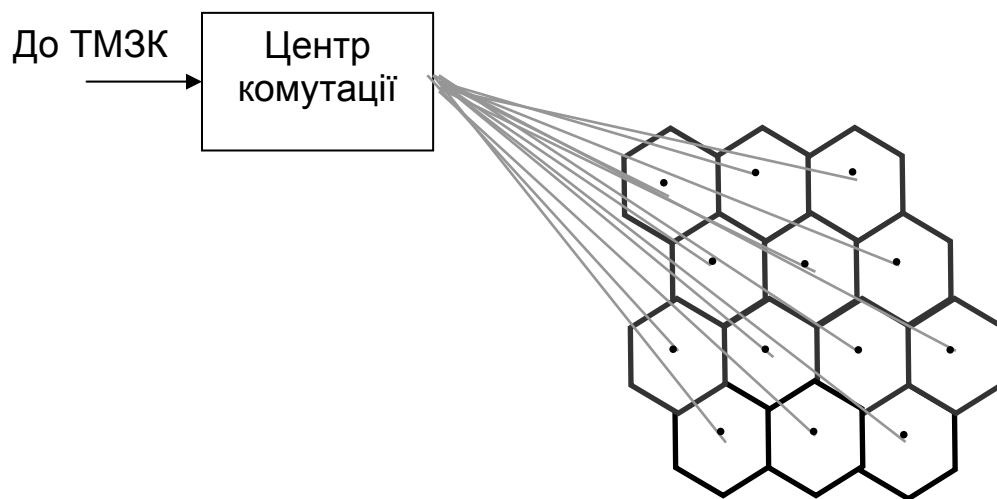


В. М. Кичак, С. Т. Барась, Ю. І. Кравцов, О. С. Городецька

Основи побудови засобів та систем телекомунікацій



Міністерство освіти і науки України
Вінницький національний технічний університет

**Основи побудови
засобів та систем телекомунікацій**

Навчальний посібник

Вінниця
ВНТУ
2010

УДК 621.39(075)
ББК 32.968я73
О75

Автори:

В. М. Кичак, С. Т. Барась, Ю. І. Кравцов, О. С. Городецька

Рекомендовано до друку Вченою радою Вінницького національного технічного університету Міністерства освіти і науки України (протокол №8 від 26.03.2009 р.)

Рецензенти:

О. М. Шинкарук, доктор технічних наук, професор

О. В. Осадчук, доктор технічних наук, професор

В. Ю. Кучерук, доктор технічних наук, професор

Основи побудови засобів та систем телекомунікацій :
О75 навчальний посібник / [Кичак В. М., Барась С. Т., Кравцов Ю. І. та ін.] – Вінниця : ВНТУ, 2010. – 188 с.

У посібнику розкриваються основи побудови і функціонування різноманітних телекомунікаційних систем та мереж. Значна увага приділяється основам електроніки, яка є фундаментом всіх засобів телекомунікацій. Розглядаються основні поняття телекомунікацій, принципи телефонії, стільникового зв'язку, багатоканальних систем, автоматичної комутації тощо. Посібник буде корисним для студентів молодших курсів при вивченні професійно-орієнтованих дисциплін та спеціальних дисциплін робітничої професії, а саме: «Теорія електров'язку», «Основи радіомовлення, радіозв'язку та телебачення», «Спеціальна технологія», «Технічна електроніка».

УДК 621.39(075)
ББК 32.968я73

© В. Кичак, С. Барась, Ю. Кравцов, О. Городецька, 2010

ЗМІСТ

ВСТУП	7
1 УНІВЕРСИТЕТ І СТУДЕНТ.....	8
1.1 Університет та Болонський процес.....	8
1.2 Організація навчального процесу.....	10
1.3 Відвідування занять та привила відрахування.....	13
1.4 Про правила вступу до магістратури.....	14
1.5 Про конкурсну систему переходу з бакалаврату на освітньо-професійний рівень «Спеціаліст» та «Магістр».....	15
2 ОСНОВИ ЕЛЕКТРОНІКИ.....	16
2.1 Класифікація і основні властивості електронних приладів.....	16
2.1.1 Класифікація електронних приладів.....	16
2.1.2 Основні властивості електронних приладів.....	17
2.2 Основи напівпровідникової електроніки.....	18
2.2.1 Загальні відомості про напівпровідники.....	18
2.2.2 Структура напівпровідників.....	19
2.2.3 Носії зарядів в напівпровідниках.....	20
2.2.4 Струми в напівпровідниках.....	23
2.3 Контактні явища в напівпровідниках.....	25
2.3.1 Електронно-дірковий перехід. Види переходів.....	25
2.3.2 Фізичні процеси в симетричному переході.....	26
2.3.3 Умова рівноваги p - n переходу.....	28
2.3.4 Електронно-дірковий перехід під зовнішньою напругою.....	30
2.3.5 Контактна різниця потенціалів.....	33
2.3.6 Вольт-амперна характеристика електронно-діркового переходу.....	34
2.4 Напівпровідникові діоди.....	38
2.4.1 Класифікація і маркування напівпровідникових діодів.....	38
2.4.2 Вольт-амперна характеристика діода.....	41
2.4.3 Пробій діода.....	43
2.4.4 Тепловий пробій.....	44
2.4.5 Вплив температури на характеристики діода.....	45
2.4.6 Напівпровідникові стабілітрони.....	46
2.4.7 Варикапи.....	48
2.4.8 Випрямні діоди.....	50
2.4.9 Тунельний діод.....	53
2.4.10 Високочастотні діоди.....	56
2.4.11 Обернений діод.....	57
2.4.12 Імпульсні діоди.....	58
2.5 Транзистори.....	60
2.5.1 Загальні відомості і класифікація транзисторів.....	60
2.5.2 Класифікація біполярних та польових транзисторів.....	61

2.5.3	Принцип дії біполярного транзистора.....	63
2.5.4	Режими роботи транзистора.....	66
2.5.5	Статичні параметри і характеристики транзисторів.....	66
2.5.6	Частотні властивості транзистора.....	70
2.5.7	Принципи підсилення в транзисторі при активному режимі роботи.....	72
2.5.8	Робота транзистора в імпульсному режимі.....	73
3	ЗАГАЛЬНІ ПОНЯТТЯ ПРО ПЕРЕДАЧУ ІНФОРМАЦІЇ НА ВІДСТАНЬ.....	78
3.1	Людина та інформація.....	78
3.2	Повідомлення і сигнали.....	78
3.3	Поняття телекомунікацій та етапи їх розвитку.....	81
3.4	Стандартизація в галузі телекомунікацій.....	85
3.5	Узагальнена структурна схема телекомунікаційної системи....	87
3.6	Сучасні види телекомунікацій.....	89
4	ОСНОВИ СУЧАСНОЇ ТЕЛЕФОНІЇ.....	91
4.1	Телефонні мережі: структура і класифікація.....	91
4.2	Характеристика сучасного стану систем телефонного зв'язку України.....	93
4.3	Основи функціонування телефонних мереж.....	94
4.4	Схеми побудови телефонних мереж.....	96
5	ТЕЛЕФОННІ АПАРАТИ.....	99
5.1	Електроакустичні перетворювачі.....	99
5.2	Електромеханічний телефонний апарат.....	104
5.3	Багатофункціональні телефонні апарати.....	107
5.4	Безшнурові телефонні апарати.....	110
5.5	Телефонні апарати мобільного супутникового зв'язку.....	114
5.6	Телефонні апарати стільникового зв'язку.....	114
6	ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНІ СИСТЕМИ.....	117
6.1	Загальні відомості.....	117
6.2	Телекомунікаційні системи для передачі неперервних повідомлень.....	118
6.2.1	Система телефонного зв'язку.....	118
6.2.2	Система звукового мовлення.....	119
6.2.3	Система факсимільного зв'язку.....	119
6.2.4	Система телевізійного мовлення	120
6.3	Телекомунікаційні системи для передачі дискретних повідомлень.....	123
6.3.1	Система телеграфного зв'язку.....	123
6.3.2	Система передачі даних.....	124
7	ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНІ МЕРЕЖІ.....	125
7.1	Принципи побудови мереж.....	125
7.2	Лінії зв'язку.....	127

7.2.1	Проводові лінії зв'язку.....	128
7.2.2	Волоконно-оптичні лінії зв'язку.....	129
7.2.3	Радіолінії зв'язку.....	131
7.2.4	Супутникові радіолінії	133
8	СТІЛЬНИКОВИЙ ЗВ'ЯЗОК.....	135
8.1	Історія розвитку стільникового зв'язку.....	135
8.2	Принципи функціонування систем стільникового зв'язку.....	137
8.2.1	Поділ території обслуговування на комірки.....	137
8.2.2	Повторне використання частот.....	139
8.2.3	Алгоритми функціонування систем стільникового зв'язку.....	141
8.3	Загальна характеристика складових частин системи.....	142
8.3.1	Рухома станція.....	142
8.3.2	Базова станція.....	143
8.3.3	Центр комутації.....	143
9	БАГАТОКАНАЛЬНИЙ ЗВ'ЯЗОК.....	145
9.1	Поняття про канал тональної частоти.....	145
9.2	Класифікація багатоканальних систем передачі.....	146
9.3	Поняття про модуляцію гармонічним сигналом.....	148
9.4	Амплітудна модуляція смуговим сигналом.....	150
9.5	Індивідуальний принцип побудови апаратури аналогових систем передачі.....	151
9.6	Груповий принцип побудови апаратури аналогових систем передачі	152
9.7	Формування АІМ-сигналу в системах передачі з часовим розділенням каналів.....	154
9.8	Поняття про імпульсно-кодову модуляцію.....	155
9.9	Структура цифрової системи передачі.....	157
9.10	Ієрархія цифрових систем передачі.....	158
9.11	Перспективи розвитку багатоканального зв'язку.....	159
10	ОСНОВИ АВТОМАТИЧНОЇ КОМУТАЦІЇ НА АТС.....	161
10.1	АТС – етапи розвитку та класифікація.....	161
10.2	Комутаційні прилади.....	164
10.2.1	Основні поняття і означення.....	164
10.2.2	Електромагнітні реле.....	167
10.2.3	Комутаційні феритові елементи.....	168
10.2.4	Електронні комутаційні елементи.....	169
10.2.5	Шукачі.....	171
10.3	Принципи автоматичної комутації.....	173
10.3.1	Основні поняття і означення.....	173
10.3.2	Структура комутаційного вузла.....	175
10.3.3	Способи встановлення з'єднань.....	176
10.3.4	Передача сигналів у процесі встановлення з'єднання....	179

ВИСНОВКИ.....	181
ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ.....	182
ЛІТЕРАТУРА.....	183
ГЛОСАРІЙ.....	185

ВСТУП

Загальновизнано, що телекомунікації відіграють провідну роль в економічному та культурному розвитку країни. Протягом кількох років Україна реалізує програму перебудови інфраструктури електрозв'язку і телекомунікаційних послуг за участю українських та іноземних компаній. Це потребує залучення фахівців телекомунікаційного напрямку, які б володіли достатнім багажем знань для впровадження та вдосконалення новітніх технологій.

Сучасне життя характеризується підвищеною діловою активністю населення. Будь-яка хоча б трохи корисна інформація не може бути використана, якщо відсутні канали зв'язку для її передачі та прийому. Сама по собі інформація не має ніякої цінності, якщо нею не можна скористатися. Необхідність володіння інформацією в певний час, збільшення обсягу цієї інформації та зменшення термінів її доставки до адресата, можливість її оперативної передачі і прийому робить технології та засоби телекомунікацій одним з найважливіших елементів сучасного життя.

Відмінною особливістю нашого часу є неперервне зростання потреби передавання значних потоків інформації на значні відстані. Це обумовлено багатьма причинами, і в першу чергу тим, що зв'язок став одним з найбільш потужних і визначальних важелів керування економікою країни. Одночасно, динамічно розвиваючись і стаючи всебічним та всеохоплюючим, електрозв'язок кожної країни стає все більш інтегрованим в світовий телекомунікаційний простір.

Автори розуміють, що даний посібник тримати в руках будуть переважно вчорашні абітурієнти, які успішно склали вступні випробування і стали повноправними членами великої студентської сім'ї. Саме для них написаний перший розділ „Університет і студент”, в якому мова йде про організацію навчального процесу, контроль знань студентів, роботу на аудиторних заняттях, про права та обов'язки студентів – тобто про основні правила студентського життя. Ознайомившись з цим розділом, першокурсники зможуть спокійніше і впевненіше пройти адаптаційний період та відчутти основні особливості вищої школи. Хочеться також звернути увагу на підрозділи 1.4 і 1.5, в яких йдеться про основні вимоги для вступу в магістратуру та правила зарахування бакалаврів на навчання за освітньо-професійними рівнями спеціаліста та магістра інженерії. Ознайомившись з ними, студент знайде ще низку стимулів для успішного навчання, оскільки подальший статус студента визначається на конкурсній основі.

Посібник розрахований на студентів молодших курсів бакалаврських напрямків „Телекомунікації” та „Менеджмент (організацій)”.

1 УНІВЕРСИТЕТ І СТУДЕНТ

1.1 Університет та Болонський процес

Вінницький національний технічний університет (ВНТУ) – добре відомий навчальний заклад як в Україні, так і далеко за її межами. Навчання в ВНТУ, який акредитовано за найвищим в Україні IV рівнем акредитації, здійснюється за схемою "бакалавр - інженер - магістр" за навчальними планами, в яких інтегровані кращі риси вітчизняної та канадської систем вищої освіти.

До складу ВНТУ входять вісім навчально-наукових інститутів:

Інститут автоматики, електроніки та комп'ютерних систем управління (ІнАЕКСУ),

Інститут будівництва, теплоенергетики та газопостачання (ІнБТГПЕ),

Інститут електроенергетики та електромеханіки (ІнЕЕМ),

Інститут інформаційних технологій та комп'ютерної інженерії (ІнІТКІ),

Інститут машинобудування та транспорту (ІнМТ),

Інститут радіотехніки, зв'язку та приладобудування (ІнРТЗП),

Інститут менеджменту (ІнМ)

Інститут екології та екологічної кібернетики (ІнЕЕЕК)

та інтегральні інститути і центри, призначені для забезпечення навчального процесу:

Інститут магістратури, аспірантури та докторантури (ІнМАД),

Інститут інтеграції навчання з виробництвом (ІнІНВ),

Центр післядипломної освіти (ЦПО),

Головний центр міжнародних зв'язків (ГЦМЗ),

Головний центр довузівської підготовки (ГЦДП),

Головний центр організаційного та методичного забезпечення навчання (ГЦОМЗН).

На стаціонарних відділеннях університету навчається шість тисяч студентів, на заочних – півтори тисячі, в аспірантурі та докторантурі – сто, на підготовчому факультеті – близько однієї тисячі.

Навчально-наукову діяльність в університеті здійснюють 47 кафедр, 26 з яких мають філії на підприємствах м. Вінниці та області. 36 кафедр очолюються докторами наук, професорами, біля 84% викладачів випускових кафедр та 72% викладачів університету мають наукові ступені та звання; 2% викладачів кафедр мають почесні звання "Заслужений", а 10% є академіками та членами-кореспондентами державних галузевих та громадських Академій.

ВНТУ – єдиний в Україні та на терені СНД вищий навчальний заклад, в якому ще з 1991 року навчальний рік побудований за триместровою схемою, в якій 2 триместри є навчальними за програмою вищої школи, а один триместр – робочим. Особливістю робочих триместрів є те, що під час їх проведення на 1-ому курсі всі студенти отримують робітничі професії, які відповідають майбутнім інженерним, а на наступних курсах студенти працюють на робочих місцях на підприємствах, самостійно виконуючи завдання та підвищуючи свою кваліфікацію. Керує робочими триместрами кафедра інтеграції навчання з виробництвом, представництва якої є в усіх промислових містах України.

ВНТУ має потужні зв'язки з іншими університетами Європи – щороку виконується по кілька проектів за програмою TEMPUS з університетами Швеції, Німеччини, Данії, Португалії, Іспанії, Румунії, інших країн світу. Сьогодні Україна активно долучилась до Болонського процесу, який Європа започаткувала аби вдосконалити свою систему освіти. Наказом Міністра освіти і науки України №48 від 23.01.04 р. "Про проведення педагогічного експерименту кредитно-модульної системи організації навчального процесу" Вінницький національний технічний університет включений в перелік вищих навчальних закладів, що беруть участь в експерименті.

Для реалізації цілей Болонського процесу, який спрямовано на створення єдиного європейського освітнього і наукового простору, слід провести ряд реформ як на законодавчому рівні, так і в щоденній практичній діяльності вищих навчальних закладів, що стосуються таких напрямів.

Кредитна система для освіти – використання системи ECTS (європейська кредитно-трансферна та акумулююча система) у всій Європі, яка, за потреби, дозволить переведення та виконуватиме функцію накопичення.

Європейська співпраця з питань гарантії якості – створення спільної системи стандартів, визнання механізмів оцінювання й акредитації (сертифікації).

Спільні ступені – впровадження усіма країнами двоступеневої системи освіти – "**бакалавр**", "**магістр**", що сприятиме якості та прозорості європейської вищої освіти.

Докторський рівень – адаптування країнами законодавства з тим, щоб спільний ступінь доктора міг реалізуватися, а перепон у його визнанні можна було уникнути.

Порівнянність освітніх структур в Європі – прийняття двоступеневої системи ступенів з їх прозорістю та порівнянністю, крім того, усі випускники вищих навчальних закладів мають безкоштовно одержати додаток до диплома (найпоширенішою європейською мовою), що впливатиме на визнання дипломів.

1.2 Організація навчального процесу

Організація навчального процесу у ВНТУ здійснюється за кредитно-модульною системою (КМС), основними завданнями якої є:

- адаптація ідей ECTS до системи вищої освіти України для забезпечення мобільності студентів у процесі навчання і гнучкості підготовки фахівців, враховуючи швидкозмінні вимоги національного та міжнародного ринків праці;

- забезпечення студентові можливості навчання за індивідуальною варіативною частиною освітньо-професійної програми, що сформована за вимогами замовників та побажаннями студента і сприяє його саморозвитку і, відповідно, підготовці до життя у вільному демократичному суспільстві;

- стимулювання учасників навчального процесу з метою досягнення високої якості вищої освіти;

- унормування порядку надання можливості студенту отримання професійних кваліфікацій відповідно до ринку праці.

Умовною одиницею виміру навчального навантаження студента при вивченні певної дисципліни (курсу) є кредит ECTS, який базується на повному навчальному навантаженні студента, а не обмежується лише аудиторними годинами. Навантаження студента на один навчальний рік становить 60 кредитів. Один кредит - 30 годин навчального навантаження студента [1, 2, 3].

Навчальний матеріал дисципліни розподіляється на модулі викладачем і затверджується на засіданні кафедри. За триместр з дисципліни проводиться 2-4 модулі. Оцінювання знань студентів здійснюється у балах. Максимальна кількість балів, яку може отримати студент за модуль, є трудомісткістю модуля дисципліни. Кожен модуль закінчується колоквіумом або проведенням контрольної роботи. Колоквіум мають право складати всі студенти незалежно від виконання інших робіт. Трудомісткість колоквіуму визначається лектором і складає не менше 40% для фундаментальних, загальноінженерних та спеціальних дисциплін, а для гуманітарних дисциплін – до 80% від трудомісткості модуля. У випадку неявки студента на колоквіум з поважної причини термін його проведення визначається лектором.

Максимальна кількість балів, яку студент може отримати з даної дисципліни визначається як результат множення на 5 сумарної кількості годин, що виділяється на вивчення даної дисципліни (включаючи і години СРС) окрім годин, виділених на курсові проекти (КП) та роботи (КР), які в свою чергу повинні бути кратними кредиту. За відвідування занять та активну в них участь студентам допускається нарахування до 10% балів від трудомісткості дисципліни. За несвоєчасне виконання будь-якого виду навчальних робіт бальні оцінки студентів не знижуються.

У вступній лекції лектор зобов'язаний поінформувати студентів про організацію навчального процесу з дисципліни за КМС. Під час навчання студенти мають вчасно забезпечуватися такою інформацією (табл. 1.1).

Таблиця 1.1 – Поточна інформація для студентів

Вид інформації	Хто і коли забезпечує
Положення про КМС Графіки навчального процесу в триместрах	Деканат, протягом усього терміну навчання
Програма дисципліни Робочий план дисципліни Положення про КМС дисципліни з критерієм оцінювання рівня знань, умінь та навичок студента для всіх складових модуля	Кафедра, в перший тиждень триместру
Програма підготовки до екзамену (заліку) з кожної дисципліни	Кафедра, за місяць до сесії
Бальна та відповідна їй державна оцінка студента з дисципліни	Лектор, на останньому тижні триместру
Рейтинг студента за певний термін навчання	Деканат, протягом усього терміну навчання

Рівень знань, умінь та навичок студента оцінюють при проведенні поточного та підсумкового контролю. Поточний контроль здійснюється в ході навчального процесу проведенням усного опитування, контрольної роботи, тестування, колоквіуму тощо. Результати поточного контролю реєструються в журналі викладача. Підсумковий контроль складається з модульного, триместрового (залік, екзамен) та державної атестації студентів (державний екзамен, захист кваліфікаційних робіт).

При модульному контролі проводиться підсумовування роботи студента впродовж модуля. Після завершення кожного модуля (не пізніше наступного після колоквіуму тижня) викладач заносить модульну бальну оцінку в журнал деканату про облік успішності студента.

При триместровому контролі – екзамені – отримані студентом бальні оцінки з дисципліни переводяться в 5-бальну шкалу і шкалу ECTS відповідно до табл. 1.2.

До складання заліків та екзаменів допускаються всі студенти за умов виконання навчального плану з дисципліни, незалежно від захисту КП (КР) з цієї дисципліни та стану їхніх справ з інших дисциплін. Студентам, які не виконали навчальний план з дисципліни, в заліково-екзаменаційну відомість виставляється бальна оцінка та пишеться «недопущений». Екзамен (залік) ці студенти складають після повного

виконання навчального плану з дисципліни. Студент, який набрав кількість балів в межах FX, вважається таким, що виконав графік навчального процесу з цієї дисципліни і допускається до екзамену з необхідністю додаткового вивчення програмного матеріалу. Якщо під час екзамену студенту не вдалося набрати необхідної кількості балів для позитивної оцінки, то йому виставляється оцінка «2» за п'ятибальною шкалою і оцінка «FX» за шкалою ECTS.

Таблиця 1.2 – Шкала відповідності оцінок

Відсоток балів від трудомісткості дисципліни	За 5- бальною шкалою	За шкалою ECTS	Рекомендований % оцінок за вимогами ECTS	За націона- льною шкалою	
$97 \leq B \leq 100$	5+	A	10	Відмінно	
$94 \leq B < 97$	5				
$91 \leq B < 94$	5-				
$85 \leq B < 91$	4+	B	25	Добре	
$80 \leq B < 85$	4				
$75 \leq B < 80$	4-	C	30	Задовільно	
$71 \leq B < 75$	3+	D	25		
$68 \leq B < 71$	3	E	10		
$65 \leq B < 68$	3-				
$40 \leq B < 65$	2	FX		Незадовільно	
$27 \leq B < 40$		F		Незадовільно	
$14 \leq B < 27$					
$0 \leq B < 14$					

Студент може підвищити оцінку, яку він отримав за результатами КМС, складанням екзамену в період сесії. Його абсолютна бальна оцінка при цьому підвищується до нижнього рівня балів екзаменаційної оцінки. Якщо студент на екзамені отримав оцінку нижчу, ніж за результатами КМС, в заліково-екзаменаційну відомість виставляється оцінка за КМС. При неявці студента на екзамен в заліково-екзаменаційну відомість проставляється оцінка за КМС. Приймання екзаменів обов'язково здійснюється в присутності асистента або аспіранта, які знають предмет. З низки предметів графіком навчального процесу передбачено складання заліків. Відповідно до встановлених в університеті норм, атестація таких дисциплін визначається за шкалою «зараховано», «не зараховано». При цьому викладачем виставляється оцінка за залік за шкалою ECTS.

Студенти випускних курсів мають право перескладати раніше отримані оцінки з дисциплін. Дозвіл на підвищення оцінок не більше ніж з трьох дисциплін надається ректором, директорами інститутів, директором ІнМАД та деканами факультетів. Раніше отримані оцінки з дисциплін перескладають студенти бакалаврату за 1-4 курси та студенти спеціалітету до середини травня, а студенти магістратури – до середини вересня. Перескладання дозволяється студентам спеціалітету та магістратури тільки при наявності диплома бакалавра з відзнакою.

1.3 Відвідування занять та правила відрахування

Студенти повинні неухильно виконувати графік навчального процесу з усіх дисциплін і усіх видів занять. Пропущенні заняття обов'язково відпрацьовуються студентами згідно з наданими індивідуальними графіками навчального процесу або згідно з графіками відпрацювання пропущених занять, складеними кафедрами. Форма відпрацювання пропущених лекційних, лабораторних, практичних чи семінарських занять у вигляді усного опитування, письмових відповідей на поставлені запитання, контрольної роботи по розділу, конспекту, створеному на основі вивчених розділів підручників та посібників, самостійно визначається викладачами кафедр.

Якщо число пропущених занять без поважних причин досягло граничних меж – 60% і більше з однієї дисципліни; 40% і більше з кожної із двох дисциплін; 30% і більше з кожної із трьох дисциплін – то студенти відраховуються за неуспішність у зв'язку з неосвоєнням пропущеного матеріалу.

Директори інститутів за погодженням з конкретними викладачами дисциплін і деканами факультетів мають право надавати індивідуальні графіки навчального процесу на певний період в межах до двох місяців таким категоріям студентів: студенткам, які готуються стати матерями або стали ними, під час допологової та післяпологової відпусток; студентам-спортсменам на період участі в змаганнях республіканського або міжнародного рівнів; студентам-відмінникам навчання на час участі в республіканських та міжнародних олімпіадах з конкретних дисциплін; студентам-науковцям на час участі в науково-технічних конференціях; студентам, які проживають в гуртожитках, в дні виконання ними обов'язків чергових по гуртожитку.

З університету відраховуються студенти державної та контрактної форм навчання, які за результатами триместрового контролю і складання заліково-екзаменаційної сесії отримали з трьох і більше дисциплін незадовільні оцінки. Можливість для перескладання надається студентам, які отримали не більше двох незадовільних оцінок з дисциплін в такі терміни: державної форми навчання – протягом 2-х тижнів після завершення заліково-екзаменаційної сесії; контрактної форми навчання – до початку наступної сесії.

Кожне перескладання екзамену (заліку) здійснюється лише за направленням, підписаним деканом факультету, на якому навчається студент, і обов'язково в присутності асистента. Директор інституту може продовжити термін ліквідації академзаборгованості до кінця серпня поточного року студентам державної та контрактної форм навчання, які не склали заліки чи екзамени у терміни, визначені графіком навчального процесу (через хворобу або з інших поважних причин – були на заняттях з

робочої професії, проходили виробничу практику чи складали заліково-екзаменаційну сесію, яка завершилася в кінці червня). Обмеження кількості перескладань екзаменів (заліків) з дисципліни до кінця червня, а в окремих випадках до кінця серпня, знімається студентам-контрактникам, які мають не більше двох незадовільних оцінок. Ліквідація академічної заборгованості з дисципліни студентам державної форми навчання дозволяється два рази (один раз викладачу, другий раз комісії). Якщо ж студенти державної та контрактної форми навчання не ліквідували академічну заборгованість у визначені терміни, вони відраховуються із університету.

1.4 Про правила вступу до магістратури

Підготовка магістрів у ВНТУ здійснюється на основі кваліфікації бакалавра (як за рахунок державного замовлення, так і на умовах надання платних послуг населенню, як за очною, так і за заочною формами навчання) або кваліфікації спеціаліста (як за очною, так і за заочною формами навчання на умовах надання платних послуг населенню). Для іноземних громадян підготовка здійснюється виключно на умовах надання платних послуг населенню.

У ВНТУ проводиться підготовка магістрів інженерії у профільних навчально-наукових інститутах та магістрів наук (далі – магістрів), яка здійснюється Інститутом магістратури, аспірантури та докторантури (ІнМАД). Особи, які отримали диплом магістра згідно з обраним напрямком, можуть займатися професійною, викладацькою чи науковою діяльністю в галузі, яка визначається отриманою кваліфікацією. Магістри наук мають пріоритетне право на продовження навчання в аспірантурі. Нормативний термін навчання на магістерському рівні визначається освітньо-професійною програмою і становить один навчальний рік, який має тривалість – 1 рік і 2 місяці (з 1 вересня по 31 жовтня наступного календарного року) з двомісячними канікулами.

Для прийому до магістратури наукового напрямку претендент на бюджетне місце повинен задовольняти ряд вимог:

- мати базову вищу освіту рівня бакалавра чи спеціаліста за напрямком обраної для навчання в магістратурі спеціальності;
- мати середній бал за весь період навчання до зарахування в магістратуру не нижчий «добре» за державною шкалою;
- мати лише відмінні оцінки з профільних дисциплін спеціальності та з випускної кваліфікаційної бакалаврської роботи;
- не мати оцінок «задовільно» з усіх інших дисциплін, котрі вивчаються до зарахування в магістратуру;
- мати схильність до наукової роботи, підтверджену участю у виконанні госпдоговірних або держбюджетних науково-дослідних робіт

кафедри, публікаціями або виступами з науковими доповідями за профілем магістерської підготовки на науково-технічних конференціях;

– протягом терміну навчання до зарахування в магістратуру не мати порушень правил внутрішнього розпорядку університету та чинного законодавства.

Для прийому в магістратуру на умовах надання платних послуг (за контрактом) необхідно виконання вищеперерахованих умов, але оцінки з профільних дисциплін спеціальності та з випускної кваліфікаційної бакалаврської роботи можуть бути на один бал нижчими.

Прийом документів до магістратури триває з 1 травня до кінця червня. Зарахування претендентів в магістранти Ученою радою ІнМАД проводиться в перших числах липня.

Контроль за виконанням магістрантом індивідуального плану та консультацію з наукової проблематики здійснює науковий керівник, яким може бути особа з числа професорсько-викладацького або наукового складу ВНТУ, що має вчений ступінь кандидата або доктора наук з наукової спеціальності, яка відповідає спеціальності магістерської підготовки, та працює на посаді доцента, професора або наукового співробітника не нижче старшого.

1.5 Про конкурсну систему переходу з бакалаврату на освітньо-професійний рівень «Спеціаліст» та «Магістр»

Відбір бакалаврів для навчання на наступних курсах за освітньо-професійними програмами підготовки спеціалістів та магістрів здійснюється інститутською конкурсною комісією, до складу якої входять директор інституту, декани та провідні викладачі. Зарахування бакалаврів на навчання на наступних курсах проводиться на основі заяв, в яких студенти просять допустити їх до конкурсу за освітньо-професійними програмами підготовки спеціаліста чи магістра. В заяві обов'язково вказується рейтинг студента, що є, по суті, середнім балом успішності. Додаткові бали для визначення загального рейтингу студента нараховуються за участь в науковій роботі, конкурсах, конференціях, виставках, а також з урахуванням наявних патентів та інших публікацій. Інститутська конкурсна комісія відбирає бакалаврів для підготовки спеціалістів та магістрів інженерії. Магістри наукового напрямку зараховуються Ученою радою ІнМАД.

На підготовку спеціалістів та магістрів інженерії Міністерством освіти і науки встановлені квоти держзамовлення. Виходячи з цих квот, на державну форму навчання зараховуються студенти з вищим рейтингом, з нижчим – можуть продовжити навчання на умовах надання платних послуг населенню.

2 ОСНОВИ ЕЛЕКТРОНІКИ

2.1 Класифікація і основні властивості електронних приладів

2.1.1 Класифікація електронних приладів

Всі електронні прилади можна умовно розділити на три основні класи: це електровакуумні, газорозрядні або іонні та напівпровідникові прилади. До особливого класу електронних приладів слід віднести інтегральні схеми.

Електровакуумними називають електронні прилади, принцип дії яких ґрунтується на явищах, пов'язаних з проходженням електричного струму через вакуум. В цих приладах робочий простір ізолюваний. Для електровакуумних приладів вакуум визначається із характеру руху електронів. Якщо вони переміщуються без зіткнень з іншими частинками, то має місце вакуум. Якщо ж електрони зіштовхуються, то в просторі – газ під відповідним струмом.

Електронні прилади, в яких електричні процеси протікають в атмосфері інертних газів, у водні, парах ртуті і т. ін., називаються іонними (або газорозрядними). В цих приладах рух електронів проходить в умовах зіткнення їх з частинками газу, який заповнює прилад. В цих приладах в процесі переходу електричних зарядів у розрядному проміжку беруть участь електрони і позитивні іони. Вільні електрони та іони утворюються в результаті *іонізації* (ionization) молекул газу під дією швидких електронів, світлового потоку і т. ін. Крім того, джерелами вільних електронів в іонних приладах можуть бути термоелектронні, фотоелектронні, а також холодні та інші катоди. Тобто, для цих приладів характерним є розряд в газі – іонізація газів або парів. Таким чином, за ступенем заповнення прилади поділяються на електровакуумні з тиском $P \leq 10^{-6}$ мм рт. ст. і газорозрядні (або іонні) з тиском $P \geq 10^{-3}$ мм рт. ст. Прилади, тиск в яких більший за атмосферний, називаються розрядниками. До електронних приладів відносять також провідникові (безрозрядні) електровакуумні прилади. В цих приладах використовують явища, пов'язані з електричним струмом в твердих або рідких провідниках, що розміщуються в вакуумі або розрідженому газі, – це лампи розжарювання, стабілізатори струму, вакуумні напівпровідникові терморезистори, вакуумні термоелементи, вакуумні конденсатори.

За принципами дії та іншими особливостями електронні прилади можна розділити на такі групи:

- прилади надвисоких частот – клістроны, магнетрони, лампи біжучої хвилі, прилади з перехресними полями і т. ін.;
- електронно-променеві прилади – приймальні і передавальні телевізійні трубки, *осцилографічні трубки* (cathode-ray tube),

запам'ятовуючі, електронні *перетворювачі зображень* (transformers of images);

- електросвітлові прилади – лампи розжарювання, газорозрядні джерела світла та люмінесцентні лампи;
- рентгенівські трубки, лічильники заряджених частинок і т. ін.

В теперішній час найбільш поширеними є напівпровідникові прилади – це прилади, принцип дії яких ґрунтується на електричних явищах, пов'язаних з проходженням електричного струму через тверде тіло, яке має властивості напівпровідника. Властивості цих приладів зумовлені процесами взаємодії електронів в кристалічній *ґратці* (grid) напівпровідника з зовнішнім електричним полем, а частіше процесами на межі розподілу напівпровідників з різним типом провідності.

Як класифікаційні ознаки напівпровідникових приладів, яких дуже багато, можуть використовуватись різні характеристики і параметри. Як найбільш загальну класифікаційну ознаку прийнято застосовувати характер процесу перетворення енергії одного виду в інший. Згідно з цією ознакою напівпровідникові прилади поділяються на електроперетворювальні, фотоелектронні, випромінюючі, теплоелектричні, тензоелектричні, магнітоелектричні і т. ін. Найчисельнішою є група електроперетворювальних приладів, до якої відносяться більшість напівпровідникових діодів, транзистори, тиристори тощо.

2.1.2 Основні властивості електронних приладів

Широке розповсюдження електронних приладів обумовлено тим, що вони характеризуються рядом дуже важливих властивостей.

1. З допомогою електронних приладів може бути здійснений широкий клас перетворень одного виду енергії в інший. Наприклад, енергія світлового випромінювання в електричну енергію (фотоелектронні прилади), електричних сигналів у видиме зображення (телебачення). Електронні прилади широко застосовуються для різноманітних вимірювань неелектричних величин: віддалі, кутів, температури і т. ін.

2. Однією із найбільш цінних властивостей є **швидкодія** (fast-acting) електронних приладів. Вона визначається переважно швидкістю переміщення заряджених частинок під дією електричного поля в вакуумі, розрідженому газі або середньою тепловою швидкістю в твердому тілі. Всі ці процеси протікають швидко і в більшості застосувань електронні прилади діють практично безінерційно. Найбільш інерційними є іонні прилади, діапазон робочих частот яких обмежений одиницями мегагерц і навіть десятками кілогерц. Електровакуумні і спеціальні типи НВЧ приладів задовільно працюють в діапазоні частот до декількох десятків гігагерц. В теперішній час розроблені напівпровідникові діоди і

транзистори на базі арсеніду гелію, які забезпечують підсилення і генерацію коливань в міліметровому діапазоні.

3. Простота керування процесом перетворення енергії. Основні процеси керування: регулювання щільності електронного потоку, швидкості електронів, напрямку переміщення і т. ін. – здійснюються, як правило, з допомогою змінення електричних та магнітних полів. Електричні способи керування дозволяють швидко і в широких межах змінювати величини, які характеризують електронний прилад як перетворювач енергії, – коефіцієнт підсилення сигналів, їх потужність на виході, частоту коливань і т. ін. В більшості випадків керування роботою приладу здійснюється за допомогою тих електродів, в колах яких струм відсутній або його величина незначна. Тому на керування, як правило, витрачається мінімальна енергія.

2.2 Основи напівпровідникової електроніки

2.2.1 Загальні відомості про напівпровідники

До напівпровідників відносять речовини, які за величиною питомої електричної провідності займають проміжне положення між провідниками (металами) та діелектриками. Значення питомої електропровідності цих класів речовин рівні: для провідників – $10^6 \dots 10^5$ См/см; для напівпровідників – $10^4 \dots 10^{-10}$ См/см; для діелектриків – менше 10^{-10} См/см.

Основною ознакою, за якою напівпровідники виділяють в особливий клас речовин, є значний вплив температури та концентрації домішок на їх електропровідність. Так, наприклад, залежність електропровідності напівпровідників від температури носить експоненціальний характер і вже при порівняно невеликому її збільшенні провідність напівпровідників різко збільшується, температурний коефіцієнт електропровідності становить 5...6 %. В той же час електропровідність металів не збільшується, а навпаки зменшується, причому дуже незначно: температурний коефіцієнт електропровідності становить десяті частки відсотка на градус.

Введення домішок в напівпровідник вже при дозах приблизно $10^{-7} \dots 10^{-9}$ % призводить до збільшення його електропровідності.

В більшості напівпровідників значна зміна електропровідності виникає під дією світла, іонізуючих опромінювань радіоактивних та інших зовнішніх дій.

Напівпровідники являють собою найбільш багаточисельну групу речовин. До них відносяться такі хімічні елементи, як: бор, вуглець, кремній, фосфор, сірка, германій, миш'як, селен, сіре олово, телур, йод, хімічні з'єднання $A^I B^{VII}$, $A^{III} B^V$, $A^{IV} B^{IV}$, $A^I B^{VI}$, $A^{IV} B^{VI}$, $A^{II} B^{VI}$ (CuCl, CaAs,

CuO, PbS, GeSi) більшість природних хімічних з'єднань – мінералів та інші органічні речовини.

В електроніці як основні напівпровідники найчастіше використовуються германій, кремній, арсенід галію, антимонід галію. Ряд речовин, таких як бор, фосфор, миш'як, індій, галій, сурма використовуються як *домішкові* (extrinsic).

2.2.2 Структура напівпровідників

Напівпровідники, що використовуються в техніці, мають достатньо *досконалу* (perfect structure) *кристалічну структуру* (crystalline structure). Їх атоми розміщені в просторі в періодичній послідовності з постійними відстанями один від одного, складаючи кристалічну ґратку. Ґратка найбільш поширених в електроніці напівпровідників – германію та кремнію – має структуру алмазного типу. Центри атомів, молекул або іонів складають вузли кристалічної ґратки. Навколо деякого вибраного вузла кристалічної ґратки сусідні вузли розміщені таким самим чином, як і біля кожного іншого. Густина розміщення атомів в ґратці становить для германію – $4,4 \cdot 10^{22}$, а кремнію – $5 \cdot 10^{22}$ 1/см³.

Кожний атом, який знаходиться в кристалічній ґратці, електрично нейтральний. Сили, які утримують атоми в вузлах ґратки, мають квантово-механічний характер; вони виникають за рахунок обміну взаємодіючих атомів валентними електронами. Подібний зв'язок носить назву гомеополярного або ковалентного зв'язку. Для створення його необхідна пара електронів. Найпростішим прикладом ковалентного зв'язку є молекула водню (рис. 2.1).

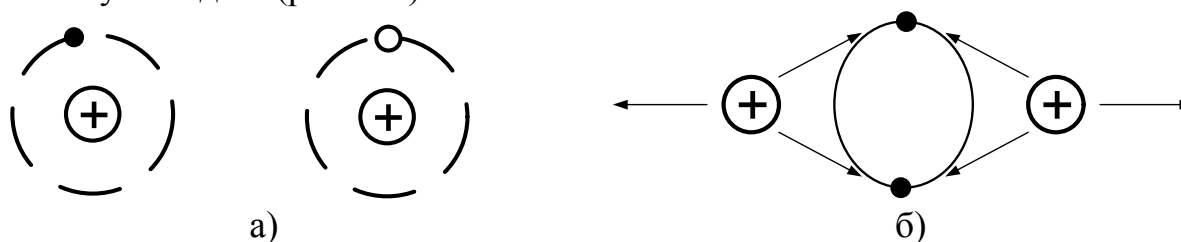


Рисунок 2.1 – Атоми водню:

а) окремі атоми водню; б) атоми водню, об'єднані в молекулу

В молекулі сили притягування електронів до протонів та сили взаємного відштовхування протонів врівноважуються. При збільшенні відстані між атомами, які входять до молекули, виникають сили притягування, а при зменшенні – *сили відштовхування* (repulsive force). Урівноважений стан системи частинок відповідає мінімуму потенціальної енергії та є стійким, тому що для *руйнування* (destruction) молекул необхідна затрата енергії.

В германії і кремнії, які є чотиривалентними елементами, на зовнішній оболонці є по чотири валентних електрони, тому кожний атом утворює чотири ковалентні зв'язки з чотирма атомами, які його оточують.

2.2.3 Носії зарядів в напівпровідниках

В ідеальній ґратці напівпровідника всі електрони зв'язані зі своїми атомами, тому така структура не повинна проводити електричний струм. Все ж в напівпровідниках, на відміну від діелектриків, порівняно невелика енергетична дія, зумовлена нагріванням або дією опромінення, може призвести до розриву зв'язків у ґратці. При цьому валентний електрон, відірваний від свого атома, переходить в новий стійкий стан, в якому він має властивість переміщуватись по кристалічній ґратці. Такі зірвані з валентних зв'язків рухомі електрони називаються електронами провідності. Вони обумовлюють електронну провідність напівпровідника.

Мінімальна величина енергії ΔW , яку необхідно надати валентному електрону для того, щоб відірвати його від атома і зробити його рухомим, залежить від структури ґратки і, таким чином, є параметром напівпровідника. Для германію ця енергія дорівнює 0,72 еВ, для кремнію – 1,12 еВ, для арсеніду галію – 1,41 еВ.

В твердому тілі через взаємодію атомів енергетичні рівні розщеплюються і створюють енергетичні зони, які складаються з окремих, близько розміщених енергетичних рівнів.

В квантовій механіці доводиться, що енергія вільних електронів, які переміщуються в кристалі, лежить в деякому діапазоні значень, інакше кажучи, електрони займають цілу зону енергетичних рівнів, яка називається зоною провідності.

Енергетичні стани валентних електронів створюють валентну зону. Між цими двома зонами лежить область енергетичних станів, в яких електрони не можуть знаходитися – це так звана заборонена зона. Ширина забороненої зони ΔW визначає енергію, необхідну для звільнення валентного електрона, тобто енергію іонізації напівпровідника. Таким чином, з енергетичної точки зору відрив валентного електрона від атома і перетворення його в електрон провідності відповідає переходу електрона з валентної зони в зону провідності (рис. 2.2).

При розриві ковалентного зв'язку і виході електрона з атома в ґратці створюється незаповнений зв'язок, якому відповідає некомпенсований позитивний заряд, рівний за величиною заряду електрона $+e$. Оскільки на незаповнений зв'язок легко переходять валентні електрони з сусідніх зв'язків, чому сприяє тепловий рух в кристалі, то місце, де відсутній валентний електрон (що зветься діркою), хаотично переміщується по ґратці. При наявності зовнішнього електричного поля дірка також буде

рухатися у напрямку дії поля, що відповідає переносу позитивного заряду або електричному струму.

Напівпровідники, які мають в вузлах ґратки тільки власні атоми, прийнято називати власними напівпровідниками. Власний напівпровідник характеризується електронною та дірковою провідностями.



Рисунок 2.2 – Енергетична діаграма напівпровідника

В електроніці часто застосовуються напівпровідники, в яких частина атомів основної речовини в вузлах кристалічної ґратки замінена атомами домішок, тобто атомами іншої речовини. Такі напівпровідники називаються домішковими. Для германію і кремнію частіше всього використовують п'яти- і тривалентні домішки. До п'ятивалентних відносяться фосфор, сурма, миш'як та ін., до тривалентних – бор, алюміній, галій, індій.

При наявності п'ятивалентної домішки чотири валентних електрона домішкового атома спільно з чотирма електронами сусідніх атомів основного напівпровідника створюють ковалентні зв'язки, а п'ятий електрон виявляється „зайвим”. Енергія зв'язку його зі своїм атомом ΔW_n набагато менша, ніж енергія, необхідна для звільнення валентного електрона. Завдяки цьому п'ятий електрон навіть при кімнатній температурі може бути відірваним від свого атома за рахунок енергії теплового руху. При цьому утворюється вільний електрон, здатний переміщуватись по кристалічній ґратці, і нерухомий позитивний заряд – атом домішки, який втратив цей електрон. Домішки такого виду, що віддають електрони, називаються *донорними* (n-type).

Напівпровідник, що утворюється в цьому випадку, називається напівпровідником *n*-типу. Його зонна діаграма наведена на рис. 2.3. Основними носіями заряду такого напівпровідника є електрони і їх концентрація дорівнює N_n (концентрація електронів N у напівпровіднику *n*-типу), а неосновними – дірки – p_n (концентрація дірок p в напівпровіднику *n*-типу).

При введенні тривалентної домішки, домішковий атом віддає три своїх валентних електрони для утворення ковалентних зв'язків з трьома сусідніми атомами основного напівпровідника. Зв'язок з четвертим атомом виявляється незаповненим, однак на нього порівняно легко можуть переходити валентні електрони з сусідніх зв'язків, оскільки енергія іонізації ΔW_p мала (соті долі еВ).

При переході валентного електрона на незаповнений зв'язок домішковий атом, з приєднаним зайвим електроном, утворює в ґратці нерухомий від'ємний заряд, крім того у ґратці утворюється дірка, здатна переміщуватись по ній і обумовлювати діркову провідність напівпровідника. Домішки такого роду, що захоплюють електрони, називаються *акцепторними* (p-type).

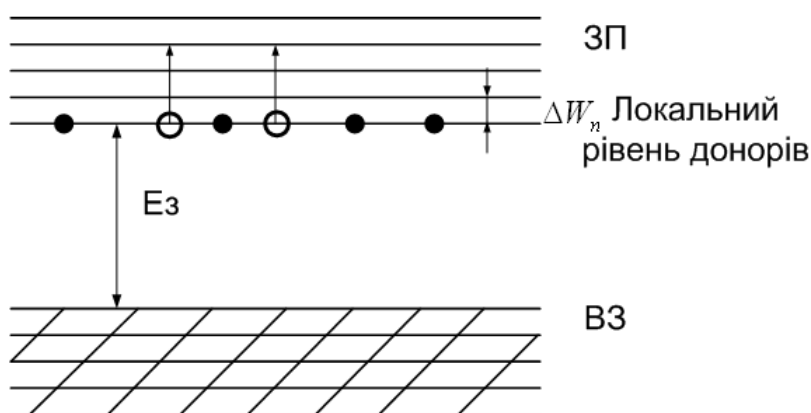


Рисунок 2.3 – Напівпровідник з донорною домішкою

Напівпровідник, що утворюється при введенні акцепторної домішки, називається напівпровідником *p*-типу. Зонна діаграма такого напівпровідника зображена на рис. 2.4. Основними носіями такого напівпровідника є дірки P_p , а неосновними – електрони n_p .

На енергетичній діаграмі напівпровідника донорні і акцепторні домішки утворюють локальні енергетичні рівні, які лежать в забороненій зоні (рис. 2.3, 2.4).

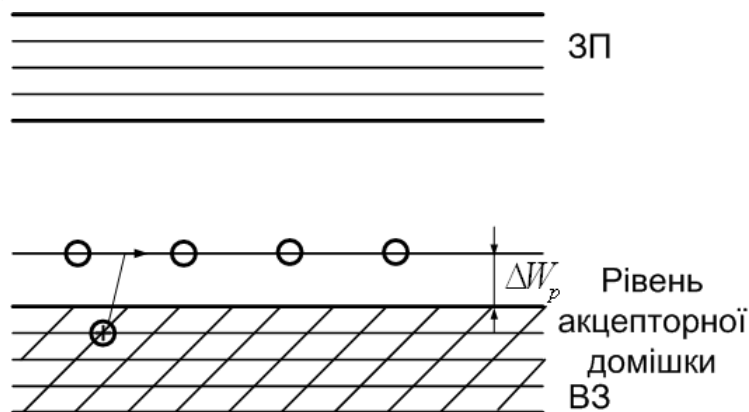


Рисунок 2.4 – Напівпровідник з акцепторною домішкою

Донорні рівні розміщуються біля зони провідності (енергія іонізації їх дорівнює ΔW_n), а рівні акцепторів – біля валентної зони (їх енергія іонізації дорівнює ΔW_p). Таким чином, домішкові напівпровідники характеризуються також електронною та дірковою провідністю.

2.2.4 Струми в напівпровідниках

В загальному випадку через напівпровідник може протікати два види струмів – дифузійний та дрейфовий. Направлене переміщення носіїв заряду за рахунок дії електричного поля називається дрейфовим струмом. При наявності поля E на хаотичний рух накладається компонент направленого руху, обумовлений діями цього поля, внаслідок чого дірки та електрони починають переміщуватись вздовж кристала – виникає електричний струм.

