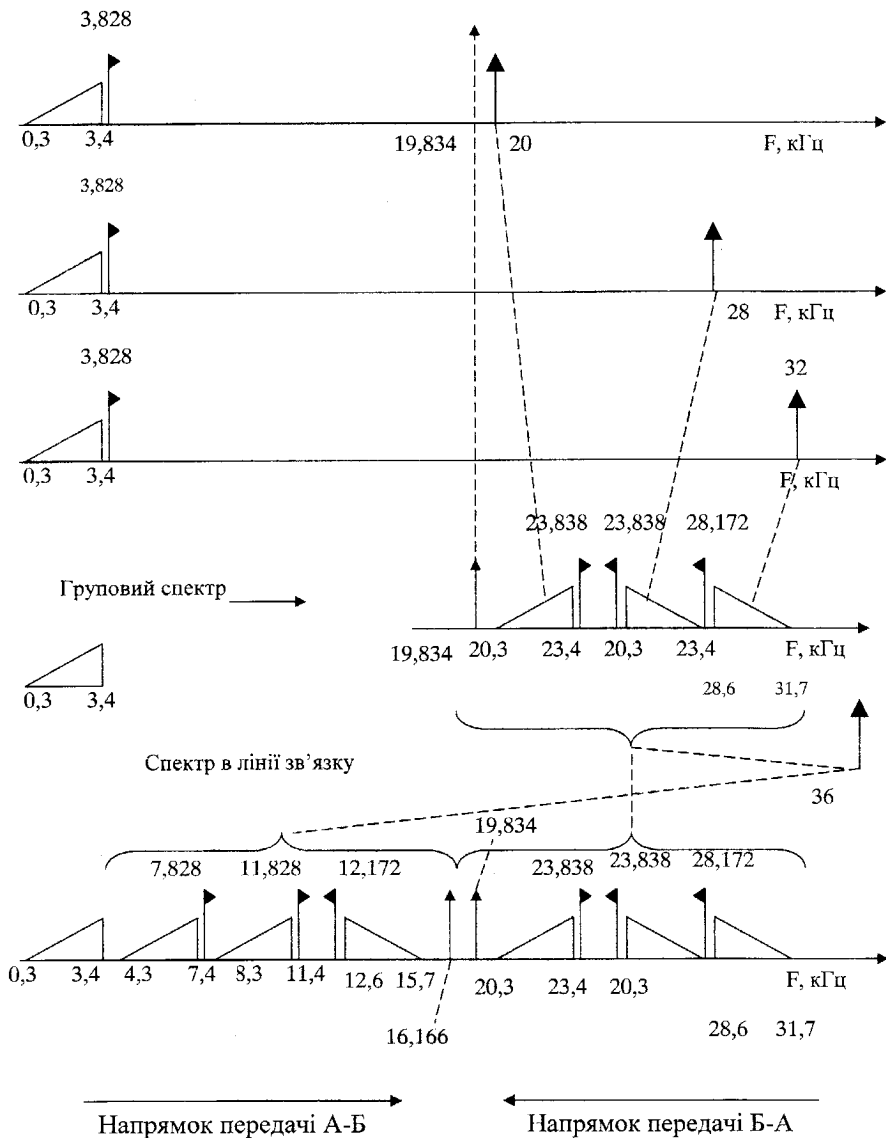


Рисунок 2.3 – Перетворення частот у станції СП-3

З виходу ПД триканальний сигнал також надходить до блока УСК у якому виділяється контрольний сигнал, який необхідний для вироблення керуючого сигналу автоматичного регулювання підсилення (АРП). А також при зниженні рівня контрольного сигналу на 10 – 15 дБ відносно номінального формуються сигнали „Аварія” і „Обрив”, що блокують систему АРП або прилади АТС.

### Домашнє завдання

1. Яку кількість телефонних каналів можна розмістити у смузі частот 500 кГц – 1500 кГц при АМ та ОСМ?
2. Розрахувати носійні частоти АМ-коливання для сигналу звукомовлення першого класу для смуги частот лінії зв'язку від 12 кГц до 552 кГц.

### Опис лабораторного обладнання

Лабораторне устаткування складається з двох станцій СП-3, одна з яких працює у режимі А, інша – у режимі Б, вони з'єднані з блоком для підключення вимірювальних пристроїв, зовнішнього джерела живлення. Конструктивно станція СП-3 складається зі змінних блоків, які являють собою закінчену збірну одиницю. На кожному такому блоці з лицьової сторони розміщені роз'єми та органи сигналізації та керування. В табл. 2.1 наведено їх перелік та функції.

Таблиця 2.1 – Роз'єми і органи сигналізації та контролю станції СП-3

Найменування і маркування	Призначення	Блок
1	2	3
Індикатор „АВАРІЯ”	Індикація стану „Аварія” даної станції	ПСК
Індикатор „>”	Індикація завищення рівня контрольного сигналу відносно області нормальних значень	ПСК
Індикатор „=”	Індикація відповідності рівня контрольного сигналу відносно області нормальних значень	ПСК
Індикатор „<”	Індикація заниження рівня контрольного сигналу відносно області нормальних значень	ПСК



Продовження таблиці 2.1

1	2	3
Перемикач „dB”	Встановлення еталонних значень рівнів сигналу	ПСК
Перемикач „10кΩ 1600Ω”	Встановлення величини вхідного опору індикатора рівня	ПСК
Перемикач „СИММЕТР ↓НЕСИМ”	Встановлення виду вимірювального входу індикатора рівня	ПСК
Перемикач „0 dB ↓-13 dB”	Встановлення рівня сигналу на виході генератора синусоїдальних коливань (гнізда 800Hz 600Ω)	ПСК
Потенціометр „РУ НА СЕБЯ”	Регулювання коефіцієнта модуляції перетворювача частоти пристроєм завершення	ПСК
Гнізда „ВХОД”	Контроль сигналів станції (вхід індикатора рівня)	ПСК
Гнізда „800Hz 600Ω”	Перевірка проходження сигналів (вихід генератора синусоїдальних коливань)	ПСК
Гнізда „КОНТРОЛЬ СК”	Контроль спрацювання приймачів СК	ПСК
Гнізда „4x ПРОВ ПРД ЛИН”	Контроль і розділення лінійної та станційної сторони чотирипровідного входу каналу ТЧ в точці чотирипровідного транзиту в режимі „КНО-ІІ”	КНО-І, ІІ
Гнізда „2x ПРОВ ВХ 4x ПРОВ ПРМ ЛИН”	Контроль і розділення лінійної та станційної сторони двопровідного закінчення каналу ТЧ в точці чотирипровідного транзиту в режимі „КНО-І” і „КНО-ІІ” або чотирипровідного виходу каналу в точці чотирипровідного транзиту в режимі „КНО-ІІ”	КНО-І, ІІ
„РАБОТА БЛОКИР”	Блокування каналу при переставленні вилок з гнізда „РАБОТА” в гніздо „БЛОКИР”	КНО-І, ІІ
Гніздо „2x ПРОВ ВХ ЛИН”	Контроль і розділення лінійної та станційної сторони двопровідного закінчення каналу ТЧ	КНО-С

Продовження таблиці 2.1

1	2	3
Гнізда „РАБОТА ПРОВЕРКА”	При вимірюваннях каналу – переставлення вилки з гнізда „РОБОТА” в гніздо „ПРОВЕРКА” для ввімкнення обмежувача амплітуд і живлення абонента, імітації „Заняття” каналу	КНО-С
Гнізда „ПЕРЕДАЧА СТАНЦІЯ ЛИН”	Контроль і розділення лінійної та станційної сторони чотири-провідного закінчення каналу ТЧ – передача	ПШ
Гнізда „ПРИЕМ СТАНЦІЯ ЛИН”	Контроль і розділення лінійної та станційної сторони чотири-провідного закінчення каналу ТЧ – прийом	ПШ
„ВХ СК ЛИН СТАНЦІЯ”	Розділення вхідного кола каналу СК	ПШ
„ВЫХОД СК ЛИН СТАНЦІЯ”	Те ж вихідного кола	ПШ
„ $\perp$ ” СТАНЦІЯ”	Контроль кола „Выход СК” підключення вимірювальних пристроїв	ПШ
„І ГРУПП ИНДИВ ВЫХОД ПРД”	Розділення на виході тракту передачі каналу	ПШ
„ВХ ПРМ”	Розділення на вході тракту прийому каналу	ПШ
Потенциометр РУ	Регулювання підсилювача прийому каналу ТЧ	ПШ
Індикатор „БЛОКИР АРП”	Сигналізація блокування пристрою АРП станції	ПШ
Перемикач „БЛОКИР АРУ”	Вибір режиму роботи групового підсилювача приймання	ПШ
Потенціометр „РУ”	Регулювання групового підсилювача приймання в режимі „Ручне регулювання”	ПШ
Гніздо „ПОЛОЖ АРУ „ $\perp$ ”	Вимірювання керувальної напруги регулювального елемента групового підсилювача приймання	ПШ

Продовження таблиці 2.1

1	2	3
Гніздо „БЛОКИР АРУ”	Розрив кола керування перериванням КЧ на передачі при зниженні рівня КЧ на прийманні	ПГ
Гнізда „ИНДИВ ГРУПП” „ПРД 20-32” „ПРМ 20-32”	Контроль і розділення групової та індивідуальної частин станції	ПД
Гнізда „СТАНЦИЯ ЛИН”	Контроль і розділення входу-виходу станції зі сторони височастотної лінії передачі	ФЛН
Гнізда „ПРОВЕРКА”	Організація перевірки обладнання станції в режимі „На себе”	ФЛН
Гніздо „БЛОКИР НЧ”	Блокування каналу НЧ	ФЛН
Гнізда „КАНАЛ НЧ СТАНЦИЯ ЛИН”	Контроль і розділення обладнання станції та НЧ лінії	ФЛН

### Порядок виконання роботи

1. Увімкнути станцію СП-3 і дати їй прогрітися не менше ніж 10 хв. При цьому всі кнопки, крім кнопки на блоці живлення, повинні знаходитись в стані „Вимкнено”.

2. Здійснити перевірку роботи ПСК. Зняти вилки з гнізд „СТАНЦИЯ ЛИН” і „КАНАЛ НЧ” (блок ФЛН); „2x ПРОВ ВХ”, „4x ПРОВ ПРД” (блоки КНКБ), тобто, роз’єднати станції. Підключити симетричний вихід зовнішнього генератора до гнізд „ВХОД” блока ПСК. Кнопки ПСК встановити в положення „600Ω” і „СИМЕТР”. На блоці ПСК натискати по черзі кнопки перемикача „dB”. Після увімкнення кнопки на генераторі встановити таку напругу щоб загорівся індикатор „=”. Дані занести в таблицю. Вимірювання проводити для частот 800 Гц та 32 кГц. Порівняти отримані значення.

3. Перевірити тракт передачі КНКБ. Зняти вилки з гнізд „РАБОТА” і встановити в гнізда „БЛОКИР”. Генератор блока ПСК підключити до гнізда „2x ПРОВ ВХ” блока КНКБ з рівнем сигналу 0 дБ частотою 800 Гц. Вольтметр приєднати до гнізда „ПЕРЕДАЧА ЛИН” блока ПП. Покази мають складати -13 дБ.

4. Виконати перевірку тракту приймання. Для цього генератор блока ПСК приєднати до гнізда „ПРИЕМ ЛИН” блока ПП, вольтметр – до гнізда „2x ПРОВ ВХ” блока КНКБ.

5. Здійснити перевірку рівнів сигналів на виході групового тракту передачі. Встановити двопровідні вилки в гніздо „ПРД 20-32” блока ПД. Гніздо „СТАНЦІЯ” блока ФЛН навантажити еквівалентним опором 180 Ом, що відповідає кабельній лінії зв’язку. В блоці ПГ зняти вилку з гнізда „БЛОКИР АРУ”. Приєднати аналізатор спектра до гнізда „ПРОВЕРКА” блока ФЛН. З’єднуючи генератор ПСК (800 Гц, 600  $\Omega$ ) з гніздами „ПЕРЕДАЧА СТАНЦІЯ” блока П з кожним з каналів, дослідити спектри сигналів.

6. Виконати п.7 для еквіваленту опору 800 Ом, що відповідає повітряній лінії зв’язку.

7. Дослідити спектри сигналів пп. 6, 7 при вимкненому генераторі.

8. Увімкнути обидві станції. Приєднати генератор до входу першої станції зовнішнього блока з рівнем сигналу 0 дБ, а вольтметр до виходу другої станції. Змінюючи частоту від 200 до 4000 Гц дослідити АЧХ кожного каналу. Знайти смугу пропускання системи на рівні мінус 6дБ.

9. Приєднати генератор до входу другої станції зовнішнього блока з рівнем сигналу 0 дБ, а вольтметр до виходу першої станції. Змінюючи частоту від 200 до 4000 Гц дослідити АЧХ кожного каналу на рівні мінус 3 дБ.

10. Дослідити спектри сигналів у лінії зв’язку при передачі сигналів з першої станції (режим А). Для цього на входи каналів першої станції подати сигнали від генераторів 800 Гц, 0 дБ. Аналізатор спектра підключити до лінії зв’язку.

11. Виконати дослідження п. 10 для передачі сигналів з другої станції (режим Б).

12. Виконати дослідження пп. 9, 10 при подачі сигналів на обидві станції.

### **Вказівки до звіту**

Звіт з лабораторної роботи повинен містити:

- структурну схему системи СП-3;
- таблиці та графіки, отримані при виконанні лабораторного завдання;
- розрахунки, отримані в результаті обробки експериментальних даних;
- частотні спектри групового сигналу в лінії зв’язку та індивідуальних сигналів на виході макета;
- порівняльний аналіз теоретичних та експериментальних характеристик і параметрів системи СП-3;
- висновки з кожного пункту лабораторної роботи.

## Контрольні запитання

1. Які існують різновиди амплітудної модуляції?
2. Які недоліки та переваги АМ у порівнянні з ЧМ і ФМ?
3. Навести критерії вибору виду модуляції.
4. Які переваги та недоліки односмугової модуляції у порівнянні з АМ?
5. Поясніть призначення блоків станції СП-3С.
6. Яким чином створюється лінійний спектр в системі СП-3?
7. Як діє система автоматичного регулювання підсилення в системі СП-3С?
8. В чому полягає відмінність між груповим та лінійним спектром багатоканальних систем зв'язку?
9. З якою метою в лінійний спектр вводяться контрольні частоти?
10. Поясніть для чого використовується НЧ-канал в СП-3С.
11. Перелічіть та коротко охарактеризуйте методи отримання односмугової модуляції [7, 9-15].

## Лабораторна робота № 3

### Дослідження системи передачі В2-2

**Мета роботи** – ознайомитись з принципом дії та виконати дослідження характеристик системи передачі В2-2.

- Обладнання:**
1. Комплект станції В2-2;
  2. Генератор ГЗ-118;
  3. Аналізатор спектра СК4-56;
  4. Вольтметр ВЗ-38А;
  5. Осцилограф С1-76;
  6. Джерело живлення.

### Теоретичні відомості

Система передачі В2-2 призначена для організації з'єднувальних ліній між сільськими автоматичними телефонними станціями. Система В2-2 дозволяє одночасно передавати телефонні сигнали по двох каналах при перетворенні частоти та частотного рознесення каналів. Крім цього система дозволяє застосовувати НЧ-канал для організації службового зв'язку.

Станція працює у двонаправленому режимі, тобто може одночасно приймати та передавати два сигнали тональної частоти. Лінійний спектр частот у напрямку А-Б складає 4,63 – 12,7 кГц, у зворотному напрямку Б-А відповідно 17,63 – 25,7 кГц. Структуру частотного спектра станції показано на рис. 3.1.

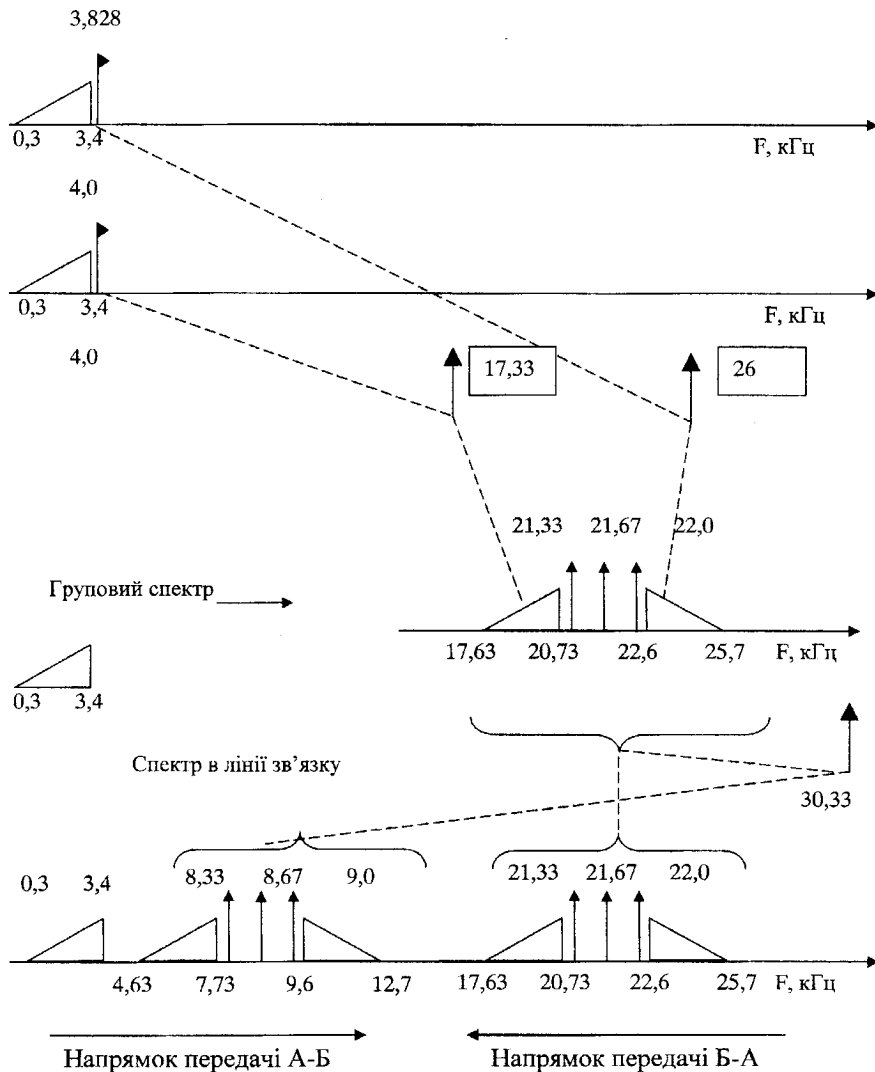


Рисунок 3.1 – Схема частотних перетворень в системі передачі В2-2

Станція В2-2 побудована за блочним типом. Кожен блок виконує відповідну функцію. Структурна схема станції зображена на рис. 3.2.

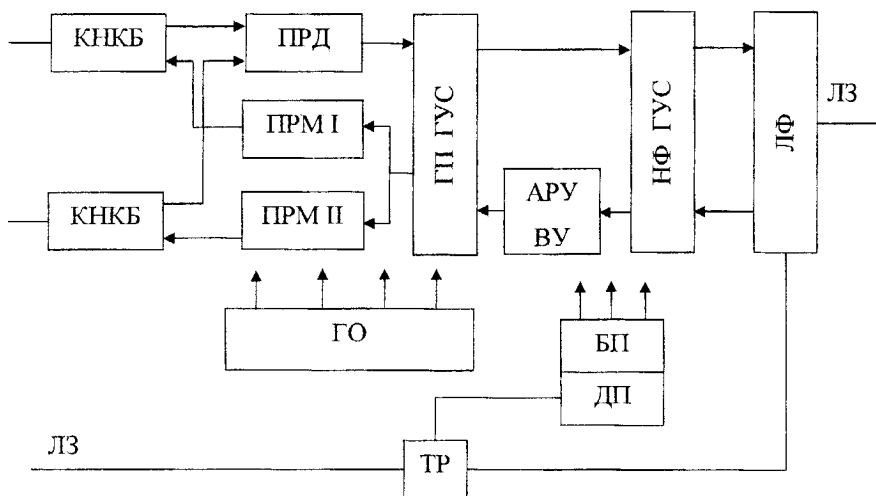


Рисунок 3.2 – Структурна схема станції В2-2

До складу станції входять такі блоки:

- КНО – комплект низькочастотних кінцевих блоків узгоджує абонентські лінії зі станцією;
- ПРД – передавач, модулює тональні сигнали в ОСМ та формує груповий спектр сигналу зі смугою 17 – 26 кГц;
- ПРМ I, ПРМ II – відповідно приймач першого та другого каналів виконує частотне розділення, демодуляцію каналів та підсилення тонального сигналу;
- ГП ГУС – містить частотний перетворювач та підсилювач групового спектра. Перетворює спектр сигналу зі смугою 17 – 26 кГц у спектр сигналу зі смугою 4 – 14 кГц, при передачі і в зворотному порядку при прийомі;
- НФ ГУС – містить напрямні фільтри, які обмежують прийнятий та переданий сигнал у відповідних межах з метою уникнення перехідних завад між каналами прийому та передачі. А також містить підсилювач прийнятого сигналу;
- АРУ ВУ – блок автоматичного регулювання підсилення, який виконує амплітудну корекцію прийнятого сигналу та відповідне підсилення відповідно до рівня контрольної частоти;

- ЛФ – блок, який містить розв'язуючий трансформатор, та виконує функцію узгодження станції та лінії зв'язку. Крім того за його допомогою в лінійний спектр надходить НЧ-сигнал;
- ГО – генераторне обладнання, забезпечує блоки ПРМ, ПРД, ГП ГУС носійними, контрольними частотами та частотами перетворення;
- БП та ДП відповідно блок живлення станції та блок дистанційного живлення;
- ТР – трансформатор для гальванічної розв'язки НЧ сигналу та напруги дистанційного живлення;

**Передавальна частина.** Телефонний сигнал надходить на блок КНКБ, який виконує узгодження телефонної лінії та станції. З блоків КНКБ телефонні сигнали надходять до блока ПРД, де відбувається їх підсилення та фільтрація, для запобігання попаданню гармонік імпульсів набору номера та завад. Далі сигнали надходять на відповідні модулятори, де відбувається амплітудна модуляція з подавленням носійної та однієї з бічних смуг. Отримані сигнали об'єднуються та додатково фільтруються смуговим фільтром, що обмежує їх частотний діапазон частотами 17 – 26 кГц. У режимі Б сигнал з виходу фільтра відразу надходить до блока НФ ГУС, який містить направляючі фільтри, та через лінійний трансформатор блока ЛФ попадає у лінію зв'язку. Якщо ж станція працює у режимі А, відмінність полягає в тому, що сигнал з виходу блока ПРД надходить до блока ГП ГУС. У блоці ГП ГУС відбувається перенесення групового спектра у смугу 4 – 14 кГц за допомогою перетворювача частот та підсилення сигналу груповим підсилувачем. Сигнал НЧ спочатку надходить на розв'язувальний трансформатор на другу обмотку якого подається постійна напруга для дистанційного живлення підсилювальних пунктів. Далі сигнал НЧ надходить до блока ЛФ на ФНЧ та через лінійний трансформатор до лінії зв'язку.

**Приймальна частина.** Уцілнений сигнал надходить з лінії зв'язку на блок ЛФ де відбувається виділення НЧ-каналу. Сигнал з блока ЛФ надходить на направляючі фільтри блока НФ ГУС. Відфільтрований сигнал надходить до блока АРУ ВУ, де відбувається його корегування та підсилення. При роботі станції в режимі А сигнал надходить до блоків ПРМ I, II де відбувається частотне розділення каналів, демодуляція сигналів та підсилення отриманих тональних сигналів. З блоків ПРМ I, II тональні сигнали надходять на відповідні блоки КНКБ та до абонента. У режимі Б відмінність полягає в тому, що з блока АРУ ВУ сигнал надходить до блока ГП ГУС, де відбувається перетворення частот з діапазону 4 – 14 кГц до 17 – 26 кГц.

Носійними частотами, контрольними частотами та частотами для роботи перетворювачів станцію забезпечує блок ГО. Крім джерела живлення самої станції, вона містить джерело дистанційного живлення підсилювальних пунктів.



В станції В2-2 передавання та приймання здійснюється двопровідною двосмуговою схемою.

### Домашнє завдання

1. Розрахувати пропускну здатність системи передачі В-2-2.
2. Знайти об'єм сигналу станції В-2-2 при тривалості сигналу 1хв.45с.

### Опис лабораторного обладнання

До складу лабораторного обладнання (рис. 3.3) входять: дві станції В2-2, що працюють в режимі А та Б, відповідно; осцилограф для контролю форми сигналів, що досліджуються; вольтметр для вимірювання рівнів сигналів; аналізатор спектра для дослідження спектрів на вході, виході системи, у проміжних точках та у лінії зв'язку; генератор для подачі на входи станцій гармонічного коливання; лабораторне джерело живлення.

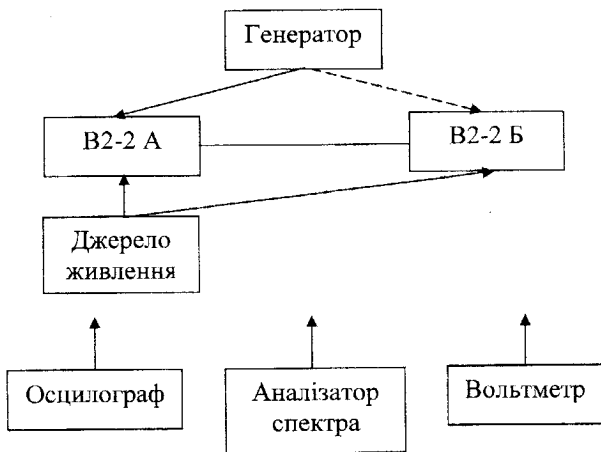


Рисунок 3.3 – Структурна схема лабораторного устаткування

Для проведення лабораторних досліджень необхідно увімкнути блок живлення станцій та вимірювальні пристрої. Генератор гармонічних коливань може підключатись до входів блоків КНКБ та ПРД з відповідними рівнями та частотами для дослідження прийомо-передавальних трактів станцій. Відповідно вольтметр та осцилограф до

виходів блоків КНКБ та ПРМ I, ПРМ II, для вимірювання рівнів прийнятих сигналів та контролю їх форми у часовій області. Для дослідження спектральних складових сигналів на виходах блоків КНКБ, ПРД, ПРМ I, ПРМ II та у лінії зв'язку використовується аналізатор спектра.

### Порядок виконання роботи

1. До гнізда „Вх. 1” першого каналу блока ПРД (чотирипровідна дужка знята) підмикається генератор з частотою 800 Гц і рівнем мінус 13 дБ. До виходу кінцевої станції підмикається аналізатор спектра та вимірюються рівні напруг бічних частот і контрольних частот згідно з таблицею 3.1.

Таблиця 3.1 – Результати вимірювання рівнів напруг

Напрямок А–Б			Напрямок Б–А		
Частота лінійного спектра, кГц					
КЧ	Перший канал	Другий канал	КЧ	Перший канал	Другий канал
8,67	12,2	5,13	21,67	18,13	25,2
Рівні напруг, дБ					

2. Виконати дослідження згідно з п.1 для другого каналу.

3. Вимкнути КЧ, для цього на блоці ГО переставити вилку з гнізда “Вкл КЧ” в гніздо “Откл КЧ”. До виходу кінцевої станції підімкнути аналізатор спектра та дослідити рівні залишкових частот

4. Дослідити АЧХ 1-го каналу на виході станції В2-2А, для чого підключити генератор до гнізда „Вх.1” блока ПРД і змінюючи частоту генератора в діапазоні 0,1...5 кГц, підтримувати рівень напруги 0 дБ при вимкненій КЧ. Вольтметр та осцилограф підключити до виходу “СТАНЦІЯ” блока ЛФ.

5. Провести дослідження згідно з п.4 для 2-го каналу (Вх 2 блока ПРД; “СТАНЦІЯ” блока ЛФ).

6. Повторити дослідження пп. 4, 5 для станції В2-2Б.

7. На основі отриманих даних пп. 4 – 6 визначити смугу пропускання та пропускну здатність для кожного каналу.

8. Дослідити проходження сигналів 1-го та 2-го каналів від станції В2-2А до В2-2Б. Для чого по чергово підмикати генератор гармонічних сигналів з рівнем напруги мінус 13 дБ і частотою 800 Гц на входи 1-го та 2-го каналів блока ПРД станції В2-2А. Осцилограф та вольтметр приєднати по чергово на виходи блоків ПРМ I, ПРМ II, станції В2-2Б. Аналізатор спектра підімкнути до лінії зв'язку та дослідити частотні спектри.

9. Провести дослідження згідно з п. 7 при зворотному проходженні сигналів від станції В2-2Б до В2-2А.

10. Дослідити рівень перехідних завад. На вхід 1-го каналу блока ПРД станції В2-2А подати сигнал від генератора гармонічних коливань з частотою 800 Гц і рівнем 0 дБ. Приєднати аналізатор спектра до виходу ПРМ II станції В2-2Б та виміряти рівень перехідної завади.