При переміщенні електрони зіштовхуються з атомами кристалічної ґратки, що коливаються. Позначимо час вільного пробігу електрона t_n і припустимо, що рух електронів між зіткненнями є рівноприскореним, а при зіткненні вони втрачають свою швидкість. Вираз для визначення середньої направленої швидкості електронів в напівпровіднику має вигляд:

$$\overline{v_n} = -\frac{1}{2} \overline{t_n} \frac{e}{m_n} E = -\mu_n E, \quad (2.1)$$

де $\mu_n = \frac{\overline{v_n}}{E} = \frac{e \overline{t_n}}{2m_n}$ – рухливість електронів.

Рухливість електронів в германії при температурі 20⁰С становить 3900 см²/с, а для кремнію – 1350 см²/с.

Рухливість дірок в напівпровіднику визначається середньою направленою швидкістю дірок V_p , набутою під дією електричного поля E :

$$\mu_p = \frac{V_p}{E}.$$

Рухливість дірок значно менше рухливості електронів $\mu_p < \mu_n$.

Рухливість дірок в германії становить $\mu_{pGe} = 1900$ см²/с, а в кремнії – $\mu_{pSi} = 430$ см²/с.

Якщо концентрація електронів в напівпровіднику n , а дірок – p , то густина електронного та діркового дрейфового струму визначається за виразом:

$$j_{ndp} = -en\overline{v_n} = en\mu_n E, \quad (2.2)$$

діркового:

$$j_{p\partial p} = -env_p = e\mu_p E, \quad (2.3)$$

Сумарна густина дрейфового струму електронів та дірок:

$$j_{\partial p} = e(n\mu_n + p\mu_p)E, \quad (2.4)$$

$e(n\mu_n + p\mu_p) = \sigma$ – питома електропровідність напівпровідника.

Тоді вираз 2.4 можна записати $I_{\partial p} = \sigma E$ – закон Ома в диференційній формі для напівпровідника.

Електричний струм, зумовлений градієнтом концентрації носіїв заряду, називають **дифузійним струмом** (diffusive current).

Густина дифузійного струму згідно з законом Фіка пропорційна градієнту концентрації носіїв і коефіцієнту дифузії. Тому густина дифузійного струму дірок в одновимірному випадку можна визначити за виразом:

$$j_{p\partial\text{иф}} = -eD_p \frac{dp}{dx}, \quad (2.5)$$

де $\frac{dp}{dx}$ – градієнт концентрації дірок;

D_p – коефіцієнт дифузії дірок, рівний для Ge 44 см²/с, для Si – мінус 6,5 см²/с.

Знак „мінус” показує, що дифузійний струм направлений в сторону зниження концентрації дірок.

В загальному випадку коефіцієнт дифузії визначає кількість носіїв заряду, які проходять через одиницю площини за одиницю часу при наявності градієнта концентрації 1 Кмол/м.

Густина дифузійного струму електронів визначається з виразу:

$$j_{n\partial\text{иф}} = eD_n \frac{dn}{dx}, \quad (2.6)$$

де $\frac{dn}{dx}$ – градієнт концентрації електронів;

D_n – коефіцієнт дифузії для Ge = 93 см²/с, для Si – 31 см²/с.

При дифузії електрони рухаються в сторону зменшення концентрації, але, згідно з прийнятим в техніці умовним напрямком електричного струму, електронний дифузійний струм вважається таким,

що тече в бік зменшення концентрації електронів, тому у виразі стоїть знак „+”.

В загальному випадку в напівпровіднику можуть існувати електричне поле і градієнт концентрації носіїв. Тоді, струм, який протікає в напівпровіднику, буде мати як дрейфову, так і дифузійну складові:

$$j_n = e_n \mu_n E + e D_n \frac{dn}{dx}, \quad j_p = e_p \mu_p E - e D_p \frac{dp}{dx}. \quad (2.7)$$

2.3. Контактні явища в напівпровідниках

2.3.1 Електронно-дірковий перехід. Види переходів

Електронно-діркові переходи або *p-n* переходи утворюються при ідеальному контакті двох напівпровідників з різною електропровідністю. Якщо здійснити механічний контакт двох напівпровідників, то навіть при ретельно-відшліфованих поверхнях зіткнення контакт між ними не може бути ідеальним і електронно-дірковий перехід не утворюється. Електронно-діркові переходи одержують, як правило, шляхом введення з поверхні акцепторних домішок в напівпровідник *n*-типу або донорних в напівпровідник *p*-типу. Нині переходи отримують при сплавленні двох кристалів однієї і тієї ж речовини, які характеризуються різною провідністю. В *p-n*-переходах, одержаних таким чином, утворюється ідеальний контакт двох напівпровідників з різною провідністю, але однаковою шириною забороненої зони. Такі переходи називають **симетричними**. Використовують метод дифузії напівпровідника одного типу провідності в напівпровідник іншого типу провідності, метод іонної імплантації та метод епітаксialного нарощення напівпровідника одного типу на поверхні іншого.

Розрізняють різкі *p-n*-переходи, в яких перехідна область між напівпровідником *p*- і *n*-типу невелика; плавні переходи, де ці області значно більші. Найбільш поширені *p-n*-переходи, які утворюються на межі розподілу двох однакових напівпровідників з різним типом провідності. p^+-p і n^+-n переходи утворюються на межі розподілу двох однакових напівпровідників однієї провідності, але різної її величини (різною концентрацією домішок). Знаходять застосування також переходи *p-i*, *n-i*, які утворюються при контакті напівпровідника *p*- або *n*-типу з власним напівпровідником. Розрізняють також переходи метал-напівпровідник (переходи Шотткі) та гетеропереходи, які утворюються на межі розподілу двох різних напівпровідників і є несиметричними.

2.3.2 Фізичні процеси в симетричному переході

Енергетичні діаграми напівпровідників p - і n -типів до і після їх зіткнення зображені на рис. 2.5.

Симетричні p - n -переходи утворюються при контакті двох однакових напівпровідників з однаковою шириною забороненої зони, але з різним типом провідності. При цьому обов'язковою умовою є рівність концентрацій основних носіїв заряду в напівпровідниках p - і n -типу ($P_p = N_n$) і неосновних носіїв заряду ($n_p = p_n$). Звичайно для обох напівпровідників виконуються умови: $N_n \gg p_n$ і $P_p \gg n_p$.

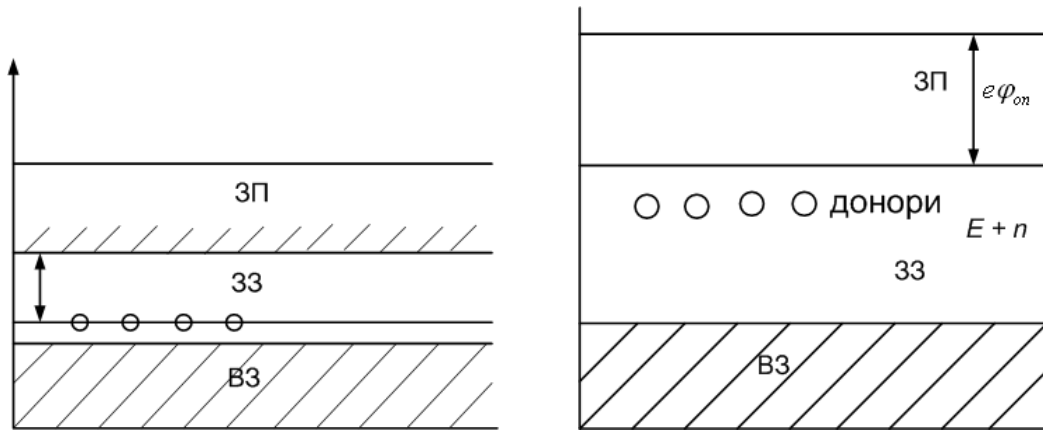


Рисунок 2.5 – Енергетичні діаграми напівпровідників p - і n -типів до і після їх зіткнення

Енергетична діаграма p - n -переходу (після зіткнення двох напівпровідників p - і n -типу) наведена на рис. 2.6.

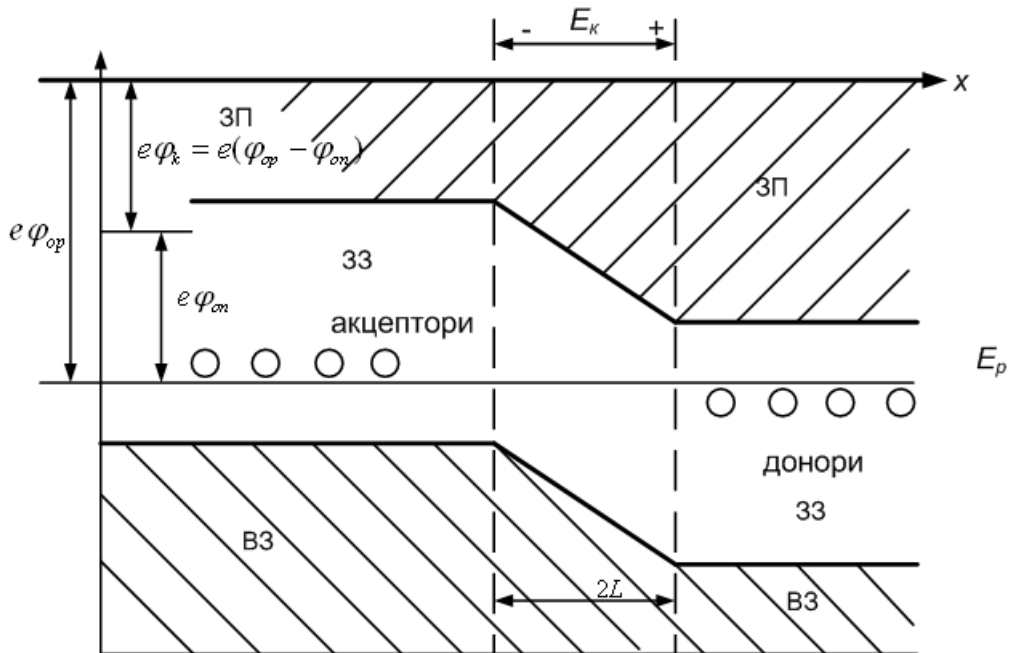


Рисунок 2.6 – Енергетична діаграма p - n -переходу

Таким чином, при зіткненні напівпровідників p - і n -типів градієнти концентрації електронів та дірок на межі розподілу відмінні від 0.

Тобто

$$\left| \frac{dN}{dx} \right| > 0 \text{ і } \left| \frac{dP}{dx} \right| > 0, \quad (2.8)$$

Розподіл концентрації основних і неосновних носіїв заряду в p - n -переході наведено на рис. 2.7.

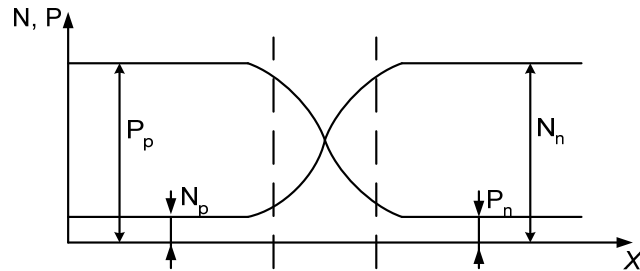


Рисунок 2.7 – Розподіл концентрації електронів і дірок в p - n -переході

Утворення запірного шару

Наявність *градієнта* (gradient) концентрації носіїв заряду викликає їх дифузійне переміщення в сторону меншої концентрації.

В нашому випадку виникає дифузійний рух електронів справа наліво і дірок в зворотному напрямку. Слід відмітити, що цей рух не пов'язаний зі взаємним *відштовхуванням* (repulsion) однойменно заряджених частинок або притягуванням. Причиною є лише відмінність концентрацій.

Внаслідок дифузії електронів в напівпровіднику n -типу біля межі поділу утворюються позитивно заряджені атоми – іони, що створюють область підвищеної концентрації позитивних нерухомих частинок (область збіднена електронами).

В напівпровіднику p -типу внаслідок дифузії дірок виникає область підвищеної концентрації негативно заряджених нерухомих частинок (область збіднена дірками). Цей подвійний шар електричних зарядів по обидві сторони від межі створює за рахунок контактної різниці потенціалів ϕ_k електричне поле E_k (рис. 2.8).

Таким чином, в приконтатній області створюється подвійний шар, збіднений основними носіями, котрий називають запірним і який характеризується низькою електропровідністю.

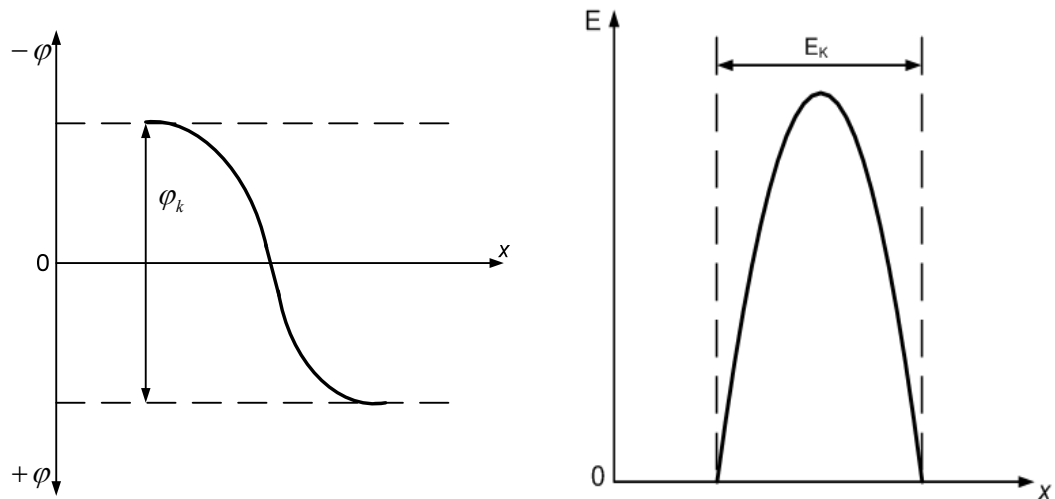


Рисунок 2.8 – Розподіл потенціалу та напруженість поля в p - n -переході

Вектор E_k напруженості поля направлений так, що він перешкоджає дифузійному руху основних носіїв заряду, тобто розвитку процесів, внаслідок яких він утворився. Це поле, разом з тим, є прискорювальним для неосновних носіїв заряду. Під його впливом дірки легко переміщуються з напівпровідника n -типу в напівпровідник p -типу, а електрони навпаки. Рух неосновних носіїв заряду створює дрейфовий струм, направлений назустріч дифузійному.

2.3.3 Умова рівноваги p - n -переходу

Виникнення і розвиток поля E_k , а разом з ним і дрейфового струму проходить до тих пір, поки не встановиться динамічна рівновага. При цьому поле досягає такої величини, що дифузійний струм, який зменшується, буде повністю скомпенсованим зустрічним дрейфовим. *Енергетична діаграма* (power diagram) для цього випадку має вигляд (рис. 2.9).

В цьому випадку рівень Фермі E_F є єдиним і розміщується в одній площині, за межами замикаючого шару $2L$ показані *неспотворені* (undisfigured) енергетичні діаграми напівпровідників p - і n -типів. В межах шару $2a$ внаслідок створеної різниці потенціалів відбулося зміщення меж енергетичних зон на величину:

$$e\varphi_k = e(\varphi_{0p} - \varphi_{0n}). \quad (2.9)$$

При рівновазі дрейфовий струм дорівнює дифузійному струму:

$$j_{\text{диф}} + j_{\text{др}} = 0. \quad (2.10)$$

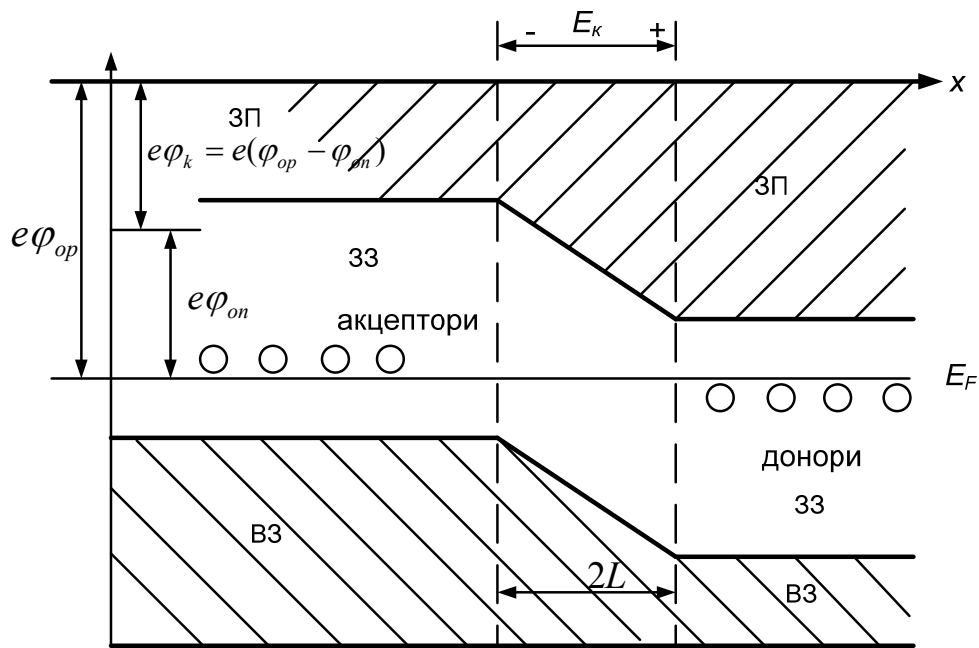


Рисунок 2.9 – Енергетична діаграма p - n -переходу при рівновазі

Густину діркового і електронного дифузійних струмів для одновимірного випадку можна записати так:

$$j_{p\text{ диф}} = -eD_p \frac{dp_p}{dx}, \quad j_{n\text{ диф}} = -eD_n \frac{dN_n}{dx}. \quad (2.11)$$

Не дивлячись на те, що дифузійний рух електронів і дірок проходить в протилежних напрямках, струми зумовлені переміщенням цих частинок, протікають в одному напрямку (вздовж вектора E_k), тобто заряди протилежні за знаком. Таким чином, густина дифузійного струму через електронно-дірковий перехід зліва направо дорівнює:

$$j_{\text{диф}} = -e \left(D_p \frac{dp_p}{dx} + D_n \frac{dN_n}{dx} \right). \quad (2.12)$$

Для густини дрейфового струму:

$$j_{p\text{ др}} = e\mu_p p_n E_k, \quad j_{n\text{ др}} = e\mu_n n_p E_k, \quad (2.13)$$

де p_n , n_p – концентрація дірок та електронів для напівпровідників n - і p -типів, тобто неосновних носіїв заряду.

Густина сумарного дрейфового струму дорівнює:

$$J_{\partial p} = eE_K (\mu_p p_n + \mu_n n_p). \quad (2.14)$$

Враховуючи, що напрямок дрейфового струму протилежний за знаком дифузійному струму, умову рівноваги (3.3) можна записати у вигляді:

$$E_K (\mu_p p_n + \mu_n n_p) = -D_p \frac{dp_p}{dx} - D_n \frac{dN_n}{dx}. \quad (2.15)$$

І окремо для діркового і електронного дифузійних струмів:

$$j_{n\partial\phi} = e\mu_n n_p E_K - eD_n \frac{dN_n}{dx} = 0, \quad j_{p\partial\phi} = e\mu_p p_n E_K - eD_p \frac{dp_p}{dx} = 0. \quad (2.16)$$

2.3.4 Електронно-дірковий перехід під зовнішньою напругою

Припустимо, що до *p-n*-переходу прикладена зовнішня напруга, полярність якої протилежна контактній різниці потенціалів (рис. 2.10).

Припустимо, що опір замикаючого шару значно більший опору об'ємів напівпровідників *p*- і *n*-типів, і тому практично вся зовнішня напруга спадає на *приграничному шарі* (boundary layer) $2L$, зменшуючи потенціальний бар'єр ϕ_K . Рівновага порушується і, оскільки зменшується електричне поле, виникає дифузійний рух основних носіїв.

Оскільки зовнішнє поле направлене назустріч власному полю переходу, то результуюче електричне поле в переході також зменшиться. Внаслідок цього порушується рівновага між дрейфовим і дифузійним струмом, яка має місце при відсутності зовнішньої напруги. Дрейфовий струм стає меншим, ніж дифузійний і *результуючий струм* (total current) через перехід не дорівнює нулю:

$$j = j_{\partial\phi} + j_{\partial p} \neq 0, \quad j_{\partial\phi} > j_{\partial p}.$$

Зі збільшенням напруги результуючий струм через перехід теж збільшується і його величина може бути значною, оскільки він обумовлений дифузійним переміщенням основних носіїв заряду, концентрація яких висока. Струм, що протікає через перехід, в цьому випадку називається прямим, а напруга, прикладена до переходу, називається прямою напругою.

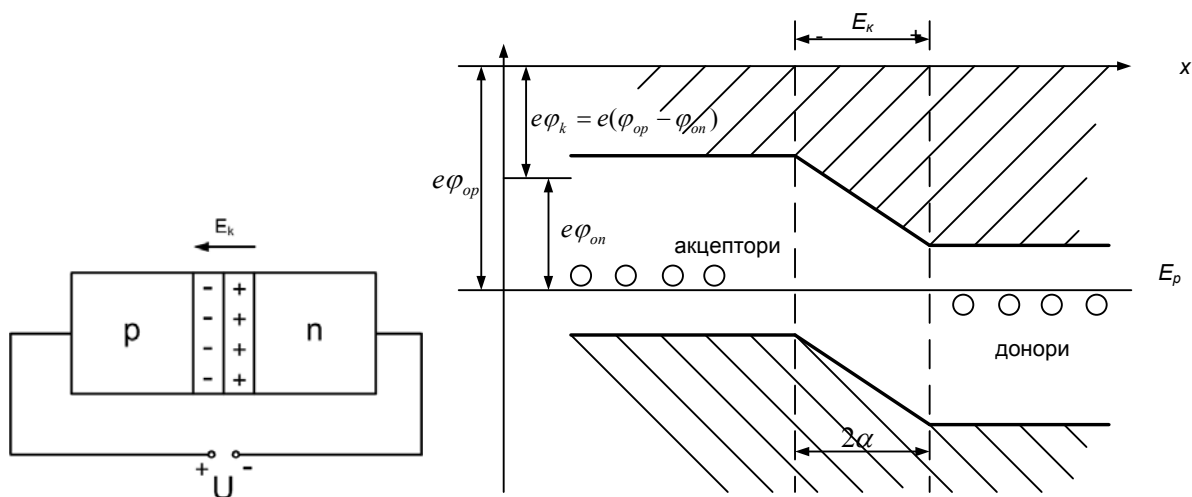


Рисунок 2.10 – P - n -перехід під зовнішньою напругою і його повна діаграма

Розглянемо випадок, коли зовнішня напруга збігається за напрямом з контактною різницею потенціалів. Розподіл потенціалу в напівпровіднику при цьому має вигляд, зображений на рис. 2.11, де потенціал діркової області прийнятий за нуль. Пунктиром показано розподіл потенціалу при відсутності зовнішнього електричного поля.

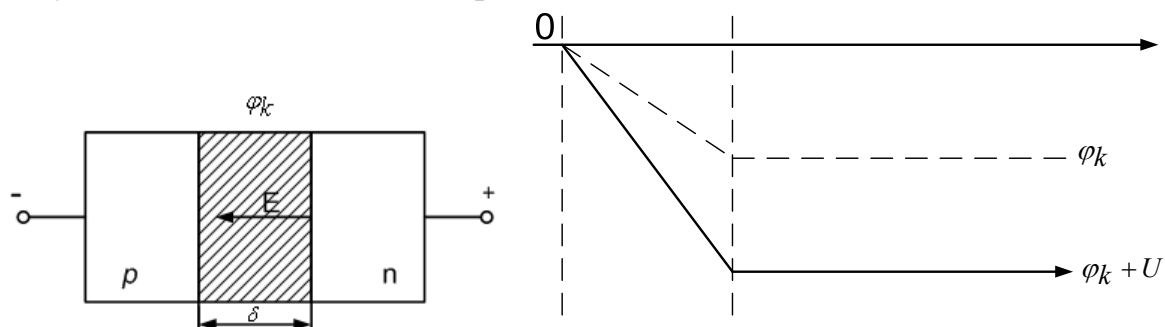


Рисунок 2.11 – P - n -перехід під зовнішньою напругою і розподіл потенціалів

Оскільки зовнішня напруга збігається з полем контактної різниці потенціалів, то результуюча напруга на переході збільшується і стає рівною $U = \varphi_K + U$. Якщо допустити, що опори p і n областей дорівнюють нулю, то зростання ширини p - n -переходу можна визначити за виразом:

$$\delta = \sqrt{\frac{4\epsilon}{eN}(\varphi_K + U)}.$$

Власне, поле переходу і зовнішнє поле, що прикладається до переходу, додаються, тому результуюча напруга електричного поля в переході буде вища, ніж за відсутності зовнішнього поля. Це призводить

до збільшення дрейфового струму через перехід, який стає більшим, ніж дифузійний, і результуючий струм через перехід не дорівнює нулю.

$$j = j_{\text{диф}} + j_{\text{др}} \neq 0, \quad j_{\text{др}} > j_{\text{диф}}.$$

Напрямок цього струму протилежний напрямку прямого струму, тому його називають зворотним струмом. Напруга, що викликає зворотний струм, називається зворотною.

Оскільки зворотний струм обумовлений дрейфовим переміщенням неосновних носіїв заряду, концентрація яких незначна, зворотний струм буде незначним, тобто значно меншим прямого.

Слід відмітити, що поле, яке існує в переході, є прискорювальним лише для неосновних носіїв, в тому числі для дірок n -області і для електронів p -області. В результаті дії цього поля знижується концентрація неосновних носіїв на межі переходу і з'являється градієнт концентрації неосновних носіїв за переходом (рис. 2.12).

За рахунок цього має місце дифузія, йде переміщення неосновних носіїв до межі переходу, де вони втягуються полем переходу і переносяться через перехід. Це явище називається **екстракцією носіїв**.

Максимальне значення струму екстракції визначається, очевидно, числом неосновних носіїв, що виникають в напівпровіднику за одиницю часу на даній відстані, яку вони можуть пройти за час життя. Оскільки число неосновних носіїв мале, то і струм значно менший порівняно з прямим. Від прикладеної напруги він майже не залежить. Таким чином, можна відмітити, що електронно-дірковий перехід має несиметричну провідність; при прикладенні позитивного потенціалу до p -області провідність переходу значно більша, ніж в зворотному напрямі, коли до p -області прикладається негативний потенціал.

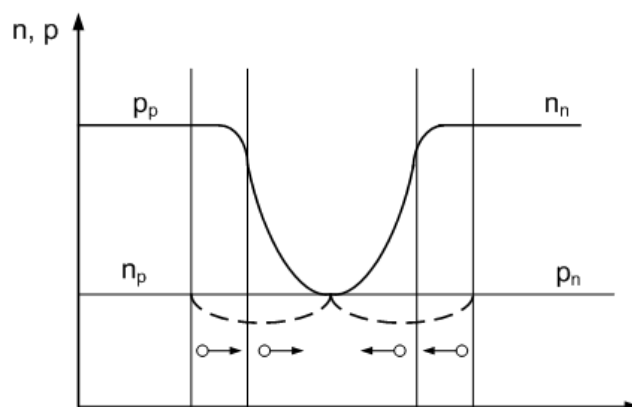


Рисунок 2.12 – Екстракція носіїв заряду

2.3.5 Контактна різниця потенціалів

Різниця потенціалів в переході, обумовлена його власним електричним полем, носить назву **контактної різниці потенціалів**. Для її знаходження скористаємося виразом для умови рівноваги p - n -переходу: $j_{\text{диф}} + j_{\text{др}} = 0$.

Підставивши в цей вираз значення для дрейфового та дифузійного струмів, отримаємо:

$$-eD_p \frac{dp}{dx} - ep\mu_p \frac{dU}{dx} = 0. \quad (2.17)$$

Перепишемо (2.17) у вигляді:

$$dU = -\frac{D_p}{\mu_p} \frac{dp}{p}.$$

Використовуючи співвідношення Ейнштейна: $\frac{D}{\mu} = \frac{kT}{e}$, де $\frac{kT}{e} = \varphi_T$ – температурний потенціал, одержимо:

$$dU = -\frac{kT}{e} \frac{dp}{p}.$$

Розв’язок цього рівняння запишемо у вигляді:

$$U = -\frac{kT}{e} \ln p + c.$$

Для визначення сталої інтегрування скористаємося граничними умовами в p -області: потенціал $U = \varphi_p$, концентрація дірок $p = p_p$; в n -області – $U = \varphi_n$, $p = p_n$.

Тоді одержимо вираз для контактної різниці потенціалів в p - n -переході:

$$\varphi_K = \varphi_n - \varphi_p = \frac{kT}{e} \ln \frac{p_p}{p_n},$$

$$\text{де } \varphi_n = -\frac{kT}{e} \ln p_n, \quad \varphi_p = -\frac{kT}{e} \ln p_p, \quad \varphi_n - \varphi_p = \frac{kT}{e} (\ln p_p - \ln p_n) = \frac{kT}{e} \ln \frac{p_p}{p_n}.$$

2.3.6 Вольт-амперна характеристика електронно-діркового переходу

Густина струму, що протікає через електронно-дірковий перехід, який знаходиться під дією зовнішньої напруги U , дорівнює:

$$j = j_{\text{диф}} + j_{\text{др}}, \quad (2.18)$$

або

$$I_{\text{диф}} \left(1 - \frac{I}{I_{\text{диф}}}\right) + I_{\text{др}} \neq 0.$$

Як правило, величина струму, що протікає через перехід, невелика, в той час як густина можливого струму дифузії становить тисячі A/cm^2 , тому можна прийняти, що величина $\frac{I}{I_{\text{диф}}} \ll 1$, і знехтувати нею в співвідношенні (2.18).

Таким чином, для переходу, який знаходиться під напругою, можна записати, що:

$$j_{\text{диф}} + j_{\text{др}} = 0.$$

Використавши вираз для струмів дифузії і дрейфу

$$j_{\text{диф}} = -eD_p \frac{dp}{dx}, \quad j_{\text{др}} = -ep\mu_p \frac{dU}{dx},$$

із співвідношення Ейнштейна $\frac{\mu}{D} = \frac{e}{kT}$ одержимо дифузійне рівняння, яке і визначає процес проходження струму в переході:

$$dU = -\frac{kT}{e} \cdot \frac{dp}{p}. \quad (2.19)$$

Граничні умови: при $x=0$, $U=0$, $P=P_p$; при $x=\delta$, $U=\phi_K-U$, $P=P_0$.

Розв'язок рівняння (2.19) має вигляд:

$$U = \frac{-kT}{e} \ln p + C.$$

З граничних умов при $x=0$ визначаємо, що:

$$C = \frac{kT}{e} \ln p_p \text{ і при } x = \delta \Rightarrow \varphi_K - U = -\frac{kT}{e} \ln p_0 + \frac{kT}{e} \ln p_p = \frac{kT}{e} \ln \frac{p_p}{p_0}.$$

Використавши раніше одержаний вираз для контактної різниці потенціалів $\varphi_K = \frac{kT}{e} \ln \frac{p_p}{p_n}$, будемо мати:

$$U = \frac{kT}{e} (\ln \frac{p_p}{p_n} - \ln \frac{p_p}{p_0}) = \frac{kT}{e} \ln \frac{p_0}{p_n},$$

$$p_0 = p_n e^{\frac{eU}{kT}} \quad \text{або} \quad p_0 - p_n = p_n (e^{\frac{eU}{kT}} - 1).$$

Аналогічно можна знайти концентрацію електронів на межі переходу з n -областю:

$$n_0 = n_p e^{\frac{eU}{kT}}, \quad n_0 - n_p = n_p (e^{\frac{eU}{kT}} - 1).$$

Таким чином, отримано співвідношення для концентрації неосновних носіїв на рубежі електронно-діркового переходу.

Далі знайдемо концентрацію неосновних носіїв за переходом в n -області напівпровідника. Для розв'язання цієї задачі скористаємося рівнянням *неперервності* (continuity, integrity):

$$D_p \frac{\partial^2 p}{\partial x^2} - \frac{p - p_u}{r_p} - \mu_p E \frac{\partial p}{\partial x} = \frac{\partial p}{\partial t}.$$

Оскільки ми розглядаємо режим, що вже встановився, то зміни концентрації носіїв з часом не виникає, тобто $\frac{\partial p}{\partial t} = 0$.

Крім цього, допустимо, що зовнішня напруга повністю спадає на переході і поле за переходом відсутнє – $E=0$. Таким чином, рух неосновних носіїв за переходом має дифузійний характер. Тоді рівняння неперервності може бути записано таким чином:

$$\frac{\partial^2 p}{\partial x^2} - \frac{p - p_n}{D_p \tau_p} = 0.$$

Його розв'язок має вигляд:

$$p - p_n = Ae^{-\frac{x}{\sqrt{D_p \tau_p}}} + Be^{\frac{x}{\sqrt{D_p \tau_p}}}.$$

Постійні інтегрування A і B знаходяться з *граничних умов* (extreme conditions):

$$\begin{aligned} x=0; \quad p=p_0=p_n e^{U/kT}. \\ x \rightarrow \infty; \quad p \rightarrow p_n. \end{aligned}$$

З другої умови витікає, що $B=0$. Таким чином, з першого знаходимо: $A = p_0 - p_n$. Отже, розв'язок рівняння неперервності дає таку залежність концентрації неосновних носіїв за переходом від відстані:

$$p - p_n = (p_0 - p_n) e^{-\frac{x}{\sqrt{D_p \tau_p}}}. \quad (2.20)$$

Внаслідок *рекомбінації* (recombination) концентрація носіїв зменшується за експоненціальним законом. Ввівши позначення:

$$\sqrt{D_p \tau_p} = L_p, \quad (2.21)$$

вираз (2.20) можна записати таким чином:

$$p - p_n = (p_0 - p_n) e^{-\frac{x}{L_p}}. \quad (2.22)$$

Звідси випливає, що L_p являє собою відстань, на якій концентрація *неврівноважених носіїв* (unbalanced carriers) зменшується в e раз. Величина L_p називається дифузійною довжиною дірок. Вона згідно з співвідношенням (2.21) залежить від коефіцієнта дифузії D_p і від часу життя нерівноважених носіїв в напівпровіднику. Вимірювання показали, що дифузійна довжина для Ge дорівнює 0,7...2 мм, для Si – 0,2...0,6 мм.

З (2.22) випливає, що концентрація дірок в n -області експоненціально зменшується з віддаленням від переходу. Для визначення дифузійного струму дірок обчислимо градієнт концентрації носіїв за переходом, взявши похідну за координатою x від функції (2.22):

$$\frac{dp}{dx} = -\frac{1}{L_p} (p_0 - p_n) e^{-\frac{x}{L_p}}.$$

Тоді густина дифузійного струму дірок за переходом:

$$j_p(x) = eD_p \frac{dp}{dx} = \frac{eD_p(p_0 - p_n)}{L_p} e^{-\frac{x}{L_p}}. \quad (2.23)$$

Із (2.23) видно, що густина дифузійного струму дірок експоненціально зменшується з віддаленням від переходу.

Але оскільки із зменшенням струму дифузії інжектованих дірок пропорційно збільшується рекомбінаційний струм електронів, які рухаються від відводу n -області, в результаті сума струмів інжекції і рекомбінації залишається постійною в будь-якій точці напівпровідника. Тому розподіл струмів має вигляд, наведений на рис. 2.13.

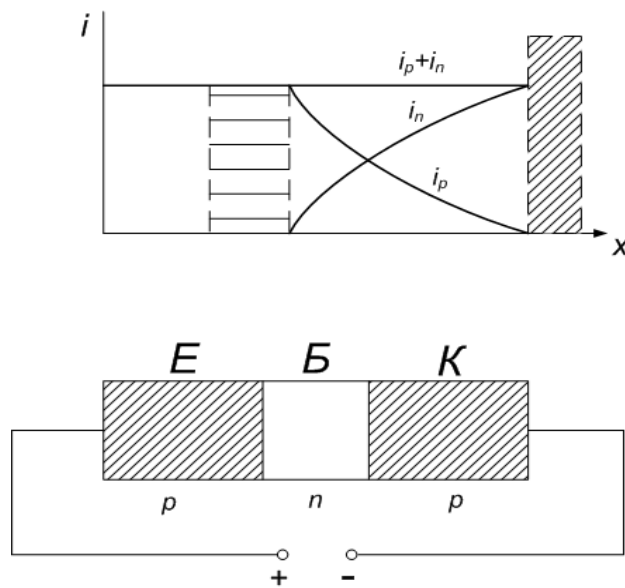


Рисунок 2.13 – Розподіл струмів у p - n -переході

Наявна величина густини цього сумарного струму, обумовленого інжекцією дірок, дорівнює густині струму інжекції дірок $I_p(0)$ при $x=0$. Таким чином, на межі переходу з n -областю:

$$j_p = eD_p \frac{p_0 - p_n}{L_p} = \frac{eD_p p_n}{L_p} (e^{\frac{eU}{kT}} - 1).$$

Аналогічно розраховується густина струму через p - n -перехід, обумовленого інжекцією електронів з n -області в p -область:

$$j_n = \frac{eD_n n_p}{L_n} (e^{\frac{eU}{kT}} - 1),$$

де L_n – дифузійна довжина електронів в p -області. Вимірювання показали, що в Ge – $L_n=1-3$ мм, в Si – $L_n=0,4-1$ мм.

Нехтуючи рекомбінацією носіїв в переході одержимо, що повний струм, який проходить через електронно-дірковий перехід, визначається за виразом:

$$I = \Pi(j_p + j_n), \quad I = I_0 \left(e^{\frac{eU}{kT}} - 1 \right), \quad I_0 = \Pi e \left(\frac{D_p p_n}{L_p} + \frac{D_n p_p}{L_n} \right), \quad (2.24)$$

де L_p – дифузійна довжина дірок в області n ;

L_n – дифузійна довжина електронів в області p .

Графік одержаної вольт-амперної характеристики p - n -переходу показаний на рис. 2.13. Величина $\frac{e}{kT}$ при кімнатній температурі дорівнює 39 1/V , тому вже при малому значенні U (в декілька десятків мілівольт) струм через перехід різко збільшується. I_0 являє собою зворотний струм переходу при достатньо великому $U_{зб}$, коли $e^{\frac{eU}{kT}} \ll 1$. За своєю природою він являє собою струм екстракції, отже, величина його дуже мала.

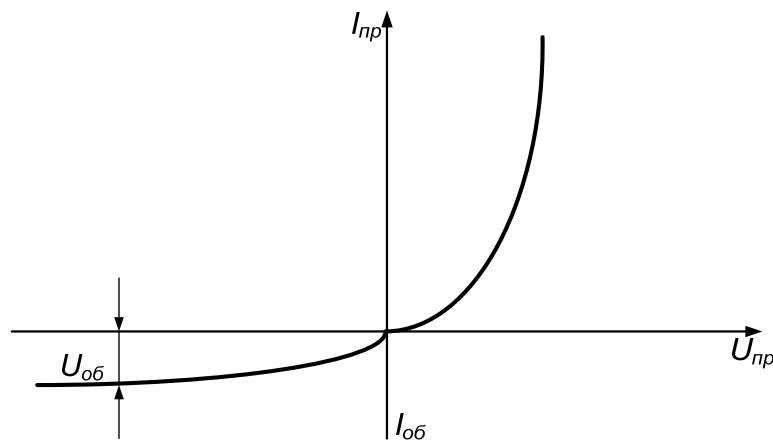


Рисунок 2.13 – Вольт-амперна характеристика p - n -переходу

2.4 Напівпровідникові діоди

2.4.1 Класифікація і маркування напівпровідникових діодів

Напівпровідниковими діодами називають двоелектродний прилад, основою якого є електронно-дірковий перехід. Виготовляються діоди з кремнію, германію або арсенід галію.

Конструктивно діод являє собою, наприклад, напівпровідник n -типу провідності, в якому формується методом дифузії або іншим методом p - n -перехід. Внаслідок цього на межі розподілу p і n областей утворюється

область p - n -переходу. Одна із областей (рис. 2.14), в даному випадку область p , характеризується більш високою концентрацією носіїв заряду і меншим об'ємом та називається емітерною областю, а інша характеризується значно меншою провідністю і називається базовою областю.

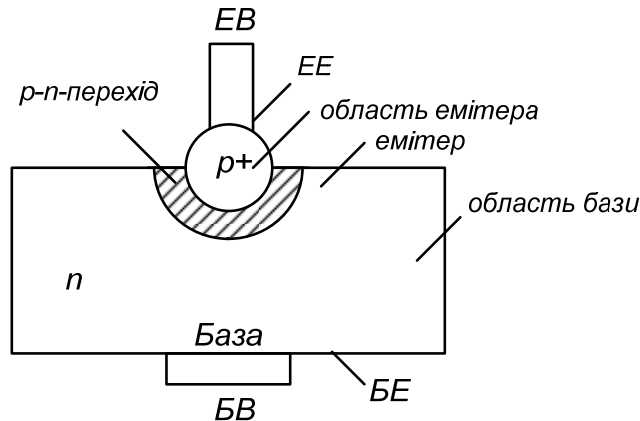


Рисунок 2.14 – Области діода

Тому при проходженні прямого струму носії *інжектуються* (injection) переважно з емітера в базу. База і емітер за допомогою спеціальних електродів – емітерного (ЕЕ) і базового (БЕ), які забезпечують *омічний* (ohmic) контакт, – з'єднуються з металевими виводами (ЕВ, БВ), за допомогою яких діод вмикається в електричне коло.

Основною властивістю діода є його *одностороння провідність* (unidirectional conduction). Залежно від матеріалу, із якого виготовляється база, діоди можна розділити на германієві, кремнієві та арсенід галієві. Останні використовуються, як правило, для виготовлення *надвисокочастотних діодів* (microwave diodes).

Залежно від діапазону робочих частот діоди можна розділити на низькочастотні з граничною частотою до 3 МГц, середньої частоти з граничною частотою від 3 МГц до 30 МГц, високочастотні з граничною частотою від 30 МГц до 300 МГц і надвисокочастотні з граничною частотою більше 300 МГц.

Залежно від величини випрямленого струму діоди поділяються на малопотужні з допустимим струмом до 1 А, середньої потужності зі струмом від 1 А до 10 А та силові вентиля з величиною допустимого струму більше 10 А. Залежно від області використання розрізняють: випрямляючі, універсальні та імпульсні діоди; випрямляючі стовпи та блоки; стабілітрони, варикапи, високочастотні діоди, тунельні та зворотні діоди; імпульсні діоди, надвисокочастотні діоди і діоди Шотткі; світловипромінювальні діоди.

Для силових вентилів використовується окреме маркування.

Маркування (marking) малопотужних діодів та діодів середньої потужності. Як правило, використовують маркування, яке складається із 5 або 6 елементів. Перший елемент маркування – (буква або цифра), яка визначає матеріал, з якого виготовляється напівпровідниковий діод:

Г, 1 – германій; К, 2 – кремній; А, 3 – арсенід галію.

Якщо використовується цифра, то це вказує на те, що діод характеризується покращеними температурними характеристиками.

Якщо використовуються букви, то допустима температура для германієвих діодів становить 60°C , для кремнієвих 85°C . Якщо використовуються цифра, то допустима температура для германієвих діодів становить 70°C , для кремнієвих – 120°C .

Другий елемент характеризує область використання діода:

Д – випрямляючі універсальні імпульсні діоди;

Ц – випрямляючі стовпи і блоки;

С – стабілізатори і стабістори;

А – НВЧ діоди;

В – варикапи;

І – тунельні і зворотні діоди;

Л – світловипромінювальні діоди.

Третій елемент (цифровий) характеризує призначення діода або його електричні властивості.

Для діодів низької, середньої та високої частоти:

Випрямні діоди малої потужності ($I_{cp} < 0,3 \text{ A}$) – 1; середньої потужності ($I_{cp} < 0,3 \dots 10 \text{ A}$) – 2; універсальні (з граничною частотою до 1000 МГц) – 4;

Імпульсні діоди з часом відновлення зворотного опору: більше 150 нс – 5; від $30 - 150 \text{ нс}$ – 6; від 5 до 30 нс – 7; від 1 до 5 нс – 8; менше 1 нс – 9.

Випрямні стовби: малої потужності ($I_{cp} < 0,3 \text{ A}$) – 1; середньої ($I_{cp} = 0,3 - 10 \text{ A}$) – 2; випрямляючі блоки: ($I_{cp} < 0,3 \text{ A}$) – 3, ($I_{cp} = 0,3 \dots 10 \text{ A}$) – 4.

Для стабілітронів і стабісторів:

Малої потужності ($P_{роз max} < 0,3 \text{ Вт}$) $U_{cm} < 10 \text{ В}$ – 1; $U_{cm} = 10 \dots 99 \text{ В}$ – 2; з допустимою потужністю розсіювання менше $0,3 \text{ Вт}$ і напругою стабілізації $U_{cm} = 100 \dots 199 \text{ В}$ – 3;

Середньої потужності ($P_{max} = 0,3 \dots 5 \text{ Вт}$); $U_{cm} < 10 \text{ В}$ – 4; $U_{cm} = 10 \dots 99 \text{ В}$ – 5;

$U_{cm} = 100 \dots 199 \text{ В}$ – 6;

Високої потужності ($P_{max} = 2 \dots 25 \text{ Вт}$); $U_{cm} < 10 \text{ В}$ – 7; $U_{cm} = 10 \dots 99 \text{ В}$ – 8;

$U_{cm} = 100 \dots 199 \text{ В}$ – 9.

Надвисокочастотні діоди

Змішувальні – 1; детекторні – 2; параметричні – 4; регулювальні – 5; помножувальні – 6; генераторні – 7.

Варикапи: підстроювальні – 1; помножувальні – 2.

Тунельні діоди: підсилювальні – 1; генераторні – 2; перемикальні – 3.

Зворотні діоди – 4.

Випромінювальні діоди: інфрачервоного діапазону – 1; видимого діапазону (світлодіоди) з яскравістю $< 500 \text{ кд/м}^2$ – 3 ; $> 500 \text{ кд/м}^2$ – 4.

Четвертий і п'ятий елементи (цифрові) позначають порядковий номер розробки від 01 до 99 (за винятком стабілітронів).

У стабілітронів, які мають напругу стабілізації від 1 до 9,9 В і від 10 до 99 В четвертий і п'ятий елементи позначають напругу стабілізації в вольтах, а у стабілітронів, які мають $U_{cm}=100\dots 199 \text{ В}$ – додаткову до 100 В.

У стабілітронів, які мають $U_{cm} < 1 \text{ В}$ – 4 і 5 елементи означають десятки та соті частини вольтів.

Шостий елемент (буква) – показує різновидність даної групи приладів, які відрізняються за одним або декількома параметрами, які не є класифікаційними.

У стабілітронів і стабісторів шостий елемент вказує на послідовність розробки.

Випрямні діоди великої потужності ($I_{cp} > 10 \text{ А}$), які називаються силовими вентилями, мають маркування, яке складається з 4-х елементів.

Перший елемент складається з 1 – 3 букв. Перша буква – В (вентиль) вказує на те, що прилад відноситься до класу силових вентилів. Друга буква вказує на належність приладу до групи лавинних (Л) або високочастотних (Ч). Друга або третя буква В в першому елементі означає, що у вентилі використовується водяне охолодження.

Другий елемент (числовий) – відповідає граничному значенню прямого струму в амперах.

Третій елемент (числовий) – визначає клас вентиля. Число, яке характеризує клас вентиля, дорівнює граничному значенню амплітуди зворотної напруги в вольтах, поділеної на 100.

Четвертий елемент (буква) – характеризує групу, до якої відноситься вентиль. Кожній групі А, Б, В тощо відповідає певний спад напруги на відкритому вентилі при проходженні через нього максимального струму.

2.4.2 Вольт-амперна характеристика діода

Властивостями *p-n*-переходу визначаються всі найважливіші параметри і характеристики напівпровідникового діода. Реальна характеристика діода наведена на рис. 2.15.

В області малих струмів теоретична і реальна характеристика збігаються. При великих прямих струмах та при великих зворотних напругах характеристики розходяться, що є наслідком ряду причин, неврахованих при теоретичному аналізі процесів в *p-n*-переході. При великих прямих струмах стає значним спад напруги на омичному

розподіленому опорі бази діода і опору електродів. При цьому напруга на p - n -переході буде меншою напруги, прикладеної до діода, в результаті реальна характеристика розміщується нижче теоретичної і є майже лінійною. Рівняння реальної вольт-амперної характеристики, яка враховує цей спад напруги, має вигляд:

$$I = I_0 e^{\frac{e}{kT}(U - Ir)}, \quad (2.19)$$

де r – опір бази та електродів діода.

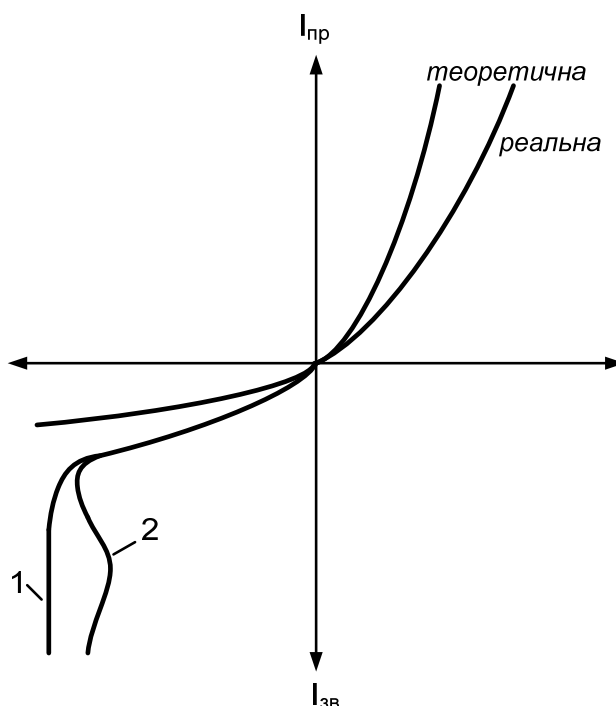


Рисунок 2.15 – Вольт-амперні характеристики діода:
1 – при електричному пробі, 2 – при тепловому пробі

При збільшенні *зворотної напруги* (reverse voltage) струм діода не залишається постійним, рівним струму екстракції I_0 , а повільно збільшується. Однією з причин зростання зворотного струму діода є термічна генерація носіїв в переході. Компоненту зворотного струму через перехід, яка залежить від кількості генерованих в переході носіїв, називають термострумом.