11. Повторити дослідження для другого каналу станції В2-2А та для обох каналів станції В2-2Б.

12. Визначити величину перехідної завади згідно з формулою

$$U_n = \sqrt{U_{\Sigma\text{вим}}^2 - U_u^2} \quad [\text{мВ}],$$

де:  $U_n$  – рівень перехідних завад;

$U_{\Sigma\text{вим}}$  – сумарний рівень виміряних завад;

$U_u$  – рівень власних шумів.

### Вказівки до звіту

Звіт з лабораторної роботи повинен містити:

- структурну схему системи В2-2;
- таблиці та графіки, отримані при виконанні лабораторного завдання;
- розрахунки, отримані в результаті обробки експериментальних даних;
- частотні спектри групового сигналу в лінії зв'язку та індивідуальних сигналів на виході макета;
- порівняльний аналіз теоретичних та експериментальних характеристик і параметрів системи В2-2;
- висновки з кожного пункту лабораторної роботи.

### Контрольні запитання

1. Які переваги застосування односмугової модуляції в апаратурі В2-2?
2. Поясніть призначення та принцип дії АРП в станції В2-2.
3. Які складові містять груповий та лінійний спектр системи В2-2?
4. До яких систем відноситься станція В2-2?
5. Перелічіть і охарактеризуйте види модуляцій з точки зору застосування їх в системах з ЧРК.
6. Навести типи перехідних завад у системах з ЧРК.
7. Які існують способи боротьби з перехідними завадами в системах з ЧРК?
8. Дайте порівняльну характеристику систем В2-2 та СП-3.

9. Яку функцію виконує лінійний трансформатор блока ЛФ?
10. Які вимоги висуваються до напрямних фільтрів?
11. Яким чином можна збільшити відстань передачі між станціями В2-2?
12. Пояснити, з якою метою застосовується подвійне перетворення частот в станції В2-2 [7-11].

## Лабораторна робота № 4

### Дослідження диференціальної системи

**Мета роботи** – Виконати дослідження особливостей побудови та основних характеристик диференціальної системи (ДС).

- Обладнання.**
1. Макет ДС.
  2. Осцилограф С1-76.
  3. Генератор ГЗ-33.
  4. Аналізатор спектра С4-34.

### Теоретичні відомості

В системі зв'язку повинна бути забезпечена можливість передачі сигналів у зустрічних напрямках. На місцевих телефонних мережах для організації двостороннього зв'язку між абонентами найчастіше використовують двопровідні фізичні кола. Канали багатоканальних систем передачі є односторонніми. Для організації двостороннього зв'язку використовують два зустрічних канали. При цьому виникає необхідність з'єднання чотирипровідного кінцевого блока двостороннього каналу багатоканальної системи з двопроводовим локальним зв'язком. Це з'єднання здійснюється за допомогою спеціальних перехідних пристроїв (ПП) як показано на рис. 4.1. З рисунку видно, що при побудові двостороннього каналу утворюється коло зворотного зв'язку  $c-b-c'-b'-c$ , від чого може виникнути самозбудження. Щоб уникнути цього, необхідно забезпечити достатньо велике згасання ПП в напрямках  $c-b$  і  $c'-b'$ , тобто, "розв'язати" напрямок передавання та приймання чотирипровідної

частини каналу. Разом з тим в напрямках  $a - c$ ,  $c' - a'$ ,  $a' - b'$  і  $c - a$ , в яких передаються сигнали зв'язку, згасання ПП повинно бути невеликим. Ці вимоги виконуються розв'язувальними пристроями (РП), що входять до складу ПП. Крім того, ПП повинен забезпечити узгодження вхідних опорів та рівнів передачі дво- і чотирипроводнової частин двостороннього каналу.

Розв'язувальний пристрій є шестиполосником ( $2 \times 3$  – полюсник), умовні позначення якого наведені теж на рис. 4.1. Напрямами пропускання РП називають шляхи передачі сигналів з малим згасанням, напрямком розв'язки (затримки) - шляхи з великим згасанням. Напрямок пропускання знаходиться між полюсами  $a - b$  і  $c - a$ , а напрямком розв'язки – між полюсами  $c - b$ . Ідеальним є такий РП, у якого в частотному та динамічному діапазонах сигналів, що передаються, виконуються такі умови:

- відсутнє згасання в напрямках пропускання, тобто,  $\alpha_{ab} = \alpha_{ca} = 0$ ;
- нескінченно велике згасання в напрямку розв'язки, тобто,  $\alpha_{cb} = \infty$ ;
- вхідні опори на всіх полюсах узгоджені з навантажувальними опорами.

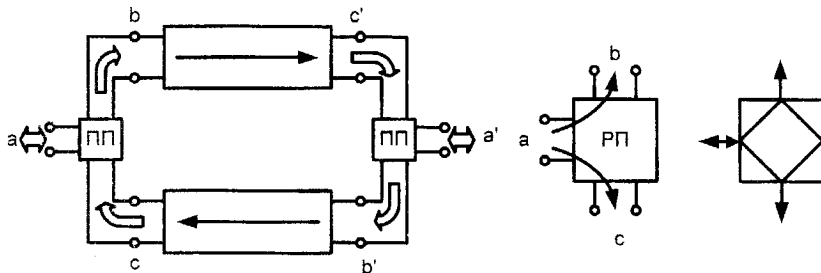


Рисунок 4.1 - Структурна схема двостороннього каналу з двопровідним закінченням

Можна скласти досить багато схем, які задовольняють дані умови. Ці схеми розбиваються на такі три групи:

- лінійні РП, складені на пасивних елементах з незмінними в часі параметрами;
- лінійні РП, в схеми яких увімкнено активні елементи з незмінними в часі параметрами;
- параметричні РП, в схеми яких увімкнені елементи зі змінними в часі параметрами.

Розв'язувальний пристрій називається зворотним, якщо виконується умова:

$$\alpha_{ab} = \alpha_{ba} = \alpha_{ac} = \alpha_{ca} = \alpha_{bc} = \alpha_{cb}$$

В протилежному випадку РП називається незворотним. До зворотних відносяться лінійні пасивні РП. Розглянемо деякі типи розв'язувальних пристроїв.

Диференціальний РП є зрівноваженим мостом (рис. 4.2). В одно з плеч мосту вмикають "двопроводову частину" каналу, три інших створюють з допоміжних опорів, а в діагоналі вмикають кола передачі та приймання "чотирипровідної частини" двостороннього каналу.

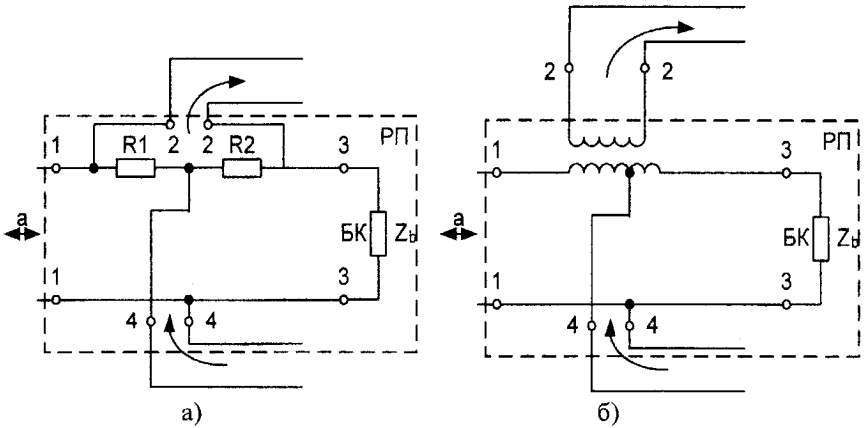


Рисунок 4.2 - Диференціальні (мостові) РП

Підбираючи опори одного з допоміжних резисторів, урівноважують міст і таким чином створюють велике згасання між напрямками передачі та приймання. В апаратурі багатоканального зв'язку використовують мостові РП двох типів - трансформаторні (рис.4.2,а) та на резисторах (рис.4.2,б).

Проаналізуємо трансформаторний РП. Для спрощення аналізу припустимо, що диференціальний трансформатор ДТ ідеальний, тобто, активні опори обмоток дорівнюють нулю, а індуктивності нескінченно великі. Введемо позначення для коефіцієнтів трансформації:

$$n = \frac{\omega_1' + \omega_2''}{\omega_2} = \frac{\omega_1}{\omega_2}; \quad m = \frac{\omega_1''}{\omega_1'} \quad (4.1)$$

Якщо  $m \neq 1$  РП називають нерівноплечим. В апаратурі в більшості випадків встановлюють рівноплечі РП ( $m=1$ ). Розв'язувальний пристрій називається зрівноваженим (збалансованим), якщо згасання в напрямку 4–2 нескінченно велике  $\alpha_{42} = \infty$ . Знайдемо опір  $Z_b$ , при якому виконується ця

умова. Для цього під'єднаємо джерело енергії Гс з внутрішнім опором  $Z_c$  до полюсів 4 – 4; а полюси 1 – 1 і 2 – 2 навантажимо опорами  $Z_a$  і  $Z_b$ . Електрорушійна сила (ЕРС), що наводиться у вторинній обмотці трансформатора, пропорційна результуючій магніторушійній силі (МРС) первинної обмотки. Напрямок струмів  $I_1$  і  $I_3$  протилежні, тому результуюча МРС первинної обмотки дорівнює:  $I_1\omega_1' - I_3\omega_1''$ . Звідки при  $I_1\omega_1' = I_3\omega_1''$  напруга між полюсами 2 – 2 буде відсутня,  $P_2 = 0$  та  $\alpha_{42} = \infty$ . Але

$$I_1 = U_{44} / Z_a, I_3 = U_{44} / Z_b,$$

де  $U_{44}$  – напруга на полюсах 4 – 4. Таким чином, РП буде збалансованим, якщо:

$$\frac{U_{44}}{Z_a} \omega_1' = \frac{U_{44}}{Z_b} \omega_1''.$$

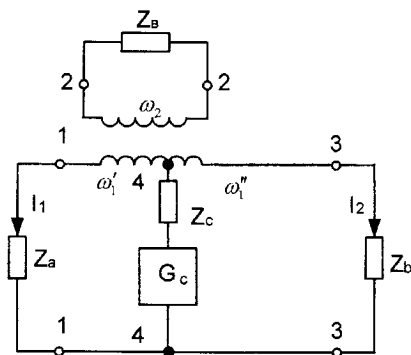


Рисунок 4.3 - Передача сигналу від полюсів 4 – 4

Звідси умова рівноваги може бути записана так:

$$Z_b = mZ_a. \quad (4.2)$$

Двополюсник, що під'єднується до клем 3 – 3 та забезпечує рівновагу РП, називається балансним контуром. Знайдемо тепер вхідний опір РП зі сторони полюсів 4 – 4 ( $Z_{44}$ ). Оскільки у зрівноваженому РП енергія від полюсів 4 – 4 до полюсів 2 – 2 не передається, то опори  $Z_a$  та  $Z_b$  виявляються ввімкнутими паралельно по відношенню до полюсів 4 – 4. Тому

$$Z_{44} = Z_a Z_6 / (Z_a + Z_6),$$

звідки отримаємо:

$$Z_{44} = Z_a \frac{m}{m+1}. \quad (4.3)$$

Якщо опір резистора  $Z_c$ , під'єданого до полюсів 4 – 4, вибрати рівним цій величині, то на полюсах приймання ( тобто, полюсах 4 – 4 ) буде забезпечено узгодження РП з навантаженням.

Знайдемо вирази, з допомогою яких можна знайти робоче згасання в напрямках 4 – 1 ( $\alpha_{41}$ ) та 4 – 3 ( $\alpha_{43}$ ). Зважаючи на те, що схема, яка розглядається зворотна, то  $\alpha_{41} = \alpha_{44}$  і  $\alpha_{43} = \alpha_{34}$  при  $Z_c = Z_{44}$  (узгоджене ввімкнення джерела),  $A_{41} = 10 \lg(P_{44}/P_{41})$  та  $\alpha_{43} = 10 \lg(P_{44}/P_{43})$ , де  $P_{41}$ ,  $P_{43}$ ,  $P_{44}$  – потужності на опорах  $Z_a$ ,  $Z_6$ ,  $Z_{44}$ . Оскільки опори  $Z_a$  і  $Z_6$  увімкнено паралельно по відношенню до полюсів 4 – 4, то  $P_{41} = U_{44}^2 / Z_a$ ,  $P_{43} = U_{44}^2 / Z_6$  та  $P_{44} = U_{44}^2 / Z_{44}$ .

Беручи до уваги формули (4.2) та (4.3), маємо:

$$\alpha_{41} = \alpha_{44} = 10 \lg \left[ \frac{1+m}{m} \right], \quad (4.4)$$

$$\alpha_{43} = \alpha_{34} = 10 \lg(1+m). \quad (4.5)$$

Для випадку, коли джерело енергії з внутрішнім опором  $Z_b$  підімкнено до полюсів 2 – 2 і РП зрівноважений  $Z_6 = mZ_a$  (рис. 4.4). Нехай  $Z_{22}$  – вхідний опір РП у напрямках 2 – 1 та 2 – 3. В схемі рис. 4.4 виконується умова рівноваги, тобто  $\alpha_{24} = \alpha_{42} = \infty$ , а різниця потенціалів між полюсами 4 – 4 дорівнює нулю. Тому стан схеми не залежить від величини опору, ввімкненого між цими полюсами і можна вважати, що вони розімкнені. Опори  $Z_a$  і  $Z_6$  ввімкнені послідовно по відношенню до первинної обмотки трансформатора, тому  $Z_{22} = (Z_a + Z_6) \frac{1}{n^2}$ .

З урахуванням (4.2) отримаємо:

$$Z_{22} = Z_a \frac{1+m}{n^2}. \quad (4.6)$$



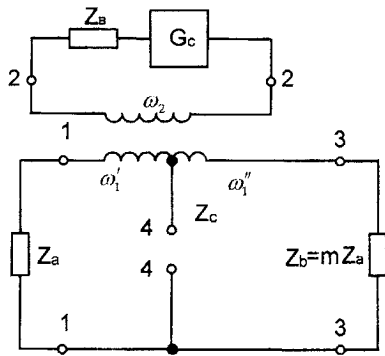


Рисунок 4.4 - Передача сигналу від полюсів 2 – 2

На полюсах 2 - 2 РП буде узгоджений з навантаженням при  $Z_b - Z_{22}$ .

Для визначення робочих згасань  $\alpha_{21}$  і  $\alpha_{23}$ , допускається, що внутрішній опір генератора  $Z_b$  узгоджено з вхідним опором  $Z_{22}$ . Тоді  $\alpha_{21} = 10 \lg \frac{P_{22}}{P_{21}}$  та  $\alpha_{23} = 10 \lg \frac{P_{22}}{P_{23}}$ , де  $P_{22}$  і  $P_{23}$  – потужності на опорах  $Z_a$ ,  $Z_{22}$  і  $Z_b$ . Зі схеми на рис. 4.4 видно, що

$$P_{22} = \frac{U_{22}^2}{Z_{22}}, \quad P_{21} = \left( \frac{U_{22} n}{Z_a + Z_b} \right)^2 Z_a \quad \text{та} \quad P_{23} = \left( \frac{U_{22} n}{Z_a + Z_b} \right)^2 Z_b$$

Враховуючи вирази (4.5) і (4.6), після нескладних перетворень, отримаємо:

$$\alpha_{21} = \alpha_{12} = 10 \lg(1 + m), \quad (4.7)$$

$$\alpha_{23} = \alpha_{32} = 10 \lg \frac{1 + m}{m}. \quad (4.8)$$

Перейдемо до розрахунку випадку, коли генератор з внутрішнім опором  $Z_a$  під'єднано до полюсів 1 – 1 (рис. 4.5). РП – врівноважений, тобто,  $Z_b = mZ_a$  та на полюсах 2 – 2 і 4 – 4 навантаження під'єднано узгоджено. Згасання  $\alpha_{21}$  і  $\alpha_{14}$ , визначаються згідно з (4.4) і (4.7). Залишається знайти вирази, що визначають робоче згасання  $\alpha_{13}$ , в напрямку 1 – 3 і вхідний опір РП зі сторони полюсів 1 – 1. Очевидно,  $\alpha_{13} = 10 \lg \frac{P_{11}}{P_{13}}$ , де  $P_{11}$  – потужність генератора  $G_a$  на вході 1 – 1;  $P_{13}$  –

потужність, що споживається від джерела  $\Gamma_a$  опором  $Z_b$ . Але  $P_{11} = P_{12} + P_{14} + P_{23}$ , де  $P_{12}, P_{14}$  – потужності джерела  $\Gamma_a$  на опорах  $Z_b$  і  $Z_c$ , причому

$$P_{12} = P_{11} \cdot 10^{-0,1\alpha_{12}}, \quad P_{14} = P_{11} \cdot 10^{-0,1\alpha_{14}}.$$

Підставивши в ці формули  $\alpha_{12}$  і  $\alpha_{14}$  із виразів (4.3) і (4.7), отримаємо, що  $P_{12} = \frac{P_{11}}{1+m}$ ;  $P_{14} = \frac{P_{11}m}{1+m}$ , звідки  $P_{12} + P_{14} = P_{11}$  та  $P_{13} = 0$ . Тому

$$\alpha_{13} = \alpha_{13} = \infty. \quad (4.9)$$

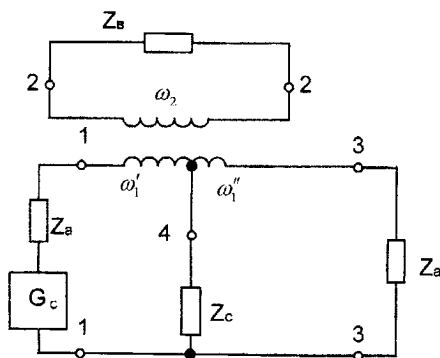


Рисунок 4.5 – Схема передачі сигналу від полюсів 1-1

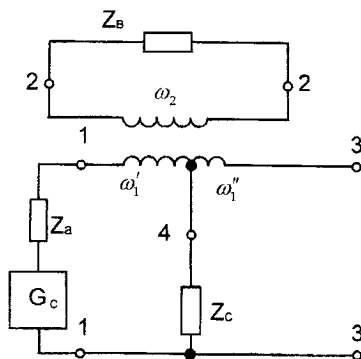


Рисунок 4.6 – Схема визначення вхідного опору

Таким чином, в трансформаторному РП є два напрямки розв'язки: 4 – 2 та 1 – 3.

Беручи до уваги, що  $P_{13} = 0$ , в схемі рис. 4.5 можна розімкнути полюси 3 – 3, не змінюючи її стану. Отримаємо схему (рис.4.6), із якої видно, що

$$Z_{11} = Z_b \frac{\omega_1'}{\omega_2} + Z_c. \quad (4.10)$$

При узгодженому ввімкненні  $Z_b = \frac{Z_a(1+m)}{n^2}$ ,  $Z_c = \frac{Z_a m}{m+1}$ .

Крім того,  $\frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{n}{1+m}$ , підставляючи ці вирази в (4.10), отримаємо:

$$Z_{11} = Z_a. \quad (4.11)$$

Виходячи з умов рівноваги РП, ( $Z_6 = mZ_a$ ) можна також записати:

$$Z_{11} = \frac{Z_6}{m}. \quad (4.12)$$

На практиці при під'єднанні до РП реальної двопровідної лінії зв'язку опір балансного опору  $Z_6$  лише наближено дорівнює вхідному опору лінії  $Z_n$ . Опори резисторів  $Z_c$  і  $Z_b$  також неточно відповідають значенням, що визначаються за формулами (4.3) та (4.6). Таким чином, в реальних умовах можна лише наблизитись до умов рівноваги. Знайдемо згасання в напрямках розв'язки 4 – 2 (2 – 4) наближено зрівноваженого РП.

Припустимо, що до полюсів 4 – 4 під'єднано генератор (рис. 4.7) та знайдемо згасання  $\alpha_{42}$ . Вхідний опір  $Z_{11} = \frac{Z_6}{m} \neq Z_n$ , отже в точках 1 – 1 не буде узгодженого ввімкнення лінії. Тому частина енергії, що надходить в ці точки від генератора, відіб'ється в сторону РП і на шляху 1 – 2, зі згасанням  $\alpha_{12}$ , надійде до навантаження  $Z_6$ . У відповідності з цим:

$$\alpha_{42} = \alpha_{41} + \alpha_{\text{відб}} + \alpha_{12}. \quad (4.13)$$

Згасання відбиття

$$\alpha_{\text{відб}} = 20 \lg \left| \frac{Z_n + Z_{11}}{Z_n - Z_{11}} \right|.$$

Підставимо сюди  $Z_{11}$  і  $Z_6/m$  та позначимо отриману величину через  $A_e$ :

$$A_e = 20 \lg \left| \frac{mZ_n + Z_6}{mZ_n - Z_6} \right|. \quad (4.14)$$

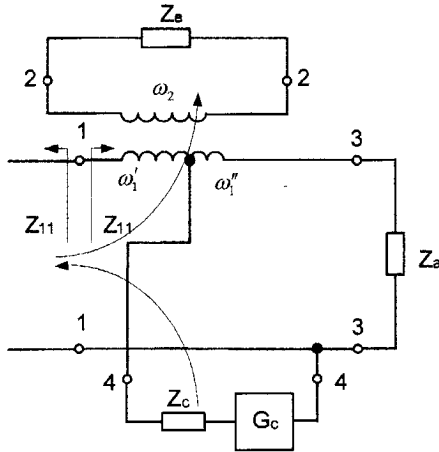


Рисунок 4.7 – Шляхи передачі сигналу в незрівноваженому РП  $Z_{11}$

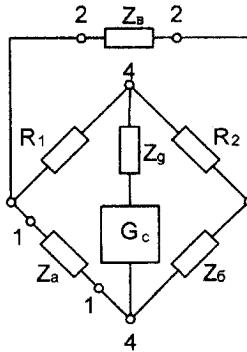


Рисунок 4.8 – Резисторний РП

Згасання  $A_c$  називають балансним. Підставляючи в (4.7) величини  $\alpha_{11}$  та  $\alpha_{42}$ , що визначається формулами (4.4) та (4.8), отримуємо:

$$\alpha_{42} = A_c + 10 \lg \left| \frac{(1+m)^2}{m} \right|. \quad (4.15)$$

Для рівноплечого РП  $m=1$  та  $A_{42} = A_c + 6$  дБ,

$$A_e = 20 \lg \left| \frac{Z_a + Z_b}{Z_a - Z_b} \right|. \quad (4.16)$$

На практиці балансне згасання не перевищує 25 – 30 дБ в тих випадках, коли балансний контур імітує хвильовий опір лінії. Якщо в якості балансного контуру використовується активний опір, що дорівнює мінімальному значенню хвильового опору лінії (наприклад,  $Z_b = 600 \text{ Ом}$ ), то балансне згасання складає, звичайно, 5 – 8 дБ. В табл. 4.1 наведено формули, які характеризують трансформаторний РП.

Таблиця 4.1 – Характеристики трансформаторного РП

Напрямок передачі	Згасання РП, дБ		Вхідний опір РП, Ом	
	$m \neq 1$	$M = 1$	$m \neq 1$	$M = 1$
1 – 2, 2 – 1	$10 \lg(1 + m)$	$\sim 3$	$Z_{11} = Z_0/m$	$Z_{11} = Z_b$
2 – 3, 3 – 2	$10 \lg[(1 + m)/m]$	$\sim 3$	$Z_{22} = Z_a(1 + m)/n^2$	$Z_{22} = 2Z_a/n^2$
4 – 1, 4 – 1	$10 \lg[(1 + m)/m]$	$\sim 3$	$Z_{44} = Z_a m/(m + 1)$	$Z_{22} = Z_a/2$
4 – 2, 2 – 4 Незрівноважений РП	$A_e + 10 \lg[(1 + m)^2/m]$	$\sim A_c + 6$	–	–
4 – 3, 3 – 4	$10 \lg(1 + m)$	$\sim 3$	$Z_{33} = mZ_a$	$Z_{33} = Z_a$

Резисторний РП. Принципова схема одного з варіантів резисторного РП наведена на рис.4.2,б. Для випадку, коли джерело сигналу з внутрішнім опором  $Z_c$  під'єднано до полюсів 4 – 4, а полюси 1 – 1 та 2 – 2 навантажено резисторами з опорами  $Z_a$  і  $Z_c$ , схема резисторного РП показана на рис. 4.8. Пристрій називається рівноплечим при  $R_1 = R_2 = R$ . Очевидно, рівновага рівноплечого РП, тобто виконання умови  $\alpha_{42} = \alpha_{24} = \infty$ , досягається при  $Z_b = Z_a$ . Знайдемо робоче згасання рівноплечого РП в напрямках пропускання при умові, що навантаження на всіх полюсах ввімкнено узгоджено.

Схема, що розглядається, є зворотною. Якщо вибрати опори  $R_1 = R_2 = Z_a$ , то схема буде також симетричною відносно полюсів 4 – 4 і 2 – 2, і  $\alpha_{21} = \alpha_{12} = \alpha_{14} = \alpha_{41} = \alpha_0$ . Позначимо через  $P_{44}$  потужність, що розсіюється на навантаженні, під'єднаному до полюсів 4 – 4 та через  $P_{41}$  – потужність на опорі  $Z_a$ . Безпосередньо зі схеми рис. 4.5 видно, що  $P_{44}/P_{41} = 4$ . Отже,  $\alpha_0 = 10 \lg(P_{44}/P_{41}) \approx 6 \text{ дБ}$ . В симетричній схемі  $Z_{11} = Z_{22} = Z_{44} = Z_b$ . Якщо до полюсів 1 – 1 підведена двопроводова лінія з вхідним опором  $Z_A \neq Z_b$ , то РП буде незрівноваженим. Згідно з методикою

аналізу трансформаторного РП, знайдемо згасання неврівноваженого РП в напрямку 4 – 2.

$$\alpha_{42} = A_e + 12, \text{ дБ} \quad (4.17)$$

де

$$A_e = 20 \lg |(Z_A + Z_b) / (Z_A - Z_b)|.$$

### Домашнє завдання

1. Знайти вхідні опори розв'язувального пристрою, якщо  $Z_0 = 2 + 1i$ ;  $Z_a = 4 + 3i$ ;  $m = 0,5$ ;  $n = 4$ .
2. Для зрівноваженого розв'язувального пристрою розрахувати затухання у всіх напрямках при  $m = 6$ .

### Опис лабораторного обладнання

До складу лабораторного макета входять дві диференціальні системи: трансформаторна та резисторна (відповідно ТДС і РДС). На передній панелі макета є перемикач "Вм. ТДС", який під'єднує до роз'ємів або ТДС, або РДС. Ручкою "Баланс РДС" можна змінювати параметри балансного контуру РДС, а ручкою "Баланс ТДС" - впливати на балансний контур ТДС.

Двонаправлені полюси диференціальної системи виведені на роз'єм "Вх— Вих", а однонаправлені – відповідно на роз'єми "Вх" і "Вих".

### Порядок виконання роботи

1. Під'єднати генератор до роз'єму "Вх—Вих", осцилограф до роз'єму "Вих", а спектроаналізатор до роз'єму "Вх". Ввімкнути режим "ТДС". Змінюючи частоту вхідного сигналу в смузі 0,1...100 кГц, та підтримуючи амплітуду вхідного сигналу на рівні 10 В, побудувати сімейство амплітудно-частотних характеристик (АЧХ) ТДС для п'яти значень опору балансного контуру.
2. Знайти смугу пропускання за рівнем мінус 3 дБ для всіх значень опору балансного контуру. Дослідити параметри частотного спектра на роз'ємі "Вх" у смузі пропускання ТДС для п'яти значень опору балансного контуру.
3. На основі побудованих частотних спектрів на полюсах "Вх" та отриманих АЧХ на полюсах "Вих" визначити оптимальне значення рівня розбалансування опору балансного контуру, а також коефіцієнти передачі та згасання сигналу у прямому та зворотному каналі.

4. Під'єднати генератор до полюсів "Вх", осцилограф - до полюсів "Вх—Вих", а спектроаналізатор - до полюсів "Вих". Повторити всі дослідження, зазначені в п.п. 1—3.

5. Перемикнути макет в режим "РДС" та повторити всі дослідження згідно з п.п. 1 – 4.

6. Виконати порівняльний аналіз отриманих характеристик і параметрів ТДС та РДС.

### **Вказівки до звіту**

Звіт з лабораторної роботи повинен містити:

- структурні схеми ТДС і РДС ;
- таблиці та графіки, отримані при виконанні лабораторного завдання;
- розрахунки, отримані в результаті обробки експериментальних даних;
- порівняльний аналіз теоретичних та експериментальних характеристик і параметрів ДС;
- висновки з кожного пункту лабораторної роботи.

### **Контрольні запитання**

1. З якою метою використовуються ДС?
2. Які вимоги повинні задовольняти диференціальні РП?
3. Навести принципові електричні схеми ввімкнення РП.
4. Пояснити принцип дії трансформаторних РП.
5. Як впливають параметри балансного контуру на електричні характеристики РП?
6. Виконати порівняльний аналіз характеристик ТДС та РДС.
7. Пояснити, як можна реалізувати активну ДС.
8. Навести умови рівноваги ДС.
9. Навести переваги та недоліки пасивних ДС [5, 7, 8, 16 -18].