З підвищенням зворотної напруги внаслідок розширення переходу збільшується його об'єм, тому кількість носіїв, що генеруються в переході, зростає, і термострум переходу зростає. Цей ефект проявляється у кремнієвих діодах, які мають малий струм екстракції I_0 .

Другою причиною зростання зворотного струму діода є поверхнева провідність p - n -переходу, зумовлена молекулярними та іонними плівками

різного походження, що покривають зовнішню поверхню переходу. В сучасних діодах поверхня переходу обробляється і захищається від зовнішніх впливів, тому *струм витоку* (source current) завжди значно менший *термо струму* (thermocurrent).

Порівнюючи вольт-амперні характеристики з Si- та Ge-діодів, слід відзначити, що кремнієві діоди мають значно меншу величину зворотного струму через більш низьку концентрацію неосновних носіїв. З цієї ж причини пряма гілка вольт-амперної характеристики у Si-діодів йде значно нижче, ніж у Ge-діодів (рис. 2.16).

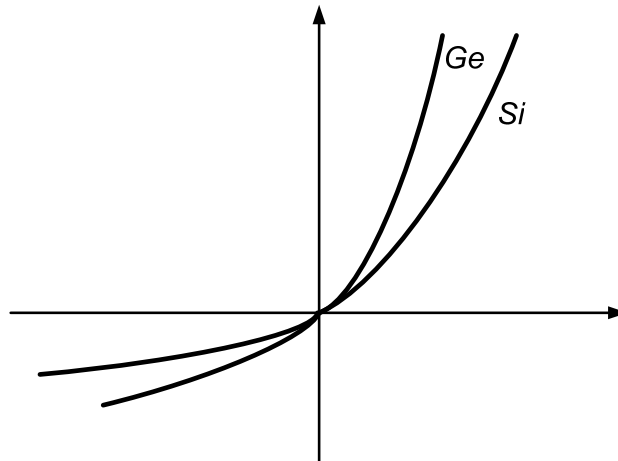


Рисунок 2.16 – Вольт-амперні характеристики Si- та Ge-діодів

2.4.3 Пробій діода

При великій зворотній напрузі струм діода починає різко зростати. Це явище називається *пробоєм* (diode disruption). Відмітимо, що пробій супроводжується виходом з ладу діода лише в тому випадку, коли виникає надмірний *перегрів* (overheating) переходу та виникають незворотні зміни його структури. Якщо ж потужність, що виділяється на діоді, підтримується на допустимому рівні, він зберігає *дієздатність* (availability). Для деяких діодів пробій є основним режимом роботи.

Розрізняють пробій електричний та тепловий. В обох випадках ріст струму пов'язаний зі збільшенням кількості носіїв заряду в переході.

При електричному пробіі ріст кількості носіїв, обумовлений цим полем і ударною іонізацією атомів ґратки. При тепловому пробіі збільшення струму обумовлено *термічною* (thermal) іонізацією атомів.

При електричному пробіі в результаті ударної іонізації починається *лавинне розмноження* (avalanche reproduction) носіїв і кількість носіїв n_0 , що залишають перехід, виявляється більшою кількості носіїв n , що надходять до переходу. Це відношення називають коефіцієнтом лавинного розмноження:

$$M = \frac{n}{n_0}$$

Досліди дають таку залежність коефіцієнта лавинного розмноження від напруги:

$$M = \frac{1}{I - \left(\frac{U}{U_l}\right)^n},$$

де U_l – напруга лавинного пробою, яка залежить від роду матеріалу, його питомого опору ρ і типу переходу.

Для ударної іонізації необхідна величина *напруженості електричного поля* (electric field strength) 80...120 кВ/см. При більш значних напруженостях електричного поля ($E = 200$ кВ/см) можливий тунельний пробій, зумовлений прямим переходом електронів із валентної зони в зону провідності, який проходить без зміни енергії електрона.

При електричному пробіі можуть мати місце обидва механізми: тунельний і лавинний. Вольт-амперна характеристика (ВАХ) діода при електричному пробіі показана на рис. 2.15 – крива 1.

Величина напруги пробою залежить від стану зовнішньої поверхні переходу, де можуть утворюватись заряди того чи іншого знаку, які зменшують чи збільшують результуючу напруженість поля біля поверхні порівняно з її значенням в об'ємі.

В даному випадку напруга пробою на поверхні може бути в декілька разів меншою, ніж по об'єму. Це підкреслює важливість стабілізації властивостей поверхні напівпровідника, захисту його від дії навколишнього середовища.

2.4.4 Тепловий пробій

Він виникає внаслідок нагрівання переходу струмом, що проходить через нього, при недостатньому *тепловідведенні* (heatsink), який забезпечує стійкість теплового режиму переходу.

В режимі постійного струму потужність, що підводиться до переходу, визначається величиною зворотної напруги $U_{зв}$ і величиною зворотного струму $I_{зв}$:

$$P_{пидв} = U_{зв} \cdot I_{зв}.$$

Ця потужність йде на нагрівання переходу, в результаті чого температура переходу зростає. При цьому зростає концентрація носіїв в *p-n* структурі і обернений струм переходу, що в свою чергу, приводить до збільшення потужності, що підводиться. Збільшення потужності викликає нове підвищення температури переходу і т. ін. ВАХ при тепловому пробії має вигляд (рис. 2.15 – крива 2). Вона має спадаючий характер, оскільки внаслідок зростання температури переходу концентрація носіїв в ньому різко зростає і електричний опір переходу зменшується відносно швидше, ніж зростає струм переходу.

2.4.5 Вплив температури на характеристики діода

При збільшенні температури різко зростає концентрація неосновних носіїв в напівпровідниках і, як наслідок, зворотний струм переходу I_0 , згідно з співвідношенням:

$$I_0 = const e^{\frac{\Delta W}{kT_{пер}}}$$

Вольт-амперні характеристики діода для різних температур наведені на рис. 2.17.

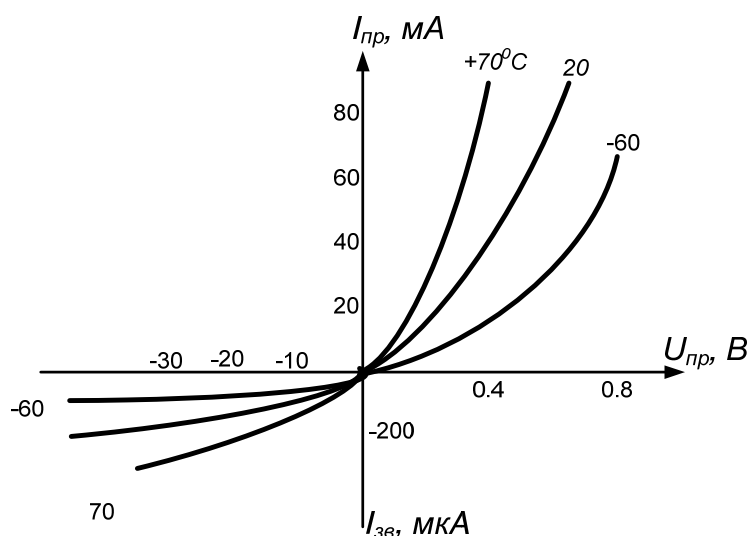


Рисунок 2.17 – Вольт-амперні характеристики діода для різних температур

Пряма гілка характеристики змінюється із зростанням температури відносно мало. Вплив температури на характеристики більш значний в Ge-діодів, оскільки вони мають меншу енергію іонізації, ніж Si-діодів і їх власна провідність із зростанням температури зростає швидше. Максимальна температура Ge-діода 80...100°C, для Si-діода – 150...200°C.

Мінімальна робоча температура визначається енергією іонізації акцепторних і донорних домішок і теоретично становить мінус 200°C.

Практично мінімальна робоча температура обмежується величиною мінус 60...70°C.

2.4.6 Напівпровідникові стабілітрони

Напівпровідникові стабілітрони – це діоди, на зворотній гілці вольт-амперної характеристики яких є ділянка зі слабкою залежністю напруги від струму, тобто стабілітрон працює в режимі електричного пробоя. Величина напруги пробоя, або напруга стабілізації, залежить від опору базової області діода. Якщо необхідно отримати напругу стабілізації до 3 В, то використовуються вузькі *p-n*-переходи і має місце тунельний механізм пробоя. Якщо необхідно отримати напругу стабілізації від 3 В до 7 В, то може використовуватись лавинний і тунельний механізми пробоя. При напругах стабілізації більше 7 В використовуються широкі *p-n*-переходи і лавинний механізм пробоя. На електричних схемах напівпровідникові стабілітрони позначаються як показано на рис. 2.18.

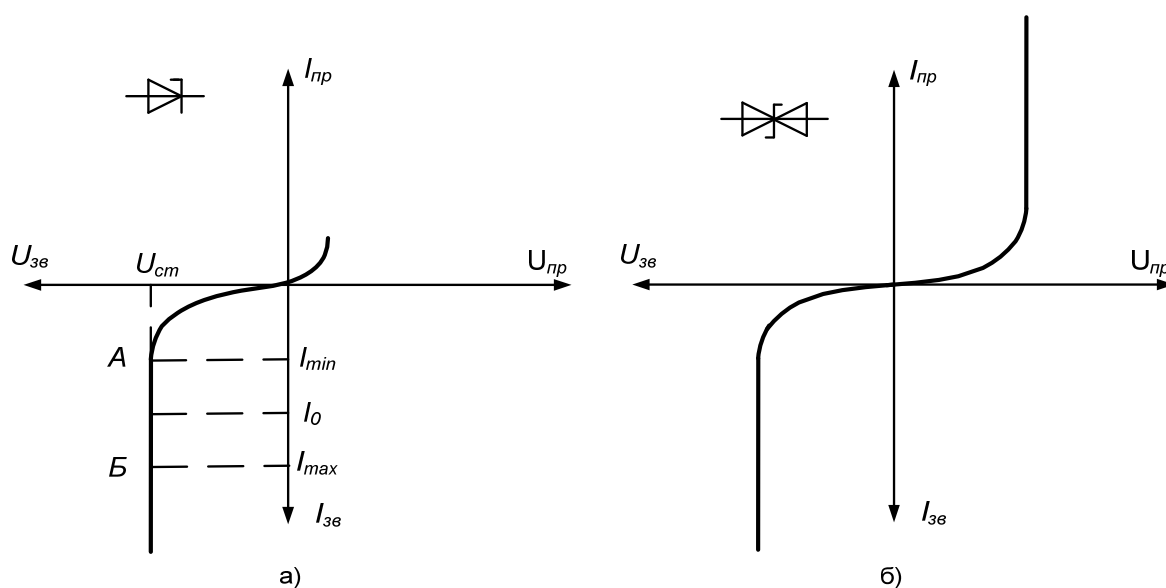


Рисунок 2.18 – Односторонній стабілітрон і його вольт-амперна характеристика (а); двосторонній стабілітрон і його вольт-амперна характеристика (б)

Основними характеристиками напівпровідникових стабілітронів є напруга стабілізації $U_{ст}$ і струм стабілізації $I_{ст}$, динамічний опір R_0 і температурний коефіцієнт напруги.

Величина динамічного (диференціального) опору характеризує нахил робочої області і, інакше кажучи, ступінь стабільності напруги стабілізації при зміні струму стабілізації:

$$R_{\partial} = \frac{\partial U_{cm}}{\partial I_{cm}}.$$

Залежно від R_{∂} напівпровідникові стабілітрони можна розділити на дві групи: регулювальні (загального призначення) і опорні (прецизійні).

Регулювальні стабілітрони, в основному, використовуються в стабілізаторах і обмежувачах постійної та імпульсної напруги. Прецизійні служать джерелами еталонної напруги в схемах, де вимагається висока ступінь стабілізації напруги.

Температурний коефіцієнт напруги (ТКН) стабілітрона показує як змінюється відносна напруга стабілізації при зміні температури на 1 градус при постійному струмі стабілізації:

$$TKH = \left. \frac{\partial U_{cm}}{U_{cm}} \cdot \frac{1}{\partial T} \cdot 100\% \right|_{I_{cm} = const}.$$

У *низьковольтних* (low volt) стабілітронів ТКН від'ємний ($U_{cm} < 5,4$ В). В більш високовольтних – ТКН додатний. В таких стабілітронах для зниження ТКН паралельно зі стабілітроном, що працює в нормальному режимі (зворотному), вмикають один або декілька стабілітронів, що працюють при прямій напрузі. Це зумовлено тим, що пряма гілка вольт-амперної характеристики має від'ємний ТКН. Замість стабілітронів можна вмикати і звичайні випрямні діоди. До параметрів стабілітронів слід віднести також коефіцієнт стабілізації K_{cm} , який визначається як відношення відносної зміни напруги на вході до відносної зміни напруги на виході стабілітрона:

$$K_{cm} = \frac{\Delta U_{вх} / U_{вх.ном}}{\Delta U_{вих} / U_{вих.ном}},$$

де $U_{вх.ном}$ і $U_{вих.ном}$ – номінальні напруги на вході і на виході стабілітрона.

В електричне коло стабілітрон вмикається за схемою, наведеною на рис. 2.19.

Принцип роботи стабілізатора напруги полягає в такому. При зміні напруги на вході змінюється струм, що протікає через стабілітрон, а напруга на стабілітроні та опорі навантаження будуть постійними. При цьому змінюється спад напруги на балансовому опорі $R_{бал}$. Стабілізація забезпечується при умові, що при максимальній зміні $U_{вх}$ струм, який протікає через стабілітрон, не виходить за межі $I_{max} - I_{min}$ (рис. 2.18, а). Величина балансного опору $R_{бал}$ вибирається таким чином, щоб при

номінальній напрузі на вході, струм стабілітрона дорівнював деякому середньому значенню I_0 .

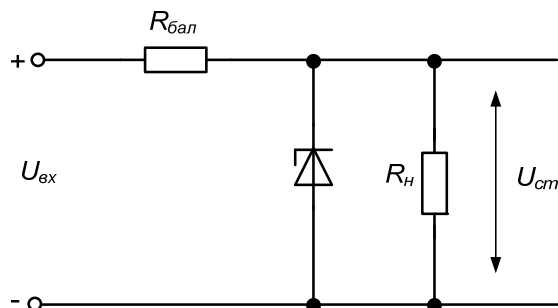


Рисунок 2.19 – Схема вмикання стабілітрона

Слід відмітити, що для виготовлення стабілітронів з невеликими напругами стабілізації (0,3...1 В), використовується пряма гілка ВАХ p -переходу. Такі прилади називаються стабісторами.

Особливою групою серед напівпровідникових стабілітронів є кремнієві симетричні обмежувачі напруги (КСОН) або двосторонні стабілітрони (рис. 2.18, б), які характеризуються симетричною відносно початку координат ВАХ та можуть бути використані для усунення перенапруження в приладах перетворювальної техніки, в потужних обмежувачах напруги. Ці прилади випускаються на робочі напруги до 5000 В при струмі до 1 А.

2.4.7 Варикапи

Варикап – це напівпровідниковий діод, в якому використовується залежність ємності p - n -переходу від зворотної напруги, тобто це елемент з електрично керованою величиною електроємності. Напівпровідниковим матеріалом для виготовлення варикапів служить Si. При зміні напруги на p - n -переході змінюється заряд в подвійному електричному шарі, що еквівалентно деякій ємності:

$$C = \frac{dQ}{dU}.$$

Ємність, яка виникає при прямому зміщенні, називається дифузійною і її можна визначити за виразом:

$$C_{\text{диф}} \approx \frac{e}{kT} \tau,$$

де τ – стала часу.

Ця ємність не використовується, оскільки при прямому зміщенні протікає відносно великий струм.

Залежність бар'єрної ємності від напруги на p - n -переході можна визначити за виразом:

$$C_{бар} = \frac{\varepsilon \varepsilon_0 S}{L} \sqrt{\frac{\varphi_k}{\varphi_k + U_{зв}}}, \quad (2.20)$$

де ε – відносна діелектрична проникність напівпровідника;

ε_0 – діелектрична стала;

φ_k – контактна різниця потенціалів;

$U_{зв}$ – зворотна напруга.

Згідно з виразом (2.20) можна побудувати вольт-амперну характеристику варикапа (рис. 2.20).

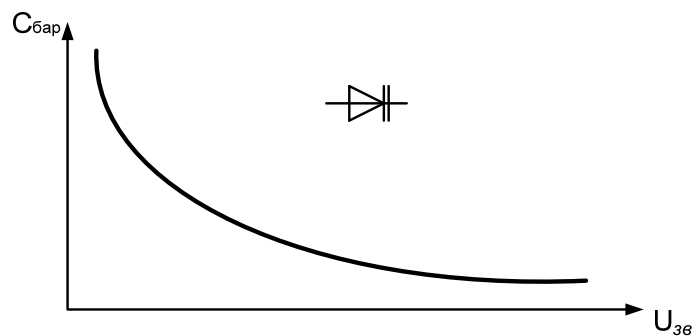


Рисунок 2.20 – Вольт-амперна характеристика варикапа і його позначення на електричних схемах

Основними параметрами варикапів є максимальна загальна ємність варикапа C_{BMAX} , яка визначається найчастіше при невеликих зворотних напругах ($-2 \dots -4$ В). Коефіцієнт перекриття (contact ratio) ємності $K_C = C_{MAX} / C_{MIN}$. Для більшості варикапів $C_{BMAX} = 10 \dots 500$ пФ, а коефіцієнт перекриття ємності $K_C = 2 \dots 20$ пФ. До параметрів відносяться також добротність варикапа, яка для найбільш поширених варикапів дорівнює близько 50.

Варикапи використовуються в приладах керування частотою та фазою ВЧ та НВЧ коливань, у системах автоматичного підстроювання частоти та дистанційного керування, в параметричних підсилювачах з малим рівнем власних шумів.

Варикапи, які використовуються в помножувачах частоти і характеризуються значною нелінійністю ВАХ, називаються варакторами.

2.4.8 Випрямні діоди

Випрямні діоди призначені для перетворення змінного струму пониженої частоти в постійний і вони розподіляються на випрямні діоди $I_{випр} < 10 \text{ А}$ та силові вентиля ($I_{ср} > 10 \text{ А}$). Гранична робоча частота випрямних діодів не перевищує 5...20 кГц. Останнім часом в нашій країні розроблені та серійно випускаються силові вентиля типу ВЧ, що працюють на частотах 200 кГц.

Основою випрямного діода є напівпровідникова прямокутна або круглої форми пластина з p - n -переходом. На пластину з двох сторін наносять металеві контакти, до яких під'єднуються зовнішні електроди. Отриманий випрямний елемент розміщують в корпус, що забезпечує необхідну механічну міцність та захист від дії навколишнього середовища.

Мінімальна товщина напівпровідникової пластини залежить від її механічної міцності. Завдяки цьому ширина базової області p - n -переходу набагато більша за ширину емітерної області. Для виготовлення діодів як вихідний матеріал використовують напівпровідники n -типу, і тому базова область діода має електронну провідність і концентрація домішок в базі набагато менша, ніж в емітері, тому опір бази набагато більший за опір емітера і приблизно рівний за величиною опору p - n -переходу. Площа p - n -переходу залежить від допустимої величини струму, але максимальна величина площі визначається механічною міцністю напівпровідникової пластини, яка в свою чергу залежить від якості контактів металевих електродів та напівпровідників, що мають різні коефіцієнти лінійного розширення. Тому в процесі експлуатації при багаторазових циклах нагріву (за рахунок протікання прямого струму) та охолодження можливе розтріскування напівпровідникових пластинок великої площі через явище *стомлювання* (fatigue).

ВАХ та параметри випрямного діода відрізняються від аналогічних для ідеального p - n -переходу завдяки впливу ширини базової області, якості контактів та поверхні напівпровідника.

Ця різниця показана на рис. 2.21, де наведена ВАХ ідеального переходу (крива 1) і реального діода (крива 2). Прямі гілки ВАХ відрізняються на величину ΔU , що являє собою суму спадів напруги на контактах U_K в областях емітера U_E і бази U_B : $\Delta U = U_K + U_E + U_B$.

Для *наближених розрахунків* (approaching calculations) можна знехтувати спадом напруги в області емітера та на контактах, опір яких набагато менший опору області бази.

З урахуванням цього припущення ВАХ діода можна описати рівнянням:

$$I = I_0 \left[e^{\frac{e(U - I \cdot r_{\delta})}{kT}} \right],$$

яке справедливе для невеликих ділянок ВАХ, що характеризуються низькими значеннями прикладеної напруги (прямой і зворотної).

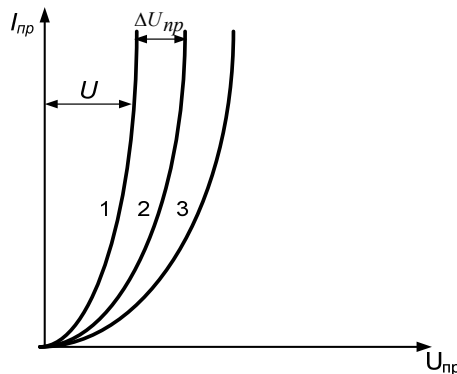


Рисунок 2.21 – Вольт-амперна характеристика випрямного діода

При підвищенні прямої напруги потенціальний бар'єр p - n -переходу дещо знижується і практично перестає впливати на прямий струм діода, значення якого в основному залежить від опору базової області. Внаслідок цього струм діода лінійно залежить від напруги.

Цей відрізок прямої гілки ВАХ, що називається омичним, описується наближеним рівнянням:

$$I = (U - U_0)/R_0,$$

де U_0 – напруга відсікання, яка дорівнює відрізку, що відсікається на осі напруг лінійною частиною характеристики;

R_0 – динамічний опір, що характеризує нахил лінійної частини характеристики (рис. 2.22).

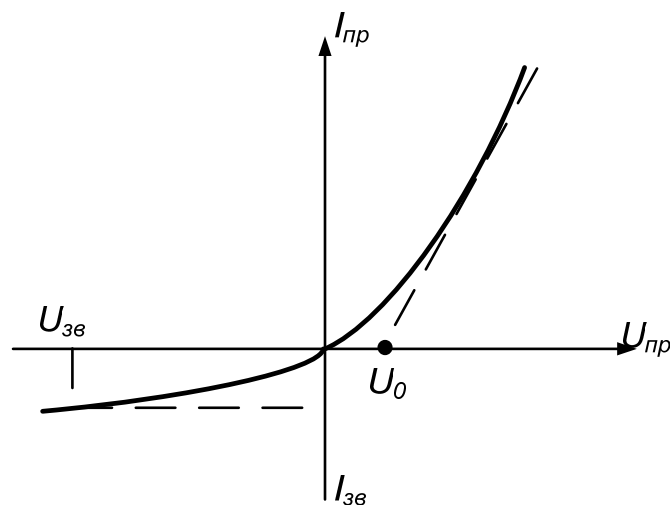


Рисунок 2.22 – Вольт-амперна характеристика випрямного діода

Опір R_d збільшується при підвищенні температури. Про це свідчить зменшення кута нахилу з підвищенням температури. Параметри U_0 і R_d знаходяться з ВАХ або беруться рівними $U_0 = (0,5 \dots 0,7) \varphi_0$, $R_d = r_b$.

На кривій зворотного струму $I_{зв}$ діода відсутня ділянка насичення, характерна для ідеального діода з p - n -переходом. Зростання струму зумовлено ефектами генерації і лавинного розмноження носіїв заряду в об'ємі p - n -переходу, а також впливом поверхневих струмів витоку. Рівняння для зворотного струму має вигляд:

$$I_{зв} = M(I_0 + I_T) + I_{ем},$$

де M – коефіцієнт лавинного розмноження носіїв заряду, який залежить від властивостей напівпровідникових областей, що створюють p - n -перехід, а також від величини зворотної напруги;

I_0 – струм насичення, зумовлений генерацією носіїв заряду за межами області p - n -переходу;

I_T – струм термогенерації, зумовлений генерацією носіїв заряду в області p - n -переходу;

$I_{ем}$ – струм витоку, зумовлений поверхневою електропровідністю поверхні напівпровідника у p - n -переході.

Вітчизняною промисловістю випускається широка номенклатура германієвих і кремнієвих випрямних діодів на струми до 500 А і на зворотні напруги до 1000 В.

Найпростіша схема випрямляча на напівпровідниковому діоді має вигляд, наведений на рис. 2.23.

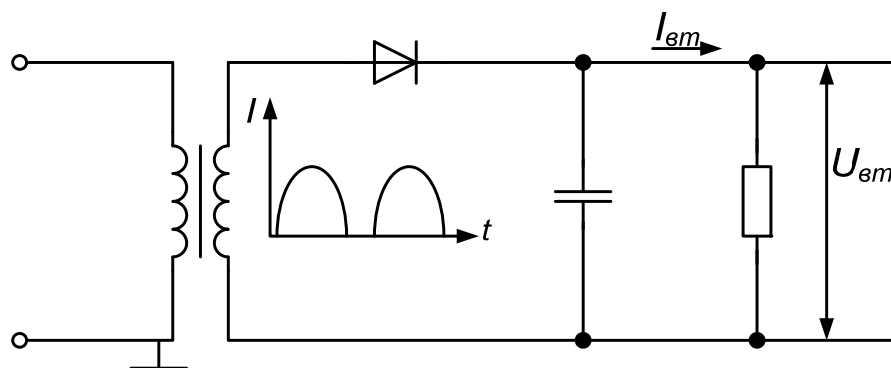


Рисунок 2.23 – Схема випрямляча на напівпровідниковому діоді

В селеновому випрямлячі p - n -структуру складає дірковий полікристалічний селен, який знаходиться в сталевій або алюмінієвій підкладці і покритий з зовнішньої сторони тонким шаром селеніду кадмію, який має електронну провідність.

2.4.9 Тунельний діод

Тунельними діодами називаються напівпровідникові діоди, *p-n*-перехід яких утворюється з двох вироджених напівпровідників. Виродженими називають напівпровідники з високою концентрацією носіїв заряду біля 10^{19} см^{-3} і більше.

В 1958 році було встановлено, що такі напівпровідники мають аномальну ВАХ (рис. 2.24). На відміну від інших діодів вони добре проводять струм не тільки в прямому, але й в зворотному напрямках, а на прямій гілці ВАХ має місце ділянка струму. Аномальний хід характеристики сильно легованих *p-n*-структур зумовлений, як було встановлено, тунельним ефектом. Як відомо, частинка, що має енергію, недостатню для проходження через потенціальний бар'єр, може все ж таки пройти крізь нього, якщо з другої сторони цього бар'єру є такий самий вільний енергетичний рівень, який займала частинка перед бар'єром. Це явище називається тунельним ефектом. В квантовій механіці показується, що ймовірність тунельного переходу тим вища, чим вузьчий потенціальний бар'єр і чим менша його висота. Тунельний перехід здійснюється електронами без витрат енергії.

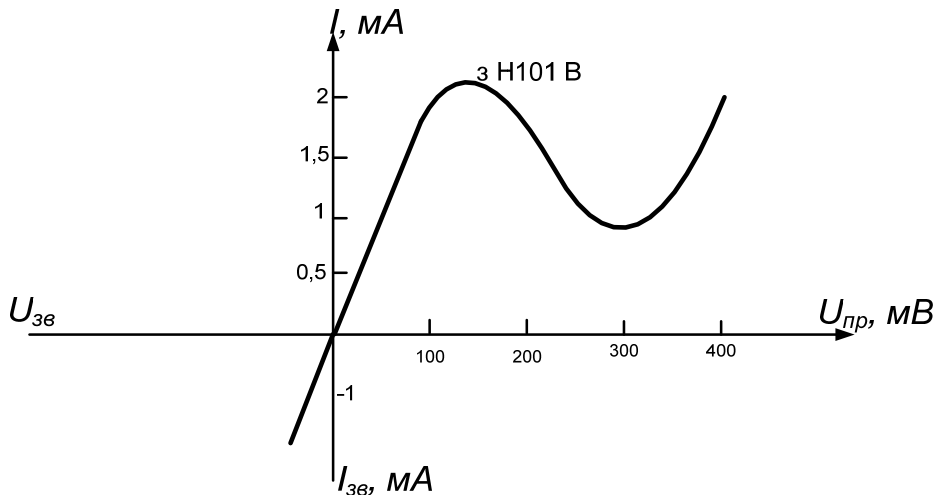


Рисунок 2.24 – Вольт-амперна характеристика тунельного діода

В звичайних діодах, які мають концентрацію домішок в менш легованій області 10^{17} 1/см^3 , товщина *p-n*-переходу порівняно велика і ймовірність тунельного переходу мала.

В тунельних діодах завдяки високій концентрації товщина *p-n*-переходу становить 0,01 мкм, тобто бар'єр є дуже вузьким. В цих умовах ймовірність тунельного переходу електронів через бар'єр виявляється значною, що і призводить до зміни вигляду його характеристики.

Розглянемо енергетичну діаграму сильно легованої p - n -структури при різних значеннях прикладеної до неї напруги. Внаслідок високої концентрації домішок локальні рівні в такій структурі перетворюються в суцільну зону, а рівень Фермі зміщується в зону провідності в n -області і в валентну зону p -області. Напівпровідники такого типу називаються виродженими. Енергетична діаграма тунельного діода при нульовому зміщенні наведена на рис. 2.25. Штриховкою (shading) показані енергетичні рівні, які заповнені електронами. В цьому випадку електрони можуть здійснювати тунельні переходи в обох напрямках; в стані рівноваги сумарний струм дорівнює нулю.

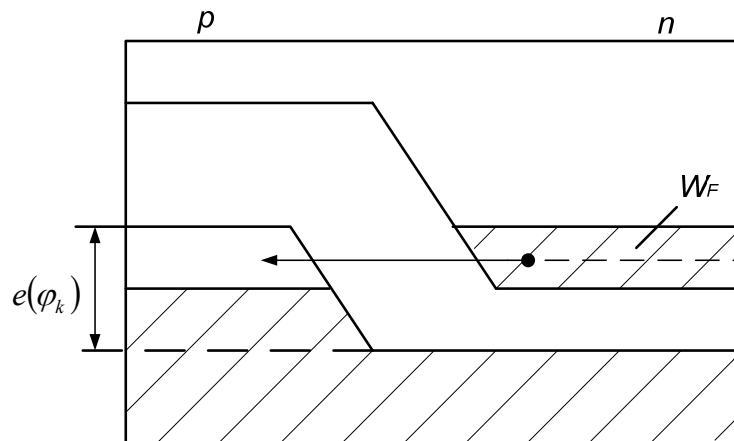


Рисунок 2.25 – Енергетична діаграма тунельного діода

Якщо на тунельний діод подано зворотну напругу, то енергетичні зони зміщуються таким чином, що навпроти заповнених рівнів валентної зони p -області розміщуються вільні рівні зони провідності n -області (рис. 2.26). При цьому домінуючим буде потік електронів, які здійснюють тунельний перехід із валентної зони p -області в зону провідності n -області, що приведе до зростання зворотного струму діода. Нагадаємо, що в звичайних діодах зворотний струм невеликий, оскільки він створюється за рахунок екстракції неосновних носіїв, які мають малу концентрацію.

Якщо на тунельний діод подано пряме зміщення, то заповнені рівні зони провідності n -області розміщуються напроти пустих рівнів валентної зони p -області і починає домінувати тунельний перехід електронів із зони провідності n -області в валентну зону p -області (рис. 2.27).

Тунельний струм, який створюється за рахунок цих переходів, має значно більшу величину, ніж звичайний дифузійний струм, який показаний на характеристиці пунктиром (рис. 2.28). Він досягає максимального значення, коли рівень Фермі p -області збігається з верхнім рівнем валентної зони p -області, що відповідає напрузі на діоді біля 40...50 мВ для германієвих діодів і 100...150 мВ для діодів із арсеніду галію. При подальшому збільшенні прямого зміщення перекриття заповнених і пустих

рівнів зменшується і тунельний струм спадає. Коли зона провідності n -області повністю встане навпроти забороненої зони p -області, тунельний струм повинен впасти до нуля і в діоді повинна залишитись лише дифузійна складова струму. Однак практично в цьому режимі через діод тече деякий надлишковий струм, який визначається локальними рівнями в забороненій зоні.

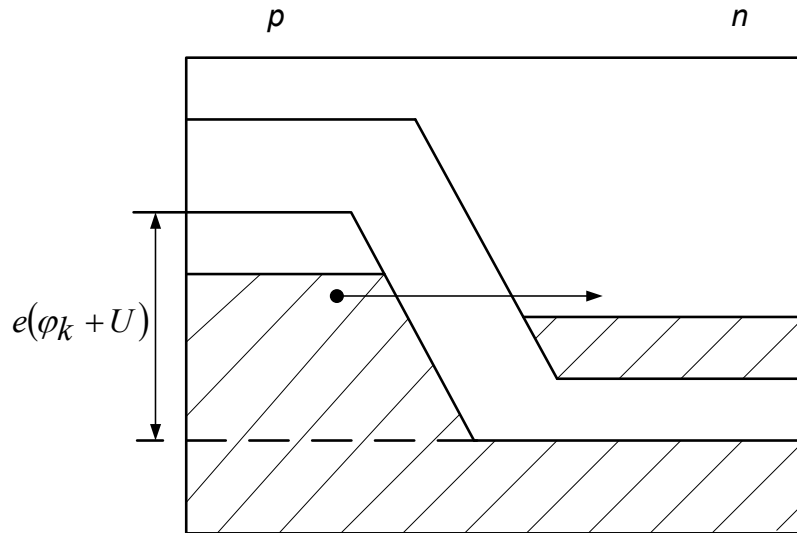


Рисунок 2.26 – Енергетична діаграма тунельного діода при подачі зворотної напруги

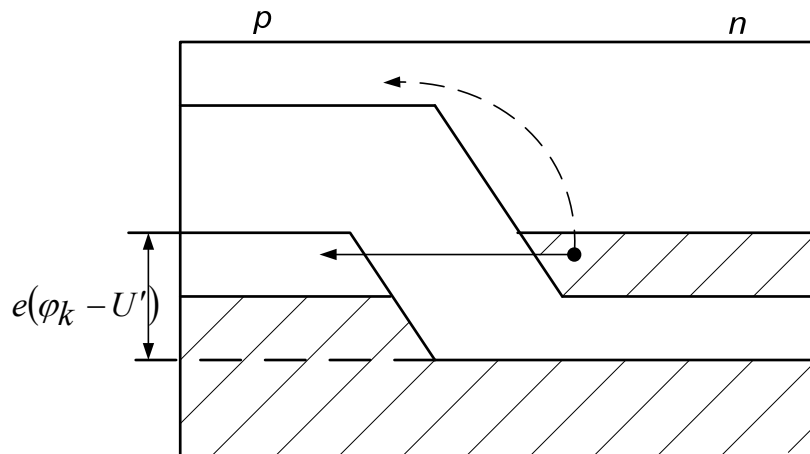


Рисунок 2.27 – Енергетична діаграма тунельного діода при прямому зміщенні

Параметрами тунельного діода є:

- величина струму в точці максимуму (від міліампера до сотні міліампер);
- напруга розходження U_{pp} – пряма напруга, яка є більшою напруги впадини, при якій струм розриву дорівнює піковому;
- питома ємність C_0/I_n ;

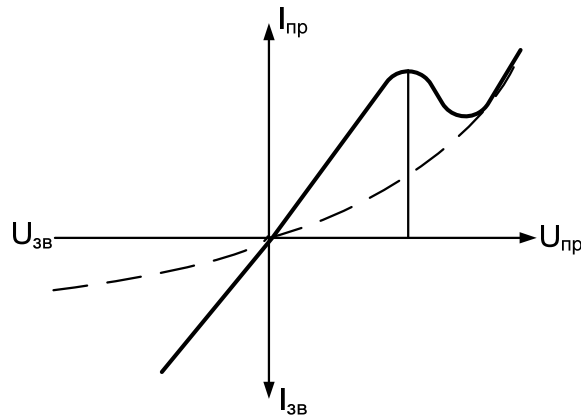


Рисунок 2.28 – Вольт-амперна характеристика тунельного діода

- гранична резистивна частота f_r – це розрахункова частота, на якій активна складова опору послідовної схеми, яка складається з опору p - n переходу і опору втрат, дорівнює 0;
- резонансна частота f_0 , $X=0$, $X_L=X_C$;
- ємність p - n переходу X_C ;
- індуктивність корпусу і виводів L .

Для діода характерний мінімальний струм і відношення I_{max}/I_{min} , яке, як правило, не перевищує 5. Від'ємна диференціальна провідність діода може досягати сотень міліампер на вольт. Наявність від'ємної провідності вказує на можливість використання цього пристрою для генерування і підсилення коливань, перетворення сигналів і перемикання.

В зв'язку з тим, що перенесення заряду в тунельному діоді здійснюється основними носіями, проходження яких не пов'язано з накопиченням неврівноваженого заряду, прилад має надзвичайно малу інерційність. Гранична частота тунельного діода обмежується лише ємністю переходу, розподіленим опором бази та індуктивності виводів і може досягати сотень мегагерц. Відмінною якістю є також малий рівень шумів, мале споживання потужності, стійкість до ядерного і теплового опромінення, мала вага і габарити. Ці якості тунельного діода зумовили його широке використання в радіоелектроніці.

2.4.10 Високочастотні діоди

Германієві та кремнієві високочастотні діоди з точковим контактом використовуються на частотах до декількох сотень мегагерц для випрямлення (grading), детектування (detection) коливань та інших нелінійних перетворень (nonlinear conversion).

Електронно-дірковий перехід в таких діодах створюється на місці контакту металевої (або бронзової) голки з пластиною Ge або Si. В результаті формовки, пропускання через діод коротких, але достатньо

потужних імпульсів, металева голка зварюється з напівпровідником і біля її вістря створюється *p-n*-перехід. Друга площа пластини Ge припаюється до металевого кристалотримача і в місці спаю утворюється омичний контакт.

Оскільки площа переходу у точкових діодів порівняно мала, то допустима потужність розсіювання не перевищує 20...30 мВт, прямий струм зазвичай не перевищує 50 мА, а пряма напруга – 1...2 В. Германієві та кремнієві точкові діоди допускають зворотну напругу до 200...300 В. Ємність переходу не перевищує одиниць пікофарад, а частотний діапазон поширюється до 150...200 МГц.

Для розширення частотного діапазону діода необхідно зменшувати ємність переходу C , послідовний опір діода Z та прямий опір *p-n*-переходу R_{np} .

2.4.11 Обернений діод

Обернений діод – різновидність тунельного діода, в якого струм піку $I_n = 0$. Якщо до оберненого діода прикласти пряму напругу $U_{np} \leq 0,3$ В, то прямий струм діода $I_{np} = 0$, навіть при невеликій зворотній напрузі (десятки мілівольт) зворотний струм досягає декількох міліампер внаслідок тунельного пробою. Таким чином, обернений діод характеризується *вентильними властивостями* (properties of valve) при прямих напругах якраз в тій області, де звичайні випрямні діоди цими якостями не характеризуються. При цьому напрямком найбільшої провідності є напрямок, що відповідає зворотному струму.

Обернені діоди застосовують, як і тунельні, в імпульсних пристроях, а також як перетворювачі сигналів (змішувачі та детектори) в радіотехнічних пристроях.

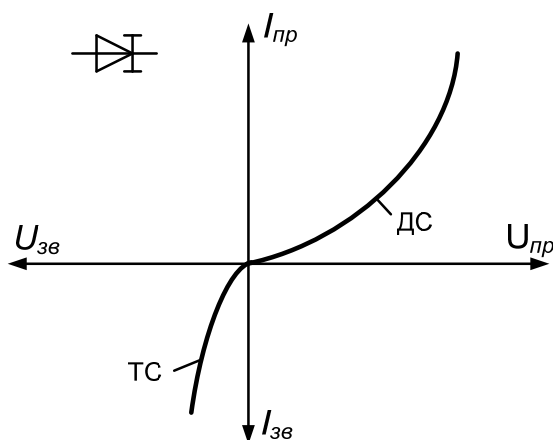


Рисунок 2.29 – Вольт-амперна характеристика оберненого діода і його позначення на електричних схемах (ТС – тунельний струм, ДС – дифузійний струм)

Вольт-амперна характеристика та умовне позначення обернених діодів на електричних схемах наведені на рис. 2.29.

2.4.12 Імпульсні діоди

Імпульсні діоди використовуються для роботи в ключових схемах. Крім основних параметрів $I_{пр}$, $U_{пр}$, $I_{звор}$, $U_{звор}$ для діодів цього типу приладів вказуються спеціальні параметри, які характеризують перехідні процеси в приладі при швидких зміненнях зовнішньої напруги. Ці параметри проілюстровані на рис. 2.30. Параметр $\tau_{вст}$ характеризує час встановлення прямої напруги на діоді (зменшення піку до величини $1,2 U_{пр.ст}$). Величина $\tau_{вст}$ характеризує час розсмоктування інжектованих носіїв та зниження внаслідок цього опору бази.

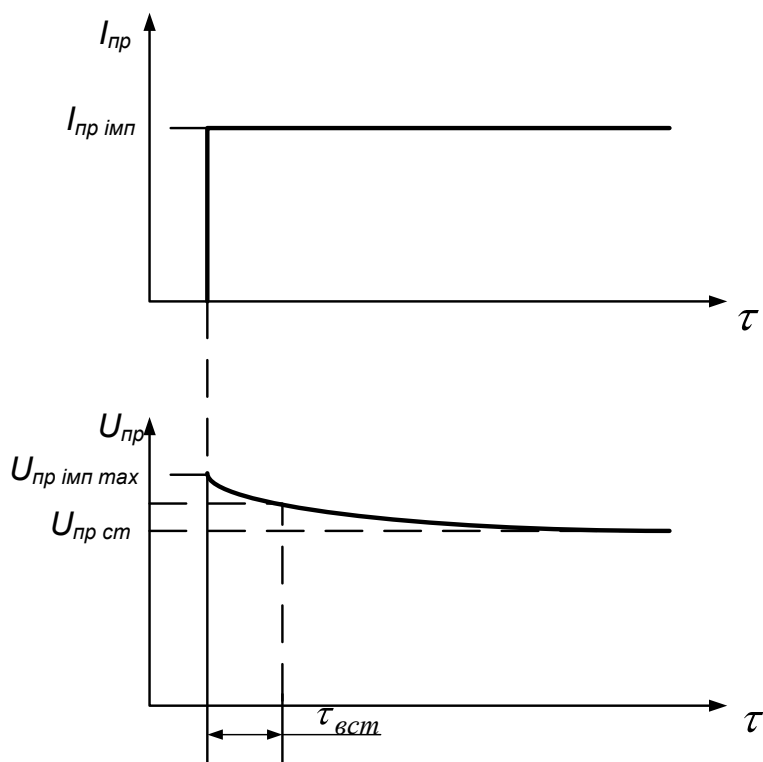


Рисунок 2.30 – Характеристики імпульсних діодів

При перемиканні напруги з прямої на зворотну розсмоктування надлишкової концентрації інжектованих носіїв в базі за рахунок дифузії та рекомбінації відбувається не миттєво. Цей процес характеризується параметром $\tau_{відн}$ – час відновлення зворотного опору.

Насправді, в момент перемикання інжекція носіїв, припустимо дірок, в базу припиняється; в базі біля переходу концентрація дірок знижується до рівноважної. Але інжектовані раніше дірки ще не встигли пройти всю базу та, відповідно, концентрація дірок в товщині бази вища, ніж в переході. Нарівні з дифузійним рухом дірок до виводу бази виникає їх

дифузійний рух в зворотному напрямку до емітера. Рівноважне значення (equilibrium value) концентрації дірок по всій базі встановлюється через час $\tau_{відн}$, коли описані процеси закінчуються. Для прискорення цього процесу базу в деяких імпульсних діодах *легують домішками* (impurity doping), які утворюють пастки та сприяють рекомбінації неосновних носіїв. Легування бази золотом дозволяє знизити час процесів відновлення до величини порядку 10^{-9} с. Знизити час $\tau_{відн}$ дозволяє також застосування бази з неоднорідною концентрацією домішки. В таких діодах концентрація домішок в базі монотонно збільшується з віддаленням від переходу.

Нерівномірною виявляється й концентрація основних, рухомих носіїв. В базі електрони з *n*-напівпровідника дифундують до переходу та оголюють далеко від переходу позитивні іони домішок. Таким чином, в базі встановлюється електричне поле, вектор напруженості якого спрямований до переходу. Під дією цього поля дірки, інжектовані в базу, дрейфують до переходу, притискаються до межі запираючого шару, де утворюють об'ємний заряд дірок підвищеної густини. При перемиканні напруги з прямої на зворотну ці дірки втягуються полем переходу за малий час. Внаслідок цього час відновлення в таких діодах значно менший, ніж в діодах з однорідною базою. Такі діоди отримали назву – діоди з *накопиченням* (accumulation) заряду (ДНЗ).

Інші параметри – максимальна імпульсна напруга (пряма) $U_{пр.імн.мах}$ та максимальний імпульсний струм $I_{пр.імн}$, (рис. 2.31), а також їх співвідношення, яке називається імпульсним опором.

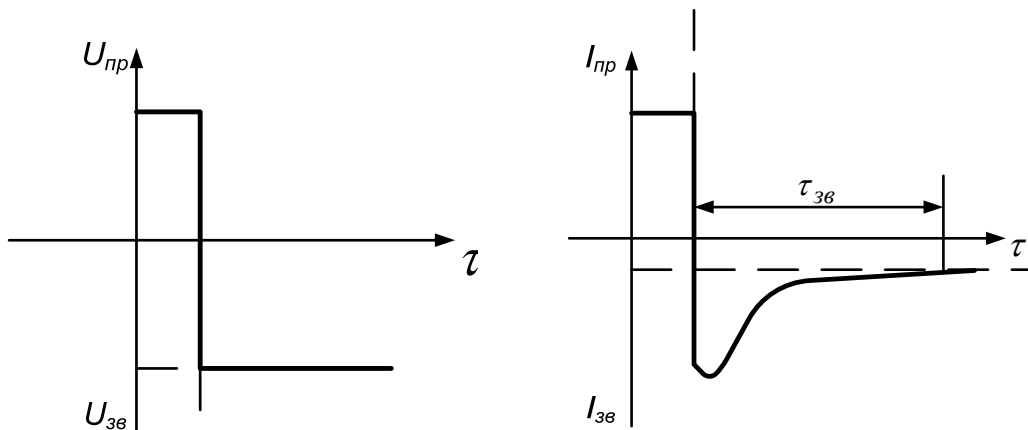


Рисунок 2.31 – Параметри напруги та струму імпульсних діодів

Ємність переходу має бути при змозі меншою одиниці пікосекунд.

За часом відновлення зворотного опору $\tau_{відн}$ імпульсні діоди поділяються на мілісекундні ($\tau_{відн} > 0,1$ мс), мікросекундні ($0,1\text{ мс} > \tau_{відн} > 0,1\text{ мкс}$) та наносекундні ($\tau_{відн} < 0,1$ мкс).

2.5 Транзистори

2.5.1 Загальні відомості і класифікація транзисторів

Транзистором називають електроперетворювальний напівпровідниковий прилад, який складається, як правило, з двох p - n -переходів. Структура площинного транзистора схематично зображена на рис. 2.32.

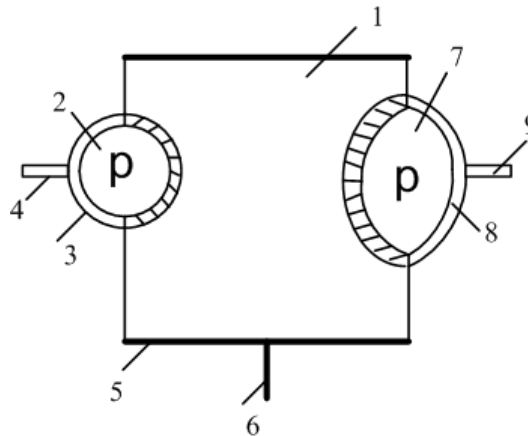


Рисунок 2.32 – Структура біполярного площинного транзистора

Основою транзистора є пластина германію n -типу провідності (1), яку називають базовою областю. З двох сторін в базу вплавлені таблетки індію, або іншим методом формуються p -області, на межі розподілу яких в процесі *вплавлення* (alloying) утворюються p - n -переходи. Одна із p -областей індію характеризується більш високою концентрацією носіїв заряду та меншим об'ємом і називається емітерною областю (2), а перехід, який утворюється між нею і базовою областю, називають емітерним переходом. Металевий контакт до області емітера називають емітерним електродом (3), до якого під'єднаний вивід (4). Металевий контакт до n -області бази називають базовим електродом (5), до якого під'єднаний базовий вивід (6). Друга p -область характеризується невисокою концентрацією носіїв заряду і більшим об'ємом, порівняно з емітерною областю і називається колекторною областю (7). Металевий контакт до області колектора називають колекторним електродом (8), до якого під'єднаний колекторний вивід (9). Майже завжди для бази використовують високоомний напівпровідник, ступінь легування емітера висока, а колектора – значно нижча.

Таким чином, транзистор являє собою тришарову структуру, в якій крайні електроди утворені напівпровідником з електропровідністю, відмінною від електропровідності середнього електрода. Описаний транзистор називають p - n - p транзистором або транзистором прямої провідності (рис. 2.33, а).

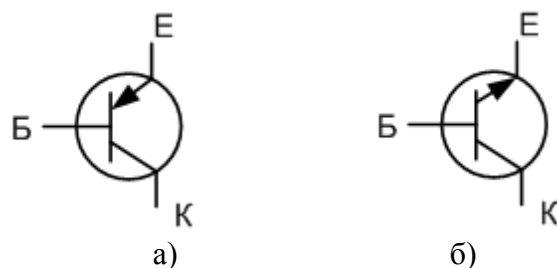


Рисунок 2.33 – Умовні позначення транзисторів на електричних схемах:
а – прямої провідності; б – зворотної провідності

Якщо ж як базу використовують напівпровідник p -типу, то емітер і колектор повинні мати провідність n -типу. Тоді одержимо транзистор n - p - n структури, або транзистор зворотної провідності (рис. 2.33, б).

Матеріалом для бази може служити не лише германій, але і кремній. В зв'язку з цим розрізняють Ge- і Si-транзистори. Транзистори розрізняють також за методом виготовлення – сплавні, мікросплавні, меза-, поверхнево-бар'єрні і т.ін. За характером контакту – площинні і точкові; за потужністю – малої потужності, середньої і великої. За діапазоном робочих частот – НЧ, СЧ і ВЧ; за основними процесами в базі – дрейфові, дифузійні. Є транзистори особливої конструкції і принципу дії – чотиришарові, лавинні, польові і т.д.

Транзистор є зворотним приладом, це означає, що колектор може виконувати функції емітера. Але властивості приладу в прямому і зворотному (інверсійному) напрямках різні, оскільки емітер і колектор відрізняються розмірами і електрофізичними властивостями.

2.5.2 Класифікація біполярних та польових транзисторів

Класифікація транзисторів за їх призначенням, фізичними властивостями, основними електричними параметрами, конструктивно-технологічними ознаками, родом початкового напівпровідникового матеріалу знаходить своє відображення в системі умовних позначень та їх типів. Відповідно до появи нових класифікаційних груп транзисторів удосконалюється і система їх умовних позначень.

Система позначень сучасних типів транзисторів встановлена галузевим стандартом ГОСТ 11 336.919-81 та базується на ряді класифікаційних ознак. В основі системи позначень лежить літерно-цифровий код.

Перший елемент означає вихідний (початковий) напівпровідниковий матеріал, на основі якого виготовлений транзистор. Для позначення вихідного матеріалу використовуються такі символи:

Г або 1 – для германію або його сполук;

К або 2 – для кремнію або його сполук;

А або 3 – для сполук галію (практично – для арсеніду галію, що використовується для створення польових транзисторів);

И або 4 – для сполук індію (ці сполуки для виготовлення транзисторів як вихідний матеріал поки що не використовуються).

Другий елемент позначення – буква, що визначає підклас (або групу) транзисторів. Для позначення підкласів використовуються одна з двох букв: Т – для біполярних і П – для польових транзисторів.

Третій елемент – цифра, що визначає основні функціональні можливості транзистора (допустиме значення потужності розсіювання і граничну або максимальну робочу частоту).

Для позначення більш характерних експлуатаційних властивостей використовуються такі цифри.

Для транзисторів малої потужності (максимальна потужність, що розсіюється транзистором не більше 0,3 Вт):

1 – з граничною частотою коефіцієнта передачі струму або максимальною робочою частотою (далі граничною частотою), не більшою 3 МГц;

2 – з граничною частотою, більшою 3, але не більшою 30 МГц;

3 – з граничною частотою, більшою 30 МГц.

Для транзисторів середньої потужності (максимальна потужність, що розсіюється транзистором більше 0,3, але не більше 1,5 Вт):

4 – з граничною частотою, не більшою 3 МГц;

5 – з граничною частотою, більшою 3 МГц, але не більшою 30 МГц;

6 – з граничною частотою, більшою 30 МГц.

Для транзисторів великої потужності (максимальна потужність, що розсіюється транзистором більше 1,5 Вт):

7 – з граничною частотою, не більшою 3 МГц;

8 – з граничною частотою, більшою 3 МГц, але не більшою 30 МГц;

9 – з граничною частотою, більшою 30 МГц.

Четвертий елемент – число, що означає порядковий номер розробки технологічного типу транзисторів. Для позначення порядкового номера використовують двозначні числа від 01 до 99. Якщо порядковий номер перевищить число 99, то використовують тризначні числа від 101 до 999.

П'ятий елемент – буква, що умовно означає класифікацію за параметрами транзисторів, виготовлених за однією технологією. Як класифікаційні літери використовують букви російського алфавіту (за винятком З, О, Ч, Ї, Щ, Ю, Ъ, Ь, Э).

Стандарт передбачає також введення в позначення ряду додаткових знаків при необхідності відзначити суттєві конструктивно-технологічні особливості приладів.

Як додаткові елементи позначення використовують такі символи:

цифра від 1 до 9 – для позначення модернізацій транзистора, що приводять до зміни його конструкції або електричних параметрів;

буква С – для позначення наборів в загальному корпусі однотипних транзисторів (транзисторні збірки);

цифра, написана через дефіс, – для безкорпусних транзисторів.

Ці цифри відповідають таким модифікаціям конструктивного виконання:

1 – з гнучкими виводами без кристалотримача (підкладки);

2 – з гнучкими виводами на кристалотримачі (підкладці);

3 – з жорсткими виводами без кристалотримача (підкладки);

4 – з жорсткими виводами на кристалотримачі (підкладці);

5 – з контактними площадками без кристалотримача (підкладки) та без виводів (кристал);

6 – з контактними площадками на кристалотримачі (підкладці), але без виводів (кристал на підкладці).

Таким чином, сучасна система позначень дозволяє за назвою типу отримати значний об'єм інформації про властивості транзистора.

Приклади позначення деяких транзисторів:

ГТ101А – германієвий біполярний малопотужний низькочастотний, номер розробки 1, група А;

2Т399А – кремнієвий біполярний малопотужний НВЧ, номер розробки 99, група А;

2Т399А-2 – аналогічний транзистору 2Т399А, але в безкорпусному виконанні з гнучкими виводами на кристалотримачі;

2ПС202А-2 – набір малопотужних кремнієвих польових транзисторів, середньої частоти, номер розробки 2, група А, безкорпусний з гнучкими виводами на кристалотримачі.

Класифікація транзисторів за функціональним призначенням

За частотою транзистори класифікують таким чином:

– низькочастотні: $f_{cp} < 30$ МГц;

– високочастотні: $30 \text{ МГц} < f_{cp} < 300 \text{ МГц}$;

– надвисокочастотні: $f_{cp} > 300 \text{ МГц}$.

Біполярні та польові транзистори відповідно до основних областей використання розділяють на такі групи: підсилювальні, генераторні, перемикаючі та імпульсні. Кожна з перерахованих груп характеризується специфічною системою параметрів, що відображають особливості використання транзисторів в радіоелектронній апаратурі.

2.5.3 Принцип дії біполярного транзистора

Енергетична діаграма для площинного транзистора *p-n-p* типу наведена на рис. 2.34.

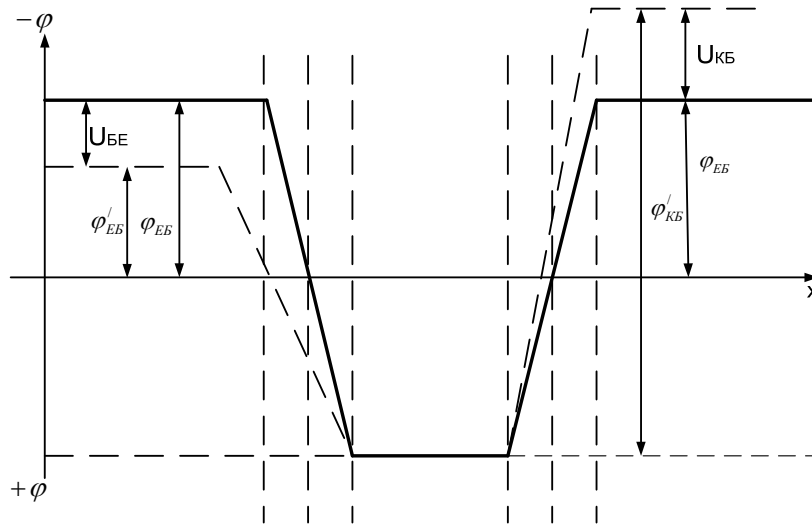


Рисунок 2.34 – Енергетична діаграма транзистора

За відсутності зовнішньої напруги обидва переходи знаходяться в рівновазі і струм через транзистор дорівнює нулю. При вмиканні джерела живлення, наприклад, для випадку схеми з загальною базою, як показано на рис. 2.35, емітерний перехід відкривається, а колекторний закритий. Це основний активний режим роботи транзистора. Зміна кривої розподілу потенціалу для цього випадку показана штриховою лінією на рис. 2.34.

В результаті зниження потенціального бар'єру в емітерному переході починається дифузійний рух основних носіїв. Оскільки концентрація дірок в емітері вища концентрації електронів в базі ($P_{PE} > N_{nB}$), коефіцієнт інжекції високий.

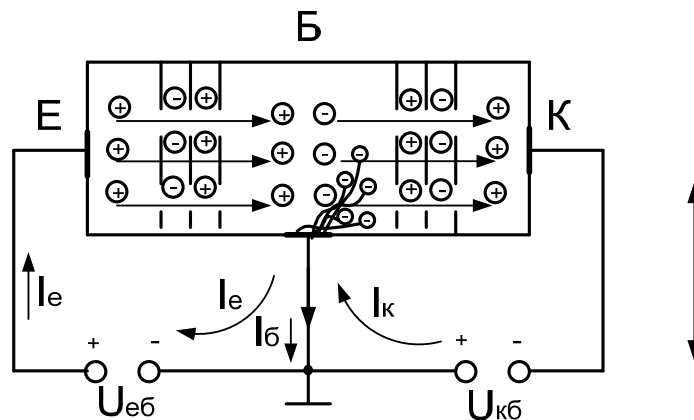


Рисунок 2.35 – Схема вмикання транзистора зі спільною базою

Внаслідок інжекції дірок з емітера в базу концентрація їх в базі підвищується. Об'ємний позитивний заряд, що утворився поблизу емітерного контактного переходу в базі, компенсується за рахунок

електронів, які надходять в базу від джерела живлення U_{EB} . Внаслідок цього коло емітер-база замикається і по ньому протікає струм I_E . Електрони, які поступають в базу, рухаються до емітерного переходу і утворюють поблизу нього від'ємний заряд, компенсуючий заряд, утворений дірками. Поблизу емітерного переходу, таким чином, існує підвищена концентрація електронів і дірок. Внаслідок різниці концентрацій виникає дифузійний рух дірок і електронів в напрямку колектора. В транзисторах ширина бази вибирається такою, щоб при значній концентрації електронів і швидкості руху дірок час їх життя був би значно довшим часу їх перебування в базі. Таким чином, значна кількість дірок (99%), що проходять з емітера в базу, не встигають рекомбінувати з електронами в базі. Поблизу колекторного переходу вони потрапляють в *прискорювальне поле* (accelerating field) колекторного переходу і втягуються в колектор. Відбувається екстракція дірок. Електрони, кількість яких дорівнює числу дірок, що пройшли до колектора, надходять через базовий вивід під дією прикладеної різниці потенціалів в колекторне джерело живлення. Коло колектор-база замикається і по ньому протікає струм I_K . Таким чином, струм, що тече через емітерний перехід, є *керуючим струмом* (drive current), від величини якого залежить струм в колі колектора – струм, яким керують. Струм бази I_B являє собою різницю керуючого струму I_E і керованого струму I_K , оскільки основні носії бази – електрони – при компенсації руху дірок через емітерний і колекторний переходи рухаються у базовому виводі в різних напрямках.

Опір емітерного переходу, зміщеного в прямому напрямку, невеликий. Струм I_E , а з ним і струм I_K залежно від U_{EB} зростають експонційно. Навпаки, опір колекторного переходу, який зміщений в зворотному напрямку, великий. Збільшення напруги (U_{KB}) не викликає зростання струму I_K , оскільки всі дірки, що надходять до колекторного переходу, втягуються його полем при малих значеннях U_{KB} .

Якщо в коло емітер-база разом з батареєю зміщення U_{EB} ввімкнути джерело синусоїдального сигналу $U = U_m \sin \omega t$, то струм емітера і струм колектора будуть змінюватись в такт з ним.

Підключивши в коло колектор-база резистор R_K , можна виділити на ньому підсилену напругу сигналу з тією ж частотою і амплітудою, що перевищує амплітуду вхідного сигналу.

Підсилення може бути значним, оскільки в колекторному колі можна ввімкнути резистор значної величини. Зміна напруги на ньому, а отже, й на колекторному переході, не повинні викликати помітної зміни струму через транзистор, тому що вплив (U_{KB}) на рух дірок із бази в колектор незначний.

2.5.4 Режими роботи транзистора

Поряд з описаним активним режимом транзистор в ряді імпульсних, ключових та інших схем може працювати в режимі відсічки або в режимі насичення.

В *режимі відсічки* (cutoff mode) обидва переходи зміщені в зворотному напрямку, отже через них течуть зворотні струми.

При підключенні обох батарей в прямому напрямку транзистор працює в режимі насичення – обидва переходи відкриті, а інжекція носіїв в базу має місце як з боку емітера, так і з боку колектора.

Розрізняють також ще інверсний режим роботи, при якому емітерний перехід зміщений в зворотному напрямі, тобто закритий, а колекторний – в прямому, тобто відкритий. Коефіцієнт передачі в інверсному режимі значно менший ніж в активному режимі, оскільки концентрація носіїв заряду в емітері значно вища концентрації носіїв в колекторній області.

2.5.5 Статичні параметри і характеристики транзисторів

Як елемент електричної схеми транзистор завжди використовується таким чином, що один із його електродів є вхідним, другий вихідним, а третій – спільним. Залежно від того, який електрод є спільним, розрізняють три схеми ввімкнення: зі спільною базою (СБ), спільним емітером (СЕ) та спільним колектором (СК). Схеми вмикання наведені на рис. 2.36.

Одним із основних параметрів транзистора є коефіцієнт передачі струму, який являє собою відношення зміни вихідного струму до зміни вхідного струму.

Для схеми з СБ вхідним є струм емітера I_E , а вихідним – струм колектора I_K .

Коефіцієнт передачі струму в цьому випадку дорівнює:

$$\alpha = \left. \frac{\Delta I_K}{\Delta I_E} \right|_{U_{KB} = \text{const}}.$$

Оскільки струм колектора завжди менший струму емітера, то α менше одиниці і знаходиться в межах від 0,95 до 0,99.

В схемі з СЕ струм бази I_B є вхідним, а I_K – вихідним:

$$\beta = \left. \frac{dI_K}{\Delta I_B} \right|_{U_{KB} = \text{const}}$$

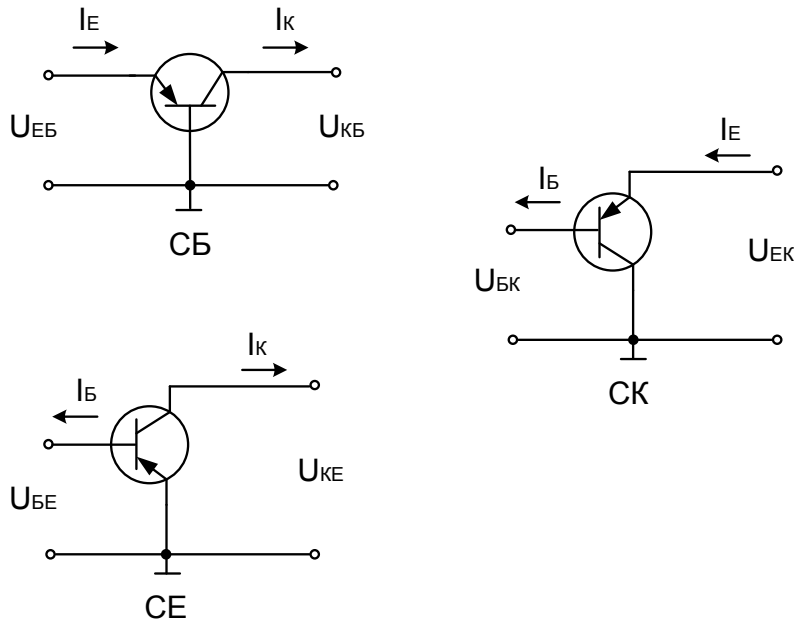


Рисунок 2.36 – Схеми вмикання транзистора

Оскільки струм бази значно менший струму колектора, то β значно більше одиниці і може становити декілька десятків одиниць для транзисторів середньої та високої потужності та 100 і більше для транзисторів малої потужності.

Коефіцієнти α і β взаємопов'язані:

$$\beta = \frac{\alpha}{1 - \alpha}.$$

Коефіцієнт передачі за струмом для схеми з СК також визначається відношенням приросту вихідного струму dI_E до вхідного dI_B :

$$\gamma = \left. \frac{dI_E}{dI_B} \right|_{U_{EB} = \text{const}} = \frac{1}{1 - \alpha} = \beta + 1.$$

Схема з СК забезпечує максимальне підсилення за струмом.

Ступінь залежності U_{EB} від I_E прийнято оцінювати за допомогою диференційного вхідного опору і емітерного переходу:

$$r_E = \frac{dU_{EB}}{dI_E} = \frac{kT}{eI_E},$$

$$\text{при } I_E = 0 \quad r_E = \frac{kT}{eI_{EK}(-\alpha)}.$$

Величина емітерного струму визначається, в основному, процесами інжекції дірок з емітера в базу і його величина становить одиниці ом.

Важливим параметром транзистора є *об'ємний опір* (solid resistance) бази. База транзистора виконується, в основному, з *високоомного* (high-resistance) матеріалу, і тому її об'ємний опір $r_{\bar{o}}$ в роботі транзистора відіграє значну роль. Величина $r_{\bar{o}}$ визначається, в основному, опором її активної ділянки, а саме, того шару бази, який знаходиться між емітером та колектором. Для найпростішого випадку опір базової області можна визначити за виразом:

$$r_{\bar{o}} = \frac{\rho_{\bar{o}}}{4\pi\omega},$$

де $\rho_{\bar{o}}$ – питомий опір матеріалу бази;

ω – ширина бази.

Опір колекторного переходу можна розрахувати за виразом:

$$r_K = \frac{dU_{\kappa\bar{o}}}{dI_K}, \text{ при } I_E = \text{const.}$$

Внаслідок модуляції ширини бази зміна $U_{\kappa\bar{o}}$ викликає зміну I_K , але вона, як правило, дуже мала, тому опір $r_{\bar{o}}$ практично не залежить від напруги на колекторі і його величина може становити від сотні кілоом до одиниць мегаом.

Статичні характеристики транзистора.

Для кожної схеми включення існують такі характеристики.

1. Вихідні: $I_{\text{вих}} = f(U_{\text{вих}})$; $I_{\text{вх}} = \text{const}$.
2. Керуючі (характеристики прямої передачі): $I_{\text{вих}} = f(I_{\text{вх}})$; $U_{\text{вих}} = \text{const}$.
3. Вхідні: $I_{\text{вх}} = f(U_{\text{вх}})$; $U_{\text{вих}} = \text{const}$.
4. *Перехідні* (transfer characteristics) (характеристики зворотного зв'язку): $U_{\text{вх}} = f(U_{\text{вих}})$; $I_{\text{вх}} = \text{const}$.

Керуючі та вхідні характеристики, як правило, зображаються у вигляді однієї-двох кривих, що зумовлено слабкою залежністю вихідного струму від вхідної напруги $U_{\text{вих}}$.

Для кожної схеми ввімкнення з чотирьох видів характеристик незалежними є тільки дві. Тому, як правило, для аналізу використовуються тільки вхідні і вихідні характеристики. Вхідна характеристика для схеми зі спільною базою являє собою залежність струму емітера I_E від напруги між емітером і базою $U_{e\bar{o}}$, при постійній напрузі між колектором і базою $U_{\kappa\bar{o}} - I_E = f(U_{e\bar{o}})$ при $U_{\kappa\bar{o}} = \text{const}$ (рис. 2.37). Оскільки I_E практично не залежить від $U_{\kappa\bar{o}}$, то такі характеристики розміщуються дуже близько одна біля одної

і вони зображаються одною або двома лініями. Вихідна характеристика для схеми з СБ являє собою залежність струму колектора I_K від напруги між колектором і базою $U_{КБ}$ при постійному струмі емітера I_E (рис. 2.38), $I_K = f(U_{КБ})$, при $I_E = const$.

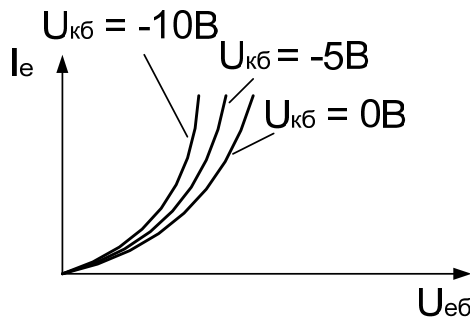


Рисунок 2.37 – Вхідні характеристики для схеми з СБ

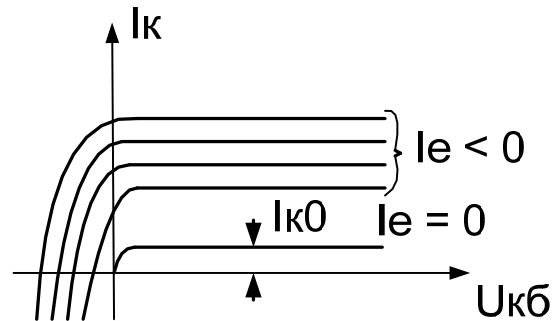


Рисунок 2.38 – Вихідні характеристики транзистора для схеми з СБ

Вихідні характеристики майже паралельні осі напруг. Наявність невеликого нахилу пояснюється тим, що колекторна напруга має слабкий кінцевий вплив на рух носіїв до колекторного переходу. Кожна характеристика різко зростає в області, близькій до пробію.

При ввімкненні транзистора за схемою з СЕ статичні характеристики описуються залежностями:

$$I_K = f(U_{ке}); I_{\bar{\sigma}} = const \text{ – вихідна характеристика;}$$

$$I_{\bar{\sigma}} = f(U_{\bar{\sigma}е}); U_{ке} = const \text{ – вхідна характеристика.}$$

Вихідні характеристики для схеми з СЕ мають великий нахил порівняно з характеристиками для схеми з СБ, що пояснюється більш сильним впливом U_K на коефіцієнт передачі струму.

Крім того, при вмиканні транзистора за схемою з СЕ на величину I_K має вплив ефект лавинного збільшення носіїв в колекторному переході. Тому різке збільшення струму колектора в *передпробійній області* (before disruption zone) починається для схеми з СЕ при більш низьких напругах, ніж в схемі з СБ. Цим зумовлюється той факт, що допустима колекторна напруга для схеми з СЕ менша порівняно зі схемою з СБ.

Можна показати, що мінімальне значення колекторного струму $I_K = -I_{K0}$ має місце при струмі бази: $I_{\bar{\sigma}} = -I_{K0}$.

Звідси випливає, що транзистор в схемі з СЕ в діапазоні струмів бази від 0 до мінус I_{K0} керується від'ємним вхідним струмом.

Вхідні характеристики схеми з СЕ мають такий самий вигляд, як і для схеми з СБ, і розміщуються близько одна біля одної, і тому при розрахунках, як правило, використовують одну характеристику. На відміну від схеми з СБ вхідні характеристики схеми з СЕ більш лінійні.

Характеристики схеми з СК багато в чому спільні з характеристиками схеми з СЕ, оскільки в обох схемах вхідним є струм бази, а вихідні (I_E , I_K) відрізняються мало. Тому для практичних розрахунків як вихідні характеристики схеми з СК можна використовувати вихідні характеристики схеми з СЕ, якщо замінити I_K на I_E . Вхідні характеристики схеми з СК за формою збігаються з вхідними характеристиками схеми з СЕ, але зміщені по осі напруг вправо на величину спаду напруги на колекторному переході.

2.5.6 Частотні властивості транзистора

Параметри транзистора в діапазоні частот до 800-1000 Гц практично не залежать від частоти. З підвищенням частоти починає проявлятися комплексний характер параметрів транзистора і в першу чергу коефіцієнта передачі струму.

Носії заряду, інжектовані емітерним переходом, переміщуються в базовій області за рахунок дифузії, а також під впливом зовнішнього електричного поля, причому шляхи і швидкості руху окремих носіїв різні. Тому носії, які входять одночасно в базову область, досягають колекторного переходу в різний час, тобто виникає затримування імпульсу колекторного струму I_K відносно емітерного I_E . Час цього запізнення характеризують кутом *фазового зсуву* (phase shift) між вхідним і вихідним імпульсом струму.

Із зростанням частоти час дії зовнішнього прискорювального поля зменшується, і тому більшу частину базової області носії долають тільки за рахунок процесу дифузії. Це призводить до зменшення амплітуди колекторного струму I_K , що характеризується зменшенням модуля коефіцієнта передачі α . Крім того, на підвищених частотах збільшується кут фазового зсуву φ_α . Величину φ_α часто називають фазою коефіцієнта передачі струму в схемі з СБ. Залежність α від частоти виражається рівнянням:

$$\alpha = \frac{\alpha_0}{1 + j \frac{f}{f_\alpha}},$$

де α_0 – коефіцієнт передачі струму в схемі з СБ при $f=0$;

f_α – гранична частота транзистора (гранична частота транзистора для схеми з СБ). Це частота, на якій модуль α знижується до величини $\alpha_0/\sqrt{2}$ або на 3 дБ.

Для схеми з СЕ частотна залежність β визначається виразом:

$$\beta = \frac{\beta_0}{1 + j \frac{f}{f_\beta}},$$

де $\beta_0 = \frac{\alpha_0}{1 - \alpha_0}$ – коефіцієнт підсилення за струмом для схеми з СЕ при $f=0$;

f_β – гранична частота підсилення струму в схемі з СЕ, на якій β знижується до величини $\beta_0/\sqrt{2}$ або на 3 дБ.

Графіки залежності модулів і фаз коефіцієнтів передачі від частоти наведені на рис. 2.39.

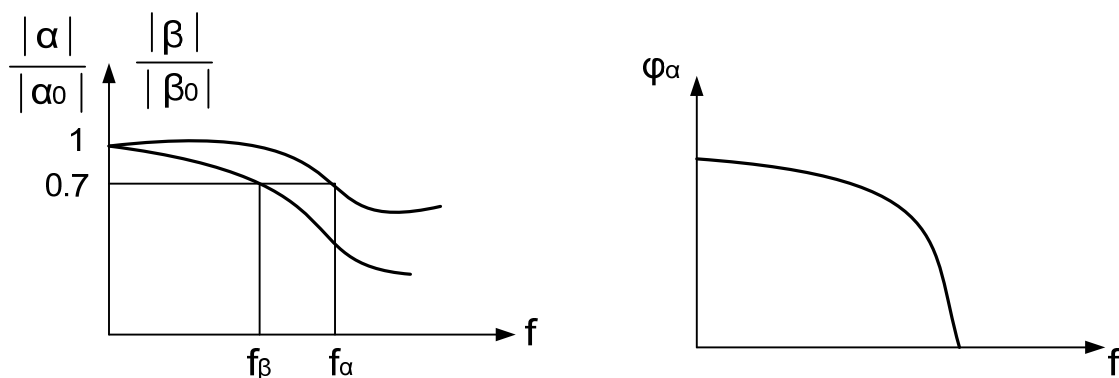


Рисунок 2.39 – Частотні залежності модулів і фаз коефіцієнтів передачі від частоти

З рисунків видно, що гранична частота підсилення транзистора, який ввімкнений за схемою з СЕ, нижча, ніж для схеми з СБ, причому більш *широкосмуговим* (broadband) є транзистор з меншим значенням β . Це зумовлюється тим, що при збільшенні фазового зсуву між I_E та I_K базовий струм різко збільшується навіть при відносно невеликому зниженні коефіцієнта α . Тому коефіцієнт $\beta = \frac{i_K}{i_\sigma}$ зменшується із зростанням частоти значно швидше коефіцієнта $\alpha = \frac{i_K}{i_E}$ і досягає граничного значення β/U_α на більш низьких частотах.

Крім того, розрізняють граничну частоту підсилення транзистора. Це частота, на якій модуль β дорівнює 1. Вона розміщується між граничними частотами f_α і f_β .

2.5.7 Принципи підсилення в транзисторі при активному режимі роботи

В схемі зі спільною базою в вихідному колі (колекторному) протікає майже такий самий струм, що і у вихідному колі (емітері), тому підсилення струму в цьому випадку відсутнє. Проте ця схема дає можливість отримати підсилення за потужністю.

Щоб зрозуміти принцип підсилення потужності в транзисторі, як і в інших підсилювальних пристроях, необхідно врахувати взаємодію носіїв заряду з електричним полем. Наприклад, дірка, рухаючись за напрямком електричного поля, розганяється в ньому і отримує додаткову енергію, забираючи її від електричного поля. Якщо ж змусити дірку рухатись проти електричного поля, то вона буде гальмуватись цим полем, віддаючи йому частину своєї енергії.

Електричне поле в колекторному переході транзистора складається із постійної складової, створеної зовнішнім джерелом живлення в колі колектора, і змінної складової, яка виникає при екстракції неосновних носіїв із бази в колекторний перехід. Миттєві значення змінної складової електричного поля в будь-який момент часу направлені в сторону, протилежну постійній складовій.

Тому дірка, проходячи по колекторному переходу, взаємодіє зразу з двома складовими електричного поля. Від постійної складової електричного поля дірки забирають енергію, переміщуючись у напрямку цієї складової. Одночасно переміщуючись проти миттєвих значень змінної складової електричного поля, дірка віддає частину своєї енергії змінній складовій. Відбувається своєрідне перекачування енергії від постійної складової електричного поля до змінної складової. Посередником в цій перекачці енергії є носії заряду, інжектвані емітером, що дійшли до колекторного переходу. Для їх інжекції потрібно виконати відносно невелику роботу, оскільки висота потенціального бар'єру емітерного переходу мала.

В схемі зі спільним емітером вхідним колом є коло бази. Оскільки струм бази значно менший струму колектора, то можна отримати підсилення за струмом. При зміні струму бази змінюється кількість основних носіїв в області бази, тобто заряд бази, і потенціальний бар'єр між базою і емітером. Зміна висоти потенціального бар'єру викликає відповідну інжекцію неосновних носіїв заряду. Більшість інжектованих носіїв доходять до колекторного переходу і змінюють його струм. Основний носій заряду, введений в базу із базового виводу може або зникнути внаслідок рекомбінації, або ж може бути інжектованим в емітер. В транзисторі вжито всіх заходів, щоб ймовірність цих процесів була найменшою, і на один основний носій заряду, що потрапив у базу, припадає багато неосновних носіїв заряду, які проходять від емітера до

колектора. В цьому і полягає підсилення за струмом в схемі зі спільним емітером. Підсилення за потужністю в цьому випадку можна пояснити аналогічно підсиленню в схемі зі спільною базою.

2.5.8 Робота транзистора в імпульсному режимі

Транзистор часто використовують в імпульсних пристроях та як транзисторний ключ. При роботі транзистора в імпульсних пристроях від нього, як правило, вимагається неспотворене відтворення підсиленого імпульсу на виході. Робота транзистора при підсиленні малих імпульсних сигналів в принципі нічим не відрізняється від роботи транзистора при підсиленні слабких синусоїдальних сигналів. Імпульс можна подати у вигляді суми ряду гармонічних складових і, знаючи частотні властивості транзистора, визначити спотворення форми імпульсу, які можуть мати місце при підсиленні. Робота транзистора при підсиленні великих імпульсних сигналів відрізняється тим, що транзистор в цьому випадку може виявитись не тільки в активному режимі, але і в режимі відсічки та насичення.

При роботі транзистора в режимі *транзисторного ключа* (transistor key) необхідно, щоб опір транзистора на виході, тобто в колі навантаження, різко змінювався під впливом вхідного керуючого імпульсу. Для цього амплітуда вхідних імпульсів повинна бути достатньою для переведення транзистора з режиму відсічки в активний режим роботи та далі в режим насичення, а також в зворотному напрямку.

Розглянемо процеси, що відбуваються в транзисторі, який ввімкнено за схемою зі спільною базою, при проходженні через емітер імпульсу струму тривалістю τ_{imp} в прямому напрямку з наступною зміною на зворотний.

В початковому стані транзистор знаходиться в режимі відсічки, тобто емітерний і колекторний переходи зміщені в зворотному напрямку.

Після подачі через емітер імпульсу струму в прямому напрямку (рис. 2.40, а) струм колектора з'являється не відразу, оскільки потрібний певний час на перезарядку бар'єрних ємностей емітерного та колекторного переходів, а також на переміщення інжектованих неосновних носіїв заряду до колекторного переходу (рис. 2.40, б). Інтервал часу між моментом подачі на вхід транзистора імпульсу струму і моментом досягнення вихідним струмом значення, яке відповідає 10% його амплітуди, називають часом затримки для біполярного транзистора $t_{затр}$.

В подальшому продовжується процес *перезарядки* (recharging) бар'єрної ємності емітерного переходу, що приводить до збільшення напруги на емітерному переході та збільшення граничної концентрації неосновних носіїв в базовій області біля емітерного переходу (рис. 2.41). Збільшення градієнта концентрації неосновних носіїв заряду біля

емітерного переходу відповідає збільшенню інжекційної складової струму емітера. Ємнісна складова струму емітера в міру заряджання бар'єрної ємності емітерного переходу зменшується, тому повний струм емітера I_{E1} залишається незмінним. Його значення визначається параметрами генератора струму у входному колі транзистора.

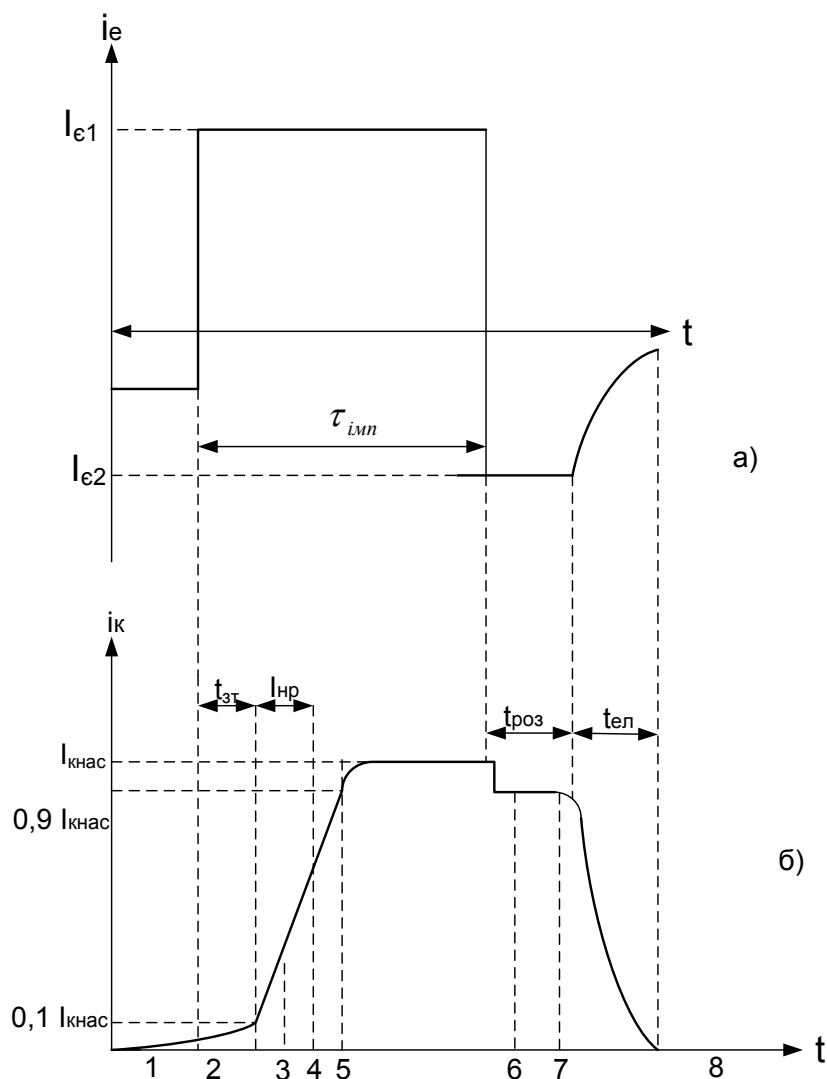


Рисунок 2.40 – Перерозподіл струму в транзисторі, який ввімкнено за схемою зі спільною базою при проходженні через емітер імпульсу струму

В зв'язку зі збільшенням інжекційної складової струму емітера відбувається процес накопичення неосновних носіїв заряду в базі транзистора (рис. 2.41, криві 2-5). Цей процес також відбувається не миттєво, оскільки швидкість руху неосновних носіїв заряду в базі скінченна.

В процесі накопичення неосновних носіїв заряду збільшується градієнт їх концентрації біля колекторного переходу, що відповідає збільшенню колекторного струму. При великих значеннях струму емітера

I_{E1} , струм колектора обмежений не струмом емітера, а параметрами вихідного колекторного кола. Емітер інjektує в базу таку кількість неосновних носіїв заряду, яку колекторний перехід не може екстрагувати при заданому значенні опору навантаження та ЕРС джерела живлення в колі колектора. Тому в базі транзистора біля колекторного переходу починає збільшуватись гранична концентрація неосновних носіїв заряду. Коли ця гранична концентрація неосновних носіїв перевищить значення рівноважної концентрації неосновних носіїв заряду, транзистор перейде з активного режиму в режим насичення. В цей момент (рис. 2.41, а), крива 4) струм колектора визначається за виразом:

$$I_{\text{кнас}} \approx \frac{\varepsilon_{\text{кб}}}{R_H} \cdot \quad (2.21)$$

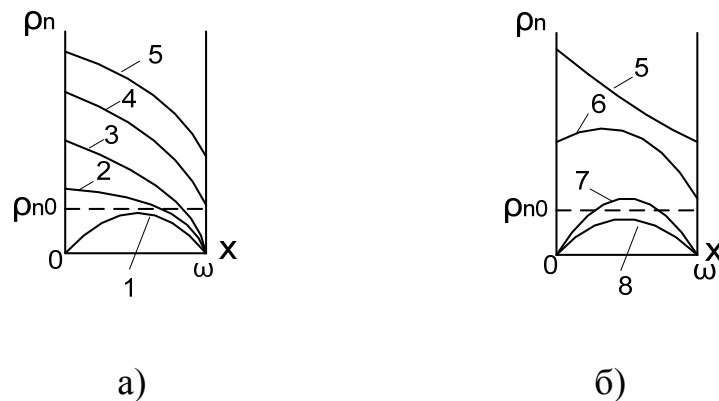


Рисунок 2.41 – Зміна концентрації носіїв заряду в базовій області:
а) – при подачі прямого імпульсу; б) – при подачі зворотного імпульсу

В дійсності значення встановленого струму колектора транзистора, що знаходиться в режимі насичення, дещо перевищує значення струму насичення, обчисленого за формулою (2.21), оскільки крім ЕРС джерела живлення потрібно враховувати ще спад напруги на об'ємному опорі бази. При проходженні через емітер струму в прямому напрямку спад напруги на об'ємному опорі бази додається з ЕРС джерела живлення в колекторному колі $I_{\text{к}} = I_{\text{кнас}} = (E_{\text{кб}} + U_1) / R_H$.

Інтервал часу, протягом якого струм колектора зростає від 10 % до 90 % його амплітуди, називають часом зростання для біполярного транзистора $t_{\text{пр}}$. Інтервал часу, який є сумою часу затримки і часу зростання, називається часом вмикання біполярного транзистора $t_{\text{вмк}}$. Час вмикання залежить від амплітуди імпульсу прямого струму емітера і від частотних властивостей транзистора, а також від $E_{\text{кб}}$ і R_H .

В момент зміни напрямку струму емітера відбувається зміна полярності спаду напруги на об'ємному опорі бази. При цьому

стрибокподібно (in discrete steps) зменшується значення струму колектора до величини:

$$I_K' = (E_{кб} - \Delta U_2) / R_n.$$

Одночасно починається процес *розсмоктування* (dispersal) неосновних носіїв, накоплених в базі транзистора. В перший момент після зміни напрямку струму емітера граничні концентрації неосновних носіїв в базі біля *p-n*-переходів великі, вони перевищують значення рівноважної концентрації неосновних носіїв. Тому опори цих переходів для зворотних струмів виявляються дуже малими. Значення зворотних струмів емітера і колектора визначаються, в основному, опорами в зовнішніх колах та ЕРС джерел живлення. Граничні концентрації неосновних носіїв в базі біля *p-n*-переходів не можуть миттєво після перемикання входу транзистора зменшитись до нуля. Це б відповідало нескінченно великим градієнтам концентрації неосновних носіїв заряду в базі біля *p-n*-переходів та нескінченно великим струмам, що практично нереально через кінцеві опори в зовнішніх колах транзистора. До тих пір, поки в процесі розсмоктування граничні концентрації неосновних носіїв заряду в базі біля *p-n*-переходів не зменшаться до нуля, зворотні струми через відповідні переходи будуть залишатися постійними, тобто струми емітера і колектора будуть незмінними, поки транзистор буде знаходитися в режимі насичення.

Після зменшення граничних концентрацій неосновних носіїв в базі біля переходів до нуля будуть зменшуватись з часом струми емітера і колектора, оскільки процес розсмоктування неосновних носіїв заряду з бази продовжується та зменшується абсолютне значення градієнтів концентрації неосновних носіїв заряду біля відповідних переходів. Зміни в розподілі неосновних носіїв в різні моменти часу процесу розсмоктування наведені на рис. 2.41.

Інтервал часу між моментом подачі на вхід від'ємного імпульсу і моментом, коли струм колектора досягає $0,9I_{кнас}$, називають часом розсмоктування для біполярного транзистора $t_{роз}$. Інтервал часу між моментом спаду вихідного струму від значення, що відповідає 90 % його амплітуди, до значення, що відповідає 10 % його амплітуди, називають часом спаду для біполярного транзистора $t_{сн}$. Інтервал часу між моментом подачі від'ємного імпульсу на вхід і моментом, коли струм досягне значення, що відповідає 10 % його амплітуди, називають часом вимкнення біполярного транзистора $t_{вимк}$. Всі ці інтервали часу залежать від амплітуди імпульсу прямого вмикаючого струму емітера, від ЕРС джерела живлення і опору навантаження в колекторному колі, а також від частотних властивостей транзистора.

Збільшити швидкодію транзистора, що працює в режимі ключа, тобто зменшити час розсмоктування, можна шляхом введення в кристал напівпровідника домішок рекомбінаційних пасток (золото для кремнію). При цьому зменшується час існування неосновних носіїв заряду. Однак в таких транзисторах буде зменшуватись коефіцієнт передачі струму через більш інтенсивну рекомбінацію неосновних носіїв в базі транзистора. Це пояснюється тим, що у них буде більший зворотний струм колектора і емітера через більш інтенсивну теплову генерацію носіїв заряду в колекторному та емітерному переходах, а також суміжних до них областях.

Більш вдалим методом підвищення швидкодії транзистора, що працює як електронний ключ, є шунтування колекторного переходу діодом Шотткі, в якому при прямому зміщенні відсутні інжекція неосновних носіїв заряду та їх накопичення.

3 ЗАГАЛЬНІ ПОНЯТТЯ ПРО ПЕРЕДАЧУ ІНФОРМАЦІЇ НА ВІДСТАНЬ

3.1 Людина та інформація

Створення матеріальних цінностей передбачає використання не тільки певних знарядь праці, сировини, обладнання, матеріалів, але й сукупності відомостей про різні процеси, предмети, факти, які набуті багатьма поколіннями людей. Ця сукупність відомостей, які зберігаються у пам'яті людей, книгах, документах, і складає поняття *інформації*. В перекладі на українську мову слово “інформація” означає “роз’яснення”, “викладення”, “надання чи наявність відомостей”. Інформація є цінною для виробництва тільки тоді, коли вона доступна, не дивлячись на її віддаленість від місця виробництва та давність отримання. Власне звідси і виникає необхідність запам’ятовування, зберігання та передачі інформації на відстань. Сучасний термін *“телекомунікація”* фактично означає спілкування або обмін інформацією на відстані.

Для ефективного використання інформації необхідно забезпечити її обмін, тобто передачу і прийом. Для цього існують спеціальні технічні засоби, оскільки засоби передачі, обумовлені фізіологічними можливостями людини (наприклад, голосові зв’язки або органи зору), не можуть розв’язати проблему передачі великих обсягів інформації на значні відстані. Такі спеціальні технічні засоби є засобами зв’язку або засобами телекомунікацій.

Відомо, що 80...90 % інформації людина отримує через органи зору і 10...20 % – через органи слуху. Інші органи чуття (дотик, нюх, смак) дають людині в сумі до 1...2 % інформації. Отже, органи зору і слуху в сукупності з нервовою системою людини є основними каналами надходження інформації у мозок.

3.2 Повідомлення і сигнали

Повідомлення – це форма подання інформації, яка є зручною для її передачі на відстань. Здатність бачити дозволяє людині сприймати інформацію у вигляді нерухомих або рухомих зображень, які називаються оптичними повідомленнями. Здатність чути дозволяє сприймати інформацію, яка подана механічними коливаннями частинок повітряного середовища. Такі повідомлення називаються звуковими. Існують також повідомлення, які призначені для обробки на електронно-обчислювальних машинах. Це певні символи, які можуть зберігатися на спеціальних носіях інформації і в необхідних випадках передаватися лініями зв’язку. Такі повідомлення називаються даними. Класифікація повідомлень наведена на рис. 3.1.

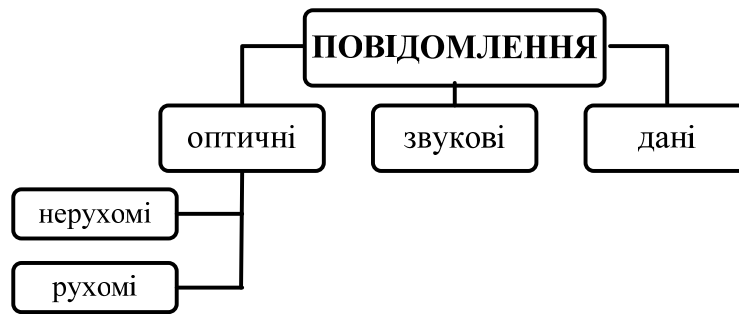


Рисунок 3.1 – Класифікація повідомлень

Рухомі оптичні повідомлення – зображення, які можна спостерігати безпосередньо на екранах моніторів, телевізорів, відео-контрольних пристроїв тощо.

До **нерухомих оптичних повідомлень** належать фотографія, малюнок, текст, набір цифр і т.п.

Звукові повідомлення – звук (мова, музика), що створюється за допомогою голосових зв'язок людини або певних інструментів.

Дані – певний вид повідомлень, який є зручним для обміну інформацією між ЕОМ. Цей вид повідомлень характеризується відповідною структурою електричних сигналів і тільки при відповідних перетвореннях може бути приведеним до вигляду, який є зручним для людини.

Для будь-якого виду повідомлень існує певний параметр, зміна якого безпосередньо стосується закладеної в це повідомлення інформації. Такий параметр називається **інформаційним**.

Для звукового повідомлення інформаційним параметром є миттєве значення звукового тиску, яке створюється в процесі коливання частинок повітря. Інформаційним параметром оптичного повідомлення є коефіцієнт відбиття світла або яскравість ділянок екрана. В текстових або літерно-цифрових повідомленнях інформаційним параметром є знаки, з яких вони складені.

І звукові, і оптичні повідомлення характеризуються інформаційним параметром, який є неперервним, тобто в процесі змін він може набути будь-якого значення у певному діапазоні (кількість значень необмежена).

На відміну від звукових і оптичних повідомлень, інформаційним параметром даних є кінцева кількість цифр, символів, літер, які складають певний алфавіт. У цьому випадку інформаційний параметр є дискретним (кількість значень обмежена об'ємом алфавіту).

Задачею зв'язку є передача повідомлень на відстань від джерела до отримувача. Якщо повідомлення записане на якомусь носії, наприклад, папері, його можна доставити до отримувача за допомогою того чи іншого виду транспорту. Так роблять при передачі письмових повідомлень у поштовому зв'язку. Однак такий спосіб передачі не завжди зручний,

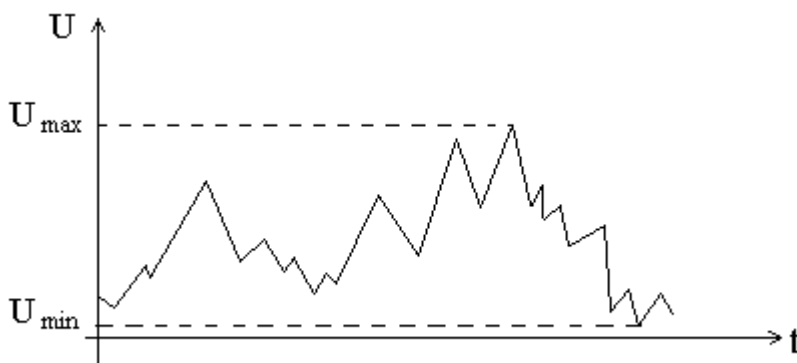
зокрема, він не задовольняє споживачів швидкістю передачі повідомлень. Тому знайшли широке застосування більш швидкісні переносники повідомлень. Для передачі повідомлень на значні відстані і з великою швидкістю використовують **сигнали**.

Сигнал – фізичний процес, який адекватно відображає повідомлення. Використовується напруга, струм, напруженість електромагнітного поля. Саме ці параметри в електричних сигналах є інформаційними аналогічно інформаційним параметрам повідомлень.