## Лабораторна робота № 5

### Дослідження системи передачі типу V-60

**Мета роботи** – ознайомитись з побудовою та визначити основні параметри та характеристики системи передачі типу V-60.

- Обладнання:**
1. Система передачі типу V-60;
  2. Вольтметр ВЗ-38А;
  3. Осцилограф С1-76;
  4. Генератор ГЗ-102;
  5. Аналізатор спектра СК4-56.

#### Теоретичні відомості

Система передачі типу V-60 призначена для організації 60 каналів на симетричних парах кабельних ліній передачі. Лінійний спектр системи такого типу знаходиться у смузі 12 – 252 кГц. Лінійний спектр формується на основі п'яти стандартних первинних груп (60 – 108 кГц) таким чином: п'ять первинних груп перетворюються в стандартний спектр вторинної групи, а потім вторинна група перетворюється в лінійний спектр. Побудова лінійного спектра системи передачі типу V-60 показана на рис 5.1.

На першому етапі три канали тональної частоти перетворюються у триканальну групу з шириною спектра 12 – 24 кГц. Носійні частоти вибираються згідно з формулою

$$f_H = 12 + 4(n - 1), \quad (5.1)$$

де:  $f_H$  – носійна частота;

$n$  – кількість каналів,  $n = 1+3$ .

Відповідно чотири триканальні групи за допомогою перетворення частот утворюють спектр первинної групи з діапазоном частот 60 – 108 кГц, відповідно з носійними

$$f_{H,ПГ} = 84 + 12(n - 1), \quad (5.2)$$

де:  $n = 1+4$ .

Для створення спектра вторинної групи носійні частоти визначаються згідно з виразом (5.3) з інверсією, а без інверсії – згідно з (5.4):

$$f_{H,ВГ} = 420 + 12(n - 1), \quad (5.3)$$

$$f_{H,ВГ} = 252 + 12(n - 1), \quad (5.4)$$

де:  $n = 1+5$ .



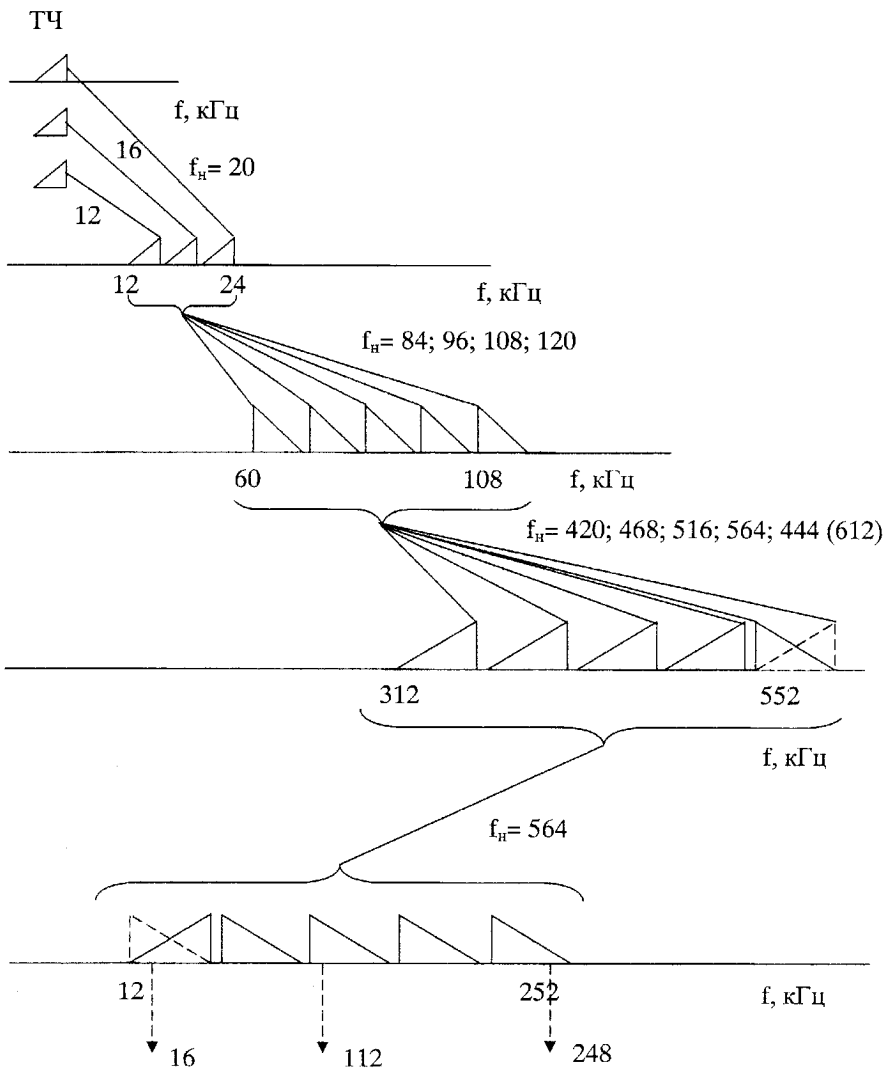


Рисунок 5.1 – Структура частотного спектра линейного сигнала в системе передачи типа V-60

Лінійний спектр створюється зі спектра вторинної групи з носійною частотою  $f_{н.л.} = 564$  кГц. Крім корисних сигналів лінійний спектр містить три контрольні частоти, які використовуються для роботи АРП. АРП працює за такими частотами: 248 кГц (КЧ 1), 112 кГц (КЧ 2), 248 кГц (КЧ 3).

До складу кінцевої станції типу V-60 входить таке обладнання.

1) Шафа ввідно-кабельного обладнання (ШВКО) (УКЕ), що призначене для розділення і узгодження лінії з апаратурою системи передачі.

2) Шафа лінійних підсилювачів кінцевої станції (ШЛП-КП) (ELE) призначена для компенсації затухання кабелю, накопичених амплітудно-частотних спотворень за допомогою магістральних вирівнювачів, а також АРП лінійного тракту. Структурна схема ШЛП-КП показана на рис. 5.2.

3) Шафа групових пристроїв (ШГП) (EGU) рис. 5.3 призначена для перетворення з п'яти первинних груп першої вторинної групи. При перетворенні з частотою 564 кГц первинна група перетворюється в першу вторинну групу ВГ в діапазоні 12 – 252 кГц, при цьому п'ята первинна група передається в діапазоні частот 12 – 60 кГц. На приймальній стороні відбувається зворотне перетворення.

4) Шафа генераторів носійних і контрольних частот (ШГНК) (ETG) призначена для забезпечення кінцевої станції V-60 носійними і контрольними частотами. Крім генераторного обладнання в шафі розміщені вимірювач рівня і осцилограф. Генераторне обладнання шафи виробляє носійні частоти 12, 16 і 20 кГц; передгрупові носійні частоти 84, 96, 108 і 120 кГц; носійні частоти 420, 468, 516, 564 і 444 (612) кГц первинних груп для основного спектра; носійні частоти 252, 300, 348, 396, 444 кГц первинних груп для інверсного спектра; носійну частоту 564 кГц вторинних груп; лінійні КЧ 16, 112 і 248 кГц, а також КЧ 84,14 кГц первинної групи, 411, 86 кГц вторинної групи; допоміжну частоту 496 кГц і частоту керування 60 кГц.

5) Шафа каналних перетворювачів (ШКП) (УКМ) призначена для створення спектра основної первинної групи в смузі частот 60,6–107,7 кГц шляхом двоетапного перетворення спектра частот 12 каналів ТЧ 0,3 – 3,4 кГц.

6) Шафа низькочастотного обладнання (ШНЧ) (ENF) призначена для переходу каналів ТЧ з чотирипровідної лінії на двопровідну, а також для виконання посилення виклику в сторону комутатора і від комутатора змінним або постійним струмом.

7) Шафа дистанційного живлення (ШДП) (UFS) призначена для дистанційного електроживлення обладнання системи передачі V-60 по фантомних колах симетричного кабелю.

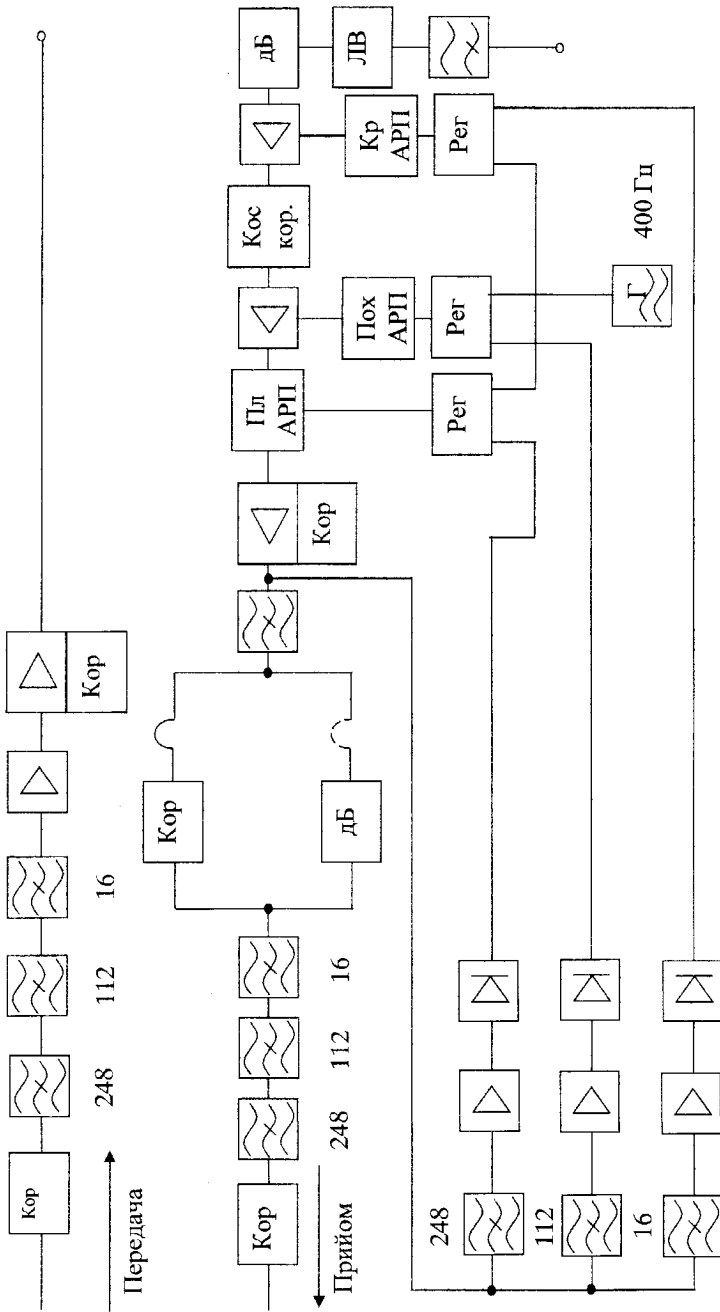


Рисунок 5.2 – Структурна схема ШЛГ-КП V-60

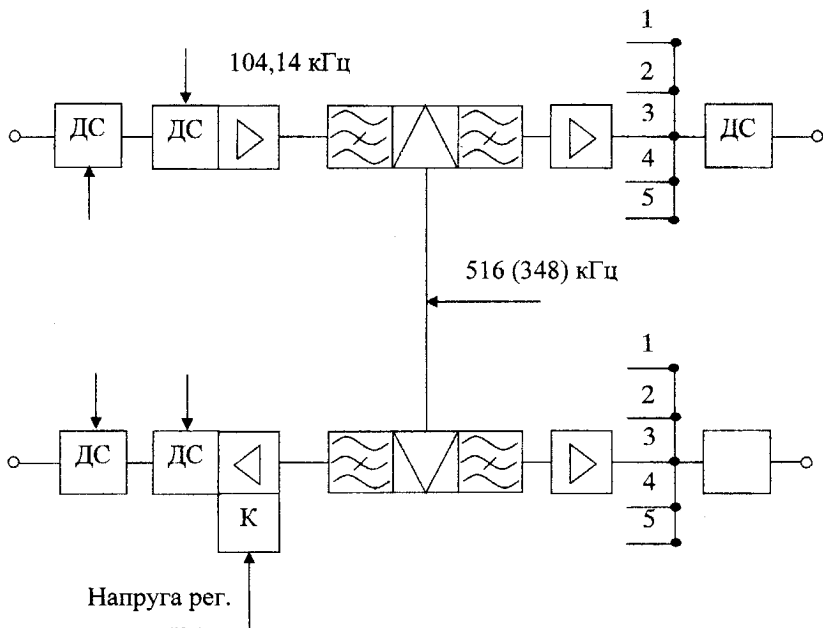


Рисунок 5.3 – Структурна схема ШГП

8) Шафи телеобслуговування (ШТ) призначені для забезпечення контролю за станом кабелю, апаратури системи передачі, кіл ДЖ.

Крім того в систему входить шафа живлення. Структурна схема системи V-60 показана на рис. 5.4.

Сигнал від АТС надходить до ШНЧ, яка виконує функцію узгодження допровідної лінії АТС з чотирипровідною лінією системи передачі. Далі сигнали ТЧ надходять до ШКП де відбувається двоетапне створення спектрів ПГ. П'ять сигналів ПГ надходять до ШГУ де відбувається створення спектра ВГ і лінійного спектра, а також домішуються контрольні частоти, необхідні для правильного функціонування приймального обладнання. Потім сигнал надходить до ШЛП де відповідно відбувається його підсилення до рівня, необхідного для передачі по лінії зв'язку. Підсилений сигнал пройшовши ШВКО, яка виконує функцію узгодження і гальванічного розділення обладнання станції і лінії зв'язку, надходить в тракт передачі. З прийнятим сигналом

відбуваються зворотні перетворення, виняток становить ШЛП де відбувається корегування сигналу відповідно до затухання в лінії зв'язку.

### Домашнє завдання

1. Розрахувати пропускну здатність системи V-60 при відношенні сигнал/шум 60 дБ.

2. Яку кількість каналів звукомовлення можна передати використовуючи смугу частот, яка відводиться для системи V-60 при застосуванні АМ?

### Опис лабораторного обладнання

До складу лабораторного обладнання входять шафи системи передачі V-60, генератори синусоїдальних коливань ГЗ-102 та Г4-143 і комплекти вимірювальних пристроїв. Для проведення лабораторної роботи необхідно ввімкнути живлення системи передачі V-60 та вимірювальних пристроїв.

Дослідження проводяться по блоках. Тобто, на вхід відповідного блока подається тестовий синусоїдальний сигнал, частота і рівень якого вибираються відповідно до параметрів цього блока. Відповідно на виході блока або станції підмикаються вольтметр – для визначення рівня сигналу; осцилограф – для контролю форми сигналу; аналізатор спектра – для дослідження спектральних складових вихідного сигналу.

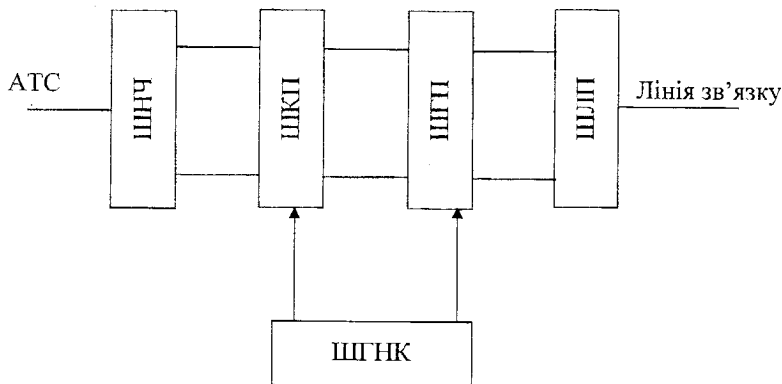


Рисунок 5.4 – Структурна схема системи V-60

## Порядок виконання роботи

1. На вхід ШКП подати синусоїдальний сигнал з рівнем напруги мінус 13 дБ та змінюючи частоту генератора від 0,02 до 10 кГц за допомогою осцилографа та вольтметра дослідити АЧХ системи утворення передпервинної групи.

2. Зняти амплітудну характеристику системи утворення передпервинної групи, подавши на вхід синусоїдальний сигнал з частотою 800 Гц і змінюючи рівень від мінус 13 дБ до плюс 10 дБ.

3. На основі отриманих даних знайти смугу пропускання на рівні мінус 6 дБ та пропускну здатність каналу.

4. За допомогою аналізатора спектра дослідити спектрограми на виходах ШКП, ШПТ, ШЛУ системи групи при вхідному сигналі з параметрами – рівень мінус 13 дБ, частота 800 Гц.

5. Визначити рівні залишкових і контрольних частот при відсутньому вхідному сигналі, підключаючи аналізатор спектра до виходу ШКП, ШПТ, ШЛУ.

6. Дослідити АЧХ системи утворення первинної та вторинної груп при параметрах вхідного сигналу п.1.

7. Дослідити АХ системи утворення первинної та вторинної груп при параметрах вхідного сигналу п.2.

8. Створити з'єднання між приймальною і передавальною частинами системи типу V-60 та дослідити АЧХ наскрізного тракту при параметрах сигналу п.1.

9. Дослідити АХ наскрізного тракту при параметрах вхідного сигналу п.2.

10. На вхід першого каналу ШКП подати синусоїдальний сигнал з рівнем мінус 13 дБ та частотою 800 Гц. За допомогою аналізатора спектра дослідити спектр на виході 1, 2, 15, 30, 60 каналів та визначити рівні перехідних спотворень.

11. Визначити величину перехідної завади згідно з формулою:

$$U_n = \sqrt{U_{\Sigma\text{вим}}^2 - U_{\text{ш}}^2} \quad [\text{дБ}]$$

де:  $U_n$  – рівень перехідних завод;

$U_{\Sigma\text{вим}}$  – сумарний рівень вимірюваних завод;

$U_{\text{ш}}$  – рівень власних шумів.

### Вказівки до звіту

Звіт з лабораторної роботи повинен містити:

- структурну схему системи V-60;

- таблиці та графіки, отримані при виконанні лабораторного завдання;
- розрахунки, отримані в результаті обробки експериментальних даних;
- частотні спектри відповідних сигналів у контрольних точках;
- порівняльний аналіз теоретичних та експериментальних характеристик і параметрів системи V-60;
- висновки з кожного пункту лабораторної роботи.

### **Контрольні запитання**

1. Поясніть метод утворення первинної групи в системі V-60, переваги і недоліки цього методу.
2. З якою метою спектр вторинної групи переноситься в нижню смугу частот?
3. Навіщо в системі V-60 в лінійний спектр додаються три контрольні частоти?
4. З якою метою і яку функцію виконують коректори в системі АРП?
5. На основі структурної схеми поясніть принцип функціонування системи V-60.
6. Перелічіть основні складові системи V-60 та подайте їх коротку характеристику.
7. Дайте порівняльну характеристику 60-канальної системи провідного зв'язку та радіозв'язку.
8. Які переваги та недоліки аналогових багатоканальних систем у порівнянні з цифровими?
9. Наведіть методи боротьби з перехідними завадами.
10. За яким принципом побудований захист приймальної частини від високих напруг грозових розрядів та ЛЕП?
11. Як запобігти лінійним частотним спотворенням у верхній області частот лінійного спектра в лінії зв'язку?
12. Пояснити, до яких наслідків призводить порушення синхронізації генераторного обладнання передавальної та приймальної станцій [5, 11, 19-21].

## Лабораторна робота № 6

### Дослідження абонентської високочастотної установки

**Мета роботи** – Виконати дослідження особливостей побудови та основних характеристик абонентської високочастотної установки (АВУ).

- Обладнання.**
1. Макет АВУ.
  2. Аналізатор спектра СК4-56.
  3. Генератор ГЗ-118.
  4. Осцилограф СІ-92.

#### Теоретичні відомості

АВУ призначена для створення додаткового телефонного каналу в одній телефонній лінії. Тобто, по одній парі проводів можлива передача двох незалежних повідомлень: одного по низькочастотному (НЧ) каналу, другого – по високочастотному (ВЧ). В разі впровадження у ВЧ-каналі системи діодного розділення каналів можливе використання однієї пари проводів трьома абонентами.

Канал НЧ організовано найбільш простим способом, при якому зберігається існуюча схема передачі сигналів керування від абонента до станції постійним струмом і передача індукторного виклику від станції до абонента. Додаткове обладнання НЧ-каналу при високочастотному ущільненні складається з 2-х фільтрів нижньої частоти Д-3,5, що встановлюються на обох кінцях абонентської лінії.

Додатковий ВЧ-канал утворюється шляхом високочастотного ущільнення абонентської лінії з частотним розділенням каналів. Для перетворення сигналів у ВЧ-каналі застосовується метод амплітудної модуляції з передачею носійної та двох бічних смуг. ВЧ-канал організовано по двосмуговій системі, причому, в напрямку передачі від абонента до станції використовується носійна частота 28 кГц, а в зворотному напрямку (від станції до абонента) - носійна частота 64 кГц. АВУ складається з таких основних блоків:

1. Блок абонентський високочастотний ВЧ-А
2. Блок абонентський низькочастотний НЧ-А.
3. Блок станційних комплектів БСПК, до складу якого входять 10 комплектів ВЧ/НЧ-С.
4. Статив станційних комплектів СПК, призначений для розміщення до 8 блоків БСПК.
5. Блок батарей ББ, які служать в якості резервного джерела живлення абонентського комплекту ВЧ-А при відсутності напруги мережі.



6. Комплект монтажний МК-БСПК, що служить для монтажу окремого БСПК на стіні без ставива СПК.

Принцип дії установки АВУ пояснюється згідно з функціональною схемою рис.6.1, на якій зображено НЧ-канал, утворений двома фільтрами нижньої частоти Д-3,5, що встановлюються в абонента і на станції, і ВЧ-канал, утворений абонентським комплектом ВЧ-А і станційним ВЧ/НЧ-С без урахування фільтра Д-3,5.

В абонентський комплект ВЧ-А входять:

1. Фільтр високих частот (ФВЧ) К-20.
2. Регулятор рівнів (РУ).
3. Фільтри напямні смугові П-28 і П-64.
4. Підсилювач приймального тракту (УВЧ).
5. Демодулятор (ДМ).
6. Фільтр нижніх частот (ФНЧ)Д-3,4.
7. Диференціальна система (ДС).
8. Модулятор (М).
9. Генератор носійної частоти 28 кГц Г-28.
10. Приймач виклику (ПВ).
11. Реле статичне (СР).
11. Блок живлення (БП).

В станційному комплекті ВЧ/НЧ-С відсутній приймач виклику, статичне реле, блок живлення і регульовані подовжувачі, проте є додаткові вузли: приймач сигнального каналу (ПСК), імітатор шлейфу (ИШ), ФНЧ. Замість генератора Г-28 є генератор носійної частоти 64 кГц Г-64. Живлення ВЧ/НЧ-С здійснюється від станційної батареї. В абонентський комплект НЧ-А входить один ФНЧ Д-3,5.

В обладнанні ВЧ-каналу прийнято такий алгоритм роботи.

У вихідному стані і абонентський, і станційний блоки знаходяться в режимі чергового прийому. Станційний блок ВЧ/НЧ-С постійно посиляє в лінію струм з носійною частотою 64 кГц незмінної амплітуди. Цей струм можна використовувати в абонентському блоці ВЧ-А для регулювання підсилення трактів приймання та передавання у відповідності зі згасанням (тобто, діаметром жил та довжиною) даної абонентської лінії.

При встановленні вхідного з'єднання з лінійного шукача на вхід ВЧ/НЧ-С подається викликний струм. Цей сигнал направляється дифсистемою в тракт передачі, де він обмежується до потрібної величини і модулює несучу частоту 64 кГц. Модульований сигнал з носійною частотою 64 кГц та двома бічними складовими проходить через смуговий фільтр П-64, ФВЧ К-20, абонентську лінію, фільтр К-20 блока ВЧ-А, подовжувачі РУ, фільтр П-64, УВЧ, де підсилюється до необхідної величини та надходить на вхід демодулятора.

Після демодулятора викликний сигнал виділяється та надходить до входу ПВ. Приймач виклику підсилює цей сигнал та по окремій лінії подає

на дзвінок телефонного апарата. Спрацьовує дзвінок телефонного апарата ТА-2. При знятті абонентом мікротелефону в абонентському комплекті замикається коло живлення мікрофону від місцевого джерела живлення. Струм живлення мікрофону діє на статичне реле СР, яке відкриває модулятор комплекту ВЧ-А. Струм несучої частоти 28 кГц посиляється в лінію, проходить тракт приймання станційного комплекту і викликає спрацьовування реле приймача сигнального каналу ПСК. Реле своїми контактами підключає до входу ВЧ/НЧ-С навантажувальний транзистор, що сприймається приладами АТС як замикання шлейфу абонентської лінії. З АТС припиняється посилення виклику і схема знаходиться в розмовному режимі.

Розмовні струми низької частоти від ТА-2 направляються дифсистемою ДС на вхід модулятора М і модулюють несучу частоту 28 кГц. Модульований сигнал через лінію і приймальний тракт ВЧ/НЧ-С надходить до входу демодулятора. Тут він перетворюється в низькочастотний сигнал і через фільтр Д-3.4, який подавляє ВЧ складові, поступає звичайним шляхом через АТС в лінію протилежного абонента. Аналогічним чином проходить передача розмовних струмів у зворотному напрямку. Відмінність полягає лише в тому, що інформація в зворотному напрямку передається на несучій частоті 64 кГц.

У разі закінчення зв'язку з абонентом ВЧ-А припиняється передача частоти 28 кГц, в результаті чого відпускається реле приймача сигнального каналу в станційному комплекті і розривається шлейф абонентської лінії. Прилади АТС відключаються.

При закінченні зв'язку зі сторони протилежного абонента, абоненту ВЧ-А надходить зумер "зайнято", який передається і приймається по ВЧ каналу таким же чином, як і розмовні струми. Якщо абонент ВЧ-А викликає станцію, він підіймає мікротелефон, посылаючи тим самим частоту 28 кГц в станційний комплект. Спрацьовує комплект приймача і замикається шлейф абонентської лінії. При наборі номера відбувається переривання струму живлення мікрофону, яке викликає переривання струму носійної частоти 28 кГц. В такт з перериваннями струму носійної спрацьовує та відпускається реле приймача, замикаючи та розмикаючи шлейф абонентської лінії. При наборі комутаційні прилади АТС встановлюються у відповідності з номером, що набирається. Таким чином, струм несучої частоти 28 кГц виконує у ВЧ-каналі ту ж роль, що і постійний струм в НЧ абонентській лінії.

Порівнюючи системи спарення телефонних абонентів на базі діодного розділення та на базі АБУ, слід відмітити, що ущільнення з використанням АБУ дає можливість обом абонентам телефонної лінії вести незалежні розмови, але це досягається значним ускладненням апаратури.



## Домашнє завдання

1. Якою має бути смуга пропускання неперервного каналу для передачі по ньому сигналів трьох телефонних каналів з частотним ущілюнням, при використанні АМ?

2. Розрахувати об'єм каналу для передачі одного телефонного сигналу.

## Опис лабораторного обладнання

Макет лабораторної АВУ, створений згідно з функціональною схемою, зображеною на рис.6.1. На передній панелі макета встановлено:

- роз'єми абонентських входів "ТА1" і "ТА2";
- роз'єми виходів ВЧ- та НЧ-каналу до АТС;
- роз'єм під'єднання до групового тракту "Лінія";
- роз'єм виходів гетеродинів "Г1" та "Г2";
- перемикач виходів гетеродинів "Г1" та "Г2".

Лабораторний макет АВУ живиться від мережі змінного струму 220 В, 50Гц.

## Порядок виконання роботи

1. Подати живлення на макет АВУ. Під'єднати осцилограф до роз'єму виходів гетеродинів і виконати вимірювання параметрів сигналів першого та другого гетеродину.

2. Під'єднати генератор синусоїдальних сигналів до входу "ТА1", а осцилограф до роз'єму НЧ-каналу "АТС" і зміюючи напругу синусоїдального сигналу в діапазоні 0,01...5 В на частоті 1 кГц визначити та побудувати амплітудну характеристику НЧ-тракту (ТА-АТС/НЧ). Поміняти місцями осцилограф та генератор і повторити вимірювання для НЧ-тракту (АТС/НЧ-ТА). Амплітудні характеристики в обох напрямках НЧ-каналу побудувати на одному графіку. Визначити модулі коефіцієнтів передачі на лінійних ділянках характеристик.

3. Визначити амплітудно-частотні характеристики (АЧХ) НЧ-каналу в обох напрямках у смузі частот 0,1... 10 кГц та підтримуючи постійною амплітуду вхідного сигналу 2 В. Побудувати АЧХ на спільному графіку та знайти смугу пропускання каналу на рівні мінус 3 дБ.

4. Під'єднати генератор та осцилограф до ВЧ-каналу та повторити всі вимірювання, зазначені в п.2 і п.3.