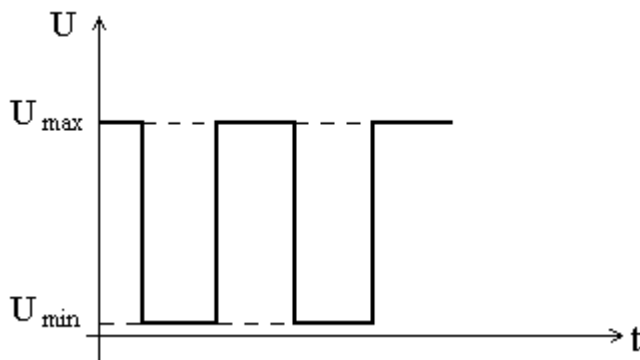
Інформаційні параметри сигналів – це такі параметри, у зміні яких закладені відповідні повідомлення. Закон зміни інформаційного параметра сигналу відповідає закону зміни інформаційного параметра повідомлення. Електричні сигнали, як і повідомлення, можуть бути неперервними (аналоговими) або дискретними. Відмінність неперервного сигналу від дискретного полягає у тому, що інформаційний параметр неперервного сигналу з плином часу може набувати будь-яких миттєвих значень в певному діапазоні змін. Неперервний сигнал часто називають аналоговим.

Дискретний сигнал характеризується кінцевим числом значень інформаційного параметра. Нерідко цей параметр набуває лише двох значень.

На рис. 3.2 наведені приклади аналогового та дискретного сигналів.



Неперервний сигнал



Дискретний сигнал

Рисунок 3.2 – Приклади неперервного та дискретного сигналів

По осях ординат на наведених епюрах відкладений інформаційний параметр – у даному випадку напруга U . Для неперервного сигналу цей параметр може набути будь-якого значення в межах від U_{min} до U_{max} , а для дискретного – цей параметр набуває лише двох значень, які дорівнюють U_{min} або U_{max} .

3.3 Поняття телекомунікацій та етапи їх розвитку

Термін «телекомунікації» походить від двох слів: грецького *tele*, що означає «діючий або такий, що здійснюється на далекій відстані», та латинського *communico*, що означає «форма зв'язку чи спілкування». Отже, можна казати, що *телекомунікації* – це засоби віддаленого інформаційного зв'язку.

Розвиток телекомунікацій нероздільно пов'язаний з розвитком засобів зв'язку. Технологічні основи нинішніх систем телекомунікацій було закладено ще у позаминулому столітті.



Рисунок 3.3 – Барон Павло Львович Шиллінг фон Канштадт (1786-1837)



Рисунок 3.4 – Самюель Морзе (1791-1872)

Створення першої телекомунікаційної системи можна віднести до 1832 року, коли російський винахідник П. Л. Шиллінг (рис. 3.3) створив перший електромагнітний телеграф (відстань між двома апаратами в першій продемонстрованій установці становила 100 м). Для створення телеграфного коду, що давав би змогу здійснювати одноразову передачу кожної букви за найменшої кількості робочих знаків, П. Л. Шиллінг використав принцип китайських гексаграм, які складаються з шести ліній двох типів – неперервних і переривчастих.

У 1837 році американець Самюель Морзе (рис. 3.4) розробив перший, придатний до практичного використання, електромагнітний телеграф (сигнал був посланий по дроту завдовжки 1700 футів). Через рік

Морзе створив також свою знамениту азбуку (сучасний варіант азбуки Морзе – International Morse, яким нині користуються моряки, був затверджений 1939 року і дещо відрізняється від оригіналу).

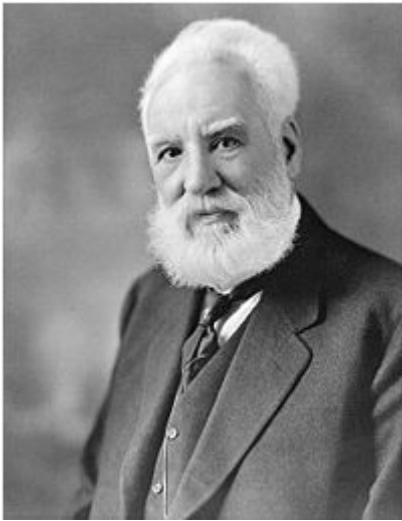


Рисунок 3.5 – Олександр
Грехем Белл
(1847-1922)



Рисунок 3.6 – Олександр
Степанович Попов
(1859-1906)

У 1876 році Олександр Грехем Белл (1847–1922) (рис. 3.5), професор фізіології органів мови Бостонського університету, запатентував у США свій винахід – телефон.

Ще однією віхою в історії телекомунікацій називають 7 травня 1895 року, коли російський фізик і електротехнік О. С. Попов (рис. 3.6) на засіданні російського фізико-хімічного товариства в Петербурзі продемонстрував дію створеного ним радіоприймача, використовуючи як джерело електромагнітного випромінювання вібратор Герца. 1897 року Попов почав працювати над створенням бездротового телеграфування і передав на відстань близько 200 м свою першу радіограму, що складалася з одного слова «Герц». Влітку 1897 року дальність радіозв'язку сягала 5 км. І лише в 1901 році відстань радіопередачі вдалося продовжити до 150 км.

Винайдення й удосконалення системи радіозв'язку спричинили створення у подальшому радіотелеграфу, радіомовлення і навіть радіотелефону.

У XX столітті з появою перших комп'ютерів та мереж зв'язку розвиток телекомунікацій відбувався двома шляхами: вдосконалення засобів зв'язку; обчислювальної техніки. В останні два десятиліття намітилося злиття цих шляхів. Будь-яка сучасна телекомунікаційна система поєднує в собі як засоби зв'язку, так і обчислювальну техніку.

Можна виділити такі п'ять етапів розвитку телекомунікацій (а відповідно і п'ять типів телекомунікаційних систем):

1. З 1832 р. – створення і розвиток телефону і телеграфу – кабельні телекомунікаційні системи;
2. З 1895 р. – поява радіо і телебачення – радіохвильові телекомунікаційні системи;
3. З 1957 р. – використання супутників для передавання інформації – супутникові телекомунікаційні системи;
4. З 1968 р. – поява комп'ютерних мереж – комп'ютерні телекомунікаційні системи;
5. 80-ті роки XX століття – злиття засобів зв'язку і обчислювальної техніки – інтегровані телекомунікаційні системи.

Більшість сучасних телекомунікаційних систем використовується не лише для спілкування, а й для обміну даними. У найпростішому випадку система передачі даних (СПД) (рис. 3.7) між пунктами А і Б складається з таких семи частин:

- 1) кінцевого обладнання даних у точці А;
- 2) інтерфейсу між кінцевим обладнанням даних і апаратурою каналу даних;
- 3) апаратури каналу даних у точці А;
- 4) каналу зв'язку між точками А і Б;
- 5) апаратури каналу даних у точці Б;
- 6) інтерфейсу (стику) апаратури каналу даних;
- 7) кінцевого обладнання в точці Б.

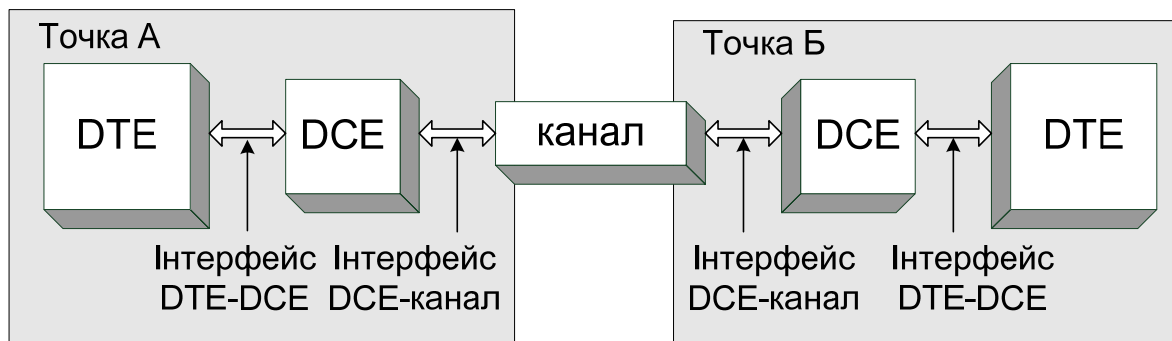


Рисунок 3.7 – Система передачі даних

Кінцеве обладнання даних (DTE – Data Terminal Equipment) – це узагальнене поняття, що використовується для опису пристрою користувача або його частини. Воно може бути джерелом інформації, її отримувачем або тим та іншим одночасно. Часто як DTE виступає комп'ютер, касовий апарат тощо.

Апаратура каналу даних або апаратура передачі даних (**DCE – Data Communication Equipment**). Функції DCE полягають у забезпеченні можливості передачі інформації між DTE по каналу певного типу. DCE може бути аналоговим модемом, якщо використовується аналоговий

канал, або пристроєм обслуговування каналу даних, якщо використовується цифровий канал типу E1/T1 або ISDN.

Під поняттям **канал (канал зв'язку)** зазвичай розуміють засоби односторонньої передачі даних (наприклад, смуга частот, виділена одному передавачеві для радіозв'язку).

Лінія передачі даних – це засоби, що використовуються в телекомунікаційних мережах для поширення сигналів у потрібному напрямку (наприклад, коаксіальний кабель, кручена пара, світловод).

У деякій лінії можна утворити кілька каналів зв'язку, по кожному з яких передається окрема інформація. В такому разі кажуть, що лінія поділяється на кілька каналів. Є два способи поділу лінії передачі даних:

1) *часове мультиплексування* (Time Division Multiply – TDM) – кожному каналу виділяється деякий квант часу;

2) *частотний поділ* (Frequency Division Method – FDM) – каналу виділяється деяка смуга частот.

Канал передачі даних – засоби двостороннього обміну даними включають апаратуру каналу даних і лінію передачі даних.

Канали передачі даних залежно від типу сигналів, що передаються, поділяють на:

- аналогові (неперервні сигнали зі змінними характеристиками);
- цифрові (імпульсні, дискретні сигнали).

За режимом використання канали можуть бути:

- комутовані;
- некомутовані (виділені).

У комутованих каналах фізичне з'єднання між абонентами створюється, як правило, лише на час передачі інформації, а в інший час складові каналів зв'язку можуть бути використані іншими абонентами. Виділені канали створюються й існують протягом певного інтервалу часу незалежно від передачі інформації; такі канали орендуються в телефонних компаніях або (рідко) прокладаються зацікавленою організацією.

З урахуванням можливостей зміни напрямків передачі інформації канали передачі даних поділяють на:

- симплексні – забезпечують передачу інформації лише в одному напрямку;

- напівдуплексні – дають змогу передавати інформацію по чергові в обох напрямках;

- дуплексні – передають інформацію одночасно у двох напрямках.

За способом передачі даних канали можуть бути:

- асинхронні – кожний символ даних (слово або блок) пересилається окремо і помічається стартовими та стоповими бітами; між передачею даних можуть бути довільні проміжки часу;

- синхронні – передача даних синхронізується, забезпечується вища швидкість передачі даних.

За типом середовища передачі канали передачі даних поділяють на:

- кабельні (коаксіальні, оптоволоконні тощо);
- безпроводові (радіоканал, інфрачервоний, супутниковий канал тощо).

3.4 Стандартизація в галузі телекомунікацій

Історія розвитку телекомунікацій привела до необхідності вироблення міжнародних стандартів у цій галузі. Створення телекомунікаційних мереж здійснювалось різними способами, а обладнання, яке випускалося різними фірмами, могло бути несумісним одне з одним. При об'єднанні окремих локальних мереж у глобальні системи виникали проблеми. Ці та низка інших факторів зумовили необхідність розробки та дотримання певних стандартів.

Роботи зі стандартизації почалися в 70-х роках ХХ століття. Існують міжнародні і національні організації, що займаються стандартизацією телекомунікацій. Серед них головними міжнародними є такі:

1. *Міжнародна організація зі стандартизації* (МОС або **ISO** – International Organization for Standardization, www.iso.ch). Участь у ній є добровільною. До МОС входять національні організації зі стандартизації від кожної країни-члена, представництво знаходиться в Женеві (Швейцарія). Організація пов'язана з комітетами користувачів і виробників;

2. *Міжнародний консультативний комітет з телеграфії і телефонії* (МККТТ або **ССТТ** – Committee Consultation International de Telegraphique et Telephonique). Сучасна (з 1993 року) назва цієї організації – Міжнародна спілка з електрозв'язку (МСЕ або **ITU** – International Telecommunication Union, www.itu.int). Це спеціалізований орган Організації Об'єднаних Націй. У ньому представлені телекомунікаційні компанії і відомства;

3. *Міжнародна електротехнічна комісія* (**ІЕС** – The International Electrotechnical Commission, www.iec.ch);

4. *Європейський інститут стандартів у галузі телекомунікацій* (**ETSI** – European Telecommunications Standards Institute, www.etsi.org);

5. *Європейська асоціація виробників комп'ютерів* (**ЕСМА** – The European Computer Manufacturers Association, www.ecma.ch), яка займається розробленням стандартів комп'ютерних і комунікаційних технологій. Некомерційна, співпрацює з МОС і МСЕ.

Серед великих національних організацій зі стандартизації можна назвати:

1. *Американський інститут національних стандартів* (**ANSI** – American National Standards Institute, www.ansi.org) – член МОС від США,

розробляє стандарти в галузі передачі даних у межах моделі OSI та в галузі шифрування інформації і управлінських систем;

2. *Інститут інженерів з електротехніки і радіоелектроніки США (IEEE – Institute of Electronic and Electrical Engineers, www.ieee.org)*. Професійна організація, що має філії по всьому світу. Працює над стандартизацією локальних мереж та інших систем. Комітети мають номери;

3. *Американська асоціація електронної промисловості (EIA – Electronic Industries Association, www.eia.org)*, взаємодіє з ANSI, найбільш відомий стандарт – RS-232-C.

В Україні функції забезпечення державної політики в галузі зв'язку, розподілу і використання радіочастотного ресурсу та у сфері інформатизації покладені на Державний комітет зв'язку та інформатизації (www.stc.gov.ua). Він є також представником країни у багатьох міжнародних організаціях зі стандартизації.

Стандарти найчастіше позначаються аббревіатурою організації, яка його видала, і номером. Наприклад, IEEE.802. Лише ITU розробляє стандарти за рубриками, у яких для позначення використовуються букви.

Для телекомунікацій найчастіше використовують стандарти таких рубрик:

D – тарифи за послуги електрозв'язку;

F – загальна експлуатація в телеграфних і телематичних службах, службах передачі даних і телеконференціях;

I – цифрова мережа з інтеграцією служб;

T – телематичне кінцеве обладнання;

V – передача даних телефонними каналами;

X – мережі передачі даних;

Z – формальні мови для електрозв'язку.

Отже, стандарт може позначатися буквою рубрики і цифрою, приклад, X.25.

ITU приблизно один раз у чотири роки проводить наради, на яких уточнюються і затверджуються стандарти та рекомендації на наступні чотири роки. Рекомендовані стандарти друкуються в серійному випуску.

Стандарти міжнародних організацій мають рекомендований характер. Вони показують, у який спосіб має здійснюватися обмін інформацією або за яких умов.

На основі міжнародних стандартів розробляються національні, які можуть мати конкретніший характер. Ці стандарти покладено в основу розроблення технічних засобів і програмного забезпечення. Дуже часто як міжнародні беруться стандарти окремих організацій (зокрема, стандарти IEEE).

3.5 Узагальнена структурна схема телекомунікаційної системи

Вже відзначалось, що в електрозв'язку носієм повідомлень є електричний сигнал, який здатний поширюватися у певних середовищах. Це означає, що для передачі на відстань повідомлення, яке створюється джерелом, повинно бути перетворене в електричний сигнал. На місці прийому отриманий сигнал необхідно перетворити у повідомлення і надати його отримувачу. Щоб виконати всі ці операції, необхідні відповідні технічні пристрої, які в сукупності з середовищем поширення сигналу створюють телекомунікаційну систему. На рис. 3.8 наведена узагальнена структурна схема телекомунікаційної системи. Вона пов'язує джерело повідомлень з їх отримувачем і складається з трьох основних частин: перетворювача повідомлення у сигнал, каналу зв'язку та перетворювача сигналу у повідомлення.

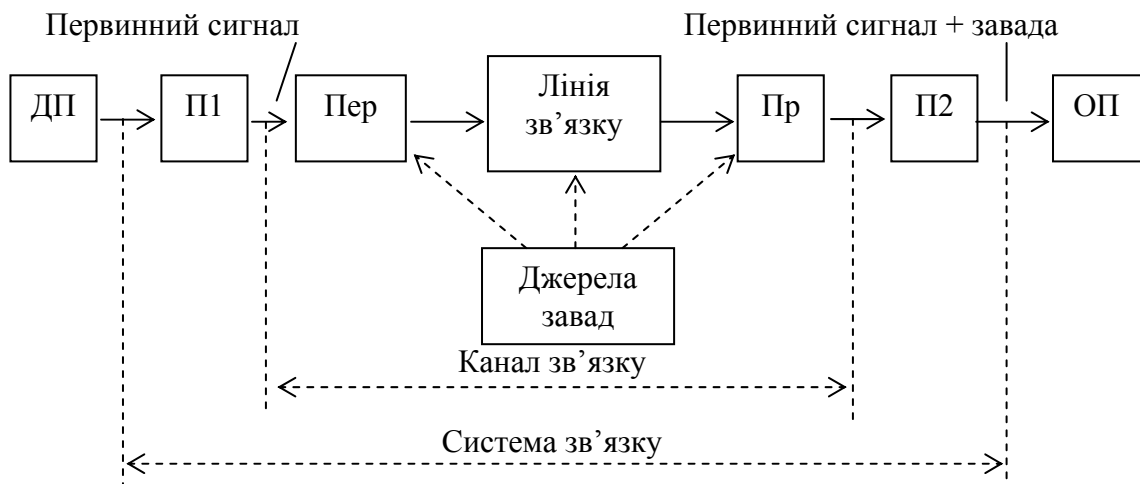


Рисунок 3.8 – Узагальнена структурна схема телекомунікаційної системи

ДП – джерело повідомлень;
П1 – перетворювач повідомлень у сигнали;
Пер – передавач;
П2 – перетворювач сигналів у повідомлення;
Пр – приймач;
ОП – одержувач повідомлень.

Джерело повідомлень (ДП) формує один із видів повідомлень (оптичні, звукові або дані). Первинне повідомлення з виходу джерела повідомлень надходить на перетворювач повідомлень в електричний сигнал (П1), де створюється первинний сигнал, певний інформаційний параметр якого змінюється відповідно до змін інформаційного параметра повідомлень. Первинний сигнал має такі параметри і характеристики, які не дозволяють безпосередньо передавати його на значні відстані – це невелика потужність та частотні характеристики, які не відповідають умовам ефективної передачі.

Для передачі сигналу на значні відстані в передавачі здійснюється ще одне перетворення цього сигналу – створення вторинного електричного сигналу, який має певні електричні параметри, що забезпечують його передачу на значні відстані.

В передавачі здійснюється один з видів модуляції височастотного коливання, що забезпечує виділення для кожного окремого повідомлення певного частотного діапазону. В передавачі також збільшується потужність електричного сигналу.

З виходу передавача сигнал надходить в лінію зв'язку. В системах електрозв'язку використовують проводові лінії зв'язку (повітряні, кабельні, волоконно-оптичні) або радіолінії (радіорелейні, супутникові).

Після лінії зв'язку вторинний сигнал надходить на приймач, де здійснюється його підсилення і перетворення в первинний сигнал. Первинний сигнал перетворюється в первинне повідомлення, яке і надходить до отримувача повідомлень.

В системі електрозв'язку існують внутрішні і зовнішні завади, які змінюють характер інформаційного параметра сигналу. Це означає, що первинне повідомлення, яке створюється на виході перетворювача сигналу, спотворюється, тобто відрізняється від повідомлення, яке створювалося на передавальному кінці телекомунікаційної системи. Телекомунікаційна система буде мати тим більшу якість, чим менші за величиною спотворення будуть мати місце в такій системі.

В телекомунікаційних системах застосовують різні за побудовою та принципом дії перетворювачі повідомлень в сигнали і сигналів у повідомлення. Це залежить від виду і характеру повідомлень, що передаються. В системах передачі оптичних повідомлень як такі перетворювачі застосовують фотоелектричні перетворювачі та різноманітні реєструвальні пристрої. В системах передачі звукових повідомлень використовуються відповідно акустоелектричні та електроакустичні перетворювачі.

Пристрої перетворення можуть виконувати як **пряме** (безпосереднє), так і **умовне** перетворення. При прямому перетворенні інформаційні параметри повідомлення і сигналу змінюються за одним законом. Наприклад, зміна електричного сигналу на виході акустоелектричних перетворювачів точно повторює зміни звукового тиску. При умовному перетворенні зв'язок між інформаційними параметрами повідомлення і сигналу умовний. Для реалізації такого перетворення використовуються коди, тобто кожен знак повідомлення в процесі передачі перетворюється у відповідну комбінацію електричних імпульсів, а в процесі прийому за отриманою комбінацією визначається (відтворюється) відповідний знак.

3.6 Сучасні види телекомунікацій

Різні повідомлення, які передаються системами зв'язку, характеризуються різними параметрами. Саме тому і сигнали, які отримують в результаті перетворення повідомлень, також відрізняються за своїми параметрами і характером. Це означає, що для передачі різних повідомлень повинні використовуватися різні канали. Крім цього, при організації передачі різних видів повідомлень висуваються різні вимоги до якості такого зв'язку. Всі ці обставини привели до створення декількох видів телекомунікацій, які реалізуються відповідними технічними системами. Державними стандартами визначені такі види електрозв'язку: телефонний, телеграфний, факсимільний, передача газет, передача даних, відеотелефонний зв'язок, телевізійне мовлення, звукове мовлення. Аналогічно існуванню різних видів повідомлень всі види електрозв'язку умовно поділяють на чотири групи, які призначені:

- 1) для передачі повідомлень між ЕОМ;
- 2) для передачі нерухомих оптичних зображень;
- 3) для передачі рухомих оптичних зображень;
- 4) для передачі звукових повідомлень

Класифікація сучасних видів телекомунікацій наведена на рис. 3.9. Охарактеризуємо коротко кожен з них.

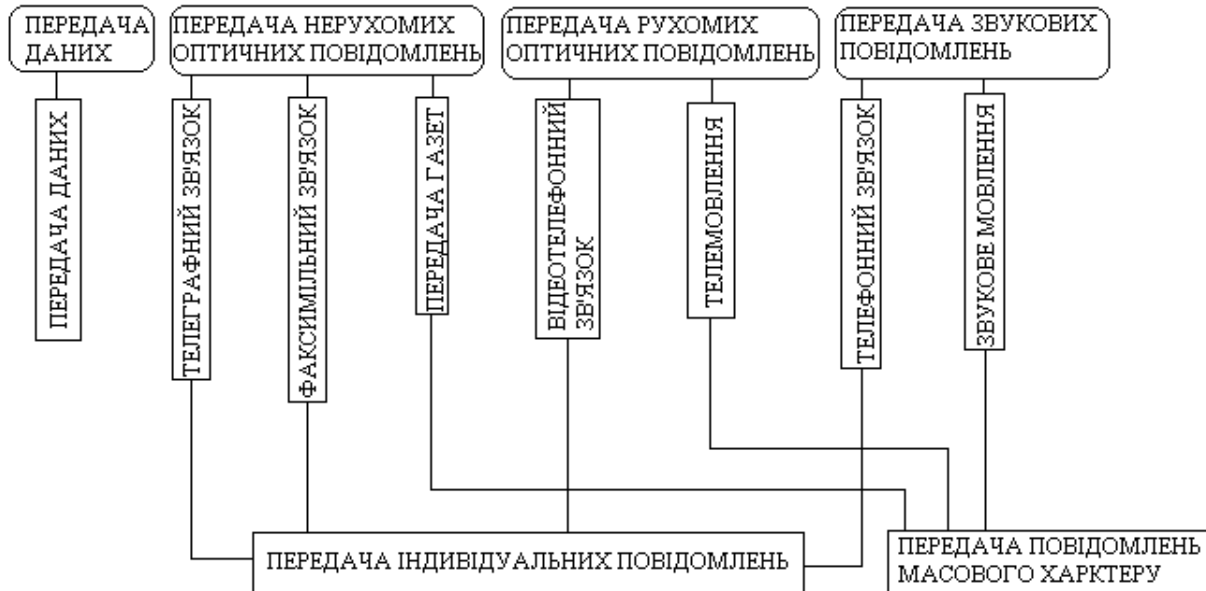


Рисунок 3.9 – Класифікація сучасних видів телекомунікацій

Передача даних забезпечує передачу дискретних повідомлень між ЕОМ. Найчастіше для цього застосовуються сигнали, які мають два рівні – низький і високий. Такі сигнали отримали назву цифрових або двійкових.

Телеграфний зв'язок – один із видів документального зв'язку і також передбачає використання дискретних сигналів. Особливістю такого

зв'язку є наявність в системі передачі кодування, при якому певні цифри, літери або символи згідно з прийнятим кодом замінюються відповідними комбінаціями електричних імпульсів. Телеграфний зв'язок здійснюється в межах окремої телеграфної мережі.

Факсимільний зв'язок забезпечує передачу нерухомих зображень і також відноситься до документальних видів електрозв'язку. Особливістю факсимільного зв'язку є те, що в процесі перетворення зображення в електричний сигнал параметри цього електричного сигналу дозволяють передавати факсимільний сигнал каналами телефонного зв'язку.

Передача газет – окремий вид факсимільного зв'язку, але здійснюється за допомогою каналів, які забезпечують більшу якість і більшу швидкість передачі таких повідомлень. Для здійснення передачі газет використовується оригінальне кінцеве обладнання.

Відеотелефонний зв'язок забезпечує передачу одночасно звукових і оптичних повідомлень. Найширше застосування поступово знаходить у системах мобільного зв'язку. Для його організації необхідно мати широкопasmові канали і відповідну будову абонентських пристроїв.

Телевізійне мовлення – вид зв'язку, при якому існує одне джерело, передавач і дуже велика кількість споживачів інформації. Це приклад односторонньої системи передачі інформації. Для передачі рухомих зображень канал повинен бути широкопasmовим. В цьому виді електрозв'язку, крім рухомих оптичних зображень, передаються також звукові повідомлення.

Телефонний зв'язок призначений для передачі звукових повідомлень, які згідно з рекомендаціями МККТТ, правонаступником якого з 1993 року є спеціалізований орган ООН – Телекомунікаційний сектор стандартизації Міжнародної спілки електрозв'язку (МСЕ-Т), – займають спектр частот шириною 0,3...3,4 кГц. Такий діапазон частот виявляється достатнім для збереження відмінних особливостей мови абонентів, її розбірливості і одночасно дозволяє звести до мінімуму використання частотного ресурсу. Для організації телефонного зв'язку використовують найбільш розгалужені телефонні мережі, які протягом останніх десятиліть інтенсивно доповнюються мережами зв'язку з рухомими об'єктами.

Звукове мовлення – вид зв'язку, при якому забезпечується передача звукових повідомлень до великої кількості споживачів від одного передавача. Для здійснення такого виду зв'язку використовується смуга частот, яка є ширшою за смугу частот для передачі телефонних повідомлень.

Необхідно відзначити, що всі види електрозв'язку не конкурують між собою, а доповнюють один одного, задовольняючи різні потреби людини в передачі повідомлень.

4 ОСНОВИ СУЧАСНОЇ ТЕЛЕФОНІЇ

4.1 Телефонні мережі: структура і класифікація

У середині XIX століття багато вчених і винахідників робили спроби передати людську мову на відстань за допомогою електричного струму. Здійснити практично це вдалося лише у 1861 році німецькому винахіднику Йоганну Ф. Рейсу. На жаль, його апарат, названий телефоном, сучасники сприйняли як цікаву, але марну технічну новинку.

Лише через 15 років Олександр Грехем Белл запатентував конструкцію електромагнітного телефона, що знайшла практичне застосування. Тому початок розвитку телефонного зв'язку відносять до 1876 року. В Україні перші міські телефонні станції з'явилися у 1885 році в Києві.

Телефонний зв'язок є одним із видів електричного зв'язку. Реалізується він за допомогою телефонних мереж.

Телефонна мережа – це комплекс технічних споруд і устаткування, призначений для обміну телефонними повідомленнями. Він складається з телефонних вузлів зв'язку, телефонних станцій, ліній зв'язку й абонентських установок.

Телефонний вузол зв'язку – узагальнене поняття, що означає: 1) складову частину телефонної мережі зв'язку, призначену для об'єднання і розподілу інформаційних потоків; 2) підприємство зв'язку, що надає населенню, виробничим підприємствам, організаціям і установам різні послуги телефонного зв'язку.

Вузол зв'язку – один з найважливіших компонентів телефонної мережі. Крім розв'язання головного завдання – організації тимчасових або (і) постійно діючих (так званих кросових) з'єднань однорідних типових трактів зв'язку, каналів зв'язку і кіл, що належать різним лініям зв'язку, на вузлах зв'язку здійснюється настроювання каналів, усунення пошкоджень ліній тощо.

Комплект устаткування вузла зв'язку і схема розміщення залежать від його призначення. До основних технічних характеристик вузла зв'язку належать: кількість каналів, що комутуються, ємність комутаційного устаткування, обсяг оброблюваної інформації.

Телефонна станція – комплекс технічних засобів, призначених для комутації каналів зв'язку телефонної мережі. На телефонних станціях здійснюється з'єднання певних телефонних каналів – абонентських і з'єднувальних ліній зв'язку – на час телефонних переговорів та їхнє роз'єднання після закінчення переговорів; з цією метою здійснюється об'єднання і розподіл потоків телефонних повідомлень за напрямками зв'язку. Телефонна станція – різновид вузла зв'язку. Зазвичай телефонні станції розміщують в окремому будинку.

На початковому етапі розвитку телефонного зв'язку в телефонних мережах використовувалися виключно ручні телефонні станції, на яких комутацію каналів здійснювали оператори-телефоністи. У ХХ столітті почався процес автоматизації телефонного зв'язку: з'явилися АТС, що вдосконалювалися з розвитком комутаційної техніки.

Лінії зв'язку можуть бути повітряними, кабельними, радіорелейними, оптичними (лазерними) і супутниковими. Для якісної передачі різних видів інформації створюють стандартні (типові) канали, що характеризуються певними параметрами. Одним із таких параметрів є ефективна ширина смуги частот, що становить 300...3400 Гц для передачі телефонних повідомлень.

Залежно від місця в телефонному тракті і способу встановлення з'єднання лінії можуть називатися:

- абонентськими (забезпечують з'єднання телефонних апаратів з телефонними станціями);
- з'єднувальними (забезпечують з'єднання АТС між собою).

Абонентською установкою називається телефонний апарат, що має дисковий або кнопочний номеронабирач.

Типи автоматично комутованих телефонних мереж та структуру загальнодержавної телефонної мережі подано на рис. 4.1.

Загальнодержавна телефонна мережа складається з міжміської телефонної мережі і зональних телефонних мереж.

Міжміська телефонна мережа забезпечує з'єднання автоматичних міжміських телефонних станцій (АМТС) різних зон і слугує для об'єднання зональних телефонних мереж у загальнодержавну мережу.

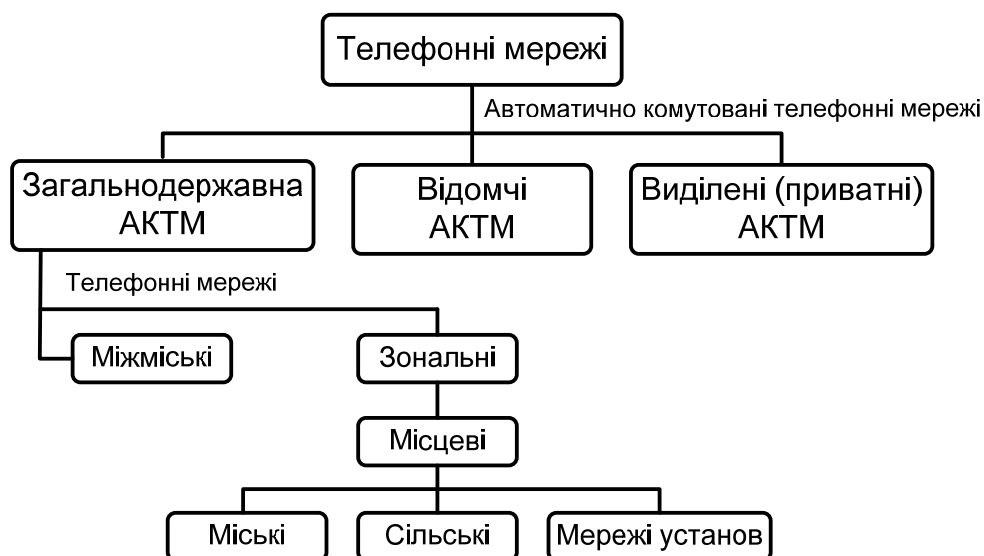


Рисунок 4.1 – Типи телефонних мереж

Зональна телефонна мережа складається з місцевих телефонних мереж, розташованих на території зони, і внутрішньозонової телефонної мережі.

Місцеві телефонні мережі поділяються на міські, які обслуговують місто і найближчі передмістя, та сільські, що забезпечують зв'язок у межах сільського адміністративного району.

Телефонні мережі установ слугують для внутрішнього зв'язку підприємств, установ, організацій і можуть бути з'єднані з мережею загального користування або бути автономними.

4.2 Характеристика сучасного стану систем телефонного зв'язку України

Основним оператором телефонного зв'язку в Україні є відкрите акціонерне товариство «Укртелеком» (www.ukrtel.net, www.ukrtelecom.ua), яке володіє первинною мережею України, магістральними і зональними лініями зв'язку, надає усі види сучасних телекомунікаційних послуг. Сьогодні «Укртелеком» – це підприємство, що має у своєму складі 32 філії, у тому числі 27 регіональних дирекцій, з 373 відокремленими структурними підрозділами.

Серед послуг «Укртелекому» – міжнародний, міжміський і місцевий телефонний зв'язок, дротове радіомовлення, радіозв'язок, радіомовлення і телебачення, документальний електрозв'язок, відеоконференцзв'язок, ISDN, Frame Relay, надання в оренду цифрових каналів, доступ до глобальної мережі Інтернет.

Міжнародний і міжміський телефонний зв'язок України забезпечується за допомогою міжміських телефонних станцій (АМТС). Цифрові АМТС на сьогодні функціонують у всіх обласних центрах України. Місцевим телефонним зв'язком «Укртелеком» забезпечує більш ніж 12 млн. абонентів. Телефонна ємність (кількість телефонів на 100 жителів України) становить більше ніж 25 телефонних номерів, на 100 сімей відповідно 53,4 телефони.

В 2007 році в експлуатацію введено майже 4000 км волоконно-оптичних ліній зв'язку, 446 тис. номерів телефонної ємності. Кількість споживачів мережі широкосмугового абонентського доступу до мережі Інтернет за технологією ADSL (торгова марка «ОГО!») порівняно з 2006 роком збільшилася в 2,8 раза і становить 205 тисяч. Змінюється структура комутаційного устаткування: на зміну координатним АТС (що становлять переважну більшість на місцевих телефонних мережах) приходять цифрові і квазіелектронні.

Головним завданням розвитку вітчизняних систем телефонного зв'язку є:

– модернізація існуючих місцевих ліній зв'язку;

– розвиток магістральних волоконно-оптичних (ВОЛЗ) та радіорелейних ліній зв'язку.

4.3 Основи функціонування телефонних мереж

Система сигналізації СС № 7

У процесі встановлення з'єднання каналами і лініями зв'язку передаються різні сигнали. Вони поділяються на:

- лінійні сигнали (сигнали взаємодії) – лінійна сигналізація;
- сигнали керування – реєстрова сигналізація;
- акустичні (інформаційні) – звукова сигналізація.

Лінійні сигнали можуть передаватися на будь-якому етапі встановлення з'єднання. До них належать: сигнал виклику станції абонентом, сигнал зайнятості (каналу чи комутаційних приладів), сигнал відповіді абонента, сигнал відбою з боку одного з абонентів, сигнал роз'єднання, за яким відбувається звільнення приладів зайнятого сполучного тракту.

Сигнали керування передаються в процесі встановлення з'єднання. Під їхнім впливом утворюється сполучний тракт між лініями абонентів. До сигналів керування належать сигнали набору номера (адресна інформація) і різні сигнали, якими обмінюються керуючі пристрої вузлів і станцій у процесі встановлення з'єднання.

Акустичні сигнали слугують для інформування абонента про хід процесу встановлення з'єднання. До них належать зумерні сигнали: «Відповідь станції», «Зайнятий», «Контроль посилення виклику».

Розрізняють три різновиди сигналізації:

- абонентську (в інтерфейсі «користувач–мережа»);
- внутрішньостанційну (між модулями АТС);
- міжстанційну (між АТС, вузловими станціями, мережевими базами даних, між станціями і центрами технічної експлуатації, між станціями різних мереж).

На різних стадіях розвитку телефонних мереж Міжнародний консультативний комітет з телефонії і телеграфії (нині Міжнародна спілка електрозв'язку), рекомендував різні стандарти систем сигналізації. Сучасною системою сигналізації, що використовується в телефонних системах зв'язку, є система сигналізації СС № 7.

У разі використання централізованої сигналізації сигнальні повідомлення передаються через так званий загальний канал сигналізації (ЗКС). Загальний канал сигналізації являє собою сукупність засобів, що забезпечують прийом вимог на передачу лінійних, реєстрових та інформаційних сигналів, формування пакетів даних змінної довжини із сигнальною й іншою інформацією, передачу і прийом кадрів, необхідну

достовірність і задоволення вимог щодо допустимих затримок. В ЗКС використовується пакетний спосіб передачі і комутації.

Система сигналізації № 7 – це багатофункціональний протокол керування доставкою повідомлень змінної довжини в пакетній формі. Цей протокол спочатку призначався для керування доставкою сигнальних повідомлень користувачів телефонної мережі загальним каналом. З часом функції протоколу системи сигналізації №7 розширювалися завдяки інтегруванню багатьох служб в одній мережі. На сьогодні протокол СС №7 вважається універсальним, здатним забезпечувати передачу будь-яких даних у мережі з пакетною комутацією.

Основними перевагами загальноканальної системи сигналізації № 7 є:

- швидкість – час встановлення з'єднання не перевищує однієї секунди;
- висока продуктивність – один канал сигналізації здатний одночасно обслуговувати близько тисячі розмовних каналів;
- економічність – мінімальна кількість устаткування на комутаційній станції;
- надійність – можливість альтернативної маршрутизації в мережі сигналізації;
- гнучкість – можливість передачі будь-яких даних (телефонії, цифрових мереж з інтеграцією служб, мереж рухомого зв'язку, інтелектуальних мереж тощо).

Для обміну повідомленнями за протоколом СС № 7 створюється сигнальна мережа, що складається з *пунктів сигналізації* (Signaling Point) і з'єднуючих їх *ланок сигналізації* (Signaling Link).

Система нумерації

Для ідентифікації з'єднуваних абонентських пристроїв використовується система нумерації. Вона може бути закритою або відкритою.

Закрита – якщо набирається однаковий номер незалежно від виду з'єднання (місцеве, зональне, міжміське).

Відкрита – коли номер, що набирається, залежить від виду з'єднання (місцеве – семизначний, зональне – восьмизначний, міжміське – десятизначний).

В Україні (як і Росії) використовується відкрита система нумерації, що передбачає поділ території на зони семизначної нумерації з ємністю місцевих мереж не більшою 8 млн.

Нумерація зональних мереж здійснюється єдиними тризначними міжміськими кодами (АВС). При цьому цифра А не повинна дорівнювати 1 чи 2.

Для нумерації при міжнародному зв'язку МККТТ присвоїв однозначні коди відповідним регіонам (табл. 4.1).

Таблиця 4.1 – Коды окремих регіонів для міжнародного зв'язку

Регіон	
Північна і Центральна Америка	1
Африка	2
Європа	3 і 4
Південна Америка	5
Мала Азія, Австралія, Океанія	6
Країни колишнього СРСР	7
Центральна Азія і Далекий Схід	8
Індія і Близький Схід	9

У кожній з цих зон країні присвоюються одно-, дво- і тризначні коди, першою цифрою яких є однозначний код регіону. Загальна кількість знаків не повинна перевищувати 11.

Імпульсний і тоновий набір

Для набору номера абонента в телефонній мережі може підтримуватися один із двох способів – імпульсний і тоновий набір.

Імпульсний або декадно-імпульсний набір передбачає передачу по абонентській лінії для кожної цифри номера відповідної кількості імпульсів (шляхом зміни напруги сигналу, що передається). Тоновий (частотний) набір передбачає використання для набору кожної з цифр номера відповідних їй частот.

4.4 Схеми побудови телефонних мереж

Схеми міжстанційних зв'язків

Найпростішою телефонною мережею є нерайонована мережа зв'язку, в якій абонентські лінії включені безпосередньо в одну телефонну станцію (рис. 4.2).

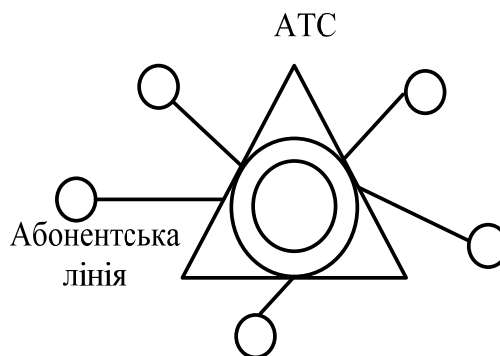


Рисунок 4.2 – Нерайонована телефонна мережа

Районована телефонна мережа передбачає виділення декількох телефонних районів, кожний з яких має АТС із включеними в неї абонентськими лініями (рис. 4.3).

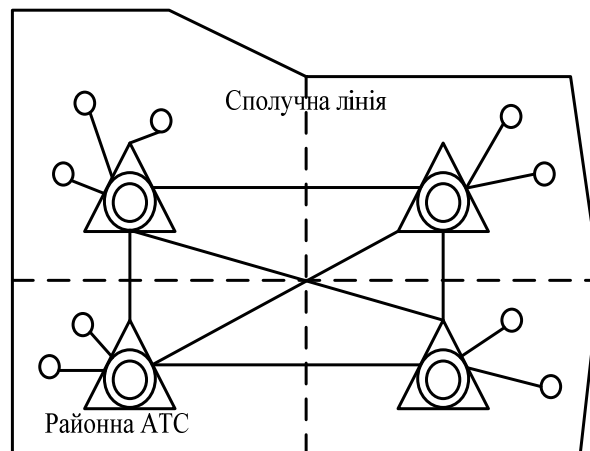


Рисунок 4.3 – Районована телефонна мережа

Між собою ж станції телефонних районів можуть з'єднуватися за такими принципами:

- «кожна з кожною» – використовується, коли середня ємність мережі не перевищує 8000 номерів. У мережах великої ємності за таким принципом з'єднуються АТС всередині вузлових районів;
- радіальний – використовується для зв'язку опорної АТС з підстанціями або станціями установ (УАТС), а також у нерайонованих мережах;
- з вузлами вхідного і вихідного повідомлень – використовується в містах, де утворюються великі вузлові райони (рис. 4.4). Можуть бути також з'єднання лише з вузлами вхідних повідомлень.

Загальні принципи побудови мереж (у тому числі і мереж телефонного зв'язку) розглянуті у підрозділі 7.1.

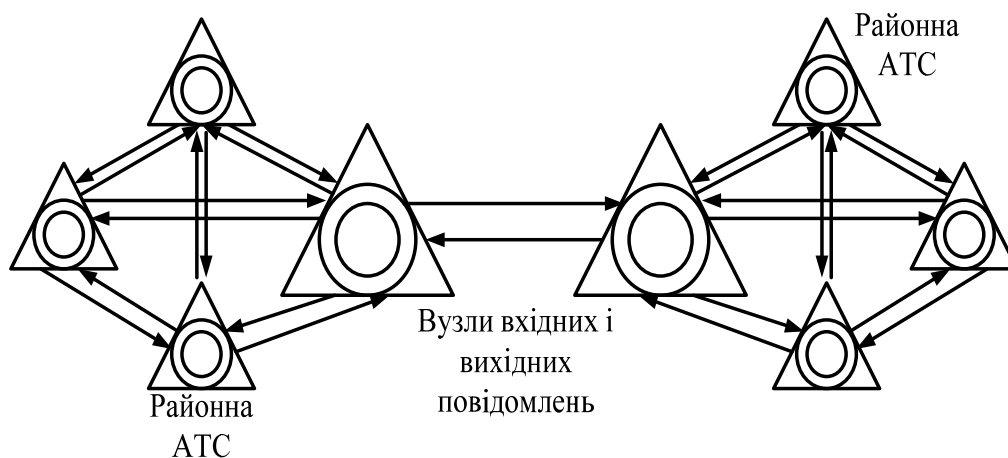


Рисунок 4.4 – З'єднання з вузлами вхідних і вихідних повідомлень

Побудова абонентської мережі

Лінії, що зв'язують абонентів з вузлами комутації (абонентська мережа), будують за шафовою системою (рис. 4.5).

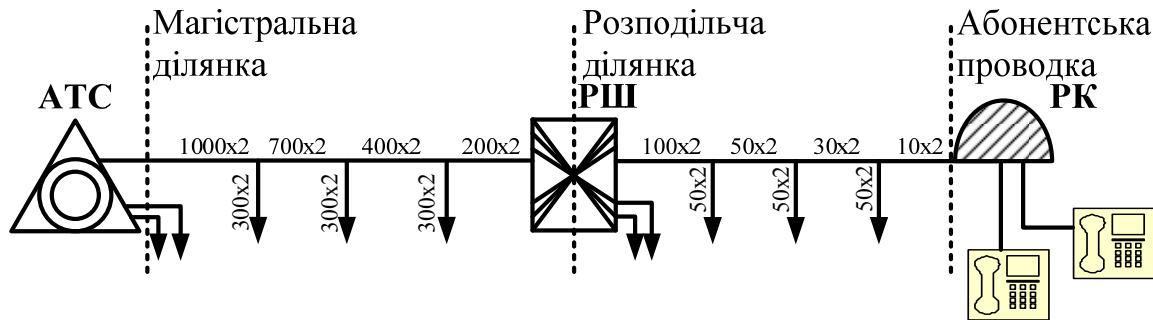


Рисунок 4.5 – Схема абонентської мережі

При цьому абонентські лінії поділяються на такі види:

- магістральні (від АТС до розподільчої шафи (РШ));
- розподільчі (від розподільчої шафи до розподільчої коробки (РК));
- абонентська проводка (від розподільчої коробки до телефонного апарата абонента).

Відповідно кабелі, що прокладаються на певній ділянці мережі мають назви: з'єднувальні, магістральні, розподільчі та абонентські.

5 ТЕЛЕФОННІ АПАРАТИ

Телефонні апарати (ТА) можна розділити на такі три групи:

– «класичний» (електромеханічний або електронний ТА, включений в міську або відомчу АТС по двопроводовій лінії);

– *безшнуровий* (cordless) ТА, який відрізняється від «класичного» тим, що мікротелефонна трубка зв'язана з станційною частиною не шнуром, а радіоканалом;

– радіотелефон мобільного зв'язку (РТА) (стільниковий, супутниковий телефон, транкінговий і ін.), який відрізняється повною відсутністю лінії зв'язку з АТС.

Класифікацію «класичних» ТА (без ТА спеціального призначення, таксофонів, гучномовних ТА) можна подати так:

– ТА з дисковим номеронабирачем, електромеханічним приймачем виклику, вугільним і неугільним мікрофоном – третій клас;

– ТА з кнопковим номеронабирачем, тональним приймачем виклику, неугільним мікрофоном – другий клас;

– ТА з додатковими функціональними можливостями – перший клас;

– багатофункціональні ТА – вищий клас.

5.1 Електроакустичні перетворювачі

Мікрофон – це пристрій для перетворення акустичних коливань повітряного середовища в електричні сигнали.

Існують різні типи мікрофонів, які знаходять широке застосування в системах радіомовлення, телебачення, телефонії, озвучення, звукопідсилення, запису і підсилення звуку. Мікрофон є першою і однією з найбільш важливих ланок будь-якого електроакустичного тракту. Тому його властивості мають великий вплив на якість роботи цього тракту.

Мікрофони залежно від призначення поділяють на професійні і побутові. Перші з них використовують при професійному звукозаписі в радіомовленні, телебаченні, системах звукопідсилення, для акустичних вимірювань тощо. Побутові мікрофони використовують при домашньому звукозаписі.

За способом перетворення коливань мікрофони поділяють на:

- *електродинамічні* (electrodynamic) (стрічкові і котушкові),
- *електростатичні* (electrostatic) (конденсаторні і електретні),
- електромагнітні,
- вугільні тощо.

За діапазоном частот, що сприймається мікрофоном:

- вузькосмугові (мовні),
- широкосмугові (музичні).

За спрямованістю:

- неспрямовані (кругові),
- двосторонньоспрямовані (вісімкові або косинусоїдальні),
- односторонньоспрямовані (кардіоїдні, суперкардіоїдні, гіперкардіоїдні),
- гостроспрямовані.

За завадозахищеністю:

- шумозахищені,
- звичайного виконання.

За електроакустичними параметрами мікрофони поділяють на чотири групи складності: нульова (вища), перша, друга, третя. Мікрофони нульової, першої і другої груп складності призначені для звукопередачі, звукозапису і звукопідсилення музики і мови. Мікрофони третьої групи складності призначені тільки для мови. Крім того, за деякими параметрами мікрофони поділяються на пристрої вищої і першої категорії якості.

Побудова і принцип дії мікрофонів

Будь-який мікрофон складається з двох систем: акустико-механічної та механіко-електричної.

Властивості акустико-механічної системи залежать від того, чи впливає звуковий тиск на одну або обидві сторони діафрагми (мікрофон тиску, а також від того, чи симетричний цей вплив (мікрофон градієнта тиску) чи на одну із сторін діафрагми діють коливання, безпосередньо збуджуючі її, а на іншу – що пройшли через який-небудь механічний або акустичний опір чи систему затримки часу (асиметричний мікрофон градієнта тиску).

Великий вплив на характеристики мікрофону має його механіко-електрична частина.

Першим набув поширення вугільний мікрофон, який і до цього часу використовують в телефонії. Його дія ґрунтується на зміні опору між зернами вугільного порошку при зміні тиску на їх сукупність.

Вугільний мікрофон працює таким чином (рис. 5.1, а). При впливі звукового тиску на діафрагму (мембрану) 1 вона починає коливатися. У такт з цим коливанням змінюється і сила стиснення зерен вугільного порошку 2, у зв'язку з чим змінюється опір між електродами 3 і 4, а при постійній електричній напрузі змінюється і струм через мікрофон. Якщо, наприклад, включити мікрофон до первинної обмотки трансформатора Т, то на затискачах його вторинної обмотки виникатиме змінна напруга, форма кривої якої відображатиме форму кривої звукового тиску, що впливає на діафрагму мікрофона. Основна перевага вугільного мікрофона – висока чутливість, що дозволяє використовувати його без підсилювачів. Недоліки – нестабільність роботи і шум через те, що корисний електричний сигнал виробляється при розриві і відновленні контактів між

окремими зернами порошку, велика *нерівномірність* (granularity, inequality, nonuniformity) частотної характеристики і значні нелінійні спотворення.

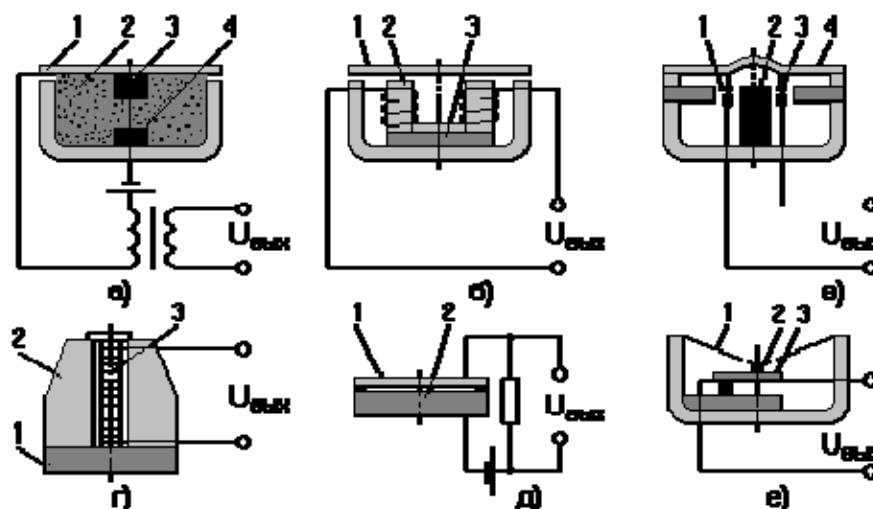


Рисунок 5.1 – Побудова мікрофонів: а – вугільного; б – електромагнітного; в – електродинамічного; г – стрічкового; д – конденсаторного; е – п'єзоелектричного

Після вугільного мікрофона з'явився електромагнітний мікрофон, який працює таким чином. Перед полюсами 2 магніту 3 розташовують феромагнітну діафрагму 1 або прикріплений до неї якор (рис. 5.1, б). При коливаннях діафрагми під впливом на неї звукового тиску змінюється магнітний опір системи, а отже, і магнітний потік через витки обмотки, намотаної на *магнітопровід* (magnetic core) цієї системи. Завдяки цьому на затисках обмотки виникає змінна напруга звукової частоти, що є вихідним сигналом мікрофона. Електромагнітний мікрофон стабільний в роботі. Проте йому властиві вузький частотний діапазон, велика нерівномірність частотної характеристики і значні нелінійні спотворення.

На противагу електромагнітному мікрофону надзвичайно широке розповсюдження для озвучування та звукопідсилення отримав електродинамічний мікрофон в своїх двох модифікаціях – катушковій та стрічковій.

Принцип дії електродинамічного катушкового мікрофона полягає в такому. У кільцевому зазорі 1 магнітної системи, яка має постійний магніт 2, знаходиться рухома катушка 3, скріплена з діафрагмою 4 (рис. 5.1, в). При дії на діафрагму звукового тиску вона разом з рухомою катушкою починає коливатися. Через це у витках катушки, які перетинаються магнітними силовими лініями, виникає напруга, що є вихідним сигналом мікрофона. Електродинамічний мікрофон стабільний, має досить широкий частотний діапазон, порівняно невелику нерівномірність частотної характеристики.

В стрічковому електродинамічному мікрофоні магнітна система складається з постійного магніту 1 і полюсних наконечників 2, між якими

натягнута легка, зазвичай алюмінієва, тонка (близько 2 мкм) стрічка 3 (рис. 5.1, г). При впливі на обидві її сторони звукового тиску виникає сила, під дією якої стрічка починає коливатися, перетинаючи при цьому магнітні силові лінії, внаслідок чого на її кінцях з'являється напруга. Оскільки опір стрічки дуже малий, то для зменшення спаду напруги на з'єднувальних провідниках напруга, що з'являється на кінцях стрічки, подається на первинну обмотку підсилювального трансформатора, розміщеного безпосередньо поблизу стрічки. Напруга на затискачах вторинної обмотки трансформатора є вихідною напругою мікрофона. Частотний діапазон цього мікрофона досить широкий, а нерівномірність частотної характеристики невелика.

Для електроакустичних трактів високої якості найбільшого поширення в даний час набув конденсаторний мікрофон (рис. 5.1, д). Він працює таким чином. Жорстко натягнута мембрана 1 під впливом звукового тиску може коливатися відносно нерухомого електрода 2, який разом з мембраною являють собою пластини електричного конденсатора. Конденсатор включається в електричне коло послідовно з джерелом постійного струму E і активним опором навантаження R . При коливаннях мембрани ємність конденсатора змінюється з частотою звукового тиску, що впливає на мембрану, у зв'язку з чим в електричному колі з'являється змінний струм тієї ж частоти, і на опорі навантаження виникає спад напруги, що є вихідним сигналом мікрофона. Опір навантаження повинен бути великим, щоб спад напруги на ньому не зменшувався значно на низьких частотах, де ємнісний опір конденсатора дуже великий і експлуатація такого мікрофона була б неможливою через порівняно невеликий опір мікрофонних ліній та навантаження. З цієї причини майже у всіх сучасних конденсаторних мікрофонах передбачені конструктивно пов'язані з самим мікрофоном підсилювачі, які мають малий коефіцієнт підсилення (близько 1), високий вхідний і низький вихідний опори. Конденсаторні мікрофони мають найвищі якісні показники: широкий частотний діапазон, малу нерівномірність частотної характеристики, низькі нелінійні і перехідні спотворення, високу чутливість і низький рівень шумів.

Електретні мікрофони, по суті, ті ж конденсаторні, але постійна напруга для них забезпечується не звичайним джерелом, а електричним зарядом мембрани або нерухомого електрода, матеріали яких відрізняються тим, що здатні зберігати цей заряд тривалий час.

В п'єзоелектричних мікрофонах звуковий тиск впливає безпосередньо або через діафрагму 1 і скріплений з нею стержень 2 на п'єзоелектричний елемент 3 (рис. 5.1, е). При деформації останнього на його обкладках внаслідок п'єзоелектричного ефекту виникає напруга, що є вихідним сигналом мікрофона.

Дія транзисторних мікрофонів (мало поширених) ґрунтується на тому, що під дією звукового тиску на діафрагму і вістря, що скріплено з нею і є одночасно емітером напівпровідникового тріода, змінюється опір емітерного переходу. Хоча транзисторні мікрофони з діафрагмою досить чутливі, але вони недостатньо стабільні і їх частотні характеристики навіть в порівняно вузькому діапазоні частот нерівномірні.

Стереофонічний мікрофон є системою з двох мікрофонів, конструктивно розміщених в спільному корпусі на одній осі один над одним. Для запису за системою XY застосовують стереофонічні мікрофони, що складаються з двох однакових монофонічних мікрофонів з кардіоїдними характеристиками спрямованості, причому акустичні осі лівого і правого мікрофонів повернені на 90° одна відносно одної (рис. 5.2, а). При запису за системою MS один з мікрофонів (мікрофон середини) має кругову характеристику спрямованості, а інший (мікрофон сторони) – косинусоїдальну характеристику спрямованості (рис. 5.2, б).

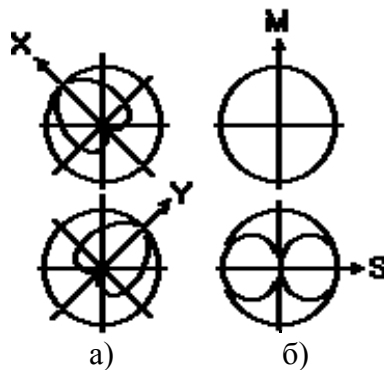


Рисунок 5.2 – Характеристики спрямованості стереофонічних мікрофонів

Радіомікрофон є системою, що складається з мікрофона, переносного малогабаритного передавача і стаціонарного приймача. Як мікрофон найчастіше використовують динамічний котушковий або електретний. Передавач або об'єднують в одному корпусі з мікрофоном, або виконують у вигляді кишенькового приладу. Він випромінює енергію радіочастот в УКХ-діапазоні на одній з фіксованих частот. Внаслідок впливу додаткових перетворень в системі «передавач – ефір – приймач» якісні параметри радіомікрофона поступаються параметрам звичайного мікрофона.

Для прийому мови в умовах навколишнього шуму застосовують ларингофони. Ці прилади сприймають механічні коливання гортані, що виникають при мовотворенні. Для цього ларингофони (зазвичай пара) притискаються до шиї в області гортані. За принципом перетворення раніше застосовувалися вугільні ларингофони, а тепер – електромагнітні. Відмінність ларингофонів від мікрофонів полягає в тому, що в них немає діафрагм, на які впливає звуковий тиск, а рухомий елемент внаслідок

інерції пересувається відносно корпусу, що коливається в такт з коливаннями гортані, до якої він прилягає.

5.2 Електромеханічний телефонний апарат

ТА містить такі основні функціональні блоки: пристрій виклику (ПВ), номеронабирач (НН), розмовні прилади, до яких відносяться мікрофон (М), телефон (Т), телефонний трансформатор (Тр). Перехід схеми з режиму «очікування» у «розмовний» здійснюється важелем перемикавання (ВП). Структурна схема телефонного апарата наведена на рис. 5.3.

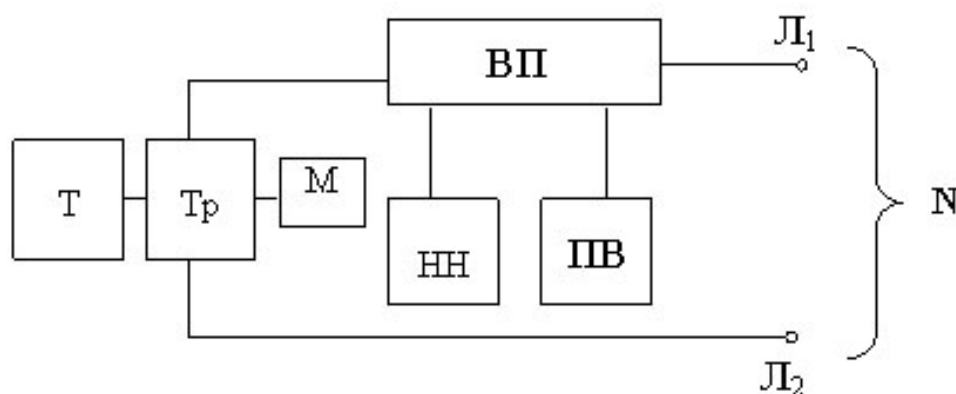


Рисунок 5.3 – Структурна схема телефонного апарата

Прилади ТА:

а) телефон – прилад, який перетворює енергію змінного струму тональної частоти, що надходить на телефонний апарат, у звукові коливання;

б) мікрофон – призначений для перетворення звукових коливань в електричні;

в) трансформатор – призначений, головним чином, для зв'язку окремих елементів схеми і узгодження їх опорів з вхідним опором лінії. Він відокремлює коло живлення мікрофона від кола змінного струму телефона за постійним струмом і використовується для створення схеми придушення місцевого ефекту. Застосування телефонного трансформатора дозволяє збільшувати дальність дії телефонного зв'язку;

г) номеронабирач – призначений для формування сигналів адресної інформації про абонентську лінію, що викликається, або різні служби телефонної мережі, які передаються на АТС;

д) дзвінок – перетворює електричний сигнал виклику частотою 25 Гц в акустичні коливання.

Типи розмовних схем ТА

Місцевий ефект

Прослуховування абонентом через телефон свого апарата власної мови при розмові і навколишніх шумів називається місцевим ефектом. Дія місцевого ефекту, який заважає розмові, пов'язана з явищами маскування звуків і адаптацією слуху. Власна розмова і навколишні шуми, що впливають на мікрофон, (вугільний мікрофон має підсилювальну здатність з коефіцієнтом $K_m = 1000$), через схему ТА і телефон створюють завади, що діють на вухо абонента.

Під маскуванням звуків розуміється зменшення чутливості вуха внаслідок дії якого-небудь звуку, що заважає, або шуму.

Під адаптацією слуху розуміється властивість вуха пристосовуватися до перевантаження гучними звуками, що призводить також до зниження його чутливості.

Найпростіші схеми ТА за принципом побудови розмовної частини схеми можна розділити на апарати з мостовою схемою та апарати з компенсаційним принципом придушення місцевого ефекту.

Мостова схема придушення місцевого ефекту

Протимісцева схема мостового типу наведена на рис. 5.4. Мікрофон M , телефон T , балансний контур Z_6 та лінія Z_L зв'язані між собою за допомогою диференціального трансформатора Tr з трьома обмотками: W_L – лінійна, W_6 – балансна, W_m – телефонна.

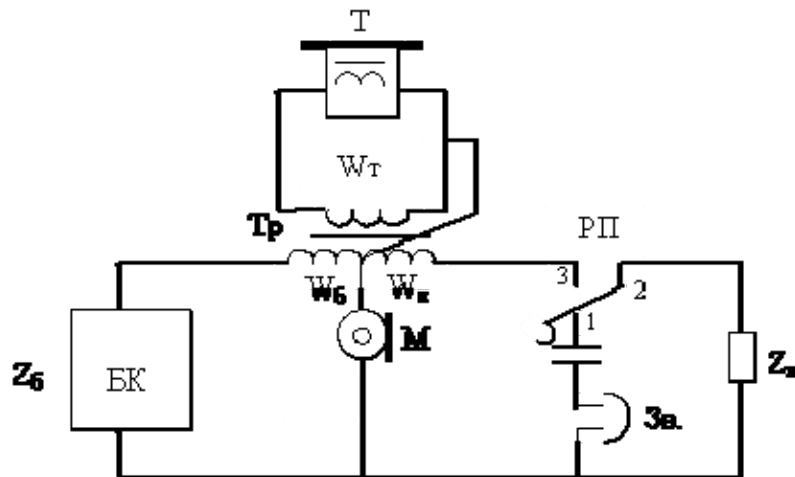


Рисунок 5.4 – Схема придушення місцевого ефекту

Передача розмови. Схема ТА в режимі передачі наведена на рис. 5.5, а). При передачі розмови мікрофон M є генератором змінної ЕРС, яка створюється з появою розмовного струму, що замикається через обмотку W_L в лінійному колі і через обмотку W_6 в балансному колі. За рахунок протікання струму в лінійному колі – мікрофон (E_m), обмотка W_L , опір Z_L , мікрофон (E_m) – відбувається передача розмови. Розмовний струм в

балансному колі – мікрофон (E_m), обмотка W_6 , балансний контур Z_6 , мікрофон (E_m) – забезпечує придушення місцевого ефекту схеми ТА. Для забезпечення повного придушення місцевого ефекту при передачі необхідно, щоб ампер-витки, що створюються струмом лінійної обмотки I_L Тр, дорівнювали ампер-виткам, що створюються струмом балансної обмотки I_6 Тр, а саме:

$$I_L \cdot W_L = I_6 \cdot W_6.$$

При цьому розмовні струми, протікаючи в протилежних напрямках по обмотках W_L і W_6 , створюють два магнітних потоки, які у свою чергу викликають появу в телефонній обмотці трансформатора двох рівних за величиною і протилежних за напрямом магнітних потоків. Результируючий магнітний потік при цьому дорівнюватиме нулю, в зв'язку з чим в телефонній обмотці W_m не індукуватиметься змінна ЕРС і власний голос в телефоні не прослуховуватиметься. Слід зазначити, що повного придушення місцевого ефекту досягати не обов'язково, досить зменшити рівень сигналу, що прослуховується. Зазвичай Z_6 підбирають під середню лінію з параметрами Z_L .

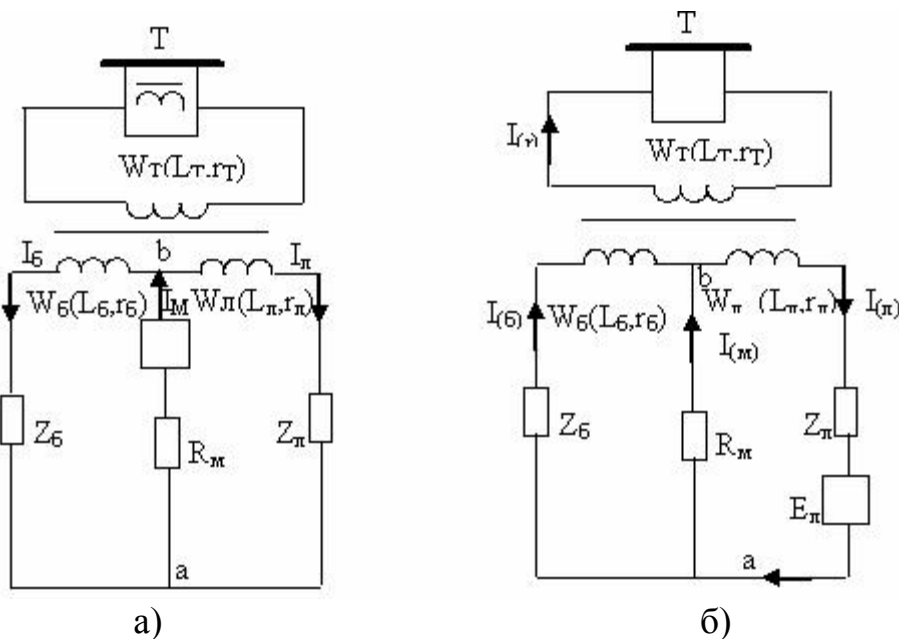


Рисунок 5.5 – Еквівалентна мостова схема:
а) при роботі на передачу; б) при роботі на прийом

Прийом розмови. При прийомі (рис. 5.5, б) лінію можна розглядати як генератор змінної ЕРС E_L з внутрішнім опором Z_L . При цьому розмовний струм, що надходить в схему ТА, замикається по такому колу:

$$E_L, \frac{R_m}{Z_6, W_6}, W_L, Z_L, E_L.$$

Розмовний струм, що надходить з лінії, протікає в схемі ТА через W_l і W_6 в одному напрямі. Завдяки цьому в телефонній обмотці трансформатора створюється магнітний потік, який дорівнює сумі магнітних потоків від W_l і W_6 . У обмотці W_m індукується сумарний магнітний потік. Телефон перетворює електричні коливання в звукові і абонент чує вхідну розмову.

5.3 Багатофункціональні телефонні апарати

В електронному ТА, як і в електромеханічному, можна виділити основні функціональні блоки: важільний перемикач (ВП); викличний пристрій (ВП); номеронабирач (НН); мікрофон (М); телефон (Т); протимісцева схема. Проте схемотехніка перерахованих вузлів в електронному ТА набагато складніша і для реалізації цих вузлів використовується сучасна елементна база.

На сьогодні існує багато варіантів електронних ТА різних виробників. Розглянемо функціональну схему електронного ТА виробництва Росії.

Схема телефонного апарата побудована на електронних елементах, які повинні забезпечуватися електроживленням. Для спрощення електроживлення схеми здійснюється через абонентську лінію. Для забезпечення правильної полярності електроживлення, схема телефонного апарата включається в лінію через діодний міст ДМ.

При знятті мікротелефонної трубки важільний перемикач ВП підключає ТА до абонентської лінії, що пов'язує його з АТС (рис. 5.6). В результаті спаду напруги на лінії напруга на лінійних затисках знижується до величини 5...15 В. При цьому схема "Відбій" подачі напруги на інтегральну мікросхему (ІС), здійснює початкову установку ІС НН в режим готовності до набору номера.

У режимі готовності до набору номера ІС НН формує сигнал керування імпульсним ключем (ІК) і розмовним ключем (РК). Отримавши ці сигнали, розмовний вузол, що складається з мікрофонного і телефонного підсилювачів і протимісцевої схеми, за допомогою РК підключається до лінії і в мікротелефонній трубці прослуховується відповідь станції. ІК у цей момент в розімкненому (закритому) стані.

Абонент починає набір номера. При натисненні кнопок клавіатури ІС НН формує послідовність імпульсів, що керують роботою ІК і РК. ІК замикає лінію накоротко і розмикає її, формуючи посилені імпульси постійного струму, які керують роботою приладів АТС. РК відключає розмовний вузол від загальної лінії на час проходження посилок НН, що усуває неприємні клацання в телефоні при наборі номера.

Після закінчення набору РК знов підключає розмовний вузол і в трубці прослуховуються тональні сигнали від АТС, що свідчать про

закінчення встановлення з'єднання і надходження в лінію абонента посилок сигналу виклику. При знятті абонентом, що викликається, мікротелефонної трубки встановлюється з'єднання між двома прикінцевими терміналами (ТА).

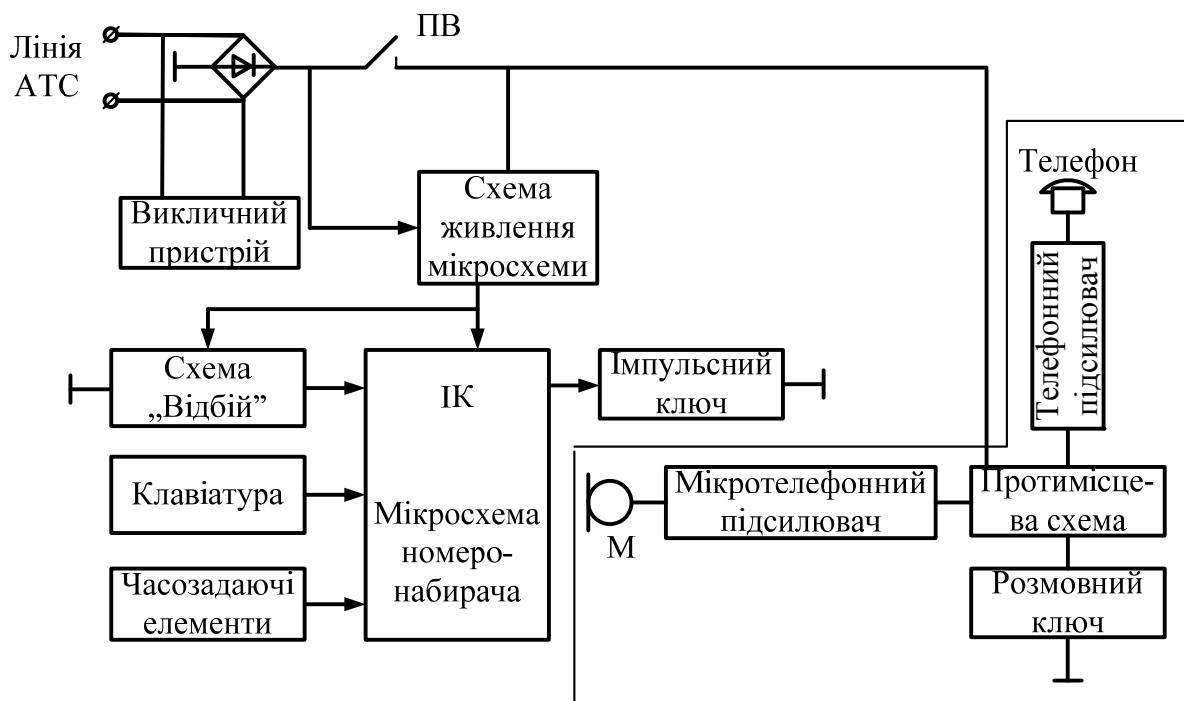


Рисунок 5.6 – Структурна схема ТА виробництва Росії

Після закінчення розмови мікротелефонна трубка повертається на важіль. ВП розмикає коло, і схема ТА переходить в режим очікування виклику. В режимі очікування схема живлення мікросхеми забезпечує підживлення ОЗУ ІС НН, в якому зберігається останній набраний номер, схема «Відбій» забороняє набір номера з клавіатури з метою збереження останнього набраного номера, а пристрій виклику готовий до прийому сигналів виклику АТС.

Під час отримання сигналу виклику від АТС пристрій виклику ПВ виробляє звукові сигнали, що інформують абонента про виклик іншим абонентом. До зняття мікротелефонної трубки схема ТА перебуває в режимі очікування.

При знятті трубки ІС встановлюється в початковий стан з тією лише різницею, що замість сигналу відповіді станції в мікротелефонній трубці прослуховується голос абонента.

Після закінчення розмови натисненням кнопки «Відбій» на клавіатурі схема ТА переводиться в початковий стан.

Принципи і алгоритми роботи ТА вироблені впродовж сотні років, ТА удосконалюються і їх додаткові (сервісні) можливості безперервно розширюються і доповнюються, дозволяючи абонентам ефективніше

використовувати телефонну мережу і економити свій час та кошти. У таких ТА розширені можливості базових функцій: обробка мови, набір номера, виклик абонента тощо.

Розширені можливості розмовного тракту

– «Регулювання гучності» мови в телефонній трубці. Користувач може регулювати гучність звучання голосу абонента на свій розсуд. Регулювання може бути плавним або ступінчастим.

– «Прослуховування лінії». Це коло використовується для підсилення сигналу, щоб його могли чути одночасно декілька чоловік через гучномовець.

– «Вільні руки» при розмові, тобто повний гучномовний режим. Використовуючи це коло, абонент може перевести бесіду через телефонну трубку («тиха розмова») на додатковий мікрофон і гучномовець для проведення телефонних конференцій.

Розширені можливості з набору номера

– «Повтор». Останній набраний телефонний номер автоматично заноситься в буфер пам'яті. При цьому стирається попередній записаний в пам'ять телефонний номер. Повторний набір виконується одним натисненням клавіші «Повтор» і застосовується, коли абонент, що викликається, не бере трубку або тимчасово зайнятий.

– «Розширений повтор». Телефонні номери довгий час зберігаються в окремому пристрої пам'яті. Вони не стираються при наборі нових номерів. Для занесення телефонних номерів в такий пристрій пам'яті є спеціальна кнопка. Телефонування з пам'яті організовується натисненням спеціальної кнопки і кнопки номера комірки пам'яті.

– «Маскуючий тон». Тихі тони звучать в трубці, повідомляючи, що натискаються кнопки номеронабирача.

– «Екстрений дзвінок». Дозволяє проводити прямий набір номера по «гарячій лінії», наприклад 101, 102, 103 тощо. Заздалегідь ці номери необхідно ввести у відповідний розділ пам'яті.

– «Блокнот для заміток». Дозволяє занести в пам'ять телефонний номер, якщо він був повідомлений під час ведення телефонної розмови. Після закінчення розмови і зняття трубки цей номер може бути набраний автоматично, якщо натискається відповідна кнопка.

– «Каталог постійних абонентів». Цей пристрій містить каталог абонентів, з якими найчастіше встановлюються з'єднання. При використанні в ТА стандартної клавіатури їх число не перевищує 10.

– «Ланцюговий набір». Це набір декількох груп цифр підряд, що зберігаються в різних комітках пам'яті. Такий набір зручний при наборі довгих складних абонентських номерів. У одній комітці пам'яті може

зберігатися міжнародний код країни і міста, а в декількох інших – номер абонента з цієї країни або міста, з якими абонент часто розмовляє.

– «Упереджене телефонування при роботі з міні-АТС». Упереджене телефонування використовується, якщо ТА підключений до власної міні-АТС. Щоб з такого ТА встановити з'єднання з абонентом місцевої міської телефонної мережі, необхідно набрати одну або декілька цифр. Після цього буде почутий сигнал готовності міської АТС, і лише потім можна набирати необхідний міський (або міжміський) номер абонента. Щоб уникнути постійного набору одного і того ж коду «виходу в місто», введений режим «упередженого телефонування».

– «Набір номера без зняття трубки». У цьому режимі абонент проводить набір номера, не знімаючи трубки. Для прослуховування лінії використовується вбудований гучномовець. Абонент знімає трубку після відповіді абонента, що викликається.

– «Комбінований набір номера». Відповідно до існуючих двох методів набору абонентського номера (імпульсного і тонального) на телефонних мережах різних країн знаходяться в експлуатації АТС, що приймають набраний номер абонента тим або іншим способом. З економічних міркувань телефонні компанії застосовують ТА, що мають обидва способи набору номера. Ці ТА можуть використовуватися для комбінованого набору номера. Перша частина телефонного номера повинна бути набрана імпульсним способом, друга частина номера (зазвичай при встановленні з'єднання на великі відстані) тональним способом.

Крім того, такі ТА можна використовувати для роботи з обладнанням, яке потребує низькошвидкісної передачі даних (банківські операції з будинку, перевірка кредитних карток, дистанційне керування).

Розширені можливості з виклику абонента

Як пристрій виклику абонента використовуються звукові генератори: прості і багатотональні. Деякі з них відтворюють короткі уривки мелодій.

5.4 Безшнурові телефонні апарати

Функціональна схема

Термін «безшнуровий телефон» закріпився за апаратами, що здійснюють зв'язок між абонентами по радіоканалу і телефонних лініях зв'язку через АТС. Безшнурові телефонні апарати (БШТА) утворюють клас малопотужних приймачів-передавачів, основним призначенням яких на першому етапі була заміна шнура телефонної трубки бездротовою радіолінією для забезпечення мобільності абонента. Принцип роботи мереж малопотужних радіотелефонів з точки зору мікростільникової

концепції їх побудови аналогічний мобільному зв'язку абонентів стільникових мереж, а тенденція інтеграції мереж безшнурових індивідуальних телефонів з стільниковими мережами рухомого зв'язку і пейджинговими системами ставить ці апарати на одне з перших місць. Зона дії безшнурових телефонів 100-300 м залежно від місцевих умов. Для побутового використання такої зони цілком достатньо.

В найпростішому варіанті БШТА – це пристрій, що складається з переносної мікротелефонної трубки (ПМТ) і стаціонарного блока (СБ), під'єданого до абонентської лінії телефонної мережі загального користування. Зв'язок між цими блоками здійснюється по радіоканалу з використанням амплітудної або частотної модуляції. Таким чином, безшнуровий телефон – це об'єднані в одному пристрої радіостанція і електронний телефонний апарат.

В стаціонарному блоці (рис. 5.7) встановлені всі функціональні вузли, що здійснюють взаємодію з телефонною лінією, своя система управління і повноцінна УКХ-радіостанція. Схема управління включає такі пристрої, як детектор виклику, дзвінок, реле захоплення лінії. Джерелом живлення для СБ є звичайна електрична мережа. До складу СБ входить також зарядний пристрій для акумуляторів, приймач-передавач, мікрофон і телефонний капсульт. У СБ і в ПМТ встановлені окремі незалежні мікропроцесори, що керують ними.

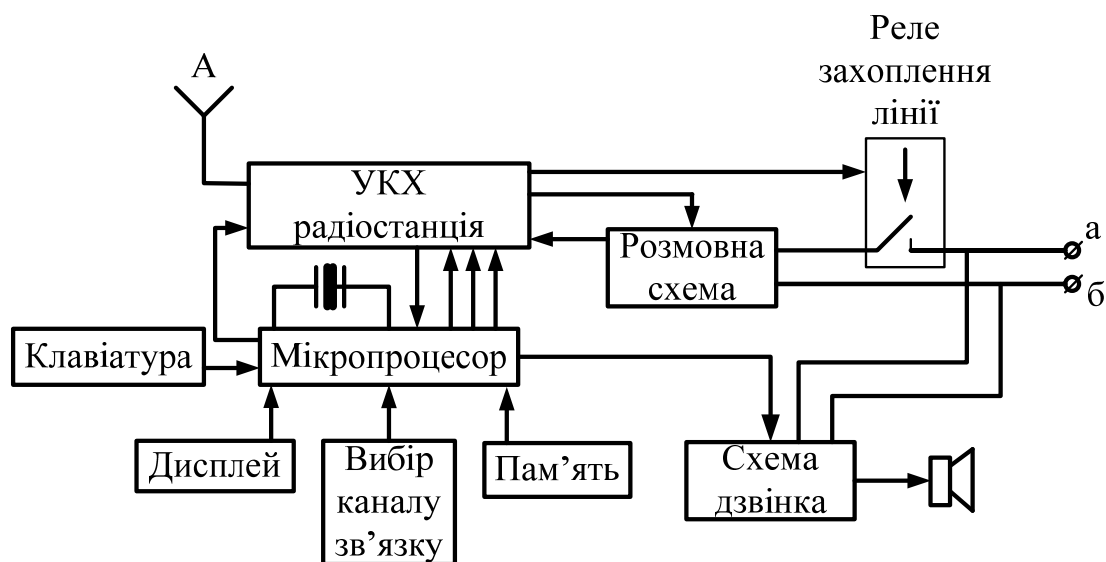


Рисунок 5.7 – Структурна схема стаціонарного блока

Для того, щоб БШТА міг працювати в дуплексному режимі (тобто, щоб по ньому можна було говорити і слухати одночасно), прийом і передача ведуться так, що сигнали від стаціонарного блоку до ПМТ передаються на одній частоті, а від ПМТ до СБ – на іншій. Дві частоти повинні бути підібрані ретельно, щоб гарантувати при дуплексній роботі

відсутність взаємних перешкод між сигналами, що передаються та приймаються. Спрощена структурна схема СБ наведена на рис. 5.7.

До СБ входить 4 групи функціональних вузлів: приймач, передавач, інтерфейс телефонної лінії (розмовна схема) і схема керування мікропроцесорами. Джерело живлення СБ і зарядний пристрій є окремими функціональними вузлами. Сигнали, що передаються ПМТ, приймаються антенною (А) і подаються на підсилювач радіочастоти, в якому відбувається їх попереднє підсилення. Радіосигнали містять несучу, спектральні компоненти мовного сигналу і сигнали керування, які координують спільну роботу СБ і ПМТ. При натисканні кнопки “Розмова” на ПМТ, на СБ посиляється відповідний керуючий сигнал, прийнявши який мікропроцесор в СБ виробляє команду включення реле захоплення лінії, контакти якого в даному випадку еквівалентні важільному перемикачу. Після включення реле захоплення СБ починає передавати на ПМТ сигнал готовності від місцевої телефонної станції.

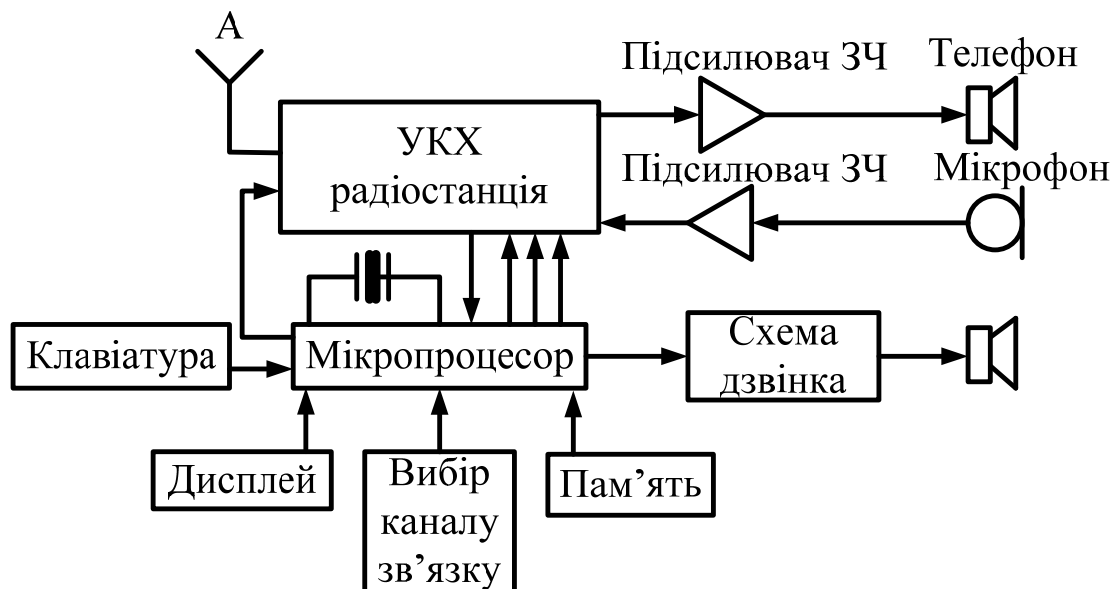


Рисунок 5.8 – Структурна схема ПМТ

Структурна схема ПМТ (рис. 5.8) містить ті ж основні групи функціональних вузлів, що і структурна схема СБ. У більшості ПМТ встановлюється клавіатура, що підключається безпосередньо до мікропроцесора. При наборі номера мікропроцесор виробляє керуючі сигнали, які передаються на СБ, перетворюються у відповідні сигнали і передаються в телефонну лінію. Переданий СБ радіосигнал містить ті ж складові, що і зворотний сигнал ПМТ, і його перетворення в ПМТ відбувається так само, як і в СБ. Єдина відмінність полягає в тому, що виділений мовний сигнал надходить не на розмовну схему, а на телефонний капсуль або невеликий гучномовець. Передача сигналу

здійснюється ПМТ тим же способом, що і в СБ, тільки як джерело сигналу виступає зазвичай електретний або електродинамічний мікрофон.

Функціональні можливості БШТА

Бурхливий розвиток безшнурової телефонії привів до створення нових, більш функціонально досконалих телефонних апаратів. На відміну від перших моделей БШТА, схеми яких будувалися на розподілених елементах і мікросхемах низького і середнього ступеня інтеграції, сучасні БШТА будуються на елементній базі підвищеного ступеня інтеграції з використанням багатофункціональних мікросхем і мікропроцесорів.

Радіус дії сучасних БШТА в умовах прямої видимості збільшився до декількох кілометрів. Одночасно покращилась якість звуку, підвищилася завадостійкість. Це стало можливим не тільки завдяки підвищеній чутливості приймача, але і завдяки застосуванню різних систем шумозаглушення.

Сучасний БШТА сканує всі канали зв'язку, що надаються йому, і автоматично настроюється на вільний канал з найменшим рівнем завад. Якщо протягом розмови ви відчули завади, то після натиснення однієї кнопки БШТА автоматично перелаштовується на канал з вищою якістю.

У багатьох БШТА є вбудована система пейджингу, яка може бути односторонньою або двосторонньою. Зазвичай спільно з функцією пейджингу є функція «інтерном». Вона дає можливість використовувати ПМТ і СБ для двостороннього внутрішнього зв'язку: можна з бази розмовляти з користувачем переносної трубки і навпаки.

Застосування в БШТА мікропроцесорів дозволило вирішити проблему підвищення ступеня захисту від несанкціонованого доступу до телефонної лінії. При цьому БШТА забезпечуються системою кодування відповідності ПМТ і СБ (ID-код ідентифікації). Коли трубка кладеться на СБ, вони разом вибирають один з багатьох ID-кодів і надалі зв'язок можливий між носіями одного пароля. Число телефонних ID-кодів в сучасних БШТА складає від декількох десятків до мільйона.

Функція БШТА «спікерфон» забезпечує гучномовний зв'язок із лінією через СБ з використанням вбудованих в апарат мікрофона і динаміка. Включивши спікерфон, можна також набирати номер, не знімаючи телефонної трубки.

Деякі БШТА мають два поля для набору: на СБ і на ПМТ. Це дозволяє робити дзвінки при відсутності переносної трубки. Створюється таким чином два паралельних телефони з можливостями внутрішнього зв'язку між користувачем трубки і людиною, що знаходиться біля СБ.

Оскільки зв'язок між СБ і ПМТ здійснюється по відкритому радіоканалу УКХ-діапазону, перехопити такий сигнал за допомогою спеціального приймача не складає труднощів. Тому в деяких моделях БШТА при передачі радіосигналів між трубкою і СБ відбувається їх

кодування. Найчастіше використовуються БШТА, в яких реалізований цифровий спосіб обробки, кодування і передачі розмови між СБ і ПМТ. Якість цифрового зв'язку значно вища, ніж аналогового, а надійність цифрового кодування не викликає сумнівів.

Застосування спеціалізованих контролерів дозволило використовувати в деяких БШТА рідкокристалічні індикатори. На них можуть відображатися номер, що набирається, тривалість розмови, ступінь розрядки акумулятора, режим роботи тощо.

5.5 Телефонні апарати мобільного супутникового зв'язку

При радіотелефонному супутниковому зв'язку застосовуються персональні супутникові термінали (ПСТ) і мобільні термінали. За допомогою таких терміналів можна встановити зв'язок між двома абонентами за 2 с шляхом набору його телефонного номера незалежно від місця їх знаходження. Це стало можливим завдяки об'єднанню наземних і супутникових систем в глобальну систему зв'язку.

ПСТ рухомого зв'язку працюють в діапазонах частот 137...900 і 1970...2520 МГц, які практично не відрізняються від діапазону частот стільникового зв'язку (450...1800 МГц). Середня потужність передавача невелика і складає, наприклад, для супутникового термінала системи Iridium 15...400 мВт.

Супутниковий ТА є малогабаритною конструкцією з вбудованою антеною, що не вимагає орієнтації на супутник. Маса такого апарата – біля 800 г (трохи більше, ніж звичайний стільниковий телефон). З'єднання супутникового ТА з мережами стільникового зв'язку забезпечує додатковий пристрій – SIM-карта. Телефон має просту систему керування. Набір номера здійснюється з кнопочового поля набору. Система автоматично знаходить вільний канал і закріплює його за абонентом на час розмови.

5.6 Телефонний апарат стільникового зв'язку

Телефонний апарат стільникової мережі зв'язку є рухомою станцією, що знаходиться безпосередньо в руках абонента. Структурна схема рухомої станції наведена на рис. 5.9. До її складу входять:

- блок керування;
- приймально-передавальний блок;
- антенний блок.

Приймально-передавальний блок, у свою чергу, включає в себе передавач, приймач, синтезатор частот і логічний блок.

Найпростіший за складом антенний блок – антена і комутатор прийом-передача. Останній для цифрової станції є комутатором, який

під'єднує антену або на вихід передавача, або на вхід приймача, оскільки рухома станція цифрової системи ніколи не працює на прийом і передачу одночасно.

Блок керування складається з мікротелефонної трубки – мікрофона і динаміка, клавіатури та дисплею. Клавіатура використовується для набору номера телефона абонента, а також команд, які визначають режим роботи рухомої станції. Дисплей служить для відображення різної інформації, яка передбачена будовою та режимом роботи станції.

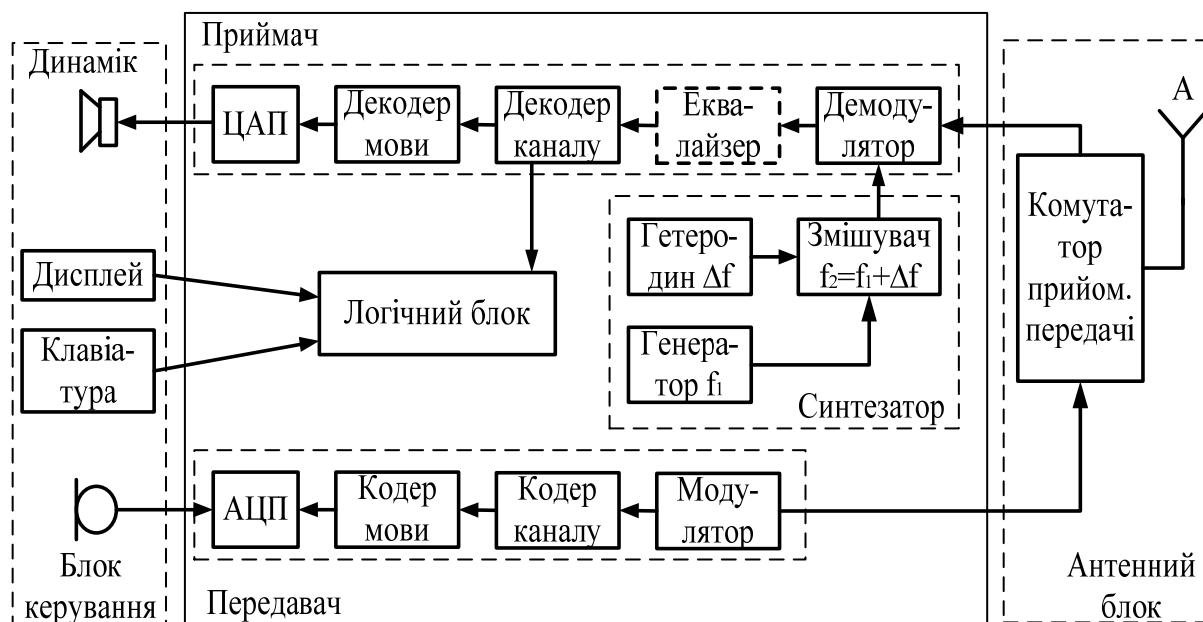


Рисунок 5.9 – Структурна схема рухомої станції (абонентського радіотелефонного апарата)

Приймально-передавальний блок значно складніший і для цифрової системи має у своєму складі:

- аналого-цифровий перетворювач (АЦП) – перетворює у цифрову форму сигнал з виходу мікрофона;
- кодер мови (кодер джерела) – здійснює кодування сигналу мови, тобто його перетворення за певними законами з метою скорочення *надлишковості* (excess, surplus), а відтак, зменшення об'єму інформації, яка спрямовується на подальшу обробку;
- кодер каналу – додає у цифровий сигнал, який надходить з кодера мови, додаткову (надлишкову) інформацію, призначену для захисту від помилок;
- модулятор – здійснює перенесення інформації закодованого *відеосигналу* (video signal) в область високих частот.
- декодер каналу – виділяє з вхідного потоку керуючу інформацію і спрямовує її на логічний блок; прийнята інформація перевіряється на наявність помилок і виявлені помилки, за можливістю, виправляються;

– декодер мови – відновлює сигнал мови, що надходить на нього з кодера каналу, перетворюючи його в природну форму, з властивою йому надлишковістю, але в цифровому вигляді;

– цифро-аналоговий перетворювач (ЦАП) – перетворює прийнятий сигнал мови в аналогову форму і подає його на вхід динаміка;

– еквалайзер – служить для часткової компенсації спотворень сигналу, по суті, він є адаптивним фільтром; цей блок не є обов’язковим і в деяких випадках може бути відсутнім.

Логічний блок – це мікрокомп’ютер зі своєю оперативною і постійною пам’яттю, що здійснює керування роботою рухомої станції.

Синтезатор є джерелом коливань несучої частоти, яка використовується для передачі інформації по радіоканалу. Наявність гетеродина і перетворювача частоти обумовлена тим, що для передачі і прийому використовуються різні ділянки спектра (дуплексне рознесення частот).

Наведена на рис. 5.9 схема є суттєво спрощеною. На ній не показані підсилювачі, селективні кола, генератори сигналів синхрочастот і кола їх підключення, схеми контролю потужності на передачу і прийом та керування нею, схема керування частотою гетеродина для роботи на відповідному частотному каналі тощо. Для забезпечення конфіденційності передачі інформації в деяких системах можливе використання режиму шифрування. У цих випадках передавач і приймач рухомої станції мають в своєму складі відповідно блоки шифрування і дешифрування повідомлень. В рухомій станції, наприклад, системи GSM передбачено спеціальний *модуль ідентифікації абонента* (Subscriber Identity Module – SIM).

Рухома станція системи GSM містить у своєму складі також так званий *детектор мовної активності* (Voice Activity Detector), який з метою економних витрат енергії джерела живлення (зменшення середньої потужності випромінювання), а також зниження рівня завад, які створюються для інших станцій за умови роботи передавача, вмикає його на формування сигналу випромінювання лише на тих інтервалах часу, коли абонент говорить. На час паузи в роботі передавача в приймальний тракт додатково вводиться так званий комфортний шум.

Структурна схема аналогової рухомої станції буде простішою порівняно з розглянутою цифровою через відсутність блоків АЦП/ЦАП та кодеків. В той же час вона буде складнішою за рахунок більш громіздкого дуплексного антенного перемикача, оскільки аналоговій станції доводиться одночасно працювати на передачу і прийом.

6 ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНІ СИСТЕМИ

6.1 Загальні відомості

Телекомунікаційна система – це сукупність пристроїв перетворення повідомлення в сигнал і навпаки, пристроїв узгодження сигналів з середовищем поширення, пристроїв ущільнення вторинних сигналів і каналів передачі.

У зв'язку з наявністю різних видів телекомунікацій, які забезпечують передачу різної інформації, для цієї мети існують різні телекомунікаційні системи: система телефонного, телеграфного зв'язку, система звукового мовлення тощо.

Система електричного зв'язку залежно від виду повідомлень, які передаються нею, може бути або аналоговою, або системою зв'язку для передачі дискретних повідомлень.

Телефонні, телеграфні, відеотелефонні системи і системи передачі даних забезпечують одночасну двосторонню передачу повідомлень між абонентами, тобто дозволяють вести переговори. Для цього кожен абонент повинен мати як передавач, так і приймач, які з'єднані між собою двома каналами зв'язку, один з яких забезпечує передачу сигналів в одному напрямку, а другий – в іншому (зворотному) напрямку. Спрощена структурна схема такої системи наведена на рис. 6.1. В таких системах реалізується дуплексний режим роботи, коли передача повідомлень може здійснюватися одночасно в обох напрямках.

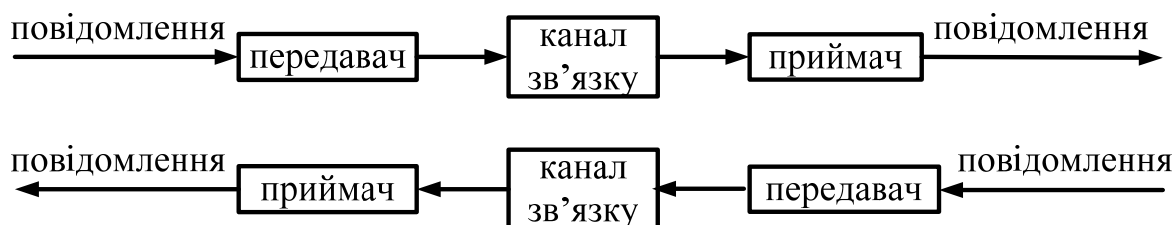


Рисунок 6.1 – Спрощена структурна схема системи передачі двосторонньої дії

В системах зв'язку *односторонньої дії* (one-sided activity) передача повідомлень здійснюється в одному напрямку (звукове мовлення, телевізійне мовлення, передача газет). В таких системах повідомлення призначаються одночасно для великої кількості абонентів.