5. Під'єднати аналізатор спектра до роз'єму "Лінія" та подати одночасно з генератора синусоїдальний сигнал частотою 1 кГц і амплітудою 2 В на два входи ТА1 і ТА2. Дослідити параметри частотного спектра групового сигналу та зарисувати його, використовуючи логарифмічний масштаб відліку амплітуд.

6. Від'єднати генератор від входу ТА1 та знову дослідити параметри спектра групового сигналу згідно з п.5 та спектра на виході "АТС НЧ". Визначити коефіцієнти послаблення сигналу ТА2 в груповому тракті та на виході НЧ-каналу.

7. Від'єднати генератор від входу ТА1, та під'єднати його до входу ТАІ і повторити дослідження згідно з п.6. Визначити коефіцієнт послаблення сигналу ТАІ у ВЧ-каналі.

8. Від'єднати генератор від входу ТА2 дослідити параметри спектра групового сигналу у разі відсутності модулюючих коливань. Зарисувати частотний спектр та визначити рівень шуму в груповому каналі.

9. На основі характеристик, знайдених в п. 5-8 знайти відношення сигнал/шум для ВЧ- та НЧ-каналу.

### **Вказівки до звіту**

Звіт з лабораторної роботи повинен містити:

- структурну схему системи АВУ;
- таблиці та графіки, отримані при виконанні лабораторного завдання;
- розрахунки, отримані в результаті обробки експериментальних даних;
- частотні спектри сигналу в лінії зв'язку та індивідуальних сигналів на виході макета;
- порівняльний аналіз теоретичних та експериментальних характеристик і параметрів системи В2-2, висновки з кожного пункту лабораторної роботи.

### **Контрольні запитання**

1. Який вид модуляції використовується у ВЧ-каналі АВУ?
2. Порівняльний аналіз характеристик систем спарення телефонних абонентів на базі діодного розділення та з АВУ.
3. За рахунок чого у ВЧ-каналі АВУ організовано дуплексний режим обміну сигналами?
4. Навести спектри сигналів з амплітудною, балансною та одно-смуговою модуляцією.
5. Пояснити особливості частотного спектра групового сигналу в АВУ.
6. Яке призначення диференціальних систем в АВУ?
7. В чому полягає необхідність використання у складі АВУ фільтрів нижніх частот?
8. Які параметри складових блоків АВУ безпосередньо впливають на відношення сигнал/шум установки?
9. Пояснити чи буде працездатним хоча б один з каналів АВУ у разі відімкнення установки від мережі живлення [5, 16, 22, 23].

## Лабораторна робота № 7

### Дослідження системи зв'язку з відкритим оптичним каналом

**Мета роботи** – ознайомитись з будовою та принципом дії системи з відкритим оптичним каналом (ВОК).

- Обладнання:**
1. Макет передавача і приймача з ВОК;
  2. Вольтметр ВЗ-38А;
  3. Осцилограф С1-76;
  4. Генератор ГЗ-102;

### Теоретичні відомості

Оптичний зв'язок реалізується в діапазоні оптичного спектра частот електромагнітних хвиль. За оптичний діапазон прийнято вважати електромагнітні хвилі з довжиною від 1000 до 0,01 мкм, відповідно з частотами від  $3 \cdot 10^{11}$  до  $3 \cdot 10^{16}$  Гц. Цей діапазон поділяється на інфрачервоний з довжиною хвилі від  $10^3$  до 0,75 мкм (частоти  $3 \cdot 10^{11}$  –  $4 \cdot 10^{14}$ ), видимий 0,75 – 0,4 мкм (частоти  $4 \cdot 10^{14}$  –  $7,5 \cdot 10^{14}$ ) та ультрафіолетовий 0,4 – 0,01 мкм (частоти  $7,5 \cdot 10^{14}$  –  $3 \cdot 10^{16}$ ).

В порівнянні з іншими видами радіозв'язку оптичний зв'язок має принципові особливості, обумовлені розповсюдженням світлових хвиль. А саме з двоякої природи світла, відомої під назвою корпускулярно-хвильовий дуалізм. Тому модуляція, передача та прийом оптичного сигналу розглядається як з точки зору хвильової теорії, так і квантової теорії. Зокрема при створенні генераторів оптичних сигналів користуються квантовою теорією.

За рахунок більш широкої смуги оптичного діапазону та значно вищої направленості передачі оптичні системи переважають системи радіодіапазону. Однак, вузькі діаграми направленості, які реалізуються в оптичних системах, накладають жорсткі вимоги на системи стеження за променем передавача.

Історія оптичних систем передачі починається з середніх віків, коли в Середземномор'ї широко застосовувався так званий сонячний телеграф. Але сильна залежність його від природних умов та неможливість модуляції променя не давали можливості широкому розповсюдженню таких систем. Перші, дійсно сучасні оптичні системи, з'явилися і успішно працювали під час другої світової війни. Це були рухомі системи, що працювали з некогерентним променем в інфрачервоному діапазоні. Як джерело випромінювання застосовувались лампи розжарювання,

видима частина спектра яких відфільтровувалась. Модуляція світлових променів була або безпосередньо електрична, або на шляху променя встановлювався механічний модулятор (діафрагма). Оскільки для оптичної направленості променя необхідно, щоб він мав як можна менший коефіцієнт розсіювання, то ці системи потребували досить складної оптики.

Структурна схема сучасної системи оптичного зв'язку зображена на рис. 7.1. згідно з цією схемою інформація, яка надходить з джерела інформації ДІ, перетворюється в електричний сигнал за допомогою пристрою кодування (ПК), електричного модулятора (ЕМ) і генератора підносійної частоти (ГП). Всі ці елементи схеми використовуються в системах електро-, і радіозв'язку. Світловий промінь створюється оптичним генератором (ОГ) та модулюється оптичним модулятором (ОМ). ОГ і ОМ технічно є одне ціле. Промодульований світловий сигнал надходить на оптичну антену (ОА). Напрямок розповсюдження світла контролюється блоком керування.

Промінь, пройшовши середовище розповсюдження (СР), надходить на оптичну антену, фільтрується смуговим оптичним фільтром (СОФ). СОФ послаблює світло від інших джерел, що є завадами і пропускає смугу частот що несе корисну інформацію.

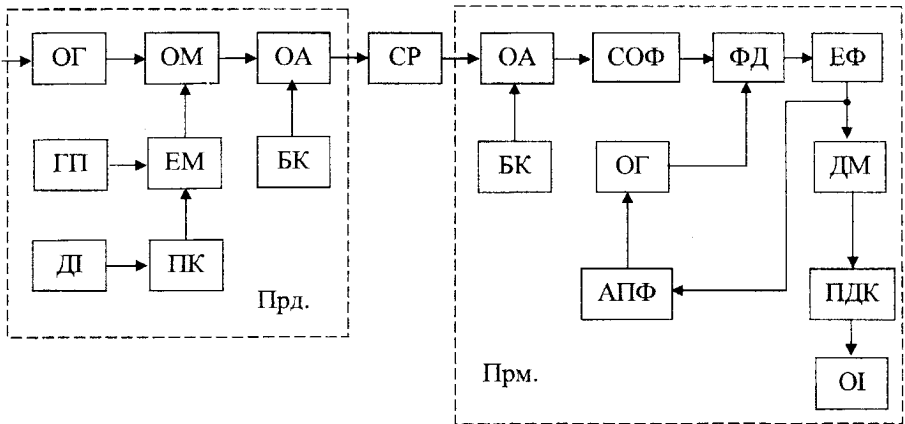


Рисунок 7.1 – Структурна схема оптичної системи передачі

З виходу СОФ промінь надходить на фотодетектор (ФД), який перетворює світловий потік в електричний сигнал. В оптичних системах може застосовуватись не лише пряме фотодетектування оптичних сигналів, але й так зване фотозміщення (гетеродинний або гомодинний прийом). В такому випадку фотодетектор виконує роль змішувача

оптичних сигналів і на його вхід крім сигналу, що приймається, надходить також сигнал від місцевого лазерного гетеродину. Лазерний гетеродин на приймальній стороні додатково містить блок автоматичного підстроювання фази (АПФ). Електричний сигнал сформований фотодетектором пройшовши електричний фільтр (ЕФ) і демодулятор (ДМ), надходить до пристрою декодування ПДК і до одержувача інформації. В оптичних системах, як і в інших системах зв'язку, може застосовуватись аналогова, імпульсна або цифрова модуляція.

Як джерело світлового потоку можуть застосовуватись когерентні та некогерентні джерела випромінювання. З когерентних джерел випромінювання, найбільш широко використовуються газові і напівпровідникові, а також твердотільні лазери. З некогерентних джерел випромінювання широко застосовуються світлодіоди. Принцип дії квантових генераторів полягає в тому, що в них, на відміну від генераторів НВЧ мікрохвильового діапазону радіохвиль, які побудовані на об'ємних резонаторах, генеруються електромагнітні коливання, що поглинаються і випромінюються частинками деякої речовини. Ця речовина носить назву робоче тіло. В сучасних системах як джерело випромінювання застосовується оптичний квантовий генератор. Квантові підсилювачі і генератори оптичного діапазону називаються лазерами. Слово "лазер", англ. "laser" складається з перших букв англійських слів "Light amplification by stimulated emission of radiation", що означає, підсилення світла в результаті вимушеного випромінювання. Відповідно при зміні структури молекул у квантовому генераторі випромінювання відбувається в інфрачервоному діапазоні хвиль, при зміні структури атомів – у видимому або ультрафіолетовому діапазоні. Основною перевагою лазерного випромінювання є високий ступінь когерентності та монохромності.

При розгляді в якості середовища розповсюдження оптичного сигналу атмосфери, слід звернути увагу на залежність параметрів атмосфери та її складу від погодних умов. Основне рівняння системи передачі інформації оптичного діапазону може бути записане у вигляді:

$$\frac{P_{\text{пер}}}{P_{\text{пр}}} = L \alpha F, \quad (7.1)$$

де:  $P_{\text{пер}}$ ,  $P_{\text{пр}}$  – відповідно потужності на виході передавача та на вході приймача;

$L$  – затухання в оптичних елементах передавача та приймача;

$\alpha$  – затухання у вільному просторі;

$F$  – затухання, обумовлене впливом атмосфери.



Величина  $L$  – розраховується відомими в оптиці методами без принципових труднощів. В загальному випадку  $L = 3 - 10$  дБ.

Величина  $\alpha$  розраховується за такою формулою:

$$\alpha = \frac{\lambda^2 R^2}{A_{пер} A_{пр}}, \quad (7.2)$$

де:  $\lambda$  – довжина хвилі;

$R$  – довжина траси;

$A_{пер}$ ,  $A_{пр}$  – відповідно аперттури передавальної та приймальної антен.

Найбільш складно визначити затухання, обумовлене впливом атмосфери. При розповсюдженні в атмосфері оптична хвиля зазнає перетворень, викликаних молекулярним поглинанням і розсіюванням атмосферними газами, аерозольним, комбінаційним і резонансним розсіюванням, рефракцією, нелінійною взаємодією випромінювання з середовищем. Тому величина  $F$  є випадковою функцією часу і простору, а отже може характеризуватись законом її розподілу або моментами. В загальному випадку отримати точні оцінки величини поглинання і розсіювання в атмосфері важко, оскільки концентрація її складових визначається температурою і тиском, що в свою чергу залежать від географічної широти, висоти шару повітря і стану погоди. Тому слід використовувати теоретичні та експериментальні дані зони, в якій буде застосовуватись оптична система.

На висотах до 12 км основну роль в поглинанні випромінювання відіграють молекули вуглекислого газу і водяних парів. Тверді і рідкі включення зменшують прозорість атмосфери і відіграють велику роль в утворенні хмар і туману будучи ядрами концентрації водяної пари. Головна причина помутніння атмосфери – дим, наземний пил, бактерії, солі. Над містами і індустріальними центрами створюється так званий смог – густий туман з димом і кіптявою.

Найбільш “прозорою” атмосфера є для інфрачервоного спектра випромінювання. Але справа в тому, що коефіцієнт пропускання атмосфери змінюється відповідно до довжини хвилі оптичного випромінювання нелінійно. Інфрачервоний діапазон, який використовується для передавання в атмосфері (0,75 – 15кмк) поділяється на вісім областей, в яких коефіцієнт пропускання атмосфери має найбільше значення. Ці області називаються вікнами прозорості.

Необхідно відмітити ще один фактор, який негативно впливає на системи передачі інформації оптичного діапазону, - порушення когерентності випромінювання лазера в турбулентній атмосфері. Турбулентність може викликати відхилення центральної осі діаграм направленості випромінювання, а в деяких випадках фазові спотворення

фронту хвилі. Складність проблеми, пов'язаної з турбулентністю ставить під питання можливість супергетеродинного приймання в лазерних системах передачі інформації в атмосфері.

Завадостійкість системи передачі інформації оптичного діапазону також залежить від вибору модуляції. Важкість реалізації завадостійких методів частотної і фазової модуляції, і мала ефективність амплітудної модуляції призвела до розробки так званої поляризаційної модуляції (ПМ). На виході модулятора ПМ створюється сліпс поляризації, який можна модулювати за рядом параметрів. При ПМ найбільший інтерес викликають цифрові методи модуляції, в яких символам "0" і "1" ставляться у відповідність послідовності монохромного коливання постійної амплітуди і тривалості відповідно з правою і лівою круговою поляризацією. При використанні напівпровідникових лазерів широко використовуються імпульсні види модуляції, особливо ШПМ. ШПМ можна створити, якщо використати затримку між моментом прикладення імпульсу струму і моментом початку індукованого випромінювання. Величина цієї затримки залежить від амплітуди імпульсу струму, а отже і від модулюючого сигналу. Найбільшою завадостійкістю і ефективністю системи оптичного зв'язку можна досягти при використанні ІКМ з ПМ. До переваг цієї подвійної модуляції слід віднести: стійкість до дії флуктуацій прозорості передавального середовища; низьку чутливість до лінійної поляризованого фону випадкового характеру; можливість реалізувати майже вдвічі більшу потужність модульованого випромінювання, ніж при амплітудних методах модуляції.

Найбільш ефективними в наш час системами передачі інформації оптичного діапазону є малопотужні напівпровідникові лазерні системи малої дальності зв'язку, а також потужні космічні системи оптичного зв'язку типу Земля-супутник та супутник-супутник.

### Домашнє завдання

1. Розрахувати пропускну здатність системи з ВОК, якщо система працює в діапазоні інфрачервоних хвиль  $\lambda = 1,38...1,9$  мкм, відношення сигнал/шум – 30 дБ.

2. Яку кількість телефонних та телевізійних каналів можна забезпечити в системі зв'язку з ВОК, якщо її діапазон складає від  $1,57 \cdot 10^{14}$  до  $1,11 \cdot 10^{14}$  Гц і використана частотна модуляція з індексом  $m=11$ ?

### Опис лабораторного обладнання

До складу лабораторного обладнання входять передавач та приймач системи передачі інформації з відкритим оптичним каналом, що працюють в інфрачервоному діапазоні хвиль рис. 7.2.

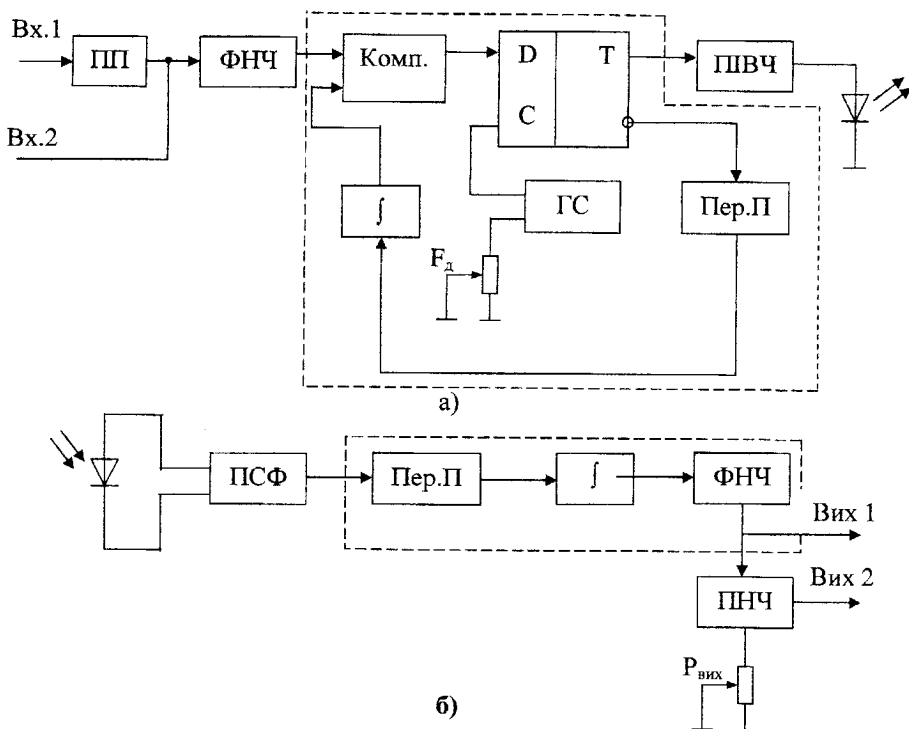


Рисунок 7.2 – Структурна схема передавача (а) та приймача (б) з ВОК

До складу передавача входять такі блоки: ПП – підсилювач потужності; ФНЧ – фільтр нижніх частот; Комп. – компаратор; D-тригер; Пер. П – перетворювач полярності; ГС – генератор синхронізації (частоти дискретизації); інтегратор; ПВЧ – підсилювач імпульсів високої частоти; світлодіод. Відповідно компаратор, тригер, перетворювач полярності, інтегратор – являють собою фазо-імпульсний модулятор.

До складу приймача входять: фотодіод; ПСФ – смуговий фільтр; перетворювач полярності; інтегратор; ФНЧ; ПНЧ – підсилювач нижніх частот з регульованим коефіцієнтом підсилення за потужністю.

Відповідно до структурної схеми застосовується ФІМ електричного сигналу. Електричний сигнал з ФІМ перетворюється у світлові промені світлодіода. Тобто, за час дії імпульсу напруги відбувається випромінювання світла інфрачервоного діапазону світлодіодом. На приймальній стороні випромінювання сприймається фотодіодом, тобто за час дії випромінювання зменшується опір фотодіода і відповідно

збільшується струм, що протікає через нього. Смуговий фільтр подавляє частоти, що знаходяться поза смугою пропускання системи і є завадами. Перетворювач полярності, інтегратор і ФНЧ виконують роль демодулятора ФІМ-сигналу. Система має два входи і виходи, що відрізняються лише рівнями сигналів.

До складу обладнання входять також вимірювальні пристрої та набір зразків матеріалів з різним коефіцієнтом заломлення та прозорості.

### Порядок виконання роботи

1. На один із входів системи подати сигнал рівнем 5мВ або 1В відповідно до позначень на лабораторному макеті. До виходу системи підключити осцилограф та вольтметр. Регулятор частоти дискретизації встановити в максимальне положення. Змінюючи частоту вхідного сигналу в смузі 0,01...10 кГц визначити амплітудно-частотну характеристику системи. Визначити смугу пропускання на рівні мінус 3 дБ.

2. Дослідити спектр на виході системи для параметрів вхідного сигналу 800 Гц, 1В (0,5мВ) за допомогою аналізатора спектра та визначити відношення сигнал-шум.

3. Для вхідного сигналу 800 Гц, 1В (0,5мВ) дослідити залежність вихідної напруги від зміни частоти дискретизації.

4. Для вхідного сигналу п. 3 та при максимальній частоті дискретизації визначити залежність вихідної напруги від відстані між приймачем та передавачем.

5. Використовуючи осцилограф, визначити мінімальну та максимальну частоту дискретизації за теоремою Котельникова, змінюючи частоту вхідного сигналу та слідкуючи за частотою вихідного сигналу.

6. Повторити пп. 1 – 4, помістивши між приймачем і передавачем матеріали з різним коефіцієнтом заломлення та прозорості.

7. На шляху променя помістити дзеркало та знайти такий кут відбивання при якому вихідний сигнал був максимальним. Параметри вхідного сигналу встановити відповідно до п.3.

### Вказівки до звіту

Звіт з лабораторної роботи повинен містити:

- структурну схему передавача та приймача системи з ВОК;
- таблиці та графіки, отримані при виконанні лабораторного завдання;
- розрахунки, отримані в результаті обробки експериментальних даних;
- частотні спектри вхідного сигналу;

- порівняльний аналіз теоретичних та експериментальних характеристик і параметрів системи з ВОК;
- висновки з кожного пункту лабораторної роботи.

### **Контрольні запитання**

1. Які види модуляції можна застосовувати в системах з ВОК?
2. Поясніть принципи дії квантового генератора.
3. Наведіть можливі сфери використання системи зв'язку з ВОК.
4. Перелічіть та охарактеризуйте методи підвищення завадостійкості систем з ВОК?
5. Які переваги та недоліки систем з ВОК у порівнянні з системами, які застосовують ВОЛЗ?
6. Який специфічний вид модуляції використовується в оптичних системах та які його переваги у порівнянні з іншими?
7. Дайте порівняльну характеристику напівпровідникових та газових квантових генераторів.
8. Що таке когерентність випромінювання?
9. Які вимоги висуваються до антенних пристроїв системи з ВОК?
10. Що являє собою оптичний фільтр?
11. Чим зумовлене широке використання когерентних джерел випромінювання у оптичних системах?
12. Аналіз чинників, від яких залежить максимальна дальність зв'язку в атмосфері та у космосі [8, 24-26].

## **Лабораторна робота № 8**

### **Дослідження цифрової багатоканальної системи зв'язку ІКМ-15/30**

**Мета роботи** – Дослідити основні параметри та характеристики цифрової системи зв'язку ІКМ15/30.

- Обладнання:**
1. Система зв'язку ІКМ-15/30;
  2. Вольтметр ВЗ-38А;
  3. Осцилограф С1-76;
  4. Генератор ГЗ-118;
  5. Цифровий аналізатор сигналів;
  6. Джерело живлення.

## Теоретичні відомості

ІКМ-15 відноситься до субпервинних цифрових систем передачі та призначена для організації з'єднувальних або абонентських ліній систем телефонного зв'язку. Апаратура дозволяє організувати 15 або 30 каналів тональної частоти; 45 або 60 сигнальних каналів; 4 канали передачі дискретної інформації зі швидкістю передачі 100 біт/с або 2 канали – по 200 біт/с; канал звукомовлення другого класу замість двох каналів ТЧ; основні цифрові канали (ОЦК) зі швидкістю 64 кбіт/с замість каналів ТЧ.

В системі застосовується часове розділення каналів, тому лінійний сигнал поділений на надцикли, кожен з яких містить 16 циклів. Відповідно кожен цикл містить 16 каналних інтервалів, кожен з яких складається з восьми тактових інтервалів. Тактовий інтервал містить восьмирозрядну кодову комбінацію, яка відноситься до відповідного каналу ТЧ (рис.8.1). лінійний сигнал має такі параметри:

- швидкість передачі – 1,024 Мбіт/с;
- номінальна амплітуда одиничного імпульсу – 3 В;
- тривалість імпульсу –  $T_{\text{И}}=0,98$  мкс;
- тривалість надциклу  $T_{\text{НЦ}}=2,0$  мс;
- тривалість циклу  $T_{\text{Ц}}=125$  мкс ( $F_{\text{Ц}} = F_{\text{д}} = 8$  кГц);
- тривалість каналного інтервалу  $T_{\text{КІ}}=7,8$  мкс;
- тривалість тактового інтервалу  $T_{\text{ТІ}}=0,98$  мкс.

Нульовий каналний інтервал  $КІ_0$  служить для передачі синхросигналів, сигналів дискретної інформації (телеграфії), сигналів керування і лівійних сигналів АТС системи телефонного зв'язку.

Сигнал циклової синхронізації складається з кодової комбінації 110, що міститься на  $П_6... П_8$  нульових каналних інтервалах кожного циклу.

На початку кожного надциклу в лінію зв'язку надсилається сигнал надциклової синхронізації на  $П_1 КІ_0 Ц_0$ . Сигнал надциклової синхронізації забезпечує вільний розподіл інформації по сигнальних каналах  $СК_1...СК_3$ , що знаходяться на  $П_2...П_4 КІ_0$ . Тактовий інтервал  $П_5$  використовується для передачі інформації, що надходить від телеграфних каналів.

Апаратура ІКМ-15/30 (рис. 8.2) містить у своєму складі такі блоки: блок ущільнення і кодування БУК; блок комплектів низькочастотних закінчень КНКБ (КНО); блок сигналізації БС; блок сервісного обладнання; блок узгодження телеграфних пристроїв УТП; пристрій прямого абонента ППА (УПА); блок обладнання лінійного тракту (БОЛТ).

БУК призначений для аналого-цифрового та цифро-аналогового перетворення сигналів, їх часового об'єднання та розділення 15 каналів ТЧ. Структурна схема БУК зображена на рис. 8.2.

Однобічний службовий зв'язок у лінійному тракті здійснюється на НЧ без проміжних підсилювачів з використанням штучного кола.

Тональний виклик службового зв'язку передається на частоті 552 Гц. Дальність дії службового зв'язку 50 км. Лінійний тракт контролюється шляхом організації шлейфа за груповим сигналом на одній з кінцевих станцій КС.

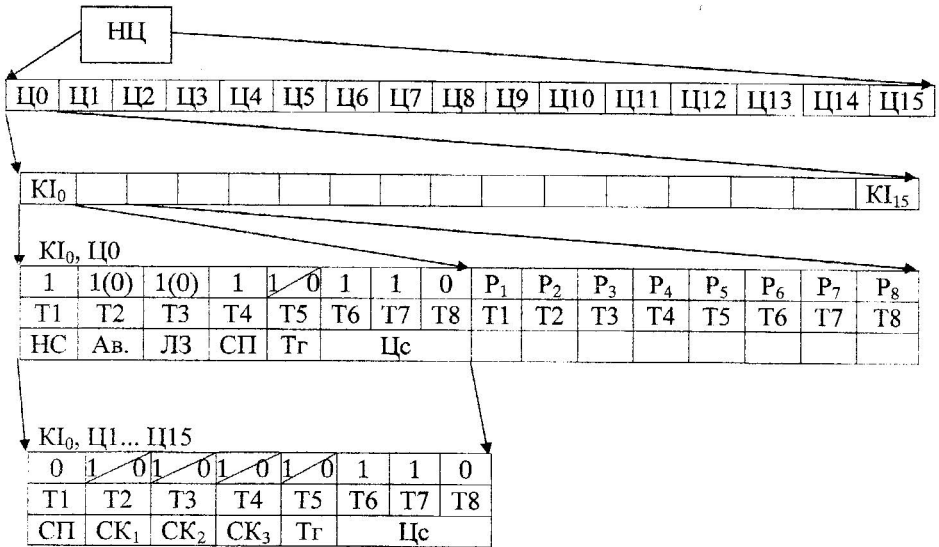


Рисунок 8.1 – Структура лінійного сигналу системи ІКМ-15/30

Команда на утворення шлейфа за груповим сигналом дається спеціальним пристроєм, що входить до складу ІКМ-15, за допомогою дворазового переполісовування дистанційного живлення, виробленого  $n+1$  раз, де  $n$  – число ПС на секції дистанційного живлення.

Живлення устаткування кінцевої станції здійснюється від станційної батареї напругою мінус 60 В.

Склад устаткування.

Кожна кінцева станція складається з:

- ✓ блока ущільнення та кодування (БУК), призначеного для аналого-цифрового і цифро-аналогового перетворення сигналів, а також для часового об'єднання та поділу каналів субпервинної 15-канальної групи;

- ✓ блока комплектів низькочастотних кінцевих блоків (КНКБ) (КНО), що містить 15 комірок КНКБ, які при організації з'єднань між каналами апаратури ІКМ-15 і приладами АТС переводять чотирипровідні закінчення каналів у двопровідні з вимірювальними рівнями на входах і виходах 0 та мінус 7 дБ або 0 та мінус 3,5 дБ, відповідно;

✓ блока сигналізації (БС), що забезпечує введення напруги живлення на кінцеву станцію та формування аварійного сигналу, переданого в пристрої загальностанційної і рядової сигналізації при пошкодженні кожного з блоків кінцевої станції;

✓ блока сервісного обладнання (СО), призначеного для організації службового зв'язку та випробовування каналів, що містить переговорний пристрій для зв'язку по каналах ТЧ і комутуючий пристрій, що дозволяє підключати до каналів ТЧ і СКВ (сигналів керування та взаємодії) вимірювальні прилади для їхнього контролю;

✓ блока узгодження телеграфних пристроїв (УТП) (СТУ), що забезпечує перетворення телеграфних сигналів до 100...200 біт/с з метою їхньої передачі по цифрових каналах ІКМ-15;

✓ пристрою прямого абонента (ПША) (УПА), призначеного для підключення апарата прямого абонента до чотирипровідних каналів ТЧ системи ІКМ-15;

✓ блока обладнання лінійного тракту (БОЛТ), що забезпечує регенерацію цифрового сигналу, прийнятого з пристанційної ділянки, дистанційне живлення лінійних регенераторів, прийом тонального виклику службового зв'язку та захист станційної частини від небезпечних напруг; БОЛТ виконаний у двох варіантах — з вузлом дистанційного живлення (ДЖ) і з вузлом дистанційного шлейфа (ДШ), що дозволяє організувати шлейф на кінцевій станції.