В подальшому буде зручно розглядати системи зв'язку, розділивши їх попередньо на дві групи: системи зв'язку для передачі неперервних повідомлень і системи зв'язку для передачі дискретних повідомлень. Крім цього зауважимо, що розгляд конкретних систем в основному буде стосуватися визначального для будь-якої системи функціонального вузла – перетворювача повідомлення в сигнал і навпаки.

6.2 Телекомунікаційні системи для передачі неперервних повідомлень

6.2.1 Система телефонного зв'язку

Для системи телефонного зв'язку характерним є те, що вона забезпечує передачу звукових повідомлень в обох напрямках. Ці повідомлення створюються голосовими зв'язками людини і є неперервними повідомленнями.

Для перетворення звукових коливань в електричний сигнал в системі телефонного зв'язку використовують акустoeлектричний перетворювач, який називається мікрофоном (див. розділ 5). Отриманий в результаті перетворення електричний сигнал може передаватися на певні відстані. На приймальному кінці здійснюється перетворення електричного сигналу в звукове повідомлення і це забезпечується телефоном.

На рис. 6.2 наведена спрощена схема одного з можливих варіантів побудови системи телефонного зв'язку з використанням вугільного телефона.



Рисунок 6.2 – Спрощена схема системи телефонного зв'язку

Через вугільний порошок мікрофона замикається електричне коло, в якому встановлено джерело напруги $E_{дж}$. Під дією звукового тиску на мембрану опір вугільного порошку змінюється, що приводить до зміни величини струму в електричному колі. При цьому намагніченість магніту в телефоні змінюється, в результаті чого мембрана телефону відтворює звукові коливання, закон яких повторює зміни звукового тиску на мембрані мікрофона. Отже, звукові коливання відтворюють передане повідомлення.

Кінцевий пристрій, який в системах електрозв'язку називають абонентським пристроєм, в системі телефонного зв'язку конструктивно оформлений у вигляді телефонного апарата. В ньому, крім перетворень первинного повідомлення в сигнал і навпаки, реалізовані функції виклику, сигналізації, відбою тощо. Конструктивно в кожному абонентському

пристрої мікрофон об'єднаний з телефоном і складає структурну одиницю – мікротелефон.

Канали передачі в системах телефонного зв'язку створюються сукупністю пристроїв і середовища поширення, які забезпечують проходження сигналу від одного телефонного апарата до іншого.

6.2.2 Система звукового мовлення

Це система односторонньої дії і призначена для передачі звукових повідомлень одночасно великій кількості споживачів, розміщених на певній території.

При організації системи звукового мовлення ставляться жорсткіші вимоги до якості передачі, ніж в системі телефонного зв'язку. В першу чергу це стосується діапазону частот первинного сигналу, який в системі звукового мовлення може наближатися до значень, які відповідають діапазону сприйняття органами слуху людини (20...20000 Гц).

В системах радіомовлення передача інформації здійснюється в просторі, для чого система має в своєму складі передавач, передавальну антену і приймач. В багатьох випадках приймальна антена і приймач конструктивно об'єднані.

Залежно від технічних засобів, які використовуються для передачі сигналів звукового мовлення, розрізняють системи радіомовлення і дротового мовлення.

Для забезпечення передачі сигналів звукового мовлення в системі радіомовлення використовують додаткові високочастотні сигнали, параметри яких змінюються за законом корисного сигналу. На прийемальному кінці використовують радіоприймачі, в яких здійснюється процес підсилення високочастотного сигналу, виділення з нього корисного сигналу (демодуляція), підсилення його і подача на електроакустичний перетворювач – гучномовець.

В системі дротового мовлення електричний сигнал від потужного передавача розходить до споживачів по спрямовуючих пристроях, якими є лінії зв'язку.

Гучномовець побудований за принципом, схожим з принципом побудови телефонів у телефонному зв'язку. Низькочастотний сигнал подається на котушку, яка прикріплена до дифузора гучномовця і створює змінне магнітне поле. Дифузор приводиться в коливання за рахунок змінної сили притягування до постійного магніту.

6.2.3 Система факсимільного зв'язку

Система факсимільного зв'язку призначена для передачі нерухомих зображень. Інформаційним параметром таких повідомлень є коефіцієнт

відбиття світлового потоку. Електричний сигнал, який створюється в процесі перетворення зображення є неперервним, оскільки в загальному випадку коефіцієнт відбиття змінюється плавно в певному діапазоні значень. Основним елементом, який забезпечує перетворення зображення в електричний сигнал, є фотоелектричний перетворювач або фотоелемент. В такому перетворювачі під дією світлового потоку різної інтенсивності змінюється кількість вільних електронів і змінюється величина струму в колі, в яке послідовно увімкнений такий елемент, рис. 6.3.

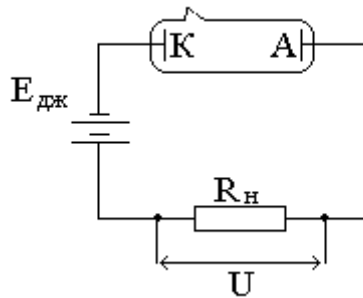


Рисунок 6.3 – Коло з фотоелектричним елементом

Нерухоме зображення в процесі його перетворення в електричний сигнал умовно ділиться на елементарні площадки за допомогою пристрою розгортки. Ці площадки по чергові освітлюються вузьким променем світла. Величина елементарної площадки відповідає площі перетину світлового променя. Відбитий промінь відповідно до коефіцієнта відбиття надходить на катод К фотоелемента і визначає в кожний момент амплітуду факсимільного сигналу. Зміна цієї амплітуди пов'язана зі швидкістю розгортки і характером зображення. Отриманий сигнал може передаватися в лінію.

Процес розділу зображень на елементарні площадки і формування електричного сигналу називається **аналізом зображення**. Процес перетворення електричного сигналу в зображення на приймальному кінці – **синтезом зображення**.

6.2.4 Система телевізійного мовлення

Система телевізійного мовлення забезпечує передачу рухомих зображень. Система передачі зображень супроводжується звуковими повідомленнями, тому поділяється на дві підсистеми: підсистему передачі оптичних повідомлень та підсистему передачі звукових повідомлень.

Очевидно, система передачі рухомих повідомлень за принципом створення електричного сигналу схожа з системою факсимільного зв'язку. Різниця полягає в тому, що для передачі рухомих зображень розгортальний пристрій повинен бути більш швидкісним, ніж в системі факсимільного зв'язку. Це пов'язано з тим, що ефект руху тут, як і в кіно,

досягається завдяки швидкій зміні кадрів. У зв'язку з інерційністю зору людина не помічає моменти зміни кадрів і в неї складається відчуття неперервного руху об'єктів зображення. Таким чином, перетворення рухомих зображень порівняно з нерухомими повинно відбуватися зі значно більшою швидкістю розгортки.

Система телевізійного мовлення включає передавач, лінію зв'язку і приймач. Як передавач або первинний перетворювач оптичного сигналу в електричний використовується електронно-променева трубка. Принцип перетворення оптичного зображення в електричний сигнал показаний на рис. 6.4.

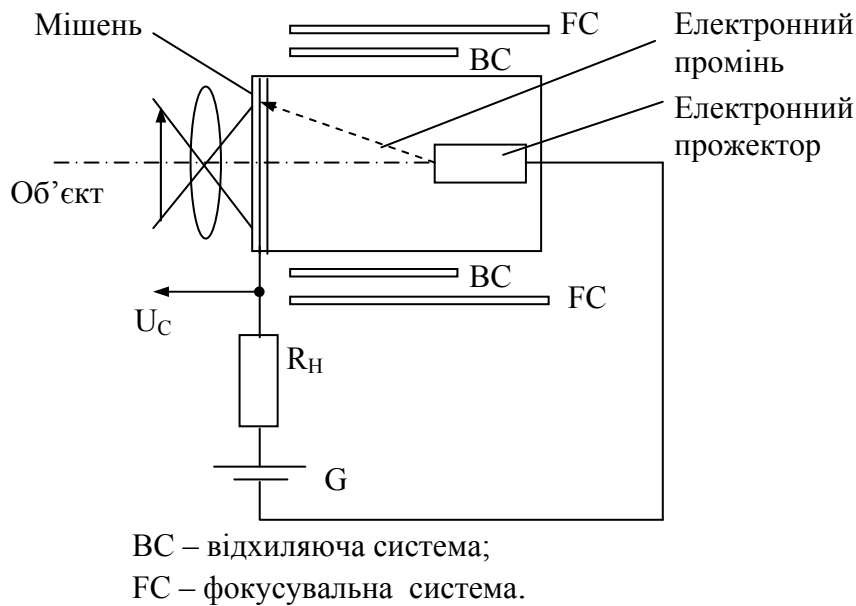


Рисунок 6.4 – Принцип роботи передавальної телевізійної трубки

Основні елементи – два електроди, розміщені в балоні. Один з них – електронний прожектор, який створює електронний промінь; другий електрод – мішень, на який цей електронний промінь падає.

Мішень складається з двох шарів: зовнішній шар спрямований в сторону об'єкта та є прозорим, а внутрішній, що спрямований в бік електронного променя, характеризується наявністю внутрішнього фотоефекту. Його суть полягає в тому, що електронна провідність окремих ділянок мішені, які мають різну інтенсивність освітлення, є різною.

Через систему об'єктивів оптичне повідомлення проектується на зовнішній шар мішені. Різні ділянки освітлені по-різному залежно від характеру зображення. За допомогою фокусувальної системи FC поперечний перетин променя встановлюється мінімально можливим в площині внутрішнього шару мішені. Відхиляюча система BC забезпечує відхилення цього променя і поступове проходження променем всього

зображення. Проходження здійснюється по рядках, зміщуючись з одного боку в інший і зверху донизу.

Система “електронний прожектор, електронний промінь та мішень” входить в електричне коло, в якому встановлено джерело постійної напруги E і навантаження R_H . В кожен момент часу величина струму буде залежати від електропровідності мішені, тобто від інтенсивності її освітлення. Таким чином, «пробігаючи» по всій площині мішені, електронний промінь створить сигнал, який буде містити в собі інформацію одного кадру. Створений електричний сигнал називається **відеосигналом**.

Очевидно, що, крім корисної інформації, яка закладена в змінах величини струму в колі, а, відповідно, і амплітуди U_C , телевізійний сигнал повинен мати в своєму складі допоміжні сигнали, які забезпечують синхронну роботу телеприймачів і передавальної трубки.

Відеосигнал характеризується частотним спектром від десятків герц до декількох мегагерц. Відеосигнали з таким широким діапазоном частот, зосередженим в області низькочастотної частини діапазону, не можуть передаватися безпосередньо лініями зв'язку.

Для передачі відеосигналів використовується попередня процедура перенесення сигналу в область високих частот (**модуляція**), а тому передача здійснюється на значно вищих частотах, ніж верхня частота відеосигналу.

Для відтворення рухомого зображення у місці прийому забезпечується приймання цього сигналу антеною телевізійного приймача, перетворення його до початкового відеосигналу і подача відеосигналу на модулятор приймальної електронно-променевої трубки (**кінескоп**).

Відеосигнал надходить на модулятор кінескопа, і залежно від його амплітуди змінюється інтенсивність електронного променя. Частина кінескопа, яка направлена на телеглядача (екран) з внутрішньої сторони покрита спеціальним матеріалом – люмінофором. Цей матеріал має властивість випромінювати світлову енергію, інтенсивність якої залежить від інтенсивності електронного пучка. Отже, «пробігаючи» весь екран електронний промінь збуджує світіння люмінофору і відтворює переданий кадр зображення.

В сучасних телевізійних системах використовуються більш прогресивні технології, хоча розглянуті принципи, очевидно, зберігаються для будь-якої технічної реалізації.

Під час зміни рядків і кадрів промінь розгортки у приймальній трубці повинен бути погашеним. Крім цього, необхідно здійснити синхронізацію променів приймальної та передавальної трубок. Отже, крім сигналу зображення повинні передаватися додаткові керуючі імпульси – гасіння та синхронізації. Такий електричний сигнал отримав назву **повного телевізійного сигналу**.

6.3 Телекомунікаційні системи для передачі дискретних повідомлень

Відомо, що телеграфний зв'язок і передача даних на відміну від інших видів електрозв'язку призначені для передачі на відстань дискретних повідомлень, які мають індивідуальне призначення. Дискретний характер повідомлень дозволяє використовувати в системах, що реалізують ці види зв'язку, кодовий метод перетворення повідомлення в сигнал і навпаки. Сигнали в цих системах також мають дискретний характер. При цьому їх інформаційний параметр набуває, як правило, всього двох значень. Ця обставина дозволяє використовувати для реалізації складних сучасних дискретних систем зв'язку двійкові перемикаючі пристрої, що відрізняються простотою, стійкістю та довговічністю у роботі.

Особливості побудови і роботи дискретних систем забезпечують їм низку переваг та додаткових можливостей порівняно з іншими системами електрозв'язку. Основними з них є:

- більш висока продуктивність роботи дискретних систем;
- можливість передавання повідомлень з будь-якою необхідною швидкістю;
- більш високий ступінь автоматизації на всіх етапах роботи;
- висока завадостійкість.

6.3.1 Система телеграфного зв'язку

Система телеграфного зв'язку, рис. 6.5, забезпечує двосторонню передачу документальних повідомлень – телеграм. Такі повідомлення є літерно-цифровими і для забезпечення їх передачі і прийому кінцеві пункти обладнані телеграфними апаратами. В телеграфному апараті здійснюється процедура, яка забезпечує кодовий метод перетворення повідомлення в сигнал і навпаки. Така процедура має назву – **кодування**. В результаті такого перетворення окремі символи подаються сукупністю дискретних сигналів, які створюють кодові комбінації за певним правилом. Отже, кожному знаку повідомлення відповідає своя комбінація. Лінією зв'язку в системі телеграфного зв'язку передаються дискретні сигнали. Найбільш поширеними в даний час є дискретні сигнали, які характеризуються двома рівнями: високим і низьким. Як вже зазначалось, такі сигнали отримали назву двійкових.

В процесі **декодування** на приймальному кінці телеграфний апарат виконує зворотне перетворення сигналу в повідомлення у такій послідовності. Спочатку елементи сигналу почергово приймаються, перетворюються в елементи кодової комбінації і запам'ятовуються. Після цього визначається знак (символ), що відповідає прийнятій кодовій

комбінації, тобто виконується операція, що є зворотною кодуванню. Процес прийому закінчується записом знака на папері. Всі перераховані операції виконуються спеціальними пристроями приймальної частини кінцевих телеграфних апаратів.

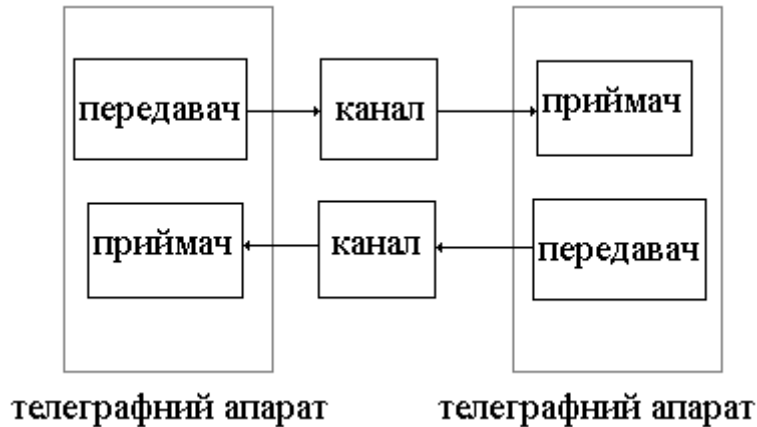


Рисунок 6.5 – Спрощена структурна схема системи телеграфного зв'язку

Системи телеграфного зв'язку відрізняються за способом кодування, за характером дискретних сигналів, які використовуються, і за швидкістю передачі.

6.3.2 Система передачі даних

Системи передачі даних не мають принципових відмінностей від систем телеграфного зв'язку. В них також використовують умовний (кодовий) метод перетворення повідомлень в сигнал і навпаки. Але на відміну від системи телеграфного зв'язку система передачі даних здатна передавати дискретні повідомлення значно швидше і точніше, тобто забезпечувати більш високі швидкості і якість передачі повідомлень. Передача здійснюється з більшою *завадостійкістю* (protection ratio), що гарантує задану правильність для будь-якої практично необхідної швидкості передачі повідомлень та значних обсягів інформації.

Для забезпечення якісної передачі дискретних сигналів в системі передачі даних використовується АПД (апаратура передачі даних). Основні функції апаратури передачі даних: захист від помилок та перетворення дискретного сигналу з метою його узгодження з параметрами каналу передачі. Деяку додаткову інформацію щодо системи передачі даних можна знайти у підрозділі 3.3.

Пристрої підвищення якості передачі дозволяють виявляти або навіть виправляти помилки у повідомленнях, які з'являються в процесі передачі. Системи передачі даних використовують двосторонній канал – зворотний канал використовується для боротьби з помилками.

7 ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНІ МЕРЕЖІ

7.1 Принципи побудови мереж

Сукупність технічних засобів, які забезпечують передавання і розподіл повідомлень, створюють телекомунікаційну мережу.

Повідомлення можуть мати індивідуальне призначення (телефон, факсиміле, телеграф, передача даних) і для таких повідомлень існують телекомунікаційні мережі для передачі індивідуальних повідомлень. Особливістю таких повідомлень є те, що вони становлять інтерес лише для окремих людей.

Телекомунікаційні мережі для передачі повідомлень масового характеру (звукове та телевізійне мовлення) побудовані за іншим принципом, оскільки такі повідомлення надаються одночасно великій кількості людей.

Мережі передачі індивідуальних повідомлень об'єднують велику кількість різних технічних пристроїв, розташованих на великій території. Фактично це тисячі кілометрів ліній зв'язку, велика кількість *каналоутворюючої* (channel-create apparatus) і *комутаційної* (commutate apparatus) апаратури і багато іншого спеціального обладнання. Мережа електрозв'язку для передачі індивідуальних повідомлень повинна бути побудована таким чином, щоб в будь-який момент з необхідною якістю забезпечити можливість передачі повідомлень між абонентами. Це може бути реалізовано, якщо в основу побудови мереж закладені певні принципи.

Одним з принципів побудови мереж передачі індивідуальних повідомлень є з'єднання абонентів за схемою **«кожен з кожним»**. У цьому випадку мережа складається з пунктів В1, В2, ..., В4, і з'єднувальних ліній ЗЛ, які з'єднують всі пункти між собою (рис. 7.1). З'єднувальні лінії виконують роль каналів електрозв'язку між кінцевими пунктами. Кожен абонент такої мережі має постійний і прямий зв'язок з усіма іншими абонентами.

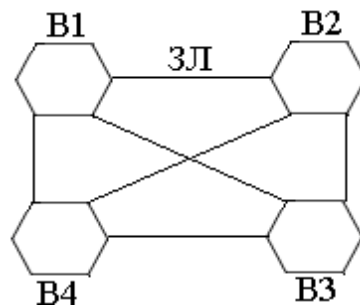


Рисунок 7.1 – Принцип побудови мереж «кожен з кожним»

Мережа, побудована за принципом «кожен з кожним», надійна, відрізняється оперативністю і високою якістю передачі повідомлень. Але при збільшенні кількості вузлів (кінцевих пунктів) швидко збільшується кількість і довжина з'єднувальних ліній і вартість такої мережі. Мережа виявляється надзвичайно громіздкою.

Другий принцип побудови мережі для передачі індивідуальних повідомлень, що носить назву *радіального (зіркоподібного)*, наведений на рис. 7.2.

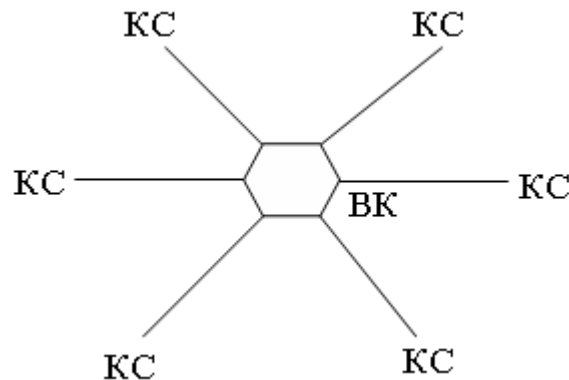


Рисунок 7.2 - Принцип побудови радіальної мережі

При такій структурі мережі в центрі знаходиться вузол комутації ВК і до нього під'єднані за допомогою абонентських ліній всі абоненти мережі (кінцеві станції КС). Зв'язок між абонентами здійснюється обов'язково через вузол комутації. Вузол комутації являє собою сукупність пристроїв, які виконують електричне з'єднання абонентських ліній. Кожне з'єднання дозволяє створити систему електрозв'язку для передачі повідомлень між відповідними абонентами. Очевидно, що за умови наявності великої кількості кінцевих станцій, які розташовані на значній території, така мережа також характеризується значною вартістю і через використання спільного вузла комутації може бути повністю паралізована у випадку його відмови.

Вузловий принцип дає можливість об'єднати вузли комутації різних рівнів окремою лінією (з'єднувальною лінією ЗЛ) зв'язку (рис. 7.3).

Цей метод передбачає можливість його використання на більших територіях і може об'єднувати велику кількість абонентів (кінцевих станцій).

На реальній мережі передачі повідомлень застосовується комбінований принцип побудови мережі, тобто використовуються всі три варіанти побудови. Це означає, що в основу побудови реальної мережі покладений в першу чергу радіально-вузловий принцип. При цьому потужні вузли з'єднуються за принципом "кожен з кожним", зв'язок з вузлами нижчих рівнів здійснюється безпосередньо з'єднувальними

лініями, а кінцеві станції під'єднуються до вузлів всіх рівнів за радіальним принципом. Приклад комбінованого підходу до побудови мережі наведений на рис. 7.4.

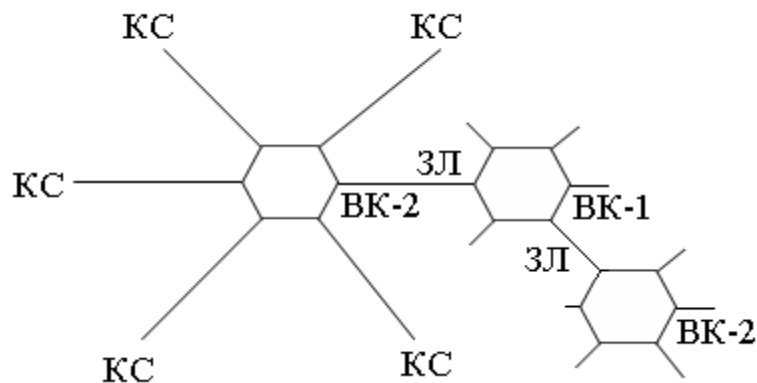


Рисунок 7.3 – Радіально-вузловий принцип побудови мережі

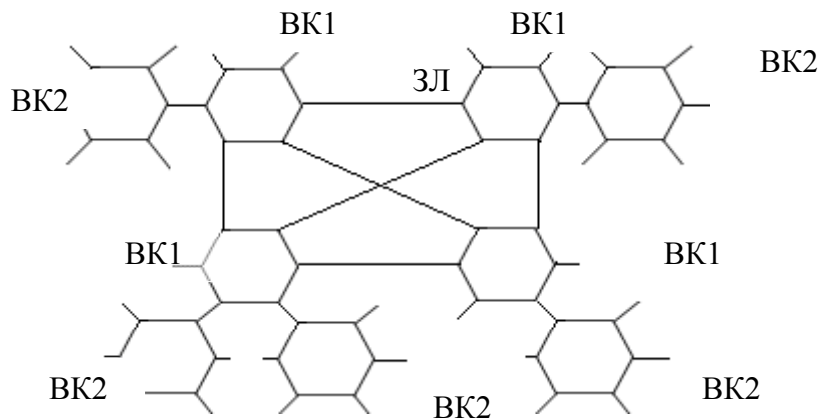


Рисунок 7.4 – Приклад реальної мережі зв'язку

7.2 Лінії зв'язку

Лінії зв'язку – це елементи мереж електрозв'язку, які забезпечують поширення сигналів у потрібному напрямку і на необхідну відстань. Складність виконання цієї функції стає очевидною, якщо мати на увазі, що лінії зв'язку мають довжину в тисячі кілометрів, проходять через зони з різними кліматичними умовами, постійно піддаються впливу різних природних явищ. Якісна передача сигналів лініями можлива лише у тому випадку, коли вони володіють певними властивостями і параметрами, практично не залежними ні від пори року, ні від умов роботи. Крім цього, лінії повинні мати відповідну надійність і механічну міцність на багато десятиків років.

Залежно від середовища, по якому передаються сигнали, всі існуючі типи ліній зв'язку прийнято ділити на дві групи – **проводові та безпроводові (радіолінії)**.

7.2.1 Проводові лінії зв'язку

До проводових відносяться всі типи ліній, в яких сигнали поширюються вздовж спеціального, штучно створеного і неперервно спрямовуючого середовища. В найпростішому випадку проводова лінія зв'язку є фізичним колом, що створене парою провідників, по яких поширюється електричний сигнал. Якщо провідники не мають спеціального ізолюючого покриття, їх розносять у повітряному просторі на певну відстань один від одного. У цьому випадку роль ізолюючого матеріалу виконує шар повітря між провідниками. Згідно з термінологією, яка склалася, такі проводові лінії називаються **повітряними лініями зв'язку**. Проводові лінії, які створені провідниками, що мають ізоляційне покриття і розташовані в спеціальних захисних оболонках, називаються **кабельними лініями зв'язку** або **кабелями зв'язку**.

До проводових відносяться також лінії, які використовують як середовище поширення сигналів діелектричні матеріали, зокрема тонкі скляні волокна. Такі лінії отримали назву **волоконно-оптичних ліній зв'язку (ВОЛЗ)**. Враховуючи особливий статус ВОЛЗ в сучасній ієрархії проводових ліній зв'язку, розглянемо їх окремо, а зараз повернемося до повітряних і кабельних (з металевими провідниками) ліній.

В першій половині 20-го століття сигнали електрозв'язку передавались лише повітряними лініями зв'язку. Відносна простота, невеликі вартість та терміни спорудження повітряних ліній забезпечили їм у свій час широке застосування. Але згодом їх можливості були вичерпані. Справа у тому, що повітряні лінії не могли пропускати однаково ефективно всі сигнали електрозв'язку. Наприклад, вони не в змозі пропускати сигнали телевізійного мовлення і сигнали високошвидкісних систем передачі даних. Крім цього, повітряні лінії піддаються сильному впливу кліматичних умов. На сьогодні доля повітряних ліній суттєво зменшена і продовжує зменшуватися.

В наш час основним типом проводових ліній зв'язку вважаються кабельні. Сучасні кабелі зв'язку досить різноманітні за конструкцією, умовами прокладання, можливостями та областями застосування. За конструкцією та взаємним розташуванням провідників розрізняють **симетричні** і **коаксіальні** кабелі. В симетричних кабелях електричні кола створюються за допомогою однакових за конструкцією ізольованих провідників. Електричні кола в коаксіальних кабелях створюються двома циліндричними провідниками з суміщеними осями, причому один провідник (суцільний циліндр) розташований всередині іншого, порожнистого.

За умовами прокладання і експлуатації розрізняють підземні, підвісні та підводні кабелі. Вони відрізняються конструкцією і матеріалом ізолюючих оболонок та захисного покриття. У землі і воді використовують

кабелі, броньовані сталевими стрічками або дротом, які надають кабелю особливої механічної міцності. У містах кабелі прокладають в спеціально споруджену каналізацію, яка складається з трубопроводу та оглядових колодязів.

Сучасні кабелі зв'язку, як правило, мають не одну, а декілька симетричних або коаксіальних пар, або тих і інших одночасно.

Дальність передачі сигналів по кабелях залежить від опору провідників. Чим менший опір, тим на більшу відстань можна передавати сигнали. В реальних кабелях ця відстань не перевищує декількох кілометрів. Для збільшення дальності передачі доводиться періодично підсилювати сигнали. Тому будь-яка кабельна магістраль має **підсилювальні пункти**, які розміщуються на трасі поширення сигналу через певні інтервали. Підсилювальні пункти бувають без обслуговування та з обслуговуванням. В цифрових системах передачі, в яких лініями зв'язку поширюються цифрові сигнали, на трасі встановлюються так звані **пункти регенерації**, які також бувають з обслуговуванням і без обслуговування. В пунктах регенерації цифрові сигнали повністю відновлюються, що дозволяє принципово будувати такі лінії необмеженої протяжності.

Слід зазначити, що проблема збільшення протяжності не може бути вирішена шляхом додаткового будівництва наведених вище кабельних ліній. Справа у тому, що на виготовлення таких кабелів витрачається велика кількість дефіцитних металів, в першу чергу міді і свинцю. Крім цього, будівництво лінійних споруд завдає відчутного збитку природі.

7.2.2 Волоконно-оптичні лінії зв'язку

Волоконно-оптичні лінії зв'язку мають низку суттєвих переваг порівняно з лініями зв'язку на основі металевих кабелів. До них відносяться:

- більша пропускна здатність (можна організувати передачу до мільйона телефонних сигналів одночасно);
- мале згасання сигналу;
- малі маса і габарити;
- висока завадозахищеність;
- надійна техніка безпеки;
- практична відсутність взаємного впливу;
- низька вартість через відсутність в конструкції кольорових металів.

В ВОЛЗ застосовують електромагнітні хвилі оптичного діапазону. Нагадаємо, що видиме оптичне випромінювання лежить у діапазоні хвиль

380...760 нм. Практичне застосування у ВОЛЗ отримав *інфрачервоний* діапазон, тобто випромінювання з довжиною хвилі, більшою 760 нм.

Принцип поширення оптичного випромінювання вздовж оптичного волокна (ОВ) базується на відбитті від границі середовищ з різними коефіцієнтами заломлення, рис. 7.5. Оптичне волокно виготовляється з кварцового скла у вигляді циліндрів з суміщеними осями і різними коефіцієнтами заломлення. Внутрішній циліндр називається серцевиною ОВ, а зовнішній шар – оболонкою ОВ.

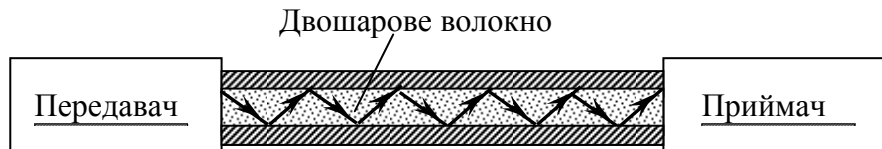


Рисунок 7.5 – Принцип поширення оптичного випромінювання

Кут повного внутрішнього відбиття, при якому випромінювання, що падає на границю двох середовищ, повністю відбивається без проникнення у зовнішнє середовище визначається співвідношенням:

$$\theta_{кр} = \arccos\left(\frac{n_2}{n_1}\right), \quad (7.1)$$

де n_1 – показник заломлення серцевини ОВ;

n_2 – показник заломлення оболонки ОВ; $n_1 > n_2$. Промінь повинен вводитися у волокно під кутом до осі, меншим $\theta_{кр}$.

В оптичному волокні може одночасно існувати декілька типів хвиль (мод). Залежно від модових характеристик оптичні волокна поділяються на два види: багатомодові та одномодові. Діаметр серцевини одномодових волокон є малою величиною і складає 5...15 (зазвичай 9 чи 10) мкм. Для багатомодових волокон діаметр серцевини складає біля 50 (зазвичай 50 чи 62,5) мкм. Діаметр оболонки в усіх типів ОВ дорівнює 125 мкм, діаметр захисного покриття – 500 мкм. Зовнішній діаметр кабелю з числом ОВ від двох до тридцяти двох з урахуванням всіх захисних оболонок і елементів складає 5...17 мм.

На рис. 7.6 наведений приклад конструкції оптичного кабелю. На цьому рисунку: 1 – оптичне волокно; 2 – поліетиленова трубка; 3 – силовий елемент; 4 і 5 – відповідно внутрішня та зовнішня поліетиленові оболонки.

Згасання оптичного волокна неоднорідне для різних довжин хвиль. Залежність коефіцієнта згасання ОВ від робочої довжини хвилі наведена на рис. 7.7. Ця залежність має три мінімуми, які носять назву *вікон*

прозорості (low-loss transmission windows). Історично першим було освоєне перше вікно прозорості на робочій довжині хвилі 0,85 мкм.

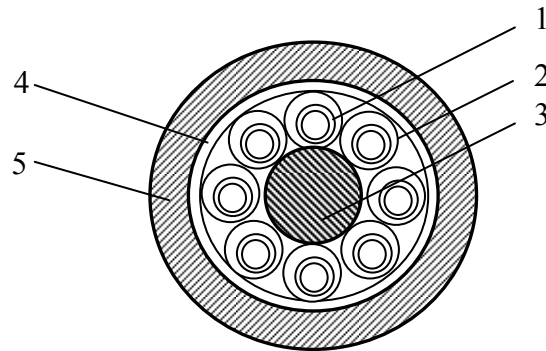


Рисунок 7.6 – Конструкція оптичного кабелю

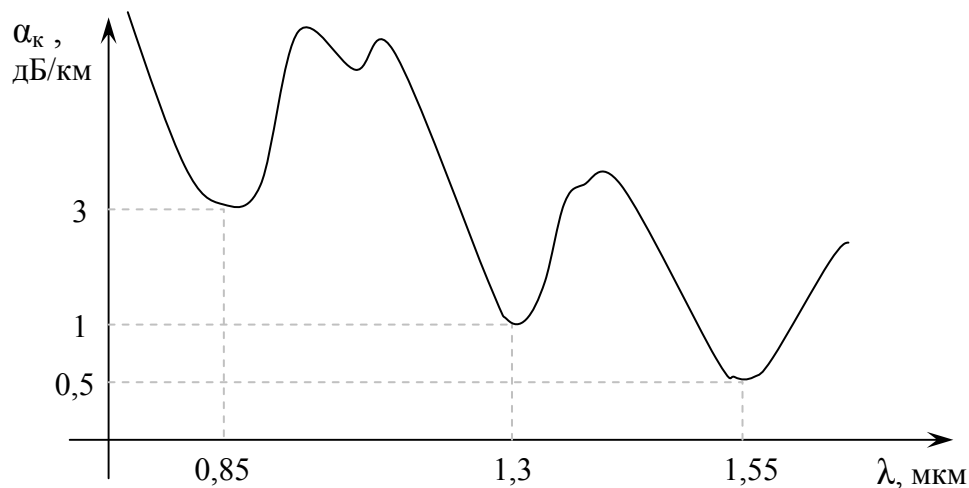


Рисунок 7.7 – Спектральна характеристика коефіцієнта згасання ОВ

Перші напівпровідникові випромінювачі (лазери і світлодіоди) та фотоприймачі були створені саме для даної довжини хвилі. Коефіцієнт згасання в першому вікні значний і складає одиниці децибел на кілометр. Пізніше були створені випромінювачі і фотоприймачі, здатні працювати на більших довжинах хвиль (1,3 та 1,55 мкм). Сучасні системи зв'язку зазвичай використовують друге і третє вікна з малими коефіцієнтами згасання. Сучасна технологія дозволяє отримати ОВ з коефіцієнтом згасання порядку сотих часток децибел на кілометр.

7.2.3 Радіолінії зв'язку

В радіолініях зв'язку середовищем поширення електромагнітних хвиль в переважній більшості випадків (за винятком випадків зв'язку між

космічними апаратами) є атмосфера Землі. На рис. 7.8 наведена спрощена будова атмосфери Землі.

Реально будова атмосфери складніша і наведений поділ на тропосферу, стратосферу та іоносферу досить умовний. Висота шарів наведена приблизно і є різною для різних географічних точок Землі. У тропосфері зосереджено близько 80 % маси атмосфери і близько 20 % - у стратосфері. Щільність атмосфери в іоносфері надзвичайно мала, межа між іоносферою і космічним простором є умовним поняттям, оскільки сліди атмосфери зустрічаються навіть на висотах за 400 км. Вважається, що щільні шари атмосфери закінчуються на висоті близько 120 км.

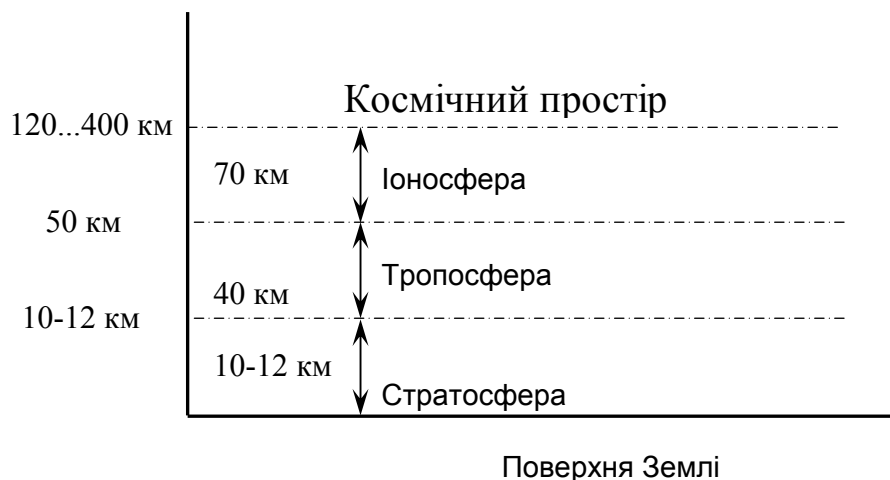


Рисунок 7.8 – Будова атмосфери Землі

Типовий вид радіолінії наведений на рис. 7.9. Сигнали електро- зв'язку, що підлягають передаванню, перетворюються радіопередавачем в радіочастотні сигнали, здатні випромінюватися передавальною антеною у відкритий простір у вигляді радіохвиль. Радіохвилі – це електромагнітні коливання з частотами до $3 \cdot 10^{12}$ Гц, які поширюються у просторі без штучних спрямовуючих середовищ. Згідно з міжнародною домовленістю всі радіохвилі розділені на дев'ять діапазонів: міріаметрові (10...100 км), кілометрові (1...10 км), гектометрові (100...1000 м), декаметрові (10...100 м), метрові (1...10 м), дециметрові (10...100 см), сантиметрові (1...10 см), міліметрові (1...10 мм), дециміліметрові (0,1...1 мм). Далі радіохвилі приймаються антеною радіоприймача і перетворюються у ньому спочатку в сигнали електровз'язку, а потім у відповідні повідомлення.

Лінія може складатися з двох кінцевих станцій. Прикладом таких радіоліній є лінії мереж передачі повідомлень масового характеру (мережі телевізійного і звукового мовлення). Радіолінія може складатися з декількох проміжних переприйомних станцій. Так будуються лінії радіорелейних систем передачі (радіорелейні лінії – РРЛ). В радіорелейних

лініях сигнали, що передаються з одного пункту, приймаються в іншому, підсилюються і передаються у третій пункт і т.д. Кожен кінцевий пункт РРЛ (кінцева станція) має радіопередавач і радіоприймач для одночасної передачі і прийому сигналів. Передача і прийом здійснюються на різних частотах, тому передавальна апаратура не заважає приймальній. На кожній проміжній станції встановлюється, як мінімум, по два радіопередавачі і радіоприймачі для одночасного прийому і передачі сигналів в обох напрямках.

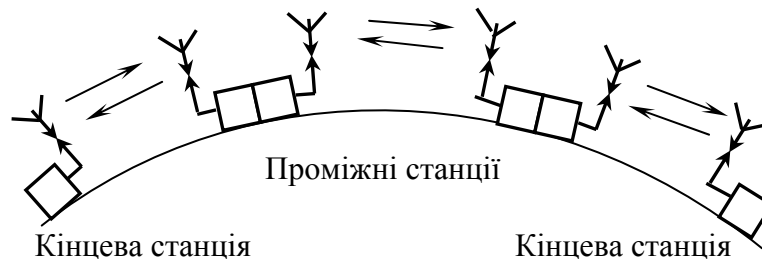


Рисунок 7.9 – Типовий вид радіолінії

Радіохвилі, що використовуються для радіорелейного зв'язку, поширюються прямолінійно, подібно до променів світла. Тому і станції одна від одної повинні знаходитися у межах прямої *радіовидимості* (radio visibility), зазвичай 40...60 км. Ця відстань залежить, в основному, від висоти підняття антен над землею.

Незаперечною перевагою РРЛ перед кабельними лініями є швидкість зведення споруд, особливо у важкодоступних та необжитих районах.

7.2.4 Супутникові радіолінії

Супутникові радіолінії є різновидом радіорелейних ліній. Радіосигнали з земної передавальної станції випромінюються у напрямку штучного супутника Землі (ШСЗ), де приймаються, підсилюються і знову передаються за допомогою радіопередавача у напрямку земної станції прийому. Радіотехнічне обладнання ШСЗ виконує функцію проміжної станції радіорелейної лінії на великій висоті. Використання супутників в системах зв'язку почалось фактично зразу ж після запуску перших ШСЗ (вперше запуск було здійснено 4 жовтня 1957 року в Радянському Союзі) і до сьогоднішнього дня зв'язок залишається однією з основних галузей їх практичного застосування поряд з глобальною навігацією і різноманітними дослідженнями Землі з космосу – від військової розвідки до прогнозу погоди та моніторингу природних ресурсів.

За типом орбіт, які використовуються ШСЗ, супутникові системи зв'язку класифікуються таким чином:

- високоорбітальні або *геостационарні* (GEO – Geostationary Earth Orbit) – з круговими екваторіальними орбітами висотою 36000 км; при цьому період обертання супутника навколо Землі становить 23 год. 56 хв., тобто супутник виявляється практично нерухомим відносно Землі – він практично «висить» над однією точкою екватора. Трьох супутників достатньо, щоб охопити практично всю поверхню Землі за винятком територій, які прилягають до полюсів;
- *середньоорбітальні* (MEO – Medium Earth Orbit) – з круговими орбітами висотою біля 10000 км;
- *низькоорбітальні* (LEO – Low Earth Orbit) – з круговими орбітами висотою 700...2000 км;
- *високоеліптичні* (HEO – Highly Elliptical Orbit) – з витягнутими еліптичними орбітами, що мають радіус перигею порядку тисяч кілометрів і радіус апогею порядку одного або декількох десятків тисяч кілометрів.

Висота орбіт вибирається виходячи з аналізу багатьох факторів, зокрема, енергетичних характеристик радіоліній, затримки при поширенні радіохвиль, близькості до орбіти радіаційного поясу Ван Аллена (у ньому неможлива робота електронної бортової апаратури, перший пояс починається з висоти 1500 км), розмірів і розташування територій, які обслуговуються.

Для радіотелефонного зв'язку в супутникових системах використовують цифрову передачу повідомлень з обов'язковим виконанням загальноприйнятих міжнародних стандартів. У таких системах затримка сигналу на трасі його поширення не повинна перевищувати 0,3 с і переговори абонентів не повинні перериватися під час сеансу зв'язку. Обслуговування абонентів повинне бути неперервним і відбуватися у реальному масштабі часу. В цьому випадку при побудові радіотелефонного супутникового зв'язку необхідно враховувати, що:

- супутники повинні оснащуватися високоточною системою орієнтації для утримання променя їх антени в заданому напрямку;
- кількість супутників в системі повинна бути достатньою для забезпечення суцільного і неперервного покриття зони обслуговування;
- для забезпечення достатньої кількості каналів зв'язку повинні застосовуватися багатопроменеві антенні системи, які повинні працювати на високих частотах (більших 1,5 ГГц), що значно ускладнює конструкцію антен і космічних апаратів.

8 СТІЛЬНИКОВИЙ ЗВ'ЯЗОК

8.1 Історія розвитку стільникового зв'язку

Перша система радіотелефонного зв'язку, яка запропонувала послуги всім бажаючим, почала своє функціонування у 1946 р. в м. Сент-Луїс (США). Радіотелефони, які застосовувались у цій системі, використовували звичайні фіксовані канали. Якщо канал зв'язку був зайнятий, то абонент вручну перемикався на інший – вільний. Апаратура була громіздкою та незручною у використанні.

З розвитком техніки системи радіотелефонного зв'язку удосконалювались: зменшувались габарити пристроїв, освоювались нові частотні діапазони, покращувалось базове та комутаційне обладнання, зокрема, з'явилась функція автоматичного вибору вільного каналу. Але за значної потреби в послугах радіотелефонного зв'язку виникли і проблеми.

Головна з них – обмеженість частотного ресурсу: кількість фіксованих частот в певному частотному діапазоні не може безкінечно збільшуватися, тому радіотелефони з близькими за частотою робочими каналами починали створювати взаємні завади.

Вчені та інженери різних країн намагались вирішити цю проблему. І ось у середині 40-х років минулого століття дослідницький центр Bell Laboratories американської компанії AT&T запропонував ідею розбиття всієї території обслуговування на невеликі ділянки, які почали називатися стільниками (сотами) (від англійського cell – комірка, стільник). Кожна ділянка повинна була обслуговуватися передавачем з обмеженим радіусом дії і фіксованою частотою. Це дозволило без будь-яких взаємних завад використовувати цю ж частоту повторно в іншій комірці.

Але пройшло більше 30 років, перш ніж такий принцип організації зв'язку був реалізований на апаратному рівні. Причому у ці роки розробка принципу стільникового зв'язку велась в різних країнах світу не в одних і тих же напрямках. Ще в кінці 70-х років почались роботи зі створення єдиного стандарту стільникового зв'язку для 5 північноєвропейських країн – Швеції, Фінляндії, Ісландії, Данії та Норвегії, який отримав назву NMT-450 (Nordic Mobile Telephone) і був призначений для роботи в діапазоні 450 МГц. Експлуатація перших систем стільникового зв'язку цього стандарту почалась у 1981 р. Але ще за місяць до цього система стільникового зв'язку стандарту NMT-450 була прийнята в експлуатацію в Саудівській Аравії.

Мережі на основі стандарту NMT-450 і його модифікованих версій стали широко використовуватися в Австрії, Голландії, Бельгії, Швейцарії, а також в країнах Південно-Східної Азії та Близького Сходу. На основі цього стандарту у 1985 р. був розроблений стандарт NMT-900 діапазону

900 МГц, який дозволив розширити функціональні можливості системи і значно збільшити абонентську ємність системи.

У 1983 р. в США, в районі Чикаго, після низки успішних польових випробувань вступила в комерційну експлуатацію мережа стандарту AMPS (Advanced Mobile Phone Service). Цей стандарт був створений в дослідному центрі Bell Laboratories. У 1985 р. в Великобританії був прийнятий стандарт TACS, а у цьому ж році у Франції – стандарт Radiocom-2000.

Всі перераховані стандарти є аналоговими і відносяться до першого покоління систем стільникового зв'язку. Аналоговими вони називаються через те, що в них використовується аналоговий спосіб передачі інформації за допомогою звичайної частотної або фазової модуляції, як і в звичайних радіостанціях. Цей спосіб має певні недоліки: можливість прослуховування розмов іншими абонентами, відсутність ефективних методів боротьби з завмираннями сигналу під впливом навколишнього ландшафту та будівель або внаслідок руху абонентів.

Крім цього, використання різних стандартів стільникового зв'язку і велика перевантаженість виділених частотних діапазонів стали перешкоджати його широкому застосуванню. Інколи неможливо було розмовляти через взаємні завади навіть абонентам, які знаходились у двох сусідніх країнах (надто в Європі).

Збільшити кількість абонентів можна було лише двома способами: або розширити частотний діапазон, або перейти до раціонального частотного планування, яке б дозволило значно частіше використовувати одні і ті ж частоти. Використання новітніх технологій та наукових відкриттів в галузі зв'язку та обробки сигналів дозволило підійти під кінець 80-х років до нового етапу розвитку систем стільникового зв'язку – створення систем другого покоління, які базувалися на цифрових методах обробки сигналів.

З метою розробки єдиного європейського стандарту цифрового стільникового зв'язку для виділеного діапазону 900 МГц у 1982 р. Європейська Конференція Адміністрацій Пошти та Електрозв'язку – організація, яка об'єднує адміністрації зв'язку 26 країн, - створила спеціальну групу. Результатом роботи цієї групи стали опубліковані у 1990 р. вимоги до системи стільникового зв'язку стандарту GSM (Global System for Mobile Communications), в якому використовуються найсучасніші розробки провідних науково-технічних центрів. До них, зокрема, відносяться часовий розділ каналів, шифрування повідомлень та захист даних абонентів, використання блокового та згортального кодування (code compression), прогресивні види модуляції (GMSK).

В США у 1990 р. американська Промислова Асоціація в галузі зв'язку затвердила національний стандарт IS-54 цифрового стільникового зв'язку. Цей стандарт став більш відомим під аббревіатурою D-AMPS або

ADC. На відміну від Європи, у США не були виділені нові частотні діапазони, тому система повинна була працювати у смузі частот, спільній зі звичайним AMPS.

Одночасно американська компанія Qualcomm почала активну розробку нового стандарту стільникового зв'язку, який базується на технології шумоподібних сигналів і кодовому принципі розділення каналів, – CDMA (Code Division Multiple Access).

Подальший розвиток стільникового зв'язку здійснюється в рамках створення проектів систем третього покоління, які будуть відрізнятися уніфікованою системою радіодоступу з об'єднанням існуючих стільникових і «безшнурових» систем з інформаційними службами 21-го століття.

8.2 Принципи функціонування систем стільникового зв'язку

8.2.1 Поділ території обслуговування на комірки

Розділити територію обслуговування на окремі ділянки (стільники, комірки) можна двома способами: або на основі вимірювання статистичних характеристик поширення сигналів в системах зв'язку, або на основі вимірювання чи розрахунку параметрів поширення сигналів для конкретного району.