Станція, що містить вузол ДЖ, повинна обслуговуватись, у той час як станція, що містить вузол ДШ, може частково обслуговуватись (без постійно присутнього персоналу експлуатації).

Структура устаткування ІКМ-15 зображена на рис. 8.2. Телефонні сигнали надходять від АТС на двопровідні входи КНКБ КС<sub>1</sub>. Виходи КНКБ з'єднані з чотирипровідними виходами БУК. Останній здійснює аналого-цифрове перетворення сигналів, що надійшли від КНКБ, перетворює сигнали, що надійшли від УТП, і формує часові надцикли та цикли на основі інформаційних і службових кодових комбінацій, що надходять у БОЛТ і в кабель. Двійковий цифровий сигнал у лінійному тракті регенерується в кожній проміжній станції (ПС). З останньої пристанційної ділянки двійковий сигнал надходить у БОЛТ КС<sub>2</sub>, де відбувається його регенерація станційним регенератором. Регенерований сигнал надходить у БУК, де здійснюється цифро-аналогове перетворення сигналу та розподіл сигналів по відповідних каналах. Сигнали керування та лінійні сигнали АТС надходять через КНКБ на входи каналів СКВ БУК на передавальній стороні і виводяться з виходів каналів СКВ БУК через КНКБ на приймальній.

**Блок ущільнення та кодування (БУК).** Блок призначений для аналого-цифрового перетворення сигналів 15 каналів ТЧ і СКВ методом ІКМ і формування субпервинного потоку зі швидкістю 1024 кбіт/з на



передачі та зворотному перетворенні на прийомі. У низькочастотних закінченнях каналів БУК забезпечує чотирипровідний режим з вимірювальними рівнями мінус 13 і + 4,3 дБ. До складу переданого цифрового потоку можуть входити сигнали дискретної інформації і радіомовлення замість сигналів двох каналів ТЧ.

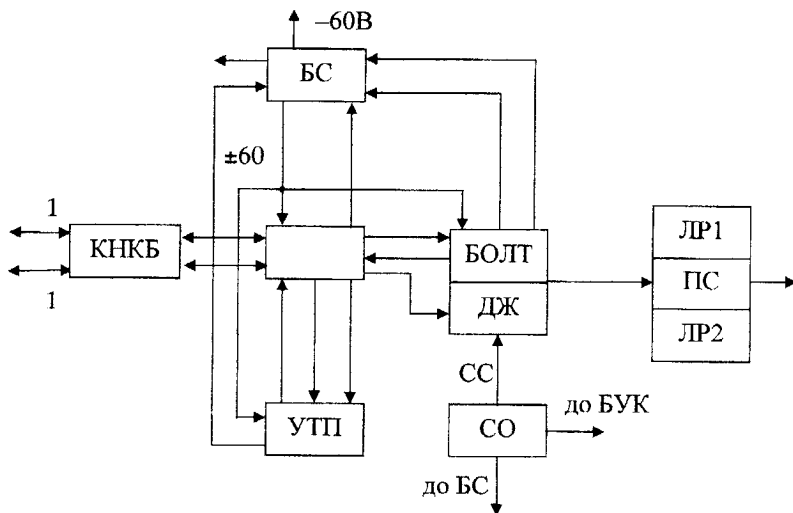


Рисунок 8.2 – Структурна схема приймально-передавальної системи ІКМ15/30

Процес перетворення сигналів можна розглянути за структурною схемою БУК, яка наведена на рис. 8.3. Низькочастотний сигнал з КНКБ надходить в блок НЧ-закінчення каналів БУК “Модулятор-демодулятор” (МД). Кожен блок МД містить три комплекти передавального і приймального індивідуального устаткування, що забезпечує формування амплітудно-частотної й амплітудної характеристик каналу. Низькочастотний сигнал у тракту передачі МД проходить через обмежувач амплітуд (ОА), що запобігає перевантаженню цифрового тракту передачі, елементи узгодження і фільтр ФНЧ-3,4. Фільтр обмежує смугу частот сигналу і тим самим запобігає перехідним завданням між каналами при частоті дискретизації 8 кГц, прийнятій для БУ.

В блоці “Ключі передачі” КПер сигнали каналів проходять через свої модулятори  $M_1 \dots M_{15}$ , що здійснюють дискретизацію сигналів з частотою  $f_d = 8$  кГц. З виходів модуляторів імпульси АІМ-1 об’єднуються в груповий сигнал. У розширювачі Р імпульси АІМ-1 перетворюються в

імпульси АІМ-2, а їхня тривалість збільшується від 2,5 до 8 мкс. Необхідність такого перетворення викликана подальшими операціями квантування і кодування.

Імпульси з розширювача надходять на вхід компаратора К кодера. Останній складається з двох блоків “Кодуючий пристрій” КП<sub>1</sub> і КП<sub>2</sub>. До складу КП<sub>1</sub> входить аналогова частина кодера, а до КП<sub>2</sub> – цифрова. Кодер забезпечує восьмирозрядне нелінійне кодування вхідних сигналів АІМ. У БУК застосований кодер порозрядного зважування з цифровою компресією еталонів і амплітудною характеристикою сегментного типу А-87,6/13. Роботою кодера керує логічний пристрій ЛП.

З виходу схеми зчитування (СЗ) елемента КУ<sub>2</sub> восьмирозрядні кодові комбінації, що займають каналні інтервали КІ<sub>1</sub>...КІ<sub>15</sub>, надходять в блок “Цифрова передача” (ЦПер) на формувач групового сигналу (ФГС), що забезпечує об'єднання кодових комбінацій каналів ТЧ із сигналами, що надходять у КІ<sub>0</sub>. З елементів СКВ<sub>1</sub>...СКВ<sub>3</sub> надходять сигнали СКВ, що займають 2-, 3-, 4-й тактові інтервали, з блока «Цифрова інформація» ЦІ надходять телеграфні сигнали, що займають 5-й тактовий інтервал, а з вузла формування надциклового синхросигналу (ФНЦС) – сигнал надциклової синхронізації, що займає 1-й тактовий інтервал. Формувач ФГС забезпечує введення в цифровий потік сигналів аварії, що надходять з блока “Контроль і сигналізація” (КС). Сформований у (ФГС) цифровий потік надходить у перетворювач коду передачі (ІКП), що змінює статистичну структуру цифрового потоку і виключає появу довгої серії нулів. У пристрої введення цифрового синхросигналу (ПВЦС) у цифровий потік вводиться циклова синхрокомбінація 110, сформована формувачем цифрового синхросигналу (ФЦС).

З виходу Цпер цілком сформований цикловий сигнал надходить в блок “Регенератор прийому” Рпр на вихідний пристрій передачі (ВПП). Останній перетворює сигнал за допомогою рахункового тригера, що дозволяє сформувати цифровий сигнал із символами, “затягнутими” на тактовий інтервал, в якому інформація знаходиться у фронтах імпульсів. Як відомо, такий спосіб передачі дозволяє при методах регенерації, застосовуваних у лінійному тракті ІКМ-15, збільшити завадостійкість. Схема ВПП забезпечує формування стандартних параметрів вихідних імпульсів. Далі через контакти реле елемента КС цифровий сигнал подається з блока БУК у блок БОЛТ.

Регенований цифровий сигнал, що надходить з БОЛТ, проходить через контакти реле з блока КС в блок Рпр. Регенератор прийому Рпр забезпечує перетворення цифрового сигналу, зворотне перетворенню, здійсненому в схемі ВПП рахунковим тригером. Схема формування тактової частоти ФТЧ формує тактовий сигнал з тактовою частотою, яка виділена Рпр. Схема контролю лінійного сигналу КЛС контролює наявність сигналу на виході Рпр і забезпечує включення сигналізації в КС

у випадку його відсутності. В елементі “Цифровий прийом” Цпр із цифрового сигналу приймачами циклового та надциклового сигналів ПЦС і ПНЦС виділяються відповідні сигнали і забезпечується синхронізація генераторного устаткування приймання та робота сигналізації наявності синхронізму.

Відповідно схемами виділення сигналів СКВ і цифрової інформації ПВ СКВ і ПВ ЦІ виділяються сигнали СКВ і телеграфії, що направляються потім у відповідні осередки. Перетворювачем коду прийому ПКПр відновлюється структура сигналу. Декодувальний пристрій у блоці БУК складається з двох вузлів ДП<sub>1</sub> і ДП<sub>2</sub>. У вузлі ДП<sub>2</sub> міститься цифрова частина декодера, що запам'ятовує кодові комбінації, які надходять у ЗП і керують генераторами еталонних струмів, розташованими в ДП<sub>1</sub>. Під керуванням ДУ<sub>2</sub> на виході ДУ<sub>1</sub> формуються імпульси АІМ-2, що розподіляються часовими селекторами ЧС каналів. Часові селектори ЧС<sub>1</sub>...ЧС<sub>15</sub> розташовуються у вузлі “Ключі прийому” (КІр).

В індивідуальних трактах прийому блоків МД фільтром ФНЧ-3,4 здійснюється відновлення аналогового сигналу, а ПНЧ доводить рівень низькочастотного сигналу до норми. Лінійні сигнали надходять з блоків СКВ в АТС, а телеграфна інформація з блока ЦІ через блок ППІ надходить на телеграфну апаратуру.

Для організації каналу звукомовлення замість блока МД для 13-...15-го каналів встановлюється блок “Звукомовлення” Мв, що містить НЧ устаткування одного каналу ТЧ і устаткування каналу мовлення.

У тракті передачі НЧ устаткування каналу мовлення здійснюється обмеження смуги частот каналу фільтром ФНЧ-6,0, що встановлює верхню частоту сигналу мовлення 6,0 кГц. Контур передспотворення ПК створює перекіс рівнів передачі сигналу мовлення, що забезпечує оптимальну передачу цього сигналу разом із сигналами ТЧ. У тракті прийому блока Мв відновлення аналогового сигналу здійснюється фільтром приймання ФНЧ-6,0.

Відновлювальний контур (ВК) знижує амплітудно-частотні спотворення, внесені на передачі ПК. Керувальні сигнали для функціонування вузлів БУК надходять від генераторного устаткування передавання та приймання.

У системі ІКМ-15 генераторне устаткування децентралізоване. Розподільники керувальних сигналів розташовуються в блоках, що здійснюють відповідні операції. Цей принцип дозволив зменшити число проводів, застосовуваних для міжблокових з'єднань, і спростити конструкцію БУК. До складу генераторного устаткування передачі входить генератор, що виробляє керувальний сигнал з частотою 2048 кГц.



Перемикальний пристрій (ПП) дозволяє керувати роботою генераторного устаткування як від ЗГ-2048, так і від зовнішнього тактового сигналу. До складу генераторного устаткування входить формувач тактових послідовностей (ФТП) і регістр цифровий (РЦ), що є основним формувачем і розподільником керувальних сигналів групового цифрового тракту. Керування процесом дискретизації здійснюється каналним розподільником передачі РКпер, а розподілом циклових керувальних сигналів – дешифратор розподільника циклових сигналів ДшРЦ.

Генераторне устаткування прийому багато в чому аналогічне за структурою з генераторним устаткуванням передачі. Основна тактова частота виробляється ФТЧ РІР, формування керувальних сигналів тракту прийому здійснюють ФТП і РЦ прийому.

В блоці контролю та сигналізації (КС) пристрої контролю ПК за станом синхронізму та коефіцієнтом помилок і схеми контролю лінійного сигналу, що забезпечують контроль наявності сигналу в точках стику з блоком БОЛТ, дозволяють робити контроль за станом БУК і через пристрій сигналізації (ПС) включати місцеву і рядову сигналізацію.

**Блок сервісного обладнання (СО).** Блок забезпечує проведення елементарних експлуатаційних вимірювань і перевірок кінцевої станції і каналів ІКМ-15.

Схема блока дозволяє організувати:

- дільничний низькочастотний службовий зв'язок по штучному колу (разом із блоком БОЛТ);
- контроль напруг живлення, вироблюваних джерелами живлення станції;
- перевірку, контроль і вимірювання параметрів каналів ТЧ і сигнальних каналів СК.

До складу блока входить ряд пристроїв, що забезпечують експлуатаційне обслуговування ІКМ-15.

Переговорний пристрій штучного (фантомного) ланцюга (ППФ) дозволяє організувати гучномовний зв'язок на відстань до 50 км і здійснити фонічний виклик по низькочастотному каналі ПСС.

Плата вимірювання напруги ВН містить ряд кнопкових перемикачів  $S_i$  і вимірювальних шунтів  $R_i$ . При натисканні кнопки для вимірювання відповідної напруги вольтметр  $PV$  підключається паралельно шунтові, на який подається напруга живлення. Величина  $R_i$  і клас точності стрілкового індикатора дозволяють робити вимірювання з похибкою не більше 5%.

Блоки  $БК_1$  і  $БК_2$  дозволяють підключати кнопковими перемикачами  $S_{Пер1}$  і  $S_{Пр1}$ ; відповідно гнізда передачі „Пер”, і прийому „Пр”, чотирипровідних низькочастотних виходів кожного з 15 каналів до гнізд Пер і Пр, у які можна включити вимірювальний генератор ВГ і

показчик рівня ПК, що забезпечують вимірювання параметрів каналів ТЧ кінцевої станції. У цьому випадку гнізда Пер<sub>1</sub> ... Пер<sub>15</sub> і Пр<sub>1</sub> ... Пр<sub>15</sub> блока СО спеціальними вимірювальними шнурами з'єднують з відповідними гніздами блока БУК.

Перевірка каналів ТЧ на проходження розмови здійснюється з плати сигнальної ПС за допомогою мікротелефонної гарнітури, що підключається до цієї плати. Плата ПС дозволяє організувати перевірку сигнальних каналів набором номера (по каналу, включеному в АТС) і контролю відповідних сигналів, що надходять із зустрічної АТС.

**Організація лінійного тракту.** Лінійний тракт системи передачі ІКМ-15 будується з використанням устаткування БОЛТ-1024 і ПС-1024.

Блок обладнання лінійного тракту БОЛТ-1024 є станційним закінченням лінійного тракту ІКМ-15 і призначений для відновлення амплітуди, форми і часових співвідношень однополярних елементів лінійного сигналу, що надходять з частотою 1024 кГц і “затягнутих” на тактовий інтервал для організації дистанційного живлення лінійних регенераторів і службового зв'язку по штучному ланцюгу і захисту устаткування кінцевої станції від небезпечних впливів. Даний блок розрахований для роботи на регенераційній ділянці загасанням 24...42 дБ на лівтактовій частоті 512 кГц.

Пристрій дистанційного живлення забезпечує живлення від одного до семи лінійних регенераторів струмом  $I_{дж} = 85\text{МА}$ . Службовий зв'язок може бути забезпечено на відстані до 50 км. Електроживлення БОЛТ здійснюється від станційних джерел постійного струму з номінальною напругою мінус 60 В з заземленим плюсом.

Проміжна станція ПС-1024 призначена для відновлення форми і тимчасових співвідношень цифрового лінійного сигналу в межах регенераційної ділянки. Припустиме загасання регенераційної ділянки 24...42 дБ. Напруга живлення одного регенератора ПС — 9,0 В±5 %.

**Блок БОЛТ-1024.** Блок обладнання лінійного тракту комплектується в двох варіантах: для станції що обслуговується і для станції, що не обслуговується. Обидва варіанти містять елементи ВКП, кінцевий регенеративний транслятор (КРТ), місцеве живлення (МЖ), приймача тонального виклику (ПТВ). На кінцевій станції, що обслуговується до складу БОЛТ входить елемент дистанційного живлення (ДЖ), на станції, яка не обслуговується – вузол дистанційного шлейфа.

Введення лінійного кабелю в БОЛТ здійснюється через вузол ввідно-кабельних пристроїв ВКУ. Елемент ВКУ забезпечує: узгодження вхідних опорів апаратури і кабельного ланцюга, створення штучного ланцюга, захист апаратури, розділення ланцюгів службового зв'язку і дистанційного живлення, доповнення загасання регенераційної ділянки,

що прилягає до кінцевої станції, до номінальної величини. Функції ВКУ виконуються такими пристроями: лінійними диференціальними трансформаторами, пристроями захисту (ПЗ) (розрядники і напівпровідникові діоди), фільтром службового зв'язку  $\Phi$ , що запобігає попаданню пульсацій ДЖ на вхід переговорного пристрою, двома штучними лініями ШЛ-3 на 3 км.

У тракті передачі сигнал від БУК, пройшовши ВКУ, надходить у лінію. На прийомі основний сигнал з лінії через ВКУ надходить в блок кінцевого регенеративного транслятора КРТ, де відбувається відновлення форми, амплітуди і часових співвідношень лінійного сигналу. Потім останній подається в приймальну частину блока БУК. Схеми КРТ і лінійного регенератора відрізняються тільки відсутністю в першому елементів захисту і стабілізатора напруги ДЖ і будуть розглянуті нижче. Крім того, КРТ має схему сигналізації наявності лінійного сигналу, що являє собою амплітудний детектор, підключений до контрольного виходу.

Однобічний службовий зв'язок по лінійному тракті здійснюється на низькій частоті по штучному ланцюзі. Переговорний пристрій ППФ, розташований у блоці СО, підключається до штучного ланцюга через елемент ПТВ. У початковому стані ПТВ підключений для прийому сигналу тонального виклику. Підключення ППФ здійснюється натисканням кнопки на ПТВ.

Дистанційне живлення здійснюється від кінцевої станції, що обслуговується по штучному ланцюзі відповідно до схеми «провід-провід». Лицьова панель елемента ДП містить: міліамперметр для вимірювання струму дистанційного живлення, тумблер для включення ДЖ, перемикач для вибору меж напруги ДЖ.

На кінцевій станції, що не обслуговується, замість блока ДЖ встановлюється блок ДШ, що утворює шлейф за струмом дистанційного живлення. Крім того, при зміні полярності струму відповідне число раз ДШ передає в БУК сигнал, після чого БУК формує шлейфи лінійного і групового трактів. Підтвердження утворення шлейфа здійснюється посылкою тонального сигналу частотою 512 Гц від генератора тонального виклику ГТВ, розташованого в блоці ДШ.

### Домашнє завдання

1. Розрахувати пропускну здатність каналу ІКМ-15 для заданих ймовірностей помилок:  $p=0,002$ ,  $p=0,015$   $p=0,055$ .
2. Розрахувати частотну смугу пропускання кабелю для передавання групового сигналу системи ІКМ-15.

## Опис лабораторного обладнання

До складу лабораторного обладнання входять дві станції прийому-передачі інформації ІКМ-15, кожна з яких містить блоки БУК і КНКБ. А також вимірювальних пристроїв, генератора НЧ-сигналів та джерела живлення. Між блоками БУК створена лінія зв'язку, яка дозволяє передавати цифровий сигнал між станціями в обох напрямках. Для дослідження сигналу в лінії зв'язку використовується цифровий аналізатор сигналу на базі ЕОМ. Це дозволяє досконало дослідити сигнал в лінії зв'язку в часовій та частотній областях одночасно, що значно полегшує дослідження.

### Порядок виконання роботи

1. Під'єднати до аналогового входу першої станції генератор синусоїдальних коливань, а до виходу іншої вольтметр. Змінюючи частоту від 100 Гц до 5000 Гц та підтримуючи напругу на рівні 1 В дослідити АЧХ одного з каналів та його спектр. На основі побудованої АЧХ визначити смугу пропускання даного каналу.

2. Під'єднати до виходу першої станції цифровий аналізатор сигналу та визначити коефіцієнт нелінійних спотворень другого порядку для тонального сигналу з частотою 800 Гц та при амплітуді вхідного сигналу 1В.

3. Дослідити за допомогою мілівольметра амплітудну характеристику (АХ) станція 1 – станція 2 при подачі на вхід вхідного сигналу з частотою 800 Гц та змінюючи напругу від 10 мВ до 3 В. На основі побудованої АХ визначити динамічний діапазон системи.

4. До аналогового входу першої станції під'єднати генератор синусоїдальних коливань та подати сигнал з частотою 800 Гц, рівнем 1В. Дослідити за допомогою цифрового аналізатора сигналів дискретизований сигнал з виходу модулятора та розширювача імпульсів одного з каналів. Порівняти тривалості імпульсів перед розширювачем імпульсів та після нього.

5. Підключити до входу компресора джерело постійного струму та змінюючи напругу від 0 до 1 В дослідити амплітудну характеристику компресора. На основі побудованої АХ визначити закон компресії, який застосовується в БУК.

6. Підключити осцилограф до виходу кодера та для сигналу п.5 дослідити зміну коду.

Подати на вхід однієї із станцій синусоїдальний сигнал напругою 1 В та частотою 800 Гц. До лінії зв'язку під'єднати цифровий аналізатор сигналів та дослідити сигнал у частотній та часовій областях на виході кодера каналу та в лінії зв'язку. Порівняти отримані результати.



8. Дослідити сигнал у лінії зв'язку при подачі імпульсної послідовності з частотою 1000 Гц та амплітудою 1 В від генератора імпульсів на телеграфний вхід системи.

9. Дослідити сигнал у лінії зв'язку при подачі синусоїдального сигналу та імпульсного сигналу на відповідні входи обох станцій.

### **Вказівки до звіту**

Звіт з лабораторної роботи повинен містити:

- структурну схему системи ІКМ-15/30;
- таблиці та графіки, отримані при виконанні лабораторного завдання;
- розрахунки, отримані в результаті обробки експериментальних даних;
- частотні спектри вихідного сигналу та у лінії зв'язку;
- порівняльний аналіз теоретичних та експериментальних характеристик і параметрів системи ІКМ-15/30, висновки з кожного пункту лабораторної роботи.

### **Контрольні запитання**

1. Які види модуляції доцільно використовувати в системах з часовим розділенням каналів?
2. Вказати, які переваги та недоліки цифрових та імпульсних модуляцій.
3. Чому при кодуванні сигналів у цифрових системах зв'язку перевага надається нелінійним законам квантування?
4. Чим відрізняється А-закон компресії від  $\mu$ -закону?
5. На основі структурної схеми ІКМ-15/30 пояснити принцип її дії.
6. З якою метою збільшується тривалість імпульсів дискретного сигналу перед кодуванням?
7. Яким чином формується цифровий сигнал передачі в блоці БУК?
8. Введенням яких додаткових блоків можна збільшити кількість каналів з 15 до 30 в системі зв'язку ІКМ-15/30.
9. З яких складових частин складається блок БУК?
10. З якою метою в цифровий лінійний сигнал вводиться сигнал керування і взаємодії?
11. Яким чином передаються телеграфні сигнали в системі ІКМ-15/30?
12. Пояснити принцип побудови цифрового лінійного сигналу ІКМ-15/30.
13. З якою метою застосовується перекодування сигналу перед передачею в лінію зв'язку?

14. Дайте порівняльну характеристику цифрових та аналогових систем передачі.
15. Яким чином можна підвищити завадостійкість сигналу в цифрових системах передачі?
16. Порівняти синхронні та асинхронні системи зв'язку.
17. Вказати призначення сигналів керування та взаємодії [27-32].

## **Лабораторна робота № 9**

### **Дослідження лінійного регенератора системи ІКМ-30**

**Мета роботи** – Дослідити основні параметри та характеристики необслуговуваного регенераторного пункту (НРП) цифрової системи зв'язку ІКМ-30.

- Обладнання:**
1. Макет НРП ІКМ-30;
  2. Вольтметр ВЗ-38А;
  3. Осцилограф С1-76;
  4. Генератор ГЗ-118;
  5. Джерело живлення.

### **Теоретичні відомості**

Цифровий лінійний тракт повинен містити середовище розповсюдження цифрового сигналу і пристрій, який забезпечує необхідну якість передачі. Цифровий сигнал, на відміну від аналогового в більшості випадків досить простий – імпульс певної амплітуди і тривалості, і в проміжних пунктах можливе його відновлення (регенерація). Тому проміжні пункти цифрового лінійного тракту називаються регенераційними.

Проходячи через середовище розповсюдження, цифровий сигнал послаблюється і спотворюється. Це призводить до зміни форми і тривалості імпульсів, зміни випадковим чином часових інтервалів між імпульсами, зменшення амплітуди імпульсів. Відновлення амплітуди імпульсів, форми, тривалості кожного імпульсу, а також величини часових інтервалів між сусідніми символами є задачею регенератора. Можливість

регенерації лінійного цифрового сигналу відносно простими технічними засобами є одною з головних переваг імпульсно-кодових систем.

Регенератори встановлюються як в тракті приймання кінцевої станції (станційні регенератори), так і в проміжних регенераційних пунктах, що не обслуговуються (НРП). У порівнянні з підсилювальними пунктами аналогових систем зв'язку НРП більш економічні за споживанням електроенергії, простіші за схемотехнікою, не потребують точних корекцій лінійних спотворень сигналу і більш стійкіші до дії різного виду дестабілізуючих факторів. Регенерація сигналу в лінійному тракті, який містить велике число НРП, відбувається практично без накопичення завад.

Спрощена структурна схема регенератора зображена на рис. 9.1. На рис. 9.2 наведені діаграми напруг в різних точках цієї схеми: а) ІКМ-сигнал після підсилювача-коректора ПК; б) сигнал синхронізації (строб-імпульси); в) сигнал на виході порогового пристрою; г) сигнал на виході регенератора.

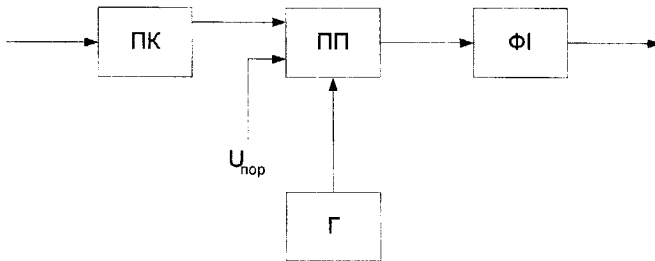


Рисунок 9.1 – Спрощена структурна схема регенератора

Пороговий пристрій це схема порівняння, яка працює в імпульсному (стробовому) режимі. Миттєве значення сигналу, що передається  $U_n(t)$  (рис.9.2, а), в момент приходу стробувального імпульсу (рис.9.2 б) порівнюється в пороговому пристрої ПП з деяким, певним чином вибраним, пороговим значенням напруги  $U_{пор}$ .

Якщо  $U_n(t) > U_{пор}$ , то на виході ПП формується імпульс „1”, а якщо  $U_n(t) < U_{пор}$  – імпульс „0” (рис. 9.2 в).

Імпульси ПП запускають формувач імпульсів ФІ, на виході якого створюється регенований сигнал (рис. 9.2 г). В такій схемі можна відмітити, що :

- ✓ форма і тривалість імпульсу на виході регенератора визначаються роботою формувача імпульсів і є завжди стабільними;

- ✓ часові інтервали між імпульсами залежать лише від правильної роботи системи синхронізації і в ідеальному випадку кратні періоду тактової частоти.

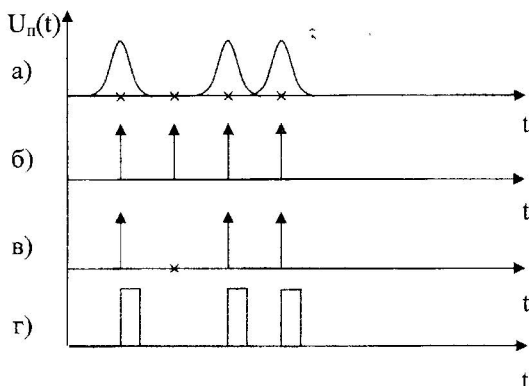


Рисунок 9.2 – Часові діаграми напруг в різних точках схеми

Сигнал тактової синхронізації в регенераторах може формуватись двома шляхами:

- 1) на основі зовнішнього сигналу тактової синхронізації;
- 2) на основі сигналу тактової синхронізації, який виділяється з цифрового сигналу і надходить на вхід регенератора.

Сигналом зовнішньої синхронізації може слугувати сигнал синусоїдальної або імпульсної форми з частотою, яка рівна гармоніці ( $nf_T$ ) або субгармоніці ( $f_T/n$ ) тактової частоти  $f_T$ . Але для його передачі необхідна окрема лінія зв'язку, що в більшості випадків небажано.

Типова структурна схема регенератора наведена на рис. 9.3.

Принцип дії регенератора системи ІКМ-30.

Послаблений і спотворений в процесі проходження по кабельній лінії цифровий сигнал (рис. 9.4, а) через симетричний трансформатор  $Tr1$  надходить на вхід лінійного коректора ЛК, який коригує форму прийнятих імпульсів і їх підсилення. АЧХ лінійного коректора вибрана таким чином, щоб максимізувати відношення сигнал-завада на його виході.

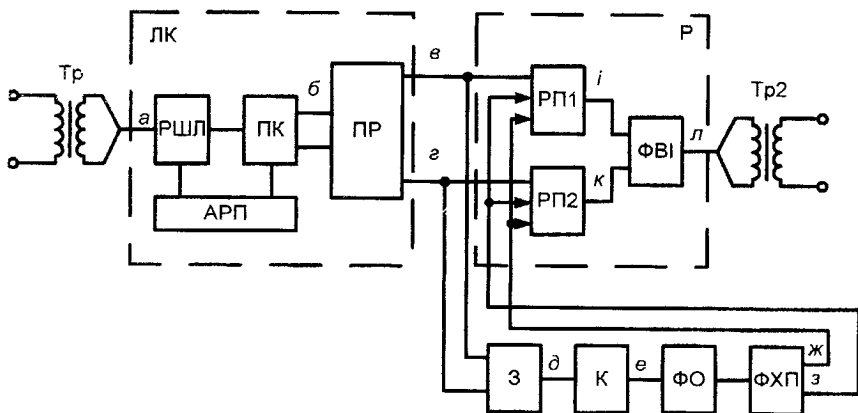


Рисунок 9.3 – Типова структурна схема регенерація

До складу лінійного коректора входять підсилювач-коректор (ПК), який корегує форму прийнятих імпульсів при максимальному затуханні лінії, і регульована штучна лінія (РШЛ), яка доповнює затухання регенераційної ділянки до максимального значення. Затухання РШЛ встановлюється пристроєм автоматичного регулювання підсилення АРП так, щоб при зміні затухання кабельної лінії амплітуда імпульсів на виході ЛК зберігалась незмінною.

Відкоригований біполярний цифровий сигнал, який формується на виході ЛК (рис. 9.4, б), розділяється в пристрої розділення (ПР) на уніполярні послідовності позитивних (рис. 9.4, в) та інвертованих негативних (рис. 9.4, г) імпульсів. Отримані послідовності надходять на входи двох ідентичних роз'язувальних пристроїв РП1 і РП2, де відбувається розпізнання переданих кодових символів, що відповідають імпульсам і пропускам, які входять до складу послідовностей, і відновлення імпульсів за формою, тривалістю і часовим положенням.

Регеновані послідовності позитивних та інвертованих негативних імпульсів (рис. 9.4, і, к) об'єднуються у формувачі вихідних імпульсів (ФВІ) (рис. 9.4, л) і через симетричний трансформатор Tr2 надходять до входу наступної регенераційної ділянки. Сукупність роз'язувальних пристроїв (РП1, РП2) і формувача вихідних імпульсів (ФВІ) являє собою пристрій регенерації Р.

Керування роботою роз'язувальних пристроїв РП1 і РП2 здійснюється при допомозі двох послідовностей прямокутних імпульсів П1 і П2 (хронувальні послідовності). Частота слідування імпульсів хронувальних послідовностей дорівнює тактовій частоті цифрового сигналу, а їх шпаруватість дорівнює двом (рис. 9.4, ж, з).

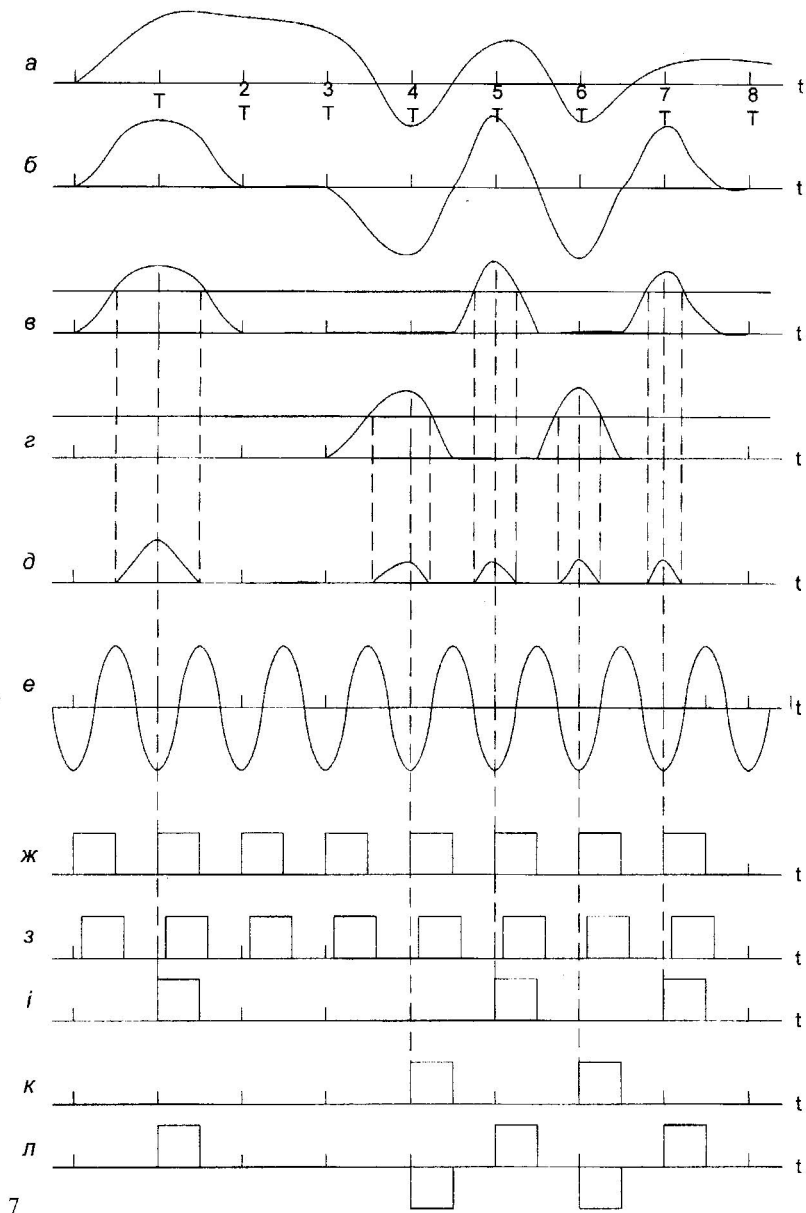


Рисунок 9.4 – Часові діаграми роботи вузлів регенератора

Часове положення переднього фронту імпульсів П1 визначає моменти розпізнавання кодових символів в регенераторі і часове положення переднього фронту регенованих імпульсів. Часове положення заднього фронту імпульсів П1 фіксує тривалість і визначає часове положення заднього фронту регенованих імпульсів. Імпульси хронуальної послідовності П2 закривають входи ВП через невеликий у порівнянні з тактовим інтервалом проміжок часу  $\Delta t$  (рис. 9.4, з) після моменту розпізнавання, чим обмежує час розпізнавання і підвищує завадостійкість вирішальних пристроїв.

Хронуальні послідовності П1 і П2 формуються з вихідних сигналів пристрою розділення в пристрої хронування (ПХ), який складається зі схеми збігу (СЗ), контуру ударного збудження (КУЗ), фазообертача (ФО) і формувача хронувальних послідовностей (ФХП). Послідовності позитивних і інвертованих негативних імпульсів з виходу ПР надходять на вхід СЗ (рис. 9.4, д), з вихідного сигналу якої за допомогою КУЗ виділяється квазігармонічне коливання тактової частоти (рис. 9.4, е). За допомогою ФХП з отриманого квазігармонійного коливання виробляються хронуальні послідовності П1 і П2, які фазуються з регенованим сигналом (для правильного встановлення моменту розпізнавання) в фазообертачі ФО.

Для оцінювання якості корекції цифрового сигналу і можливості його достовірної регенерації використовують „око-діаграми”, які яляють собою картину накладання можливих реалізацій скоригованого цифрового сигналу за час одного або кількох тактових інтервалів (рис 8.5).

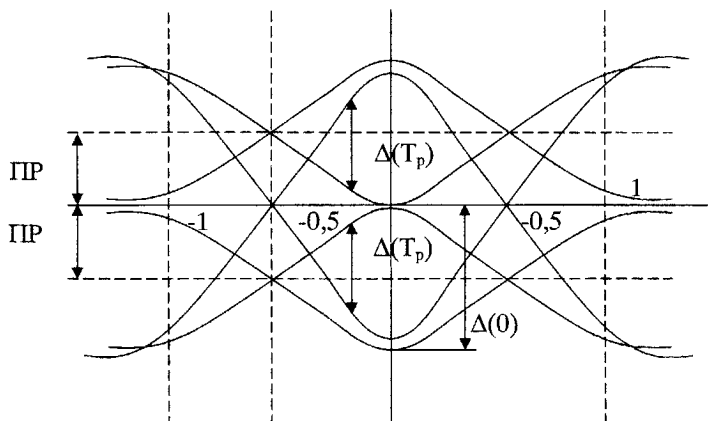


Рисунок 9.5 – Око-діаграма вихідного сигналу лінійного коректора

Процес розпізнавання з пороговим рівнем в момент  $T_p$  фіксується точкою всередині області „розкривання діаграми” (точка розпізнавання), який характеризується величиною розкривання  $\Delta T_p$ . При цьому відношення сигнал-завада на виході ЛК може бути обчислене за формулою:

$$S/N = \Delta T_p / \sigma, \quad (9.1)$$

де  $\sigma$  – середньоквадратичне значення напруги завади.

Максимум відношення сигнал-завада досягається при  $T_p = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$

Для спостереження око-діаграми на екрані осцилографа на вхід регенератора через вимірювальну штучну лінію подається псевдовипадкова цифрова послідовність (ПВП), яка являє собою періодично повторювану комбінацію з  $2^{15} - 1$  символу, а синхронізацію осцилографа здійснюють імпульсною послідовністю з періодом проходження  $1/f_i$ . При цьому на екрані осцилографа послідовно відображаються „відрізки” ПВП, тривалість яких кратна періоду проходження синхронізуючих імпульсів. Якщо частота синхронізації обрана так, що частота відображення одного і того ж відрізка не нижче 20–25 Гц, то у випадку періодичності сигналу ПВП, на екрані осцилографа сформується стійка в часі картина накладання усіляких відрізків ПВП, тобто „око-діаграма сигналу, який спостерігається в даній точці схеми.

Одною з основних характеристик регенератора є завадостійкість. Під завадостійкістю регенератора розуміють те мінімальне відношення сигнал-завада на його вході, при якому забезпечується заданий коефіцієнт помилок в регенованому сигналі. Так, наприклад, для отримання коефіцієнта помилок в регенованому сигналі не більше  $2,5 \cdot 10^{-3}$  необхідно, щоб відношення амплітуди імпульсу до середньоквадратичного значення напруги завади (для завади з нормальним законом розподілу) було не менше 19,5 дБ або відношення амплітуди імпульсу до амплітуди завади (для завади з детермінованою амплітудою) не перевищувало 6 дБ. При цьому припускається, що ПХ і ВП регенератора ідеальні. Насправді, в реальних регенераторах ПХ і ВП неідеальні, а похибки їх роботи можуть бути відображені у вигляді еквівалентного зменшення амплітуди сигналу на виході ВП (еквівалентного зменшення розкривання око-діаграми вихідного сигналу ЛК): на 10% за рахунок завад хронування і на 10% за рахунок неідеальності ВП. Загальне відношення сигнал-завада, з урахуванням всіх складових, необхідне для компенсації неідеальності Пх, ВР і ЛК, приведене до виходу ЛК, складає 5,2 дБ.

При розрахункові відношення сигнал-шум, приведеного до входу регенератора, необхідно додатково врахувати:

- через різницю форм спектрів сигналу та завади підсилення завади в ЛК може бути вищим, ніж сигналу;



- через вплив завади на роботу пристрою АРП регенератора відношення сигнал-завада на вході регенератора при малому числі впливаючих систем повинно бути збільшене на 6–8 дБ.

### **Домашнє завдання**

1. Перевести десяткове число 37 в простий двійковий код та код чергування послідовності одиниць. Проілюструвати отримані коди відповідними часовими діаграмами.

2. Розрахувати пропускну здатність системи ІКМ-30 при ймовірності помилки в одному розряді  $p=0,03$ .

### **Опис лабораторного обладнання**

До складу лабораторного обладнання входять макет НРП системи ІКМ-30, джерело живлення та вимірювальні прилади. Макет НРП побудований за типовою схемою регенеративних пунктів і містить такі складові: лінійні узгоджувальні трансформатори, які встановлені на вході та виході НРП; підсилювач коректор КП; блок АРП; трансформатор, який застосовується в якості розділового пристрою; порогові елементи ПЕ1, ПЕ2; формувач вихідних імпульсів ФВІ; схеми збігу СЗ; фільтр ударного збудження Ф; фазообергач ФО; формувач синхропослідовності. Кожен структурний блок містить клеми для підключення вимірювальних приладів, що дає змогу дослідити сигнали на виході кожного блока.

### **Порядок виконання роботи**

1. Під'єднати до входу макета генератор імпульсних сигналів та подати імпульсний сигнал з частотою 2048 кГц та рівнем 1В. За допомогою осцилографа дослідити часові діаграми сигналів на виходах кожного блока та макета загалом.

2. За допомогою осцилографа дослідити око-діаграму регенератора для вхідного сигналу п.1. Для чого під'єднати Y-вхід осцилографа до входу макета, а X-вхід – до виходу.

3. Під'єднати генератор до входу макета НРП з рівнем сигналу 1В і змінюючи частоту від 200 кГц до 5000 кГц, дослідити зміну розкриття око-діаграми від частоти.

4. Дослідити око-діаграму регенератора у випадку надходження на його вхід спотвореного імпульсного сигналу, в якості якого використовується синусоїдальний сигнал з частотою 2048 кГц та рівнем 1В.

5. На вхід макета НРП подати синусоїдальний сигнал з частотою 2100 кГц і рівнем 1 В та дослідити часові діаграми сигналів на виходах кожного структурного блока. Порівняти отримані осцилограми з осцилограмами п. 1.

6. Зняти амплітудно-частотну характеристику НРП змінюючи частоту вхідної імпульсної послідовності від 100 кГц до 10000 кГц та підтримуючи рівень напруги 1В.

7. Дослідити амплітудну характеристику НРП змінюючи рівень напруги вхідної імпульсної послідовності в межах від 10 мВ до 1 В та частотою 2048 кГц.

### **Вказівки до звіту**

Звіт з лабораторної роботи повинен містити:

- структурну схему регенератора системи ІКМ-30;
- таблиці та графіки, отримані при виконанні лабораторного завдання;
- око-діаграми;
- порівняльний аналіз теоретичних та експериментальних характеристик і параметрів НРП системи ІКМ-30, висновки з кожного пункту лабораторної роботи.

### **Контрольні запитання**

1. Які переваги цифрових систем передачі над аналоговими?
2. Поясніть принцип виділення тактової частоти з випадкової цифрової послідовності.
3. На основі типової структурної схеми регенератора поясніть його принципи дії.
4. Наведіть основні параметри НРП системи зв'язку ІКМ-30.
5. Дайте означення око-діаграми.
6. Яким чином можна підвищити відношення сигнал-завада регенератора?
7. Чи існує можливість застосування регенератора для аналогових сигналів?
8. З якою метою в регенераторі застосовується регульована штучна лінія?
9. Для чого необхідна інверсія негативних імпульсних послідовностей на виході лінійного коректора?
10. Поясніть функції блока автоматичного регулювання рівня в НРП.
11. Наведіть недоліки та переваги НРП із зовнішньою синхронізацією [5, 19, 27, 31].

## Лабораторна робота № 10

### Дослідження лінійних кодів у пакеті прикладних програм MATLAB

**Мета роботи** – Дослідити основні параметри та можливості застосування лінійних кодів в пакеті прикладних програм MATLAB.

- Обладнання:** 1. Комп'ютер;  
2. Пакет прикладних програм MATLAB;

#### Теоретичні відомості

Існує декілька основних варіантів перетворення двійкового RZ-коду і NRZ-коду (рис 10.1 відповідно код з поверненням або без повернення до нуля) в лінійний код:

- I. Без зміни тактової частоти двійкового сигналу;
- II. Зі збільшенням тактової частоти;
- III. Зі зменшенням тактової частоти лінійного сигналу.

I. В першому випадку частота слідування окремих символів лінійного коду не змінюється і дорівнює початковій частоті слідування  $f_T$  окремих символів двійкового сигналу (ДС). Можливі два способи перетворення. Перший спосіб – з активною паузою (рис. 10.2), при якому передача нулів в початковому сигналі замінюється на передачу посилення негативної полярності. Такий лінійний сигнал називається двійково-симетричним. Оскільки в середньому число нулів і одиниць в початковому сигналі однакове, то постійна складова перетвореного сигналу дорівнює нулю, однак за рахунок можливості „скупчення” одиниць (або нулів) постійна складова починає змінюватися в часі і міжсимвольні спотворення другого роду не усуваються. Тому частіше на практиці використовується інший спосіб перетворення двійкової послідовності, коли сигнал в код з поверненням або без повернення до нуля перетворюється в квазітрійковий код, або код ЧП (рис. 10.3) (сигнал з чергуванням полярності імпульсів). При такому перетворенні „0” передається без змін, а „1” передається так, що кожна наступна одиниця змінює свій знак на протилежний. Це досить легко організувати схемотехнічно, а також його використання усуває міжсимвольні спотворення другого роду, не потребуючи розширення смуги пропускання в області верхніх частот.

Одним із суттєвих недоліків сигналу з ЧП є те, що при появі в ньому довгої серії нулів можливий збій системи тактової синхронізації.

Щоб цього не сталося, слід обмежити в лінійному сигналі, який передається в коді ЧПІ, число нулів, що слідують підряд.

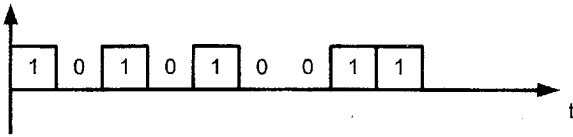


Рис. 10.1 – Початковий двійковий код

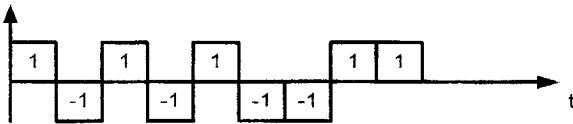


Рис. 10.2 – Двійково-симетричний код

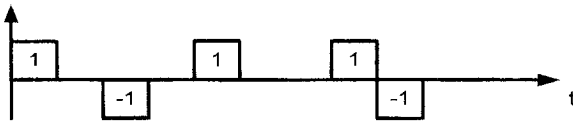


Рис. 10.3 – Квазітрійковий код

Ця задача була вирішена створенням кодів з високою щільністю одиниць (КВЩ- $q$ ); такий код ще називається модифікованим квазітрійковим кодом (МЧП).  $q$  – деяке максимально допустиме число нулів, які слідують підряд після попередньої одиниці в початковому двійковому сигналі. Як правило,  $q = 2$  або  $q = 3$ , що відповідає кодам КВЩ-2 і КВЩ-3 (рис. 10.4). Якщо в сигналі пакета нулів їх число буде менше  $q$ , то лінійне кодування відбувається ЧПІ кодом, тобто нулі не перетворюються, а кожна одиниця має тривалість в половину тактового інтервалу  $T_T$ , причому її полярність протилежна попередній одиниці. Якщо в пакеті нулів їх число більше  $q$ , то кожен пакет з  $(q + 1)$  нулів замінюється сигналами 000V або 000V (для КВЩ-3).

Полярності імпульсів  $B$  і  $V$  вибираються так, щоб на інтервалі в  $(q + 1)$  тактів відбувалося одне порушення правила чергування полярності. За цим порушенням на приймальній стороні кінцевої станції при перетворенні лінійного сигналу в двійковий сигнал приймається рішення про істинність складу пакета. При виборі конкретного виду сигналу (000V або 000V) виходять з таких умов: полярність імпульсу  $B$  завжди протилежна полярності попереднього імпульсу; якщо між двома сусідніми

паузами в двійковому сигналі, які мають число нулів більше, ніж  $q + 1 = 3 + 1 = 4$ , нараховується парна кількість одиниць, то заповнення другої паузи починається з сигналу  $B00V$ , якщо ж число одиниць між цими паузами непарне, то заповнення іншої паузи починається з сигналу  $000V$ .

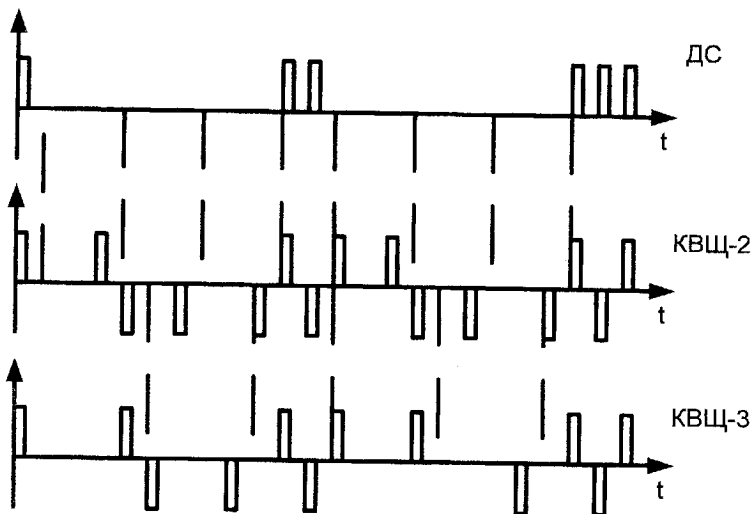


Рисунок 10.4 – Часові діаграми побудови кодів КВЩ-2, КВЩ-3

Лінійний сигнал в кодї МЧЦП, який передається трирівневим кодом з тією ж тактовою частотою, що і початковий сигнал, широко застосовується в первинних, вторинних і третинних ЦСП (ІКМ-30, ІКМ-120, ІКМ-480).

Третій спосіб виключення довгої серії нулів при перетворенні двійкового сигналу в лінійний сигнал носить назву скремблювання. При цьому двійковий сигнал підлягає перемноженню з деякою, наперед відомою псевдовипадковою двійковою послідовністю (ПВП):  $ЛС = ДС \oplus ПВП$ . На приймальній стороні відбувається дія:  $ДС = ЛС \oplus ПСП$  (знак  $\oplus$  означає суму за модулем 2). Відповідно для правильного відновлення початкового сигналу ПВП на приймальній і передавальній стороні мають бути синхронізовані.

II. У другому варіанті перекодування початкового сигналу в лінійний необхідно отримати лінійний код з тактовою частотою, яка більша за частоту слідування окремих імпульсів початкового двійкового сигналу. При цьому також можливі два способа перетворення.

Перший – перетворення двійкового сигналу (рис. 10.5, а) в біімпульсний сигнал, при якому нуль передається без змін, а сигнал одиниці передається біімпульсним сигналом, наприклад виду +1 –1 (рис. 10.5, б). Використовується також варіант, коли і нульовий символ замінюється біімпульсною комбінацією, але вже іншого виду –1 +1 (рис.10.5, в).

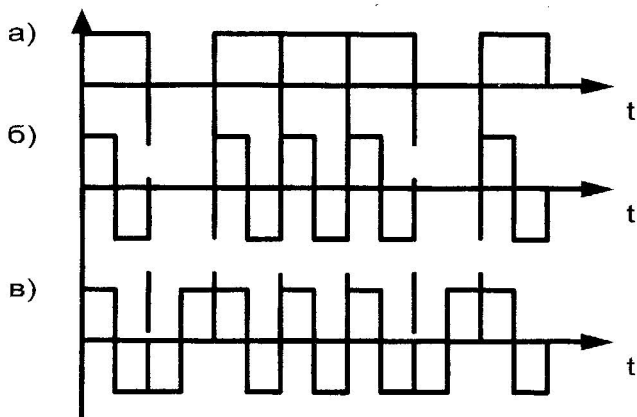


Рисунок 10.5 – Часові діаграми утворення біімпульсного сигналу

Такий метод дозволяє повністю позбутися постійної складової в лінійному сигналі і міжсимвольних спотворень другого роду, але передача лінійного сигналу потребує збільшення смуги пропускання в області верхніх частот мінімум у 2 рази.

Крім цього методу, можливий ще один спосіб перетворення, при якому кожна група з  $m$  символів початкового двійкового сигналу замінюється групою з  $n$  символів двійкового лінійного сигналу, що виражається формулою  $mBnB$ . Оскільки  $n > m$ , то для кожної з  $2^m$  можливих комбінацій нулів і одиниць в пакеті із  $m$  символів двійкового сигналу можна підібрати свою комбінацію, яка визначена наперед з  $2^n$  можливих (в пакеті з  $n$  двійкових імпульсів ЛС), що дозволяє позбавитись від довгих серій нулів (або одиниць) і зберегти можливість контролю за якістю роботи регенераторів без переривання зв'язку і використання спеціальних випробувальних сигналів.

Найбільш простими і досить ефективними є лінійні коди класу  $1B2B$ , в яких кожному окремому символу початкової послідовності ставляться у відповідність два двійкових символи лінійного коду. Наприклад, одиниця вихідної послідовності (рис. 10.6, а) може бути передана комбінацією 10, а нуль — 01 (рис. 10.6, б). Таке кодування

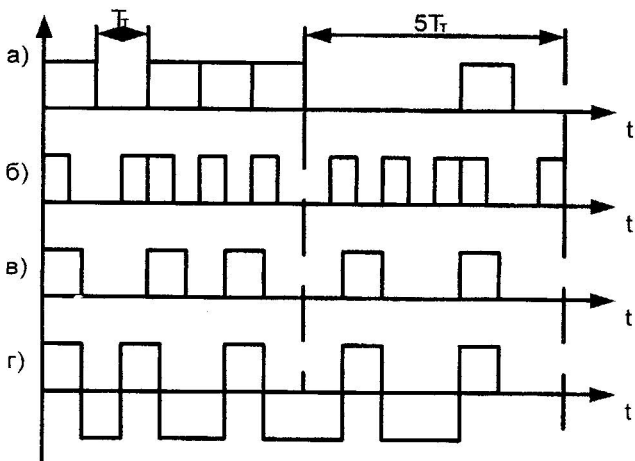


Рисунок 10.6 – Утворення коду типу 1B2B.

завжди забезпечує те ж саме значення постійної складової ЛС при будь-якому вмісті 1 і 0 у вихідному ДС, але це призводить до подвоєння тактової частоти лінійного сигналу:  $f_n = 2f_T$ . Однією з модернізацій приведеного коду є код АМІ, в якому кожен вихідний символ ДС кодується однією з двох можливих дворозрядних комбінацій. Наприклад, замість 0 передається 10 або 01, а замість 1 – відповідно 11 або 00. При цьому кожен наступний однойменний символ приймає обов'язково інше можливе значення. Наприклад, комбінація ДС виду 110010 буде кодуватися відповідно 11.00.01.10.11.01. В такому коді при нормальній роботі ніколи не може бути більше двох імпульсів або більше двох пауз підряд. Порушення цієї закономірності свідчить про появу помилки.

В умовах обмеженої смуги лінії зв'язку при необхідності можна побудувати більш економічніші блокові коди (наприклад, код 5B6B), коли блок з  $m$  символів вихідної послідовності (див. рис 10.6, а) замінюється блоком з  $n = m + 1$  символів лінійного коду (мал. 10.6, в). При цьому збільшення тактової частоти може бути незначним:  $f_n = nf_m/m$ , якщо  $m \gg 1$ .

При побудові блокових кодів дуже важливим є вибір алфавіту коду, тобто таблиці відповідності між кожною вихідною  $m$ -бітовою і дозволеною  $n$ -бітовою комбінаціями. Зокрема, у коді 5B6B алфавіт 6-бітових слів вибирають у такий спосіб. У першу чергу використовують ті блоки, у яких кількість символів «1» дорівнює половині загального числа бітів у блоці, що забезпечує незмінність постійної складової. Таких „хороших” комбінацій буде 20 (число сполучень з 6 по 3), і кожна з них використовується для кодування однієї з 20 вихідних 5-бітових комбінацій.

Для інших 5-бітових комбінацій (їхнє число дорівнює  $12 = 2^5 - 20$ ) в алфавіті підбирають ще 24 шестибітових слова (по два на кожен 5-бітову комбінацію, причому в одному слові кількість символів „1” дорівнює 4, а в іншому – 2). Слова, що входять у таку пару, передаються по черзі з появою однієї і тієї ж вихідної 5-бітової комбінації. Таким чином, і для цих 12 комбінацій забезпечується збереження постійної складової в лінійному сигналі. Деякі з можливих 6-бітових комбінацій (їхнє число дорівнює  $20 = 2^6 - 20 = 24$ ) не входять в алфавіт і є забороненими. Виявлення їх у лінійному сигналі свідчить про появу помилки або про порушення синхронізації при декодуванні лінійного коду.

Слід відзначити, що блокове кодування типу  $mBnB$  залишає лінійний сигнал уніполярним, однак у ньому, як і при скремблюванні, постійна складова змінюється в дуже малих межах. Це дозволяє при необхідності легко усунути її із сигналу, а потім відновити (рис. 10.6, г). Для декодування блокового коду на приймальній стороні, коли з  $n$ -розрядної кодової групи відновлюється вихідна  $m$ -розрядна, необхідно спочатку визначити границі цієї групи. В більшості випадків цю задачу вдається, розв'язати без використання спеціального сигналу синхронізації за рахунок виявлення в лінійному сигналі заборонених кодових комбінацій. Ці комбінації відсутні в алфавіті коду і можуть утворюватися тільки на границях двох сусідніх груп. Наприклад, у коді  $1B2B$ , показаному на рис. 10.5, г, забороненими є комбінації вигляду  $+1 + 1$  або  $-1 -1$ . За ними і визначаються границі 2-розрядних кодових комбінацій лінійного сигналу.

У третьому варіанті лінійного кодування для зменшення тактової частоти при переході від ДС до ЛС застосовують багаторівневі коди, для яких прийняте умовне позначення  $lBkQ$ , де  $l$  і  $k$  вказують число елементів у вихідному і результуючому блоках,  $B$  означає, що у вихідному блоці використовується бінарний код (за основою 2), а замість  $Q$  застосовуються букви, що визначають основу коду в результуючому блоці:  $T$  – трійкова,  $Q$  – четвіркова,  $QI$  – п'ятіркова і т.д. Одним із прикладів такого рішення є код  $4B3T$ , коли чотирисимвольна комбінація двійкового коду (рис. 10.7, а) замінюється трирозрядною комбінацією трійкового коду (рис. 10.7, б). При цьому тактова частота ЛС зменшується в порівнянні з ДС:  $f_{\text{Л}} = 3f_{\text{T}}/4$ . Оскільки число можливих станів у блоці  $4B$  дорівнює  $2^4 = 16$ , а в блоці  $3T$  – відповідно  $3^3 = 27$ , то кодову таблицю  $4B-3T$  можна скласти так, щоб забезпечити відсутність постійної складової в ЛС і виключити появу трьох нулів.

Варіанти таблиць переходу від блока  $4B$  до блока  $3T$  можуть бути різними; на практиці набув поширення варіант *FOMOT*, використовуваний у ДСП ІКМ-480×2. У загальному випадку частота проходження символів лінійного сигналу зменшується в порівнянні з ДС у  $k/l$  раз, але зі збільшенням числа дозволених рівнів лінійного коду його завадостійкість



знижується, тому в провідних системах передачі рідко застосовуються коди з числом рівнів більше п'яти.

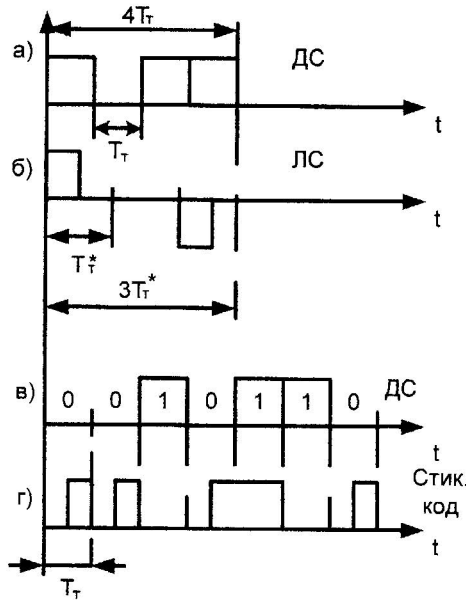


Рисунок 10.7 – Утворення багаторівневих кодів

Широке застосування на практиці одержали комбіновані способи перетворення ДС у ЛС. Ці способи основані на спільному використанні відразу декількох розглянутих вище варіантів переходу від ДС до ЛС. Так, у ЦСП ІКМ-480С застосовується лінійне кодування, при якому з ДС спочатку формується двійковий уніполярний код 5B6B, що має тактову частоту,  $f_t = f_n = \frac{6f_\tau}{5} = \frac{6 \cdot 34368}{5} = 41241$  кбіт/с, а потім здійснюється перетворення його в двійково-симетричний лінійний код. Збільшення тактової частоти в цієї ЦСП компенсується більш високою перешкодозахищеністю лінійного сигналу, переданого дворівневим симетричним кодом. Широко застосовується також спільне використання скремблювання вихідного ДС і його подальше перетворення в двійковий симетричний код або код ЧПЦ.

У волоконно-оптичних ЦСП модуляція оптичного випромінювання провадиться, як правило, тільки дворівневим уніполярним ЛК. Тому тут використовують блокові коди виду  $mBnB$ , скремблювання або поєднання цих видів перетворень.

Необхідність перетворення двійкового сигналу виникає не тільки при передачі його по лінії зв'язку, але і при з'єднанні між собою окремих стояків і навіть блоків цифрової апаратури на кінцевому пункті. Справа в тому, що різні стояки і блоки апаратури мають різні потенціали за постійним струмом, тому сигнальні кабелі (коаксіальні і симетричні) повинні підключатися через розділові елементи (трансформатори або конденсатори). А вони викликають дуже сильні міжсимвольні спотворення другого роду. Для виключення цих спотворень двійковий сигнал на виході одного блока (стояка) проходить попередньо через стиковий кодер, а на вході іншого блока – через стиковий декодер. При стиковому кодуванні двійковий сигнал перетворюється в стиковий сигнал, у якому постійна складова сигналу або відсутня (дорівнює нулю), або присутня (не дорівнює нулю), але практично постійна і відома заздалегідь. Це дозволяє її усунути, а потім легко відновити без спотворення форми стикового сигналу.

В якості стикових кодів в первинній, вторинній і третинній ЦСП звичайно застосовують код ЧПІ або МЧПІ, а в четвірковій ЦСП стандартизований код *СМІ*. Тут символ 0 вихідного сигналу на інтервалі  $T_T$  замінюється дворозрядною комбінацією 01, а символи 1 по черзі приймають вигляд 00 або 11. Код *СМІ* можна вважати однією з версій блокового коду *1В2В*. Часто використовується також варіант коду *СМІ* з почерговою інверсією полярності символів, тобто нулі ДС передаються у вигляді комбінацій 01 або 0-1, а одиниці – у вигляді 11 або -1-1. При цьому постійна складова стикового сигналу завжди дорівнює нулю.

Стандартизований також стиковий сигнал, що передається на стик між чотирипроводним цифровим закінченням первинної ЦСП і цифровим абонентським телефоном. Особливістю цього сигналу є те, що в ньому, крім тактових інтервалів, що слідує з частотою  $F_T = 64$  кбіт/с, повинна легко виявлятися границя між словами – 8-розрядними кодovими комбінаціями (рис. 10.8, а). Стиковий сигнал, що задовольняє ці вимоги, будується в такий спосіб. Спочатку відбувається перетворення символу вигляду *1В4В*, при якому символи 0 вихідного ДС замінюються 4-символьною комбінацією вигляду 1010, а символи 1 – комбінацією 1100 (рис. 10.8, б). При цьому постійна складова в такому сигналі стає постійною на будь-якому тактовому інтервалі. Щоб її усунути (зробити рівної нулю), досить по черзі на кожнім інтервалі змінювати полярність символу на протилежну (рис. 10.8, в). Для визначення границі кодової комбінації, за аналогією з кодом МЧПІ достатньо в кожному останньому восьмому розряді комбінації порушити це правило чергування полярності. Кінцевий вигляд стикового сигналу показаний на рис. 10.8, г.

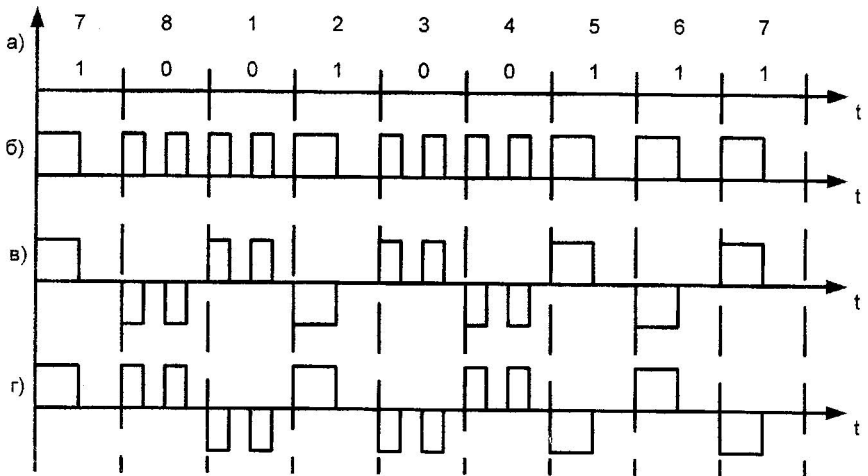


Рисунок 10.8 – Утворення комбінаційного стикового коду

### Домашнє завдання

1. Перетворити десяткове число 51 в блоковий код *1B2B* та *5B6B*.
2. Синтезувати комбінаційний стиковий код для початкової двійкової комбінації типу *10001100001111110*.
3. Виконати синтез багаторівневого коду для початкового двійкового коду *01010001011110*.

### Опис лабораторного обладнання

До складу лабораторного обладнання входять ЕОМ та пакет прикладних програм MATLAB, зокрема система моделювання Simulink та її розширення Communications Blockset – пакет прикладних програм для побудови та моделювання телекомунікаційних пристроїв: цифрових ліній зв'язку, модемів, перетворювачів сигналів і т.і.

Для створення відповідної математичної моделі в MATLAB необхідно запустити Simulink ввівши це слово в командному рядку або натиснувши на відповідну піктограму. Далі потрібно створити нове вікно моделі та перенісши з відповідних бібліотек необхідні для моделювання блоки, з'єднати їх. Структура схема досліджуваної системи кодування показана на рис. 10.9.

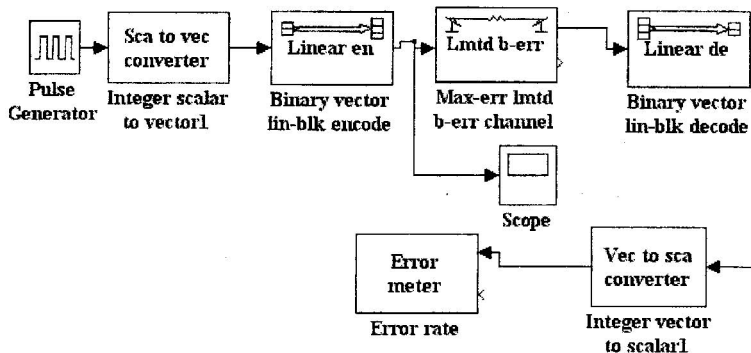


Рисунок 10.9 – Структура схема дослідження блочних лінійних кодів

Відповідно імпульсний генератор Pulse Generator та осцилограф Scope знаходяться в бібліотеці Simulink. Враховуючи, що лінійний блочний кодер та декодер працюють з векторними величинами, а генератор та вимірювальні пристрої (осцилограф та вимірювач помилок) працюють зі скалярними величинами, то додатково використовуються перетворювач скалярних величин у векторні Integer scalar to vector та перетворювач векторних величин в скалярні. Параметри цих пристроїв мають задовольняти параметри кодера та декодера блочного лінійного коду.

Параметром кодера блочного лінійного коду є матриця розміром  $3 \times 4$ , елементами якої є нулі та одиниці. Розмір матриці та її елементи мають бути однаковими для кодера і декодера. Для імітації проходження сигналу через канал використовується блок моделі каналу. В якому виставляється ймовірність появи помилки.

Усі використовувані блоки знаходяться у програмних бібліотеках Communications Blocksets (Toolbox).

### Порядок виконання роботи

1. Запустити програму MATLAB та відкрити вікно для створення нової моделі. Побудувати модель для дослідження лінійного блочного коду згідно з рис. 10.9.

2. Відкрити вікно параметрів імпульсного генератора та виставити такі параметри: амплітуда – 1; шпаруватість – 50%; період – 1с. Параметри блока перетворення дискретних величин у векторні: довжина вихідного вектора – 4.

3. Запустити процес моделювання та визначити кількість помилок на приймальній стороні.
4. Дослідити сигнали в часовій формі на виході кожного блока.
5. Змінити комбінацію нулів та одиниць у матриці кодування блоків кодера та декодера лінійного блочного коду залишивши сталим кількість рядів та стовпців.
6. Повторити п.п. 3, 4 для нової комбінації.
7. Змінюючи ймовірність помилки від 0 до 1 в блоці каналу знайти залежність кількості помилок від імовірності.

### Вказівки до звіту

Звіт з лабораторної роботи повинен містити:

- схему моделі дослідження лінійного блочного коду;
- таблиці та осцилограми у відповідних точках;
- порівняльний аналіз теоретичних та експериментальних характеристик і параметрів лінійного блочного коду.

### Контрольні запитання

1. Вказати варіанти перетворення двійкового сигналу в лінійний код.
2. Пояснити принцип утворення двійково-симетричних кодів.
3. Які існують методи усунення постійної складової в лінійних кодах?
4. Як створюється квазітрійковий код?
5. Які переваги застосування ЧП кодів?
6. В чому полягають переваги та недоліки кодів з високою щільністю одиниць?
7. Навести можливі області застосування коду з високою щільністю одиниць.
8. В чому полягає процес скремблювання?
9. Що таке блочний код?
10. Які недоліки кодів з підвищенням тактової швидкості?
11. Показати графічно утворення коду  $1B2B$ .
12. Яким чином використовуються заборонені комбінації у блочних кодах?
13. Вказати сферу застосування багаторівневих кодів?
14. Навести приклади апаратури ущільнення, в якій використовуються стикові коди [7, 29, 32-36].

# Лабораторна робота № 11

## Дослідження частотного методу захисту інформації

**Мета роботи** – дослідити частотний метод захисту інформації на основі лабораторного макета.

- Обладнання:**
1. Макет частотного методу захисту інформації;
  2. Вольтметр ВЗ-38А;
  3. Осцилограф С1-76;
  4. Генератор ГЗ-102;
  5. Аналізатор спектра СК4-56

### Теоретичні відомості

Кардинальним заходом запобігання прослуховуванню телефонних розмов є використання криптографічних методів захисту інформації. Для захисту телефонних повідомлень широко використовуються два методи: перетворення аналогових параметрів мови і цифрове шифрування. Пристрої, в яких використовуються ці методи носять назву скремблери.

При аналоговому скремблюванні провадиться зміна характеристики початкового звукового сигналу таким чином, що результуючий сигнал стає нерозбірливим, але займає ту саму частотну смугу. Це дає можливість без проблем передавати його по звичайних телефонних каналах зв'язку. При цьому методі сигнал може піддаватися таким перетворенням: частотна інверсія; частотна перестановка; часова перестановка.

При аналоговому методі найпростішим є метод частотної інверсії, при якому початковий сигнал інвертується в частотній області. Цю функцію виконують, як правило, балансні перетворювачі. Більш складним є метод частотної перестановки, при якому спектр частот початкового сигналу за допомогою смугових фільтрів поділяється на декілька підсмуг, а потім відбувається їх частотна перестановка. Можливе також використання комбінованого методу – частотна перестановка з інверсією.

При цифровому способі закриття повідомлення неперервний аналоговий сигнал попередньо перетворюється в цифровий вигляд. Після чого шифрування сигналу здійснюється за допомогою складної апаратури, часто з використанням комп'ютерів. Перевагою цифрового методу з використанням комп'ютера є гнучкість вибору шифрування, а також можливість швидкої зміни одного виду шифрування іншим.

На рисунку 11.1 показана структурна схема скремблера, який працює з частотним перетворенням.

Модулятори з фільтрами виконують частотну інверсію підсмугового спектра. При фіксованому коді на входах дешифратора ВІС задаються постійні рівні (для кожного сеансу зв'язку код може вибиратися новий) від мікроконтролера або набору перемикачів. У цьому випадку кількість ключів 9, з яких реально застосовуються всього 2-4.

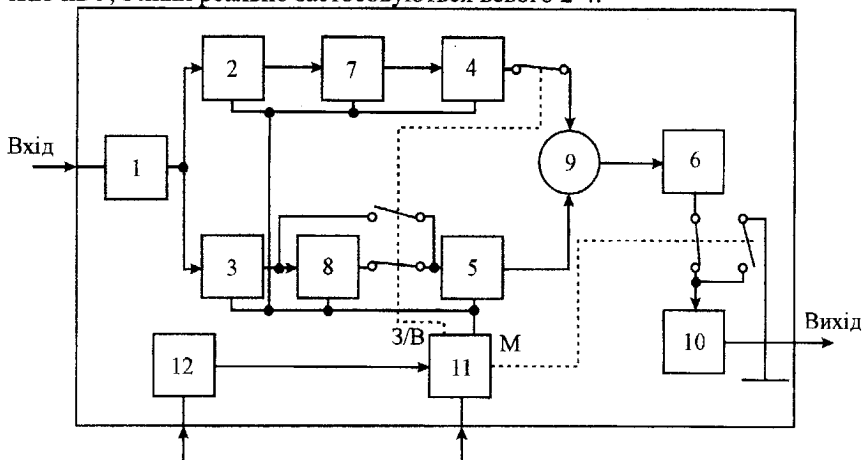


Рисунок 11.1. - Структурна схема скремблера PCD4440 фірми PHILIPS

Вхід – аналоговий вхід мовних сигналів; 1-6 – ФНЧ на комутуючих конденсаторах; 7-8 – балансні модулятори; 9 – суматор; 10 – вихідний підсилювач; 11 – керуючий логічний блок; 12 – І<sup>2</sup>С-інтерфейс; Вихід – вихід мовних сигналів; 3/В – перемикання режимів "Закритий/Відкритий", М – перемикання в режим мовчання.

Аналогічно побудовані ВІС FX214, FX224 фірми SML. Відмінність – у кількості частот розбивок (їх 32) і наявності додаткових допоміжних вузлів, наприклад, для придушення підтональних частот. Широку гаму інверсних скремблерів ще здавна представляла компанія Midian (серії VPU-1, VPU-2, VPU-8). Найбільш відомі моделі однократної інверсії - ST-20, ST-022 (Selectone), SC20-400 (Transcrypt International).

Скремблери деяких фірм виконують частотні перетворення за допомогою універсальних мікроконтролерів, наприклад фірма TRANSCRYPT INC. У скремблерах типу SC20-406 використовуються мікропотужні мікроконтролери фірми MOTOROLA.

### Домашнє завдання

1. Розрахувати ефективну смугу частот смугового фільтра для виділення інвертованої смуги телефонного сигналу при амплітудній модуляції з носійною частотою 3700 Гц.

2. Навести приклади спектра телефонного сигналу: інвертований спектр телефонного сигналу та спектр телефонного сигналу з частотною перестановкою (поділом спектра на три частини).

### Опис лабораторного обладнання

До складу лабораторного обладнання входять макет аналогового скремблера телефонного сигналу, генератор синусоїдальних коливань та вимірювальна апаратура – вольтметр, осцилограф і аналізатор спектра.

Макет скремблера побудований за методом частотної перестановки. Частотно-інвертований сигнал виділяється з нижньої бічної смуги спектра балансного перетворювача звукового сигналу з надзвуковою носійною. Дві послідовні інверсії відновлюють початковий сигнал. Пристрій працює як кодер і декодер одночасно. Синхронізація двох скремблерів не потрібна. Структурна схема скремблера наведена на рис. 11.2.

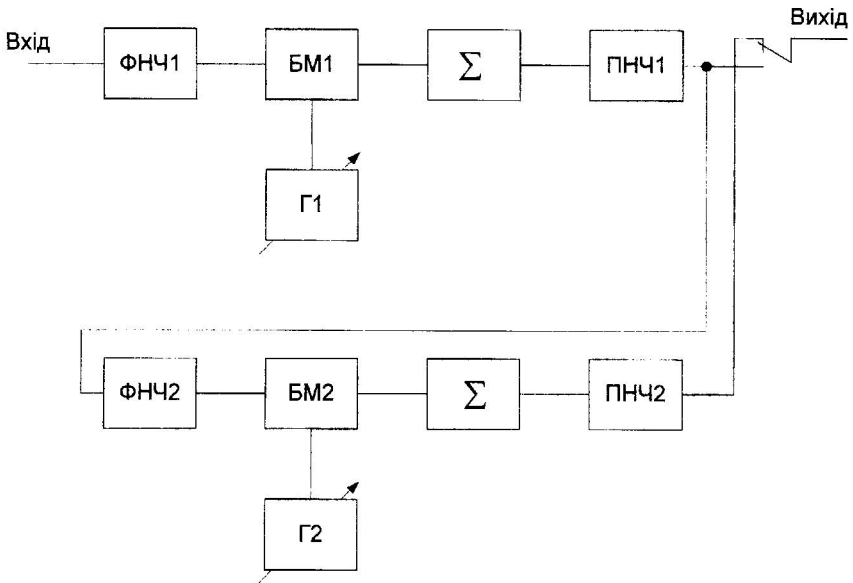


Рисунок 11.2 – Структурна схема аналогового скремблера

Настроювання частоти носійних відбувається багатообертними резисторами, які змінюють частоту генераторів Г1, Г2.

В межах смуги частот телефонного сигналу розбірливість мови після двох перетворень складає не менше 65%.



## Порядок виконання роботи

1. До входу макета підключити генератор синусоїдальних коливань, а до виходу1 (положення перемикача “Вихід 1”) осцилограф та вольтметр, регулятори носійних частот поставити в середнє положення. Змінюючи частоту вхідного сигналу від 100 до 5000 Гц та підтримуючи рівень вхідної напруги 1В, дослідити амплітудно-частотну характеристику скремблера.

2. Повторити дослідження п.1 для мінімального та максимального положення регуляторів носійних частот.

3. Підключити до входу макета генератор синусоїдальних коливань та змінюючи напругу від 0,01 до 2 В дослідити амплітудну характеристику підтримуючи частоту вхідних коливань 1000 Гц.

4. До виходу макета підключити аналізатор спектра та дослідити спектр вихідного сигналу при частотах вхідного сигналу 300 Гц, 1000 Гц, 3400 Гц та рівень напруги 1В. Стан регуляторів носійних частот в крайньому правому положенні.

5. Дослідити спектр вихідного коливання для параметрів вхідного сигналу п. 4 та для різних положень регуляторів носійних частот. Зробити відповідні висновки.

6. Провести дослідження згідно з п. 1 – 5 для другого виходу схеми (положення перемикача “Вихід2”).

### Вказівки до звіту

Звіт з лабораторної роботи повинен містити:

- структурну схему макета аналогового скремблера;
- таблиці та осцилограми у відповідних точках;
- спектри вихідних сигналів скремблера;
- порівняльний аналіз теоретичних та експериментальних характеристик і параметрів лінійного блочного коду.

### Контрольні запитання

1. Які існують методи захисту телефонних сигналів?
2. Дати пояснення методу частотної інверсії.
3. У яких випадках доцільно використовувати аналогові скремблери?
4. Поясніть принцип дії аналогового скремблера, побудованого за методом частотної перестановки.
5. Дати порівняльну характеристику аналогових та цифрових скремблерів [9, 37, 38].

## Лабораторна робота № 12

### Дослідження цифрового скремблера телефонних сигналів

**Мета роботи** – дослідити цифровий метод захисту інформації на основі скремблера телефонних сигналів.

- Обладнання:**
1. Скремблер телефонних сигналів;
  2. Вольтметр ВЗ-38А;
  3. Осцилограф С1-76;
  4. Генератор ГЗ-102;
  5. Аналізатор спектра СК4-56

#### Теоретичні відомості

В наш час, коли створюється інформаційне суспільство, вартість самої інформації також зростає. Тому проблема несанкціонованого прослуховування телефонних розмов, найрозповсюдженого зв'язку зараз стоїть гостро. Постала необхідність у захисті інформації. В таких випадках використовують скремблер – один з найбільш розповсюджених пристроїв захисту радіопереговорів від прослуховування при використанні аналогового обладнання. Цей пристрій призначений для зміни мовного сигналу при передачі та його відновлення при прийманні за допомогою певних визначених алгоритмів та ключів. В результаті обробки сигналу скремблером мова стає нерозбірливою або перетворюється на шум. Складність пристрою визначає рівень захисту інформації, що передається.

Відповідно до алгоритму роботи, ПЗІ (пристрій захисту інформації) часто класифікують за наявністю чи відсутністю в закритій інформації фрагментів відкритої первинної інформації, що підлягають часовим чи частотним перетворенням. В першому випадку говорять про аналогові ПЗІ або шифратори, де мовний сигнал перетворюється кодером (напр. вокодером) за одним з алгоритмів скорочення надлишку, шифрується за криптографічним методом і за допомогою модема зображується в формі, яка необхідна для передачі сигналу по каналу зв'язку. Скремблери в порівнянні з шифраторами забезпечують більш високу якість відновлення мови, що важливо для ідентифікації абонента.

Існує перетворення сигналу в часовій та частотній області. Найпростіший метод – інвертування частотного спектра сигналу (однократна частотна інверсія). Складніший -- інвертування спектра із поділом спектра сигналу на блоки та перестановка цих блоків (частотна інверсія двох і більше піддіапазонів мовного сигналу), коливальна

частотна інверсія, стрибкоподібна зміна частоти інверсії, послідовне шифрування часового інтервалу.

Однак в зашифрованому мовному сигналі вдається розпізнати деякі слова. Процент розпізнаних слів визначає так звану залишкову розбірливість. В цифрових ПЗІ це негативне явище вдається подолати.

В скремблерах з часовим перетворенням принциповим є наявність великої затримки відновлення вихідного сигналу (зазвичай не більше 300 мс), що пов'язано зі зберіганням і перестановкою множини часових сегментів. Скремблери на основі інших перетворень не отримали широкого поширення, що пов'язано з трудностю технічної реалізації, невисокою якістю відновленої мови, порівняно великими габаритами і енергоспоживанням.

Одні із найтипівіших моделей скремблерів часового перетворення – ST-50, ST-51, ST-52 (Selectone). Найвищий рівень криптографічної стійкості в аналоговому зв'язку забезпечують повністю цифрові скремблери серії DES (Data Encryption Standard) фірми Transcrypt.

Отже, розробка пристрою кодування інформації є дуже перспективною, оскільки можна захистити від несанкціонованого прослуховування інформацію, яка може бути дуже важливою, секретною або дорогою. Багато сучасних іноземних телефонних апаратів мають скремблери. Тому розробка і впровадження таких пристроїв в Україні є важливим і перспективним.

Оскільки існує розвинена телефонна мережа із безпроводним зв'язком із стаціонарними телефонними апаратами, то ще доцільно розробляти стаціонарні скремблери, які живляться із телефонної мережі загального користування. На даний момент є досить широкий вибір елементної бази, але основна орієнтація – це ІМС на основі технології КМОН, оскільки ІМС такої технології мають малу споживану потужність, високі технічні параметри та низьку ціну.

При використанні "біжучого" ключа зовнішній пристрій, наприклад на основі мікроконтролера, періодично в часі генерує похідний змінний ключ за псевдовипадковим законом, і відбувається стрибкоподібна зміна частоти розбивки спектра мовного сигналу. У такому випадку кількість ключів може бути дуже велика.

Для значного підвищення рівня закриття інформації застосовують динамічні скремблери. У динамічних скремблерах, на відміну від статичних, параметри перетворення мовного сигналу змінюються в часі, відповідно ці типи скремблерів вимагають синхронізації передавальних і приймальних сторін. У залежності від типу скремблера синхронізація може передаватися як на початку повідомлення, так і під час його передачі. Англійська фірма Pentone представляє скремблер SCR1 з частотною інверсією двох піддіапазонів. Подібний пристрій робить і вітчизняна

компанія «Квazar-Мікро Радіо» - модель KMR-1. Ці типи скремблерів можуть бути як статичними, так і динамічними

Скремблери з часовим перетворенням можуть бути реалізовані на сучасних мікроконтролерах, наприклад серії 68HC05 фірми MOTOROLA, й спеціалізованих ВІС, наприклад FX609 і 802 фірми CML.

Структурна схема скремблера, що реалізує часовий метод шифрування, наведена на рис. 12.1.

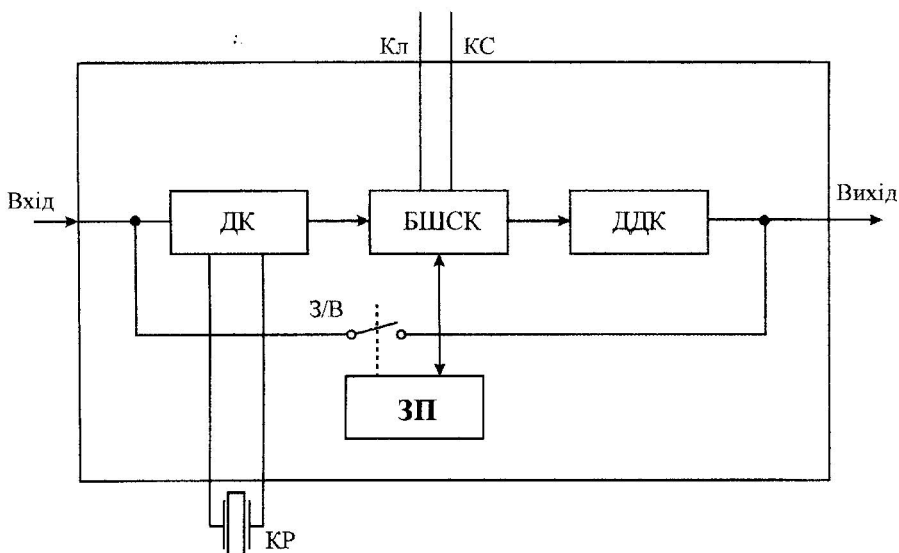


Рисунок 12.1. – Структурна схема скремблера з часовим перетворенням

Вхід (Вихід) – аналоговий вхід (вихід) мовного сигналу; КР – кварцовий резонатор; ДК – дельта-кодер; БШСК – блок шифрування, синхронізації і керування; ЗП – запам'ятовувальний пристрій; ДДК – дельта-декодер; Кл – вхід реєстра послідовного введення 24-розрядного ключа; КС – входи зовнішнього керування режимами "Прийм/Передача", "Відкритий/Закритий" і "Введення ключа".

Мовний сигнал, що на вході, перетворюється кодером адаптивного дельта-кодера в цифрову форму і записується в пам'ять у вигляді послідовності мовних сегментів. З 32 сегментів утвориться кадр. Відповідно до записаного коду шифратор створює псевдовипадкову послідовність перестановок цих сегментів у кадрі. Після тимчасових перетворень декодер адаптивного дельта-кодера відновлює на виході скремблера вихідний мовний сигнал усередині кожного сегмента (самі

сегменти подаються на вихід "змішаними"). Для синхронізації в режимі передачі перед кожним кадром вводяться синхровставки (кілька періодів синусоїдального сигналу). У режимі прийому за синхросигналом виробляються кадрова синхронізація і зворотні перетворення для відновлення вихідного мовного сигналу. Використання спеціалізованих ВІС дозволяє при енергоспоживанні 75мВт забезпечити задовільну якість відновленого мовного сигналу і малу (3-5%) залишкову розбірливість.

Розбірливість визначає процент розпізнавання зашифрованого тексту. Клас розбірливості мови визначає ГОСТ 1 6600-72. Чим вища криптографічна стійкість скремблера, тим розбірливість зашифрованого сигналу гірша.

### Домашнє завдання

1. Розрахувати розрядність АЦП для телефонного сигналу, відео-сигналу та сигналу звукомовлення.

2. Знайти параметри АЦП, необхідні для одночасної передачі п'яти телефонних каналів з часовим розділенням.

### Опис лабораторного обладнання

В основі пристрою цифрового скремблювання покладено алгоритм обробки цифрованого телефонного сигналу в часі: розділення зчитаного блоку інформації на менші проміжки (слоти), перестановку слотів за певним алгоритмом та одночасну часову інверсію сигналу. Такий алгоритм забезпечує достатньо високий рівень захисту інформації.

Вся обробка сигналу проводиться в цифровій формі, використовуючи поширену базу цифрових мікросхем (561, 564 серії). Отже, для перетворення аналогового сигналу в цифровий необхідно сигнал процифрувати. Для цього необхідно вибирати АЦП з розрядністю:

$$n = \frac{S/N - 4.8 + 20 \lg K}{6} \quad (12.1)$$
$$n = \frac{40 - 4.8 + 13.9}{6} = 7.9 \quad \rightarrow \quad n = 8$$

Отже, розрядність 8, цього достатньо для якісної телефонної розмови. За теоремою Котельникова частота дискретизації повинна бути більшою або рівною найбільшій частоті спектра сигналу, що підлягає процесу дискретизації.

$$f_0 = 2 \cdot f_{\max} = 3.4 \cdot 2 = 6,8 (\text{кГц}) \quad (12.2)$$

для покращення якості сигналу вибрано  $f_d=10$  кГц.

Для обробки сигналу в часовій області необхідно його запам'ятати, для цього застосується ОЗП статичного типу. При використанні динамічних ОЗП ускладнюється система зчитування-запису. Обрана МС з організацією пам'яті 2048 x 8 біт K537PY9.

Для одного циклу обробки необхідно часу – 0.1 мс (для цифрації сигналу) і деякий час на обробку сигнала за алгоритмом. Паузи і пропуски між словами стають дуже помітні, якість розмови різко погіршується. Отже для уникнення цього негативного явища здійснюється безперервна обробка сигналу. Для цього використовується мікросхема ОЗП. Частота запису дискретних значень сигналу складає 10 кГц і частота відновлення закодованого сигналу становить 10 кГц. Це вибрано з того міркування, що при частоті дискретизації 8 кГц мікросхема не буде використовувати усю доступну область пам'яті, а, оскільки є можливість заповнити майже усі ділянки пам'яті без втрати якості вихідного сигналу, то використано саме таку тактову частоту запису-зчитування. Оскільки процес кодування повинен бути безперервний, то зчитування і запис цифрованого сигналу до ОЗП гіпотетично повинен відбуватись одночасно. Це вирішується поверненням сигналу – W/R до ОЗП з частотою в 2 рази вищою ніж це потрібно для зчитування чи запису.

Оскільки запис відбувається за рівнем лог. “0”, а зчитування – лог. “1”, то достатньо тактової частоти 10 кГц.

При цьому частота запису і відновлення залишається постійною. Таке рішення дозволило спростити схемну реалізацію – зменшити кількість мікросхем і, тим самим, зменшити потужність енергоспоживання.

Два лічильники, в яких використовується 10 із 12 вихідних розрядів, працюють незалежно. Один з них формує адресу для запису даних, а інший - адресу для мікросхеми постійної пам'яті, в якій записано в свою чергу алгоритм зчитування даних з оперативної пам'яті. В ПЗП записано 1000 адрес згідно з якими повинна зчитуватись інформація. Оскільки мікросхема має 8 інформаційних виходів, а необхідно формувати 10 розрядів адреси ОЗП, застосовано восьмирозрядні регістри паралельного зсуву, які формують 10 розрядну адресу ОЗП. Відбувається це в результаті подвійного зчитування ПЗП двох сусідніх комірок пам'яті і паралельного перенесення їх до регістрів.

В результаті зчитування двох комірок пам'яті можливо створити максимальну адресу  $2^{16}$ , але для роботи потрібно лише  $2^{10}$  (6 розрядів з ПЗП виявляються зайві). Отже, мінімальна ємність мікросхеми, необхідна для формування адреси (інформаційна ємність

мікросхеми кратна  $2^n$ ,  $n$  – кількість адресних розрядів мікросхеми ) –  $2048 \times 8$  (бітів).

У якості ПЗП обрано МС КА1603РЕ1. Для узгодження вхідних рівнів ПЗП – ТТЛ і виходу лічильника з логічними рівнями КМОН, необхідно застосувати перетворювачі рівнів. К564ПУ4 – перетворювач рівнів КМОН-ТТЛ, причому ця мікросхема не потребує двох окремих джерел живлення, лише джерело з напругою +5 В.

На виході першого лічильника і двох регістрів утворюється відповідно код адреси запису і зчитування інформації. Ці коди підмикаються до адресних входів ОЗП по чергово при допомозі цифрового мультиплексора К561ЛС2. Коди записані в такому порядку: починаючи з адреси 0000 до 0001 записано по 8 бітів інформації для формування адреси зчитування ОЗП (перші 8 бітів ОЗП формують МР адреси ОЗП, наступні 8 – СР адреси ОЗП), наступною з ПЗП будуть зчитані дані, що знаходяться за адресою 0002 і 0003, відповідно буде сформована наступна адреса ОЗП. Процес повторюється далі – два байти інформації ПЗП формує одну 10-розрядну адресу ОЗП.

Оскільки максимальна частота зчитування-запису ОЗП становить 10 кГц (100 мкс), то час перетворення аналогового сигналу АЦП має бути менше 100 мкс.

Доцільно вибирати мікросхему, у якій інформаційні виходи будуть сумісними з ТТЛ або КМОН рівнями. Це спростить узгодження схем. Порівнявши параметри наведених в таблиці АЦП і, беручи до уваги сказане вище, під таку характеристику підходить АЦП серії К1113 (К1113ПВ1). Цей АЦП послідовного наближення циклічної дії із вбудованим тактовим генератором. На рисунку 12.2. зображено часові діаграми роботи АЦП К1113ПВ1.

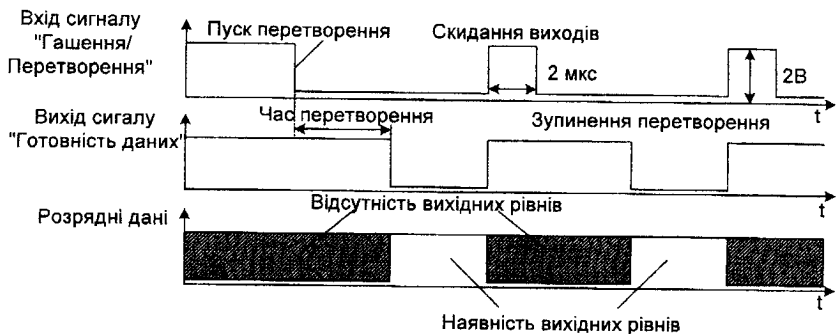


Рисунок 12.2. – Часові діаграми роботи АЦП К1113ПВ1

Організація введення-виведення ОЗП така, що виходи даних використовуються і як входи, тому необхідно на час зчитування ОЗП заборонити подачу сигналів від АЦП. Оскільки серія КМОН 561 не має мікросхем із третім Z-станом, то необхідно відмикати АЦП електронним ключем, на час зчитування ОЗП ключ розмикається і АЦП за аналогією з МС ТТЛШ переходить до Z-стану по виходу. Для цього використано аналоговий ключ К561КТ3.

На виході даних ОЗП стоїть регістр паралельного зсуву К561ІР6 (DD 16) для зберігання даних зчитування. Перетворення даних цифрової форми в аналогову здійснюється за допомогою ЦАП. Застосовано ЦАП К572ПА1. Для оперативного зберігання інформації від АЦП та узгодження його з ОЗП використано регістр паралельного зсуву К561ІР6.

Цифрові лічильники повинні працювати до 1000 (один цикл запису/зчитування), тому для детектування тисячного імпульсу застосовується комбінаційна схема на основі К1561ЛІ1 і К561ЛА8. Але для 2-х лічильників застосовано дві таких схеми, це вигідніше ніж застосовувати схему перемикання шин адреси на схему детектування. В таблиці 12.1 наведено стан логічного виходу по відношенню до станів на логічних входах цієї схеми

Таблиця 12.2 – Таблиця істинності для детектора 1001-імпульсу

Логічні виходи лічильника										Лог. вихід детектора
$2^9$	$2^8$	$2^7$	$2^6$	$2^5$	$2^4$	$2^3$	$2^2$	$2^1$	$2^0$	
1	1	1	1	1	0	1	0	0	0	1
Всі інші стани лічильника										0

Згідно з цією таблицею побудовано комбінаційну схему. Для спрацьовування МС ЛІ1 потрібно, щоб на вході були всі логічні "1", оскільки в коді є логічні "0", то їх необхідно проінвертувати. Для цього застосовано схему 4-І-НЕ (К561 ЛА8), проінвертовані "0" подамо на 7-й логічний вхід МС ЛІ1. Сигнали з логічного виходу МС ЛІ1 подаються на вхід скиду лічильників у початковий стан (відповідно на вхід R кожного лічильника).

Для початкового скидання всіх лічильників і регістрів у початковий стан при першому запуску (включення пристрою) застосована схема скиду на основі RC-кола (короткочасна подача напруги живлення на входи скиду). Щоб короткочасний імпульс живлення не подавався на виходи інших мікросхем, застосовано блокування діодами.

Застосовується також схема для узгодження частин пам'яті. Перші 1000 адрес містять інформацію зчитану із АЦП, наступні 1000 адрес використовуються для зчитування і комбінування певних проміжків та



відсилання їх до ЦАП. Після закінчення запису інформації з ЦАП і зчитування та комбінування адреси (верхня і нижня) обмінюються місцями і тепер з верхньої області пам'яті відбувається зчитування інформації, а в нижню – запис з АЦП. Таким чином відбувається безперервність перетворення інформації. Задача цієї схеми з'єднати нижню область пам'яті з записом, а верхню із зчитуванням. Через 1000 циклів запису/зчитування нижня область пам'яті з'єднується із зчитуванням, а верхня із записом. Ще через 1000 циклів схема переходить у початковий стан.

Для синхронізації приймача та передавача скремблера використано циклову синхронізацію. З кожним 1000 тактом в лінію посилається сигнал частотою 160 Гц, а на приймальній частині за допомогою ФНЧ цей сигнал виділяється та слугує для підстроювання задаючого генератора приймача. Сигнал посилається в лінію на час не довший ніж час посилання однієї кодової послілки (100 мс), адже наступна послілка повинна бути зчитана в чітко визначений час – через 100 мс. Якщо цього не відбудеться і генератор приймача видасть частоту, яка відрізняється від частоти передавача, то відбудеться зсув часових послідовностей. Відповідно буде виконана зворотна перестановка часових інтервалів, які вже після відновлення не будуть відповідати вихідному сигналу на приймальній частині.

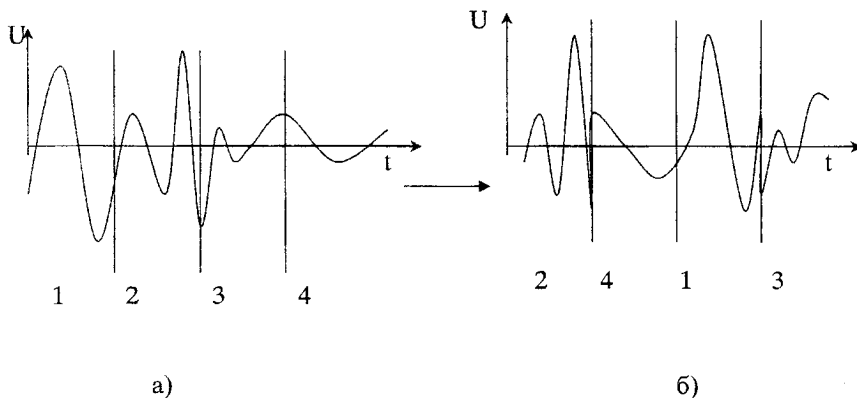


Рисунок 12.3 – Принцип кодування вхідного сигналу; а) вхідний сигнал розбитий на часові проміжки; б) вихідний сигнал після перестановки часових інтервалів

На приймальній частині при збої синхронізації і підвищеній частоті опорного генератора приймача відбувається некоректне відновлення сигналу, як показано на рис. 12.4.

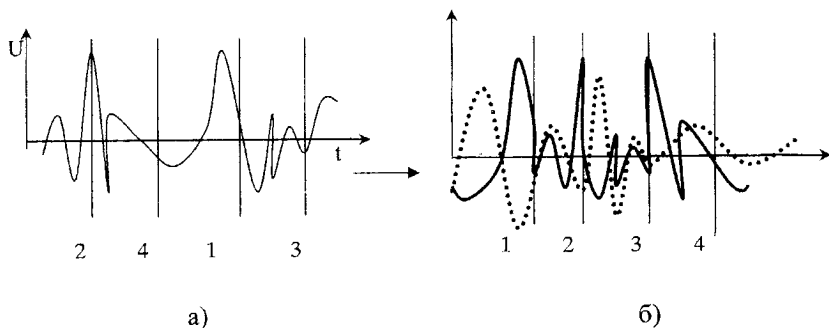


Рисунок 12.4 – Відновлення сигналу на приймальній частині при відсутності синхронізації: а) сигнал, кодований на вході; б) сигнал після відновлення –суцільна лінія (пунктиром показано початковий сигнал)

Як видно з рисунку відновлений сигнал досить сильно спотворено, тому при проектуванні приймальної частини необхідно чітко виконати виділення синхро-сигналу із спектра. Сигнал від мікрофона потрапляє на вхід АЦП через ФНЧ другого порядку, виконаного на ІМС К1401УД2Б, для формування смуги частоти із верхньою частотою зрізу – 3.4 кГц. Це необхідно для обмеження частот вищих гармонік, які можуть робити значні спотворення в процесі дискретизації.

Пристрій має опорний цифровий генератор 40 кГц і звуковий синусоїдальний генератор 160 Гц для синхронізації приймальної частини. Для реалізації схемних рішень необхідні частоти 20 кГц і 10 кГц. Тому в схему введено два подільника частоти на два на основі тригерів К561ТМ2.

Функціональна схема лабораторного макета цифрового скремблера телефонних сигналів подана на рис. 12.5.

### Порядок виконання роботи

1. Увімкнути живлення скремблера та режим скремблювання. До входу скремблера підключити генератор синусоїдальних коливань, а до виходу осцилограф та вольтметр, регулятор  $U_{зм}$  АЦП поставити у середнє положення. Змінюючи частоту вхідного сигналу від 100 до 5000 Гц та підтримуючи рівень вхідної напруги 1В, дослідити амплітудно-частотну характеристику скремблера.

2. Повторити дослідження п.1 для крайніх положень регулятора  $U_{зм}$  АЦП.

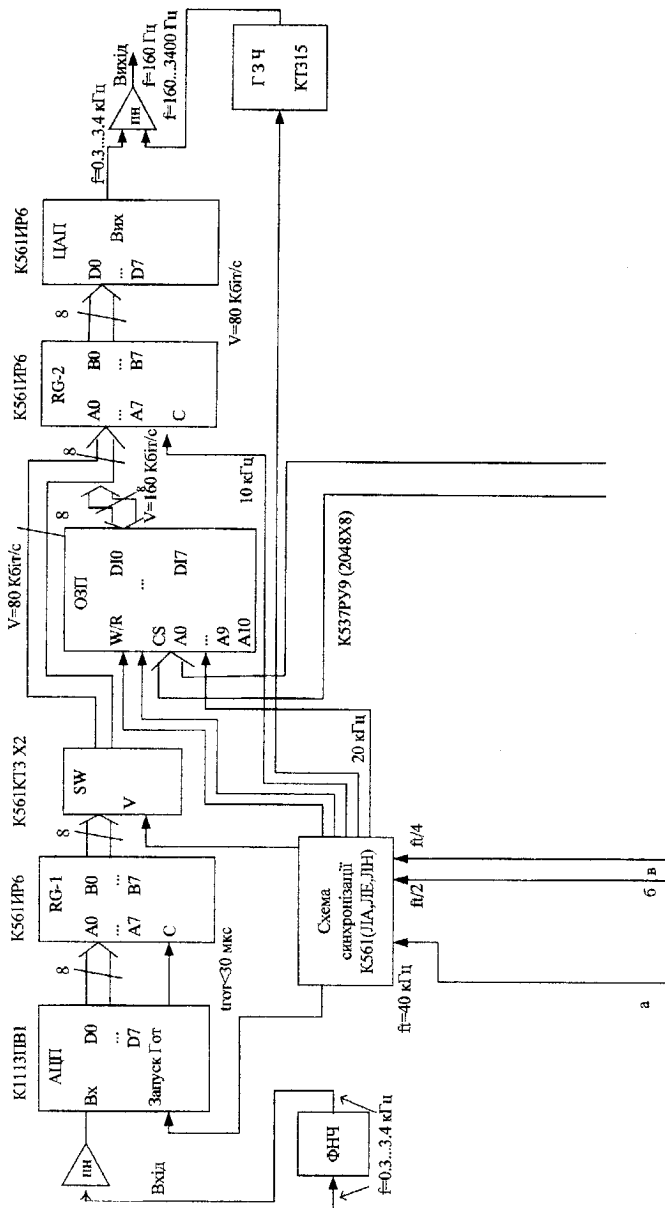


Рисунок 12.5 – Схема цифрового скремблера телефонного сигнала

3. Підключити до входу макета генератор синусоїдальних коливань та змінюючи напругу від 0,01 до 2 В дослідити амплітудну характеристику, підтримуючи частоту вхідних коливань 1000 Гц.

4. До виходу макета підключити осцилограф та дослідити вихідний сигнал у частотній області при частотах вхідного сигналу 300 Гц, 1000 Гц, 3400 Гц та рівні напруги 1В у таких точках та при трьох положеннях регулятора  $U_{зм. АЦП}$ :

- a. Вихід ФНЧ;
- b. Вихід АЦП;
- c. Вихід ЦАП;
- d. Вихід  $F_p$ .

5. Повторити дослідження п. 4 для вимкненого режиму скремблювання.

### **Вказівки до звіту**

Звіт з лабораторної роботи повинен містити:

- структурну схему макета цифрового скремблера;
- таблиці та осцилограми зняті у відповідних точках;
- порівняльний аналіз теоретичних та експериментальних характеристик і параметрів лінійного блочного коду.

### **Контрольні запитання**

1. Поясніть принцип функціонування скремблера з часовим перетворенням.
2. Дати порівняльну характеристику систем кодування з відкритим і закритим ключем.
3. У чому полягає функція SIM-картки в стандарті GSM?
4. Які переваги апаратних систем кодування над програмними?
5. Чи є необхідність у синхронізації цифрових скремблерів?
6. Чи можна застосовувати скремблери в асинхронних системах зв'язку?
7. Що таке криптографічний метод захисту інформації?
8. Перелічити сучасні методи захисту інформації [37-46].

## ЛИТЕРАТУРА

1. Бакланов И.Г. Методы измерений в системах связи.- М.: Эко-Трендз, 1999.
2. Бакланов И.Г. Технологии измерений первичной сети.- М.: Эко-Трендз, 2000.
3. Иванов А.Б. Контроль соответствия в телекоммуникациях и связи.- М.: САЙРУС СИСТЕМС, 2000.
4. Колюшко Т.А. Измерения в цифровых системах связи.- К.: ВЕК, 2002.
5. Кириллов В.И. Многоканальные системы передачи. Учебник для вузов.- М.: Новое знание, 2002.
6. Семенов А.Б., Стрижаков С.К., Сунчелей И.Р. Структурированные кабельные системы.- М.: ЛАЙТ, 2001.
7. Гитлиц М.В., Лев А.Ю. Теоретические основы многоканальной связи. Учебное пособие для вузов.- М.: Радио и связь, 1985.
8. Жураковский Ю.П., Назаров В.Д. Каналы связи: Учебник для вузов. – К.: Вища школа, 1985.
9. Телекоммуникационные системы и сети. Учеб. пособие в 3 томах./ Катунин Г.П., Малчов Г.В., Попантопопуло В.Н., Шувалов В.П.; Под ред. В.П. Шувалова.- М.: Телеком, 2004.
10. Гордиенко В.И., Крухмалев В.В., Иванов В.И. и др. Проектирование и техническая эксплуатация систем передачи. М.: Радио и связь, 1996.
11. Многоканальные системы передачи / Н.Н. Баева, В.И. Гордиенко, С.А. Курицын и др.; Под ред. Н.Н. Баевой и В.И. Гордиенко. М.: Радио и связь, 1996.
12. Калмыков В.В. Радиотехнические системы передачи информации: Учебное пособие для вузов.- М.: Радио и связь, 1990.
13. Пенин П.И., Филиппов Л.И. Радиотехнические системы передачи информации: Учебное пособие для вузов.- М.: Радио и связь, 1984.
14. Системы электросвязи. Учебник для вузов. Под ред. В.М.Шувалова. -М.: Связь, 1987.
15. Баева Н.Н. Многоканальная электросвязь и РРЛ. Учебник для вузов. - М.: Радио и связь, 1988.
16. Гайворинская Г.С. Основы построения сетей и систем телефонной связи. Учебное пособие для вузов. Одесса: УГАС, 1997.
17. Уайндер С. Справочник по технологиям и средствам связи. Пер. с англ.- М.: Мир, 2000.
18. Радиорелейные и спутниковые системы передачи. Учебник для вузов / Немировский А.С., Данилевич О.С., Маримонт Ю.И. и др. Под ред. А.С. Немировского.- М.: Радио и связь, 1986.

19. Стеклов В.К., Беркман Л.И. Проектирование телекоммуникационных сетей: Пidr. для вузов / Пidr. ред. В.К. Стеклова. – К.: Техника, 2002.
20. Стеклов В.К., Беркман Л.Н. Телекоммуникационные сети. Пidr. для вузов. – К.: Техника, 2001.
21. Бакианов И.Г. Технология измерений в современных коммутациях. – М.: Радио и связь, 1997.
22. Жданов А.Г., Рассказов Д.А., Смирнов Д.А. Передача речи по сетям с коммутацией пакетов. IP-телефония. – СПб.: СПб ГУТ, 2001.
23. Гольдштейн Б.С., Сигнализация в сетях связи. – М.: Радио и связь, 1997.
24. Корнейчук В.И., Мосорин П.Д. Волоконно-оптические компоненты, системы передачи та мережі. – Одеса: Друк, 2001.
25. Корнейчук В. И. Лесовой И.П. Волоконно-оптические измерения. – К.: Наукова думка, 1999.
26. Справочник по волоконно-оптическим линиям связи / Л.М. Андрушко, В.А. Вознесенский, В.Б. Каток и др. Под ред. С.В. Свечникова и Л.М. Андрушко. – К.: Техника, 1988.
27. Цифровая связь: Справочник / И. П. Панфилов, В.К. Стеклов, М.Л. Бирюков и др.; Под ред. В.К. Стеклова. – К.: Техника, 1992.
28. Скляр Б. Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение.: Пер. с англ. – М.: Изд. дом „Вильямс”, 2003.
29. Цифровая сельская связь./ И.В. Ситняковский, В.И. Мейкман, Б.Н. Маслицкий; Под ред. М.Д. Венедиктова. М.: Радио и связь, 1994.
30. Прокис Д. Цифровая связь. Пер. с англ./Под ред. Д.Д.Кловского – М.: Радио и связь, 2000.
31. Левин Л.С., Плоткин Л.А. Цифровые системы передачи информации. – М.: Радио и связь, 1982.
32. Ситняковский И.В. и др. Цифровые системы передачи абонентских линий. – М.: Радио и связь, 1987.
33. Дьяконов В.П., Абраменкова И.В., Круглов В.В. Matlab 5 с пакетами расширений. М.: Нолидж, 2001.
34. Дьяконов В.П. Simulink 4. Специальный справочник. СПб.: ПИТЕР, 2002.
35. Дьяконов В.П., Абраменкова И.В., MATLAB. Обработка сигналов и изображений. Специальный справочник. СПб.: ПИТЕР 2002.
36. Потемкин В.Г. Инструментальные средства MATLAB 5.X. М.: ДИАЛОГ-МИФИ, 2000.
37. Лагутин В. С., Петраков А.В. Утечка и защита информации в телефонных каналах. – М.: Энергоатомизд, 1996.
38. Петраков А.В. Основы практической защиты информации. М.: Радио и связь, 2001.
39. Горальски В. Технологии ADSL и DSL. – М.: ЛОРИ, 2000.

40. Гальдштейн Б.С., Пличук А.В., Суховицкий А.Л. IP-телефония.- М.: Радио и связь, 2001.
41. Денисьева О.М., Мирошников Д.Г. Средства связи для „последней мили”. М.: Эко-Трендз, 1998.
42. Назаров А.Н. Симонов М.В. АТМ: технология высокоскоростных сетей. М.: Эко-Трендз, 1999.
43. Слепов Н.Н. Синхронные цифровые сети SDH М.: Эко-Трендз, 1997.
44. Хмелев К.Ф. Основы SDH.- К.: ІВЦ “Політехнік”, 2003.
45. Дьяконов В.П., Смердов В.Ю. Бытовая и офисная техника связи.- М.: СОЛОН, 1999.
46. Кичак В.М., Бортник Г.Г., Семенюк О.А. Засоби оргтехніки та зв'язку. Навчальний посібник.-Вінниця: ВДГУ, 2001.

Додаток А  
Зразок титульного листа до звіту з лабораторної роботи

Міністерство освіти і науки України  
Вінницький національний технічний університет  
Інститут радіотехніки, зв'язку та приладобудування

Факультет радіотехніки  
та телекомунікацій

Кафедра телекомунікаційних  
систем і телебачення

**ЗВІТ**

до лабораторної роботи № 2  
“Дослідження станції СП-3С”  
з дисципліни “Системи передавання в електров’язку”

**Прийняв**

Асистент кафедри ТКСТБ \_\_\_\_\_ О.В.Стальченко

**Захистили**

Студенти групи ТМС-02 \_\_\_\_\_ В.І.Кравчук

\_\_\_\_\_ П.М.Іваненко

2004



*Навчальне видання*

Геннадій Григорович Бортник  
Олександр Анатолійович Семенюк  
Олександр Володимирович Стальченко

## **Системи передавання в електрозв'язку**

### **Лабораторний практикум**

Оригінал-макет підготовлено авторами

Редактор В.Д. Дружиніна  
Коректор З.В. Поліщук

Навчально-методичний відділ ВНТУ  
Свідоцтво Держкомінформу України  
серія ДК № 746 від 25.12.2001  
21021, м.Вінниця, Хмельницьке шосе, 95, ВНТУ

Підписано до друку 7.07.05р.  
Формат 29.7x42<sup>1</sup>/<sub>4</sub>  
Друк різнографічний  
Тираж 75 прим.  
Зам № 2005 - 117

Гарнітура Times New Roman  
Папір офсетний  
Ум.друк.арк. 6.75

Віддруковано в комп'ютерному інформаційно-видавничому центрі  
Вінницького національного технічного університету  
Свідоцтво Держкомінформу України  
серія ДК № 746 від 25.12.2001  
21021, м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95, ВНТУ