Для оптимального, тобто без перекриття або пропусків ділянок, розділення території на стільники можуть бути використані лише три геометричні фігури: трикутник, квадрат і шестикутник. Найбільш прийнятною фігурою є шестикутник, оскільки, якщо антену з круговою діаграмою спрямованості встановити у центрі, то буде забезпечуватися доступ практично до всіх ділянок мережі.

З вищеназваних більш прийнятним є другий спосіб розділення на зони. У цьому випадку ретельно вимірюють або розраховують параметри системи для визначення мінімальної кількості базових станцій, які можуть забезпечити задовільне обслуговування абонентів по всій території, визначають оптимальне місце розташування базової станції з урахуванням рельєфу місцевості, аналізують можливість використання направлених антен, пасивних ретрансляторів тощо.

Отже, система стільникового зв'язку будується у вигляді сукупності **комірок** (location), які повністю покривають територію обслуговування. Комірки зазвичай схематично зображають у вигляді правильних шестикутників (рис. 8.1). У центрі кожної комірки знаходиться **базова станція** (base station), яка обслуговує всі **рухомі станції** (mobile station) (абонентські радіотелефонні апарати) в межах своєї комірки. При переміщенні абонента з однієї комірки в іншу відбувається передача його обслуговування від однієї базової станції до іншої. Всі базові станції

системи в свою чергу замикаються на **центр комутації** (center of commutation), з якого є вихід у телефонну мережу загального користування.

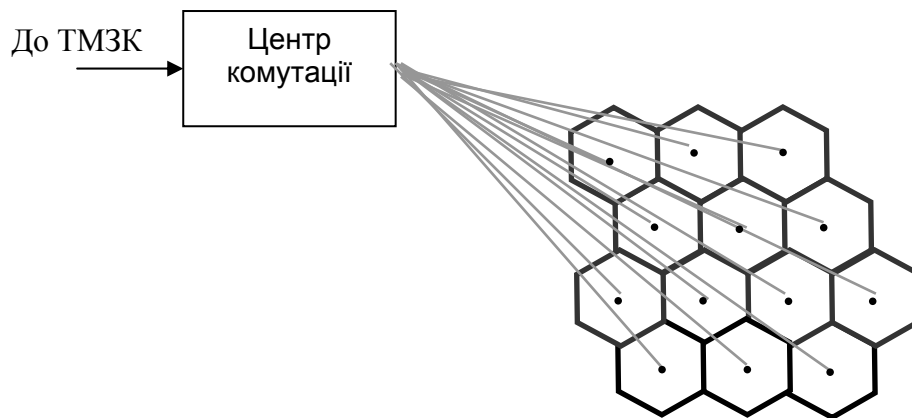


Рисунок 8.1 – Комірки системи, які покривають всю територію обслуговування

На рис. 8.2 наведена функціональна схема, яка відповідає наведеній вище структурі системи. На цій схемі введені такі скорочення: РС – рухома станція (абонентський радіотелефонний апарат); ТМЗК – телефонна мережа загального користування.



Рисунок 8.2 – Спрощена функціональна схема системи стільникового зв'язку

Зазначимо деякі моменти, пов'язані зі спрощеним схематичним поданням системи.

По-перше, в дійсності комірки ніколи не бувають строгої геометричної форми. Реальні границі комірок мають вигляд неправильних кривих, які залежать від умов поширення та згасання радіохвиль, тобто від рельєфу місцевості, характеру і забудови та інших подібних факторів. Більш того, границі комірок взагалі не є чітко визначеними, оскільки межа передачі обслуговування рухомої станції з однієї комірки в сусідню може в певних межах зміщуватися зі зміною умов поширення радіохвиль і залежно від напрямку руху рухомої станції. Положення базової станції також лише приблизно збігається з центром комірки, який до того ж не просто визначити однозначно, якщо комірка має неправильну форму.

По-друге, система стільникового зв'язку може складатися з більш ніж одного центра комутації, що може бути обумовленим, зокрема, еволюцією розвитку системи або обмеженими можливостями комутатора. На цьому обмежимося в констатації спрощень та певного «схематизму» в зображенні системи і перейдемо до наступного важливого у мобільному зв'язку питання, а саме – до принципу повторного використання частот.

8.2.2 Повторне використання частот

Кожна з комірок обслуговується своїм передавачем з невеликою вихідною потужністю і **обмеженим числом каналів зв'язку** (це число каналів є меншим, ніж в системі в цілому, де задієним є весь виділений частотний ресурс для відповідного стандарту). Це дозволяє без завад використовувати **повторно** частоти каналів цього передавача в іншій, віддаленій на значну відстань, комірці. Теоретично такі передавачі можна використовувати і в сусідніх комірках. Але на практиці зони обслуговування можуть перекриватися під дією різних факторів, наприклад, через зміну умов поширення радіохвиль. Тому в сусідніх комірках використовуються різні частоти. Приклад побудови комірок за умови використання трьох діапазонів частот f_1, f_2, f_3 наведений на рис. 8.3 (важливо наголосити, що в кожній комірці використовується не одна частота, а певний діапазон частот, який є частиною виділеного для цього стандарту частотного ресурсу; f_1, f_2, f_3 – частоти базових станцій).

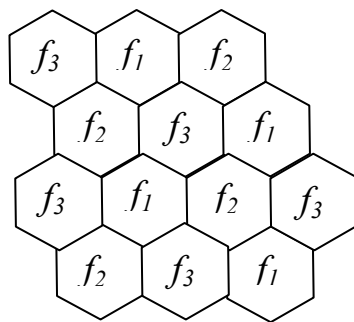


Рисунок 8.3 – Побудова комірок для трьох частот

Група комірок з різними наборами частот називається **класстером** (clump, cluster). Визначальним його параметром є кількість частот, що використовуються у сусідніх комірках. На рис. 8.3, наприклад, розмірність кластера дорівнює трьом. Але на практиці це число може сягати п'ятнадцяти.

Основною ідеєю, на якій базується принцип стільникового зв'язку, є повторне використання частот в несуміжних комірках. Принцип повторного використання частот передбачає, що базові станції в сусідніх

стільниках працюють на різних частотах, інакше мав би місце взаємний вплив базових станцій і створювалися б завади.

Використання кластерної побудови дозволяє при обмеженому частотному ресурсі забезпечити зв'язком велику кількість абонентів на значній території. Можна встановити зв'язок між кількістю каналів, які приходяться на одну базову станцію, розмірністю кластера і величиною частотного ресурсу.

Для кожного стандарту виділяється певний частотний діапазон ΔF_δ - частотний ресурс системи. Якщо N – розмірність кластера, то для кожної базової станції виділяється смуга частот, яка дорівнює $\Delta F_\delta / N$. В межах виділеної смуги на кожній базовій станції створюється певна кількість каналів, яка залежить від величини $\Delta F_\delta / N$ і ширини смуги, яку займає один канал Δf_k . Очевидно, кількість каналів для однієї базової станції становитиме:

$$n_k \cong \frac{\Delta F_\delta}{N \cdot \Delta f_k}. \quad (8.1)$$

Будь-який з каналів стільникового зв'язку являє собою **пару частот** для дуплексного зв'язку, тобто частоти базової і рухомої станцій рознесені. Це робиться для того, щоб покращити фільтрацію сигналів і виключити взаємний вплив передавача на приймач одного і того ж пристрою при їх одночасній роботі.

Зупинимось детальніше на питанні вибору розміру комірки. Ці розміри визначають фактично **захисний інтервал** (safeguard), тобто мінімальну відстань між базовими станціями, на якій допускається повторне використання виділеного набору частот. Зазначимо, що величина захисного проміжку залежить, очевидно, від розмірів комірки, виділеної смуги частот, а також від допустимого рівня завад та умов поширення радіохвиль. Припустивши, що інтенсивність викликів абонентів в межах всієї зони однакова, комірки вибираються одного розміру. Розмір зони обслуговування базової станції визначає кількість абонентів, які можуть одночасно вести переговори на всій території обслуговування. Отже, зменшення радіуса комірки дозволяє не тільки підвищити ефективність використання виділеної смуги частот і збільшити абонентську ємність системи, але й зменшити потужність передавачів і чутливість приймачів базових та рухомих станцій. Це, в свою чергу, покращує умови електромагнітної сумісності засобів стільникового зв'язку з іншими радіоелектронними засобами та системами.

8.2.3 Алгоритми функціонування систем стільникового зв'язку

Не дивлячись на *різноманітність* (variety) стандартів стільникового зв'язку, алгоритми їх функціонування незалежно від певних особливостей в основному подібні. Для абонента практично нема ніякої різниці, у якому стандарті здійснюється зв'язок. Якщо йому необхідно зателефонувати, то він просто натискає клавішу на своєму радіотелефоні, що відповідає підняттю слухавки звичайного телефона. Якщо радіотелефон знаходиться в режимі очікування (стан «покладеної слухавки» звичайного телефона), то його приймальний пристрій постійно сканує (продивляється) або всі канали системи, або тільки керуючі. Для виклику відповідного абонента всіма базовими станціями стільникової системи зв'язку по керуючих каналах передається сигнал виклику. Стільниковий телефон абонента, який викликається, при отриманні цього сигналу відповідає по одному з вільних каналів керування. Базові станції, які прийняли сигнал відповіді, передають інформацію про його параметри в центр комутації, який, в свою чергу, перемикає розмову на ту базову станцію, де зафіксований максимальний рівень сигналу стільникового радіотелефона абонента, який викликається.

Під час набору номера радіотелефон займає один з вільних каналів, рівень сигналу базової станції в якому в даний момент максимальний. При віддаленні абонента від базової станції або через погіршення умов поширення радіохвиль рівень сигналу зменшується, що приводить до погіршення якості зв'язку. Покращення якості розмови досягається шляхом автоматичного перемикання абонента на інший канал зв'язку. Це відбувається таким чином. Спеціальна процедура, що називається ***передачею керування викликом*** або ***естафетною передачею*** (token passing), дозволяє перевести розмову на вільний канал іншої базової станції, в зоні дії якої виявився в цей час абонент. Аналогічні дії приймаються за умови зниження якості зв'язку через вплив завад або при виникненні несправностей комутаційного обладнання. Для контролю таких ситуацій базова станція оснащена спеціальним приймачем, який періодично вимірює рівень сигналу стільникового телефона абонента, який веде переговори, і постійно порівнює цей рівень з допустимою величиною. Якщо рівень сигналу менший допустимої величини, то інформація про це автоматично передається в центр комутації службовим каналом зв'язку. Центр комутації видає команду про вимірювання рівня сигналу стільникового радіотелефона абонента ближніми до нього базовими станціями. Після отримання інформації від базових станцій про рівень цього сигналу центр комутації перемикає радіотелефон на ту з них, де рівень сигналу виявився найбільшим. Це відбувається так швидко, що абонент абсолютно не помічає цих перемикань.

Одна з важливих послуг мережі стільникового зв'язку – надання можливості використання одного і того ж радіотелефону в разі поїздки в інше місто, область чи країну. В стільниковому радіозв'язку така можливість називається **роумінг** (roaming). Для організації роумінгу стільникові мережі повинні належати до одного стандарту (телефон стандарту GSM не буде працювати в мережі стандарту CDMA тощо), а центри комутації рухомого зв'язку цього стандарту повинні бути з'єднані спеціальними каналами зв'язку для обміну даними про місцезнаходження абонента. Іншими словами, стосовно стільникових систем для забезпечення роумінгу необхідне виконання трьох умов:

- наявність в потрібних регіонах стільникових систем стандарту, сумісного зі стандартом компанії, в якій був придбаний радіотелефон;
- наявність відповідних організаційних та економічних угод про роумінгове обслуговування абонентів;
- наявність каналів зв'язку між системами, які б забезпечували передачу звукової та іншої інформації для роумінгових абонентів.

При переміщенні абонента в іншу мережу її центр комутації дає запит на інформацію в початковій мережі і за наявності підтвердження повноважень абонента реєструє його. Дані про місцезнаходження абонента постійно оновлюються в центрі комутації початкової мережі, і всі виклики, які туди надходять, автоматично переадресовуються в ту мережу, де в даний момент знаходиться абонент.

При організації роумінгу недостатньо провести лише технічні заходи із з'єднання різних мереж стільникового зв'язку. Важливо також розв'язати проблему взаєморозрахунків між операторами цих мереж.

8.3 Загальна характеристика складових частин системи

8.3.1 Рухома станція

До складу рухомої станції (радіотелефона) входить блок керування, приймально-передавальний блок та антенний блок, які детально розглянуті в п. 5.6. Крім названих складових частин до приймально-передавального блока входять вузли, які виконують послідовно всі зворотні перетворення, кінцевою метою яких є отримання абонентом повідомлення у вигляді, зручному для його сприйняття.

В радіотелефонах сучасних цифрових стандартів використовуються також вузли, які забезпечують конфіденційність передачі інформації (блоки шифрування та дешифрування), економні витрати енергії джерела живлення (детектор мовної активності), створюють так званий режим комфортного шуму при відсутності корисного сигналу тощо.

8.3.2 Базова станція

Багато елементів, які входять до складу базової станції, за функціональним призначенням не відрізняються від аналогічних елементів рухомої станції, але в цілому базова станція суттєво більша і складніша порівняно з рухомою, що відповідає її місцю в системі стільникового зв'язку.

Перша особливість базової станції, яку варто відзначити, - це використання рознесеного прийому. З цією метою станція повинна мати дві приймальні антени. Крім цього, базова станція може мати окремі антени на передачу і прийом. Друга особливість – наявність декількох приймачів і такої ж кількості передавачів, які дозволяють вести одночасну роботу на декількох каналах з різними частотами.

Одночасно приймачі і передавачі мають спільні опорні генератори, які забезпечують їх узгоджене перенастроювання при переході з одного каналу на інший. Конкретна кількість приймачів та передавачів залежить від конструкції і комплектації базової станції. Для забезпечення одночасної роботи N приймачів на одну приймальну і N передавачів на одну передавальну антену між приймальною антеною і приймачами встановлюється подільник потужності на N виходів, а між передавачами і передавальною антеною – суматор потужності на N входів.

Приймач і передавач мають в загальному таку ж структуру, як і в рухомій станції, за винятком того, що в них відсутні відповідно ЦАП і АЦП, оскільки і вхідний сигнал передавача, і вихідний сигнал приймача мають цифрову форму.

До складу базової станції входить блок спряження з лінією зв'язку, який забезпечує упакування інформації, що передається лінією на центр комутації, а також розпакову вхідної інформації. Як лінія зв'язку базової станції з центром комутації зазвичай використовується радіорелейна або волоконно-оптична лінія, якщо базова станція і центр комутації не розташовані територіально в одному місці.

Для забезпечення достатньої надійності багато блоків та вузлів базової станції резервуються (дублюються), станцію оснащують автономними джерелами безперебійного живлення (акумуляторами). Оскільки апаратура базової станції споживає значну потужність і, відповідно, виділяє помітну кількість тепла, у ній передбачаються спеціальні пристрої охолодження.

8.3.3 Центр комутації

Центр комутації є мозковим центром і одночасно диспетчерським пунктом системи стільникового зв'язку, на який замикаються потоки інформації від всіх базових станцій і через який здійснюється вихід на інші

мережі зв'язку – стаціонарну телефонну мережу, мережі міжнародного зв'язку, супутникового зв'язку, інші стільникові мережі. До складу центру комутації входить декілька процесорів (контролерів) і він є типовим прикладом багатопроцесорної системи.

Комутатор центру комутації перемикає потоки інформації між відповідними лініями зв'язку. Він може, зокрема, спрямувати потік інформації від однієї базової станції до іншої або від базової станції в стаціонарну мережу зв'язку, або, навпаки, - від стаціонарної мережі зв'язку до потрібної базової станції.

Робота центру комутації передбачає активну участь операторів, тому до складу центра входять відповідні термінали, а також засоби відображення і реєстрації (документування) інформації. Зокрема, оператором вводяться дані про абонентів і умови їх обслуговування, вихідні дані про режими роботи системи, в необхідних випадках оператор видає потрібні по ходу роботи команди.

Важливими елементами системи є бази даних – домашній реєстр, гостьовий реєстр, центр аутентифікації, реєстр апаратури (останній є не у всіх системах).

Домашній реєстр містить відомості про всіх абонентів, які зареєстровані в даній системі, і про види послуг, які можуть бути їм надані (в умовах договору може бути передбачено надання різних конфігурацій послуг). Тут також фіксується місцезнаходження абонента для організації його виклику і реєструються фактично надані послуги. Гостьовий реєстр містить приблизно такі ж відомості про абонентів-гостей, тобто про абонентів, які зареєстровані в іншій системі, але користуються в даний час послугами стільникового зв'язку в даній системі.

Центр аутентифікації забезпечує процедури аутентифікації абонентів та шифрування повідомлень.

Реєстр апаратури (реєстр ідентифікації апаратури), якщо він існує, містить відомості про рухомі станції, які знаходяться в експлуатації, на предмет їх нормального робочого стану та санкціонованого використання. Зокрема, у ньому можуть фіксуватися вкрадені абонентські апарати, а також апарати, які мають технічні дефекти, наприклад, такі, що є джерелами завад неприпустимо високого рівня.

Важливими функціями центра є технічне забезпечення роумінгу, а також аутентифікація (процедура підтвердження дійсності, законності, наявності прав на користування послугами стільникового зв'язку) абонентів і шифрування повідомлень. Як і в базовій станції, в центрі комутації передбачається резервування основних елементів апаратури, включаючи джерело живлення, процесор та бази даних.

9 БАГАТОКАНАЛЬНИЙ ЗВ'ЯЗОК

9.1 Поняття про канал тональної частоти

Повідомлення будь-якого виду від його джерела до отримувача передаються за допомогою електричних сигналів каналами електрозв'язку. Основним каналом сучасних систем передачі є **канал тональної частоти** – сукупність технічних засобів (кінцевого, проміжного та лінійного обладнання), які забезпечують передачу телефонних сигналів у смузі частот 0,3...3,4 кГц. Телефонні сигнали мають спектр, який збігається за частотою із звуковими (тональними) коливаннями, що відповідають мові. Враховуючи цю обставину, а також той факт, що телефонні повідомлення є переважними в загальних потоках повідомлень, канал тональної частоти (канал ТЧ) прийнятий як стандартний.

Практика організації зв'язку показує, що найбільшу вартість серед всіх ланок каналу електрозв'язку мають лінії зв'язку: повітряні, кабельні, волоконно-оптичні, радіорелейні, супутникові. Саме тому і виникла потреба у створенні **багатоканальних систем передачі**, які дозволяють по одній лінії зв'язку організувати якомога більше число каналів, тобто одночасно передавати велику кількість телефонних, телеграфних сигналів, сигналів передачі даних, мовлення, телебачення.

Число каналів, які створюються в лінії зв'язку, визначається, з одного боку, смугою частот, яку може пропустити лінія, а з іншого – видом сигналів, які передаються, та вимогами до їх параметрів. В табл. 9.1 наведений приблизний порядок кількості каналів ТЧ, які можуть бути організовані в різних лініях зв'язку.

Таблиця 9.1 – Число каналів ТЧ в різних лініях зв'язку

Лінії зв'язку	Число каналів	Лінії зв'язку	Число каналів
Повітряна лінія	10	Коаксіальний кабель	10000
Симетричний кабель	100	Волоконно-оптична лінія	1000000

Розглянемо основні характеристики каналу ТЧ.

Важливою характеристикою каналу ТЧ є **залишкове згасання** – різниця рівнів потужності на його вході та виході. Фізично залишкове згасання каналу показує різницю між сумами всіх згасань і всіх підсилень в каналі, іншими словами – це величина некомпенсованого згасання.

Сигнали, які проходять каналом ТЧ, неминуче зазнають спотворень. В каналі величина залишкового згасання на різних частотах різна. Причина цього полягає в амплітудно-частотній залежності параметрів реальних підсилювачів, трансформаторів, фільтрів тощо. Залежність залишкового згасання від частоти, яка викликає амплітудно-

частотні спотворення сигналів, називається **амплітудно-частотною характеристикою каналу**.

Поряд з корисним сигналом в каналі завжди існують сторонні електричні коливання – завади, які заважають нормальному прийому сигналів, що передаються. Завади в каналах систем передавання можуть виникати під впливом як внутрішніх (внутрішньосистемних), так і зовнішніх факторів. Оцінка дії завад будь-якого виду виконується за **завадозахищеністю** (obstacle stability), яка визначається як різниця рівнів корисного сигналу і завади у тій точці каналу, де виконується таке оцінювання:

$$A_z = p_c - p_z = 10 \lg \frac{P_c}{P_z}, \quad (9.1)$$

де p_c, p_z – рівні корисного сигналу і завади;

P_c, P_z – потужності корисного сигналу і завади.

9.2 Класифікація багатоканальних систем передачі

Сучасними лініями зв'язку, як правило, передаються одночасно і незалежно один від одного десятки, сотні, тисячі і більше сигналів. Кожен сигнал передається своїм каналом. Створення каналів для передачі окремих сигналів електрозв'язку по одній лінії зв'язку по-іншому називається **розділом каналів**. Операція розділу каналів базується на присвоєнні кожному сигналу, який передається, індивідуальної ознаки. Відомі різні методи розділу каналів, але найширше застосовуються методи **частотного розділу каналів** (ЧРК) і **часового розділу каналів** (ЧсРК).

При використанні метода ЧРК кожному сигналу, що передається, відводиться строго індивідуальна смуга частот. За допомогою спеціальних пристроїв – перетворювачів частоти – смуга частот кожного сигналу переноситься без зміни ширини з початкового в заданий діапазон частот. Принцип перенесення смуг частот пояснюється на рис. 9.1. Смуги частот, які займають сигнали після перенесення, повинні знаходитися в межах частотного діапазону лінії передачі, що використовується в даній системі.

В основу методу часового розділу каналів покладений принцип почергової поелементної передачі декількох сигналів однією лінією зв'язку. Спочатку лінією передаються перші елементи першого сигналу, потім другого і так до останнього n -го сигналу. Далі передаються другі елементи знову від першого до n -го сигналу. Така процедура повторюється до тих пір, поки не будуть передані останні елементи всіх n сигналів. В результаті виявляється, що кожний сигнал передається в строго відведених інтервали часу, тобто по певному часовому каналу. В даному випадку

всього n часових каналів. Таким чином, канали виявляються розділеними в часі, але кожний з каналів займає всю відведену для передачі всіх каналів смугу пропускання лінії зв'язку. Принцип формування часових каналів наведений на рис. 9.2.

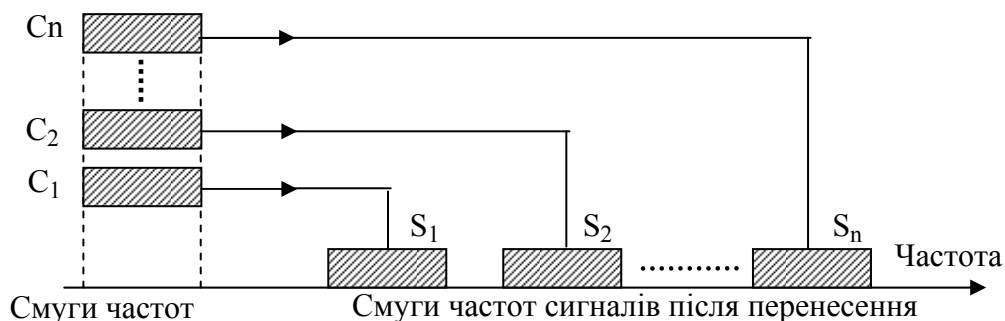


Рисунок 9.1 – Принцип перенесення смуг частот при ЧРК

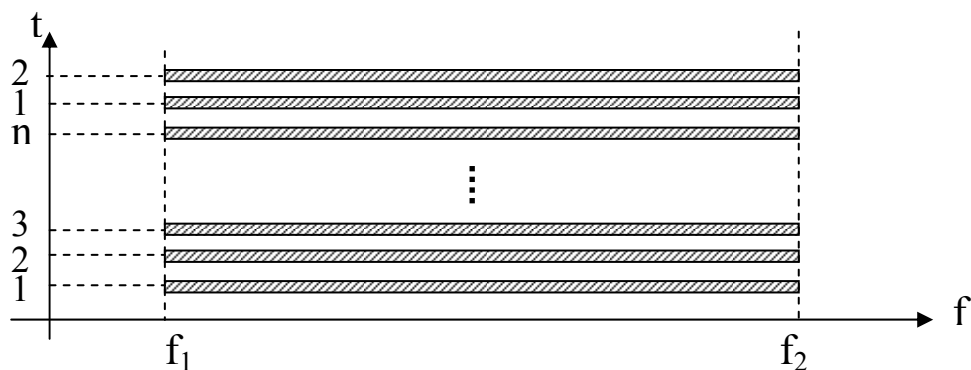


Рисунок 9.2 – Принцип формування часових каналів при ЧсРК

В системах передачі з ЧРК каналами передаються неперервні (аналогові) сигнали, тому такі системи прийнято називати **аналоговими**. Вони відносно прості в експлуатації, мають досить високу надійність роботи, забезпечують гарну якість передачі сигналів і необхідну дальність зв'язку. Однак є в них і ряд недоліків. Одним з основних недоліків є відносно низька завадозахищеність. Із збільшенням довжини магістралі завадозахищеність в каналах аналогових систем передачі зменшується, оскільки завади поступово накопичуються.

В системах передачі з ЧсРК використовується двійковий сигнал. Послідовність імпульсів струму містить всю необхідну інформацію про форму початкового сигналу. Такі системи мають значно вищу завадозахищеність порівняно з аналоговими. Це обумовлене двійковим характером сигналу, що дозволяє реалізувати періодичну регенерацію (відновлення) сигналу (див. п. 7.2.1) і уникнути накопичення завад. Системи передачі, в яких кінцеве обладнання виконує функцію

перетворення аналогового сигналу в цифрову форму і в подальшому реалізується принцип часового розділу каналів, отримали назву **цифрових систем передачі** (ЦСП).

9.3 Поняття про модуляцію гармонічним сигналом

Процедура **модуляції** лежить в основі перенесення спектрів початкових сигналів у смуги частот робочого діапазону ліній зв'язку. Спектри сигналів у лінії зв'язку, очевидно, не повинні перекриватися. Суть процесу модуляції полягає у зміні одного з параметрів (амплітуди, частоти або фази) допоміжного високочастотного коливання, яке називають коливанням несучої частоти. Розглянемо **амплітудну модуляцію**, яка характеризується тим, що за законом первинного сигналу змінюється **амплітуда** високочастотного коливання. Часові діаграми при амплітудній модуляції наведені на рис. 9.3.

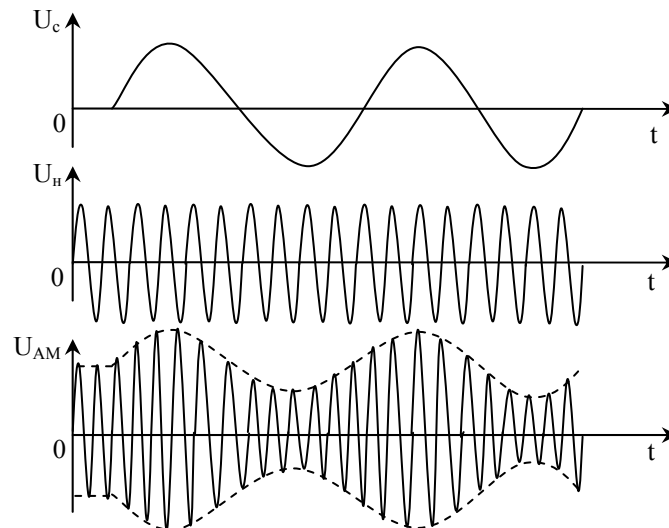


Рисунок 9.3 – Часові діаграми при амплітудній модуляції

Нехай первинний сигнал описується виразом:

$$s(t) = S_m \cos \Omega t, \quad (9.2)$$

де S_m , Ω – відповідно амплітуда і частота первинного сигналу.

Допоміжне високочастотне коливання є гармонічним процесом і може бути записаним у вигляді синусоїди з амплітудою A_0 і частотою ω_0 :

$$a(t) = A_0 \cos \omega_0 t. \quad (9.3)$$

Згідно з попередніми зауваженнями процес модуляції і, відповідно, перенесення спектра може мати місце лише за умови $\omega_0 \gg \Omega$. Якщо

відбувається амплітудна модуляція, то амплітуда допоміжного сигналу (9.3) перестає бути константою A_0 , а стає певною функцією часу і визначається законом зміни первинного сигналу, тобто:

$$A(t) = A_0 + S_m \cos \Omega t = A_0 (1 + M \cos \Omega t), \quad (9.4)$$

де $M = \frac{S_m}{A_0}$ – глибина модуляції.

Замінивши у формулі (9.3) постійну амплітуду на амплітуду за формулою (9.4), отримаємо вираз для амплітудно-модульованого сигналу:

$$a_{AM}(t) = A_0 (1 + M \cos \Omega t) \cos \omega_0 t = A_0 \cos \omega_0 t + \frac{M \cdot A_0}{2} \cos(\omega_0 - \Omega)t + \frac{M \cdot A_0}{2} \cos(\omega_0 + \Omega)t. \quad (9.5)$$

Як видно з формули (9.5), амплітудно-модульований сигнал складається з трьох складових: несучої (перший доданок) і двох складових комбінаційних частот $(\omega_0 + \Omega)$ та $(\omega_0 - \Omega)$ з амплітудами $MA_0/2$. Складові комбінаційних частот розміщені по обидві сторони від несучої, тому їх називають **боковими частотами**. Складова з частотою $(\omega_0 + \Omega)$ називається верхньою боковою частотою, оскільки вона розміщена по спектру вище частоти ω_0 , а складова з частотою $(\omega_0 - \Omega)$ – нижньою боковою частотою. З наведеної формули видно, що інформація про первинний сигнал зосереджена лише на бокових частотах, причому слід звернути увагу на те, що ми вже маємо справу з перенесеним спектром первинного сигналу – перенесеним в область високої частоти ω_0 .

На рис. 9.4 наведений спектр частот на виході модулятора для випадку первинного синусоїдного сигналу, який виражається формулою (9.2).

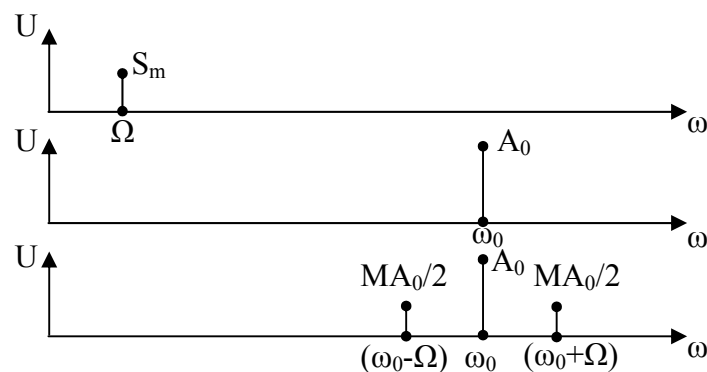


Рисунок 9.4 – Спектри частот первинного і амплітудно-модульованого сигналів

9.4 Амплітудна модуляція смуговим сигналом

В реальних умовах інформаційні (первинні) сигнали не є чисто синусоїдними, а складаються з великої кількості частотних компонент, тобто є багаточастотними. Іншими словами, можна говорити, що існує певний спектр первинного сигналу, який лежить в діапазоні частот від Ω_1 до Ω_n . Зрозуміло, що у випадку подачі на пристрій модуляції такого сигналу, на його виході також з'являться складові верхньої ($\omega_0 + (\Omega_1 \dots \Omega_n)$) та нижньої ($\omega_0 - (\Omega_1 \dots \Omega_n)$) бокових смуг частот. Фактично для кожної з частотних компонент первинного сигналу можна записати вираз для амплітудно-модульованого сигналу у вигляді (9.5), а в сукупності вони створять спектри верхньої та нижньої бокових смуг.

На рис. 9.5 наведені спектри первинного і амплітудно-модульованого сигналів для випадку широкосмугового первинного сигналу. Форма спектру у вигляді трикутника є умовною.

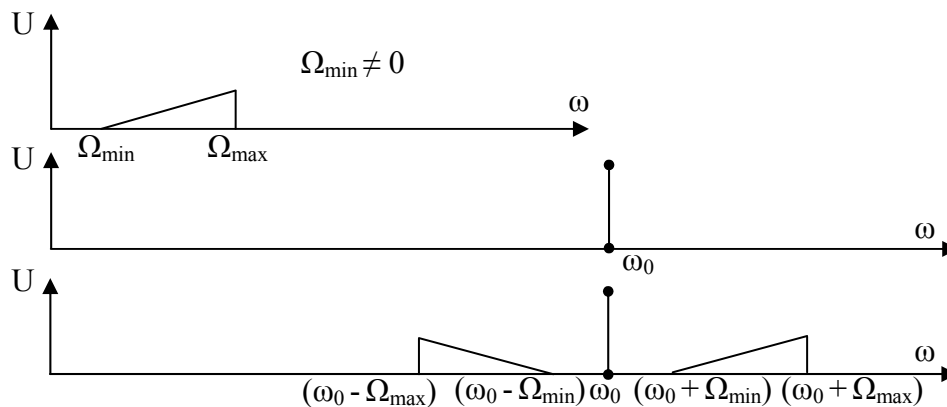


Рисунок 9.5 – Спектри частот первинного широкосмугового і амплітудно-модульованого сигналів

З рис. 9.4 і 9.5 видно, що амплітудно-модульований сигнал займає смугу частот, яка в два рази перевищує найвищу частоту у спектрі первинного сигналу. Виходячи з технології ЧРК, це означає, що кількість каналів, які можна організувати в лінії, вдвічі зменшується. Щоб усунути цей недолік слід звернути увагу на те, що корисну інформацію переносить кожна бокова смуга частот. Це означає, що достатньо в лінію зв'язку спрямовувати лише одну бокову смугу. Тому в системах передачі з ЧРК на виході модулятора встановлюють смугові фільтри, які виділяють тільки одну з бокових смуг і заглушають іншу. Створений таким чином сигнал називається **односмуговим**. Саме такі сигнали використовуються переважно в аналогових системах передачі.

9.5 Індивідуальний принцип побудови апаратури аналогових систем передачі

До складу апаратури систем передачі входить кінцеве та проміжне обладнання, а також обладнання виділення каналів. Кінцеве обладнання призначене для перетворення початкових сигналів у певний високочастотний сигнал, який можна передавати тією чи іншою лінією передачі. Проміжне обладнання призначене для підсилення послабленого при проходженні в середовищі поширення сигналу і відновлення його форми. Обладнання виділення каналів застосовується для забезпечення зв'язку населених пунктів, розташованих вздовж траси проходження лінії зв'язку.

Кінцеве і проміжне обладнання систем передачі може будуватися за *індивідуальним* або *груповим* принципами. При індивідуальному способі побудови для кожного каналу всі пристрої є окремими, причому не тільки в кінцевому, але і в проміжному обладнанні. Таким чином, різні технічні пристрої повторюються стільки разів, на скільки каналів розрахована система передачі. Крім цього, враховуючи, що кожному каналу відводиться строго виділена смуга частот, однотипні пристрої різних каналів повинні розраховуватися на різні частоти.

Приклад побудови кінцевого обладнання за індивідуальним принципом наведений на рис. 9.6.

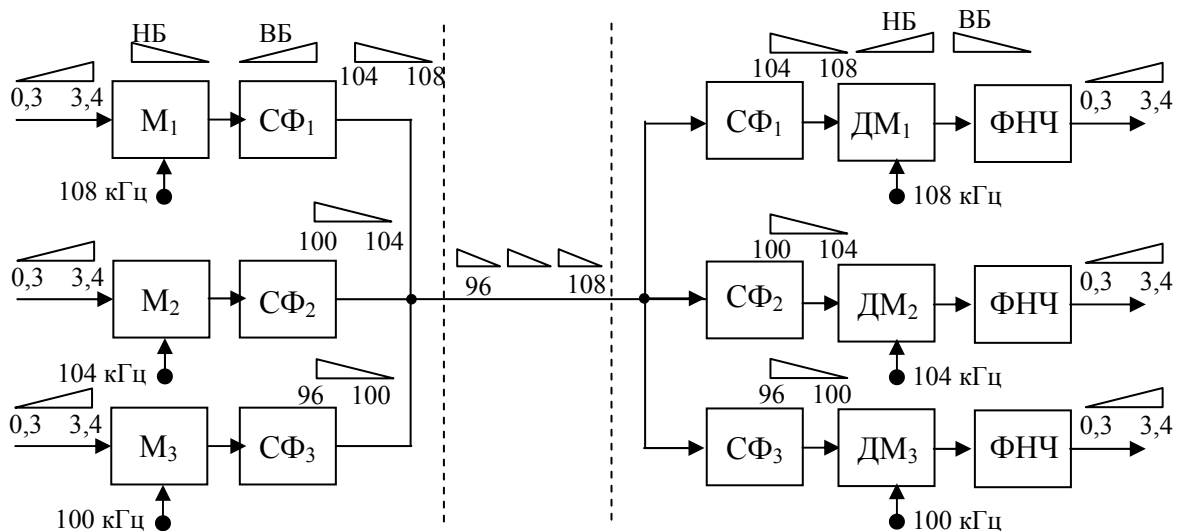


Рисунок 9.6 – Спрощена схема побудови кінцевого обладнання за індивідуальним принципом

В даному випадку система дозволяє організувати одночасну передачу сигналів, що відповідають трьом різним повідомленням, по одному колу з пункту А в пункт Б. Передавач кожного каналу має у своєму складі модулятор М і смуговий фільтр СФ, а приймач – смуговий фільтр,

демодулятор ДМ та фільтр нижніх частот ФНЧ. Нехай на модулятор і демодулятор першого каналу подається струм несучої частоти 108 кГц, другого – 104 і третього – 100 кГц. Припустимо також, що в пункті *А* на входи всіх трьох каналів подаються інформаційні сигнали тональної частоти 0,3...3,4 кГц (умовно, як і на рис. 6.5, такий складний сигнал зображений на схемі трикутником).

Після перетворення (модуляції) на виході модулятора першого каналу виникають струми двох бокових смуг частот: верхньої – $108 + (0,3...3,4) = 108,3...111,4$ кГц і нижньої – $108 - (0,3...3,4) = 107,6...107,7$ кГц. На схемі трикутник, який відображає нижню бокову смугу частот, показаний інвертованим (перевернутим – дзеркальне відображення) відносно трикутника, який відображає початковий сигнал, оскільки гострому куту відповідає частота початкового сигналу 0,3, а прямому куту – 3,4 кГц.

Аналогічно можна підрахувати діапазони частот верхніх та нижніх смуг для другого та третього каналів. Смугові фільтри кожного каналу пропускають струми тільки нижніх бокових і затримують струми верхніх бокових смуг частот.

Струм групового сигналу, який має смугу частот 96,6...107,8 кГц, оскільки він складається з бокових смуг трьох сигналів, передається у лінію. В пункті *Б* у кожний канал ввімкнені СФ, які пропускають струми зі смугою частот 104,6...107,7 кГц для першого каналу, 100,6...103,7 кГц – для другого і 96,6...99,7 кГц – для третього. Ці струми надходять на демодулятори, на які подаються такі ж самі несучі частоти, як і на модулятори. Фільтри нижніх частот, які ввімкнені на виходах демодуляторів, пропускають лише струми в діапазоні частот первинного сигналу, тобто 0,3...3,4 кГц.

Таким чином, завдяки подачі на модулятори і демодулятори кожного каналу відповідних несучих частот вдається перенести струми початкових сигналів з частотою 0,3...3,4 кГц у верхній діапазон та рознести їх по шкалі частот, після чого одночасно передати на станцію *Б* всі три сигнали по одному колу, а на прийомі виділити з загального спектра початкові сигнали.

9.6 Груповий принцип побудови апаратури аналогових систем передачі

При розробці сучасних систем передачі широко використовується груповий спосіб побудови кінцевої апаратури. Такий спосіб побудови передбачає використання в системах передачі окремої для кожного каналу лише невеликої частини обладнання, а решта пристроїв кінцевої апаратури і всі пристрої проміжної апаратури є спільними для всіх каналів системи. Структурна схема, яка пояснює принцип побудови систем передачі з

використанням багаторазового або групового перетворення, наведена на рис. 9.7.

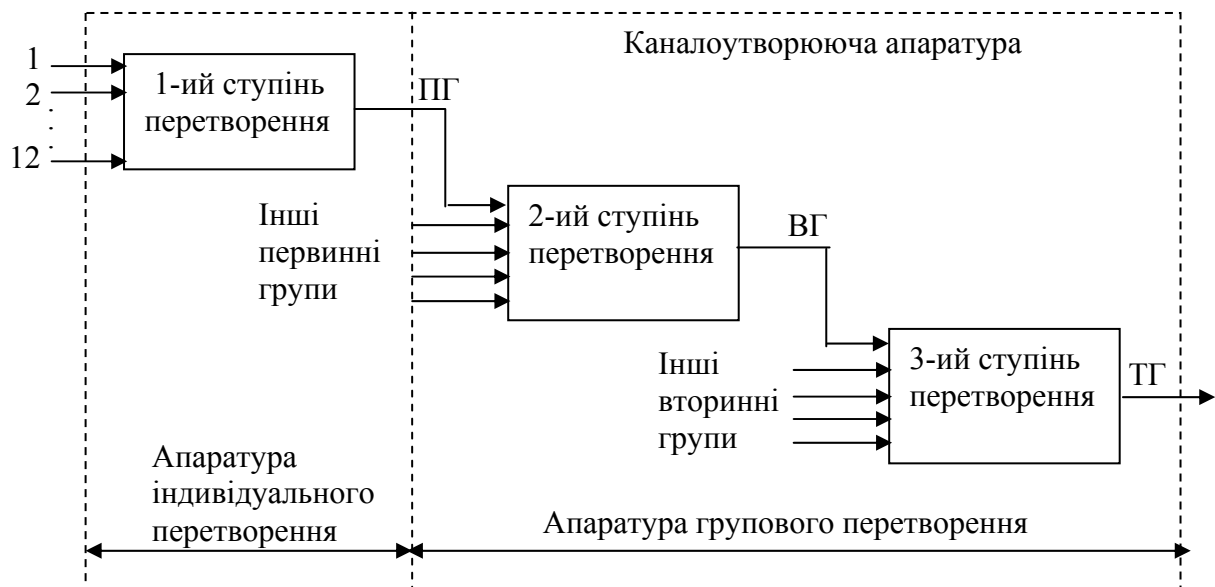


Рисунок 9.7 – Принцип групової побудови апаратури систем передачі

В першому ступені перетворення однакові початкові частотні смуги від 12 різних джерел сигналів перетворюються в 12-канальну групу сигналів. Таку групу прийнято називати **первинною групою** ПГ.

На другому ступені п'ять однакових за шириною частотних смуг первинних груп перетворюються в загальний груповий 60-канальний сигнал, який називається **вторинною групою** ВГ.

В наступному ступені перетворення створюється 300-канальний сигнал шляхом перенесення п'яти вторинних 60-канальних груп. Групу з 300-канальних сигналів називають **третинною** ТГ.

Сукупність перетворювального обладнання всіх груп носить назву **каналоутворюючої апаратури**. Її призначення полягає в перетворенні початкових сигналів, які займають смугу частот 0,3...3,4 кГц, в груповий сигнал одного з різновидів стандартних груп. Каналоутворююча апаратура різних систем передачі залежно від загальної кількості сигналів може складатися тільки з апаратури первинних груп, первинних і вторинних і т.д. Використання каналоутворюючої апаратури дозволяє будувати кінцеву апаратуру систем передачі різної ємності на основі стандартного перетворювального обладнання і, отже, створювати уніфіковане технічне обладнання.

9.7 Формування АІМ-сигналу в системах передачі з часовим розділенням каналів

Часовий спосіб розділення каналів базується на почерговій передачі різних сигналів однією лінією. На рис. 9.8 наведені часові діаграми, що пояснюють принцип ЧсРК. На рис. 9.8, а – в наведені графіки трьох неперервних аналогових сигналів $u_1(t)$, $u_2(t)$, $u_3(t)$, $u_4(t)$. Як видно з графіків, сигнали змінюються неперервно, приймаючи в кожний момент часу певне значення. В цілому таких значень у відповідному інтервалі буде нескінченна множина.

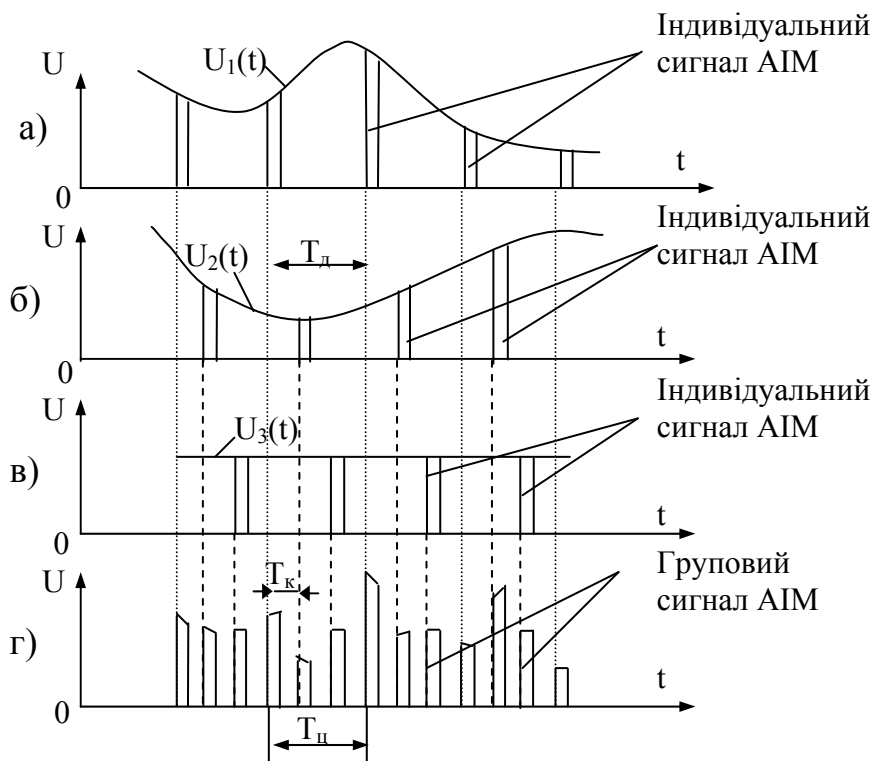


Рисунок 9.8 – Перетворення неперервних сигналів в імпульсні

Академік В. А. Котельніков показав, що неперервний сигнал можна передавати окремими значеннями через певні і рівні проміжки часу у вигляді послідовності коротких імпульсів. При цьому частота проходження імпульсів повинна не менш ніж в два рази перевищувати максимальну частоту складових спектра сигналу, а їх амплітуда (на рисунку – висота) повинна бути рівною відповідним миттєвим значенням сигналу. Отже, для передачі неперервний сигнал перетворюється в імпульсний зі змінною амплітудою. Такий сигнал називається **амплітудно-імпульсно-модульованим** (АІМ-сигналом), а процес перетворення – **дискретизацією**.

На діаграмах, рис. 9.8, показані АІМ-сигнали, що відповідають неперервним сигналам $u_1(t)$, $u_2(t)$, $u_3(t)$. Інтервали часу між імпульсами

індивідуальних сигналів становлять T_δ . Таким чином, частота дискретизації $f_\delta = 1/T_\delta$.

Як видно з діаграм, імпульси різних АІМ-сигналів зміщені один відносно одного в часі. Таке зміщення усуває перекриття імпульсів при їх об'єднанні в груповий сигнал, який показаний на рис. 9.8 г). У груповому сигналі частота проходження імпульсів в три рази перевищує частоту дискретизації f_δ , оскільки для наведеного прикладу перетворювалися і об'єднувалися три аналогових сигнали. Інтервал часу між ближніми імпульсами групового сигналу називається **канальним інтервалом** T_k . Проміжок часу між сусідніми імпульсами одного індивідуального сигналу називається **циклом передачі** T_ψ . Очевидно, що тривалість циклу передачі дорівнює тривалості інтервала дискретизації. Таким чином, в кожному циклі в певній послідовності розміщується по одному імпульсу всіх індивідуальних сигналів, зміщених один відносно одного на час T_k . Від співвідношення T_ψ і T_k залежить кількість імпульсів, які можна розмістити у циклі, тобто число часових каналів.

Системи передачі, в яких використовуються АІМ-сигнали, не дивлячись на відносну простоту реалізації не отримали практичного застосування. Це пов'язане з тим, що АІМ-сигнали надто чутливі до дії завад, оскільки будь-які завади в каналах зв'язку змінюють амплітуду імпульсів, яка є інформаційним параметром сигналу.

9.8 Поняття про імпульсно-кодову модуляцію

Широке застосування на практиці знайшли системи передачі з ЧсРК, які отримали назву **систем з імпульсно-ковою модуляцією** (ІКМ). В таких системах використовується ІКМ-сигнал, який формується фактично з АІМ-сигналу за певним алгоритмом. При формуванні ІКМ-сигналу мають місце процедури **квантування** і **кодування**, які зручно пояснити за допомогою часових діаграмах (рис. 9.9).

На рис. 9.9, а) зображений графік неперервного сигналу і відповідного йому АІМ-сигналу, який отриманий шляхом дискретизації з кроком T_δ . На рис. 9.9, б) по осі ординат відкладені квантовані (дозволені) значення амплітуд імпульсів. На графіку показано вісім таких значень, пронумерованих десятковими та двійковими числами, а також нанесений АІМ-сигнал.

Як видно з рисунка, значення амплітуд імпульсів сигналу, як правило, не збігаються з квантованими значеннями. Суть процесу квантування полягає у тому, що реальні значення амплітуд імпульсів замінюють на найближчі квантовані (дозволені) значення. Квантування, таким чином, вносить певні спотворення в сигнал, які називаються **похибками квантування**. Похибка квантування тим менша, чим менша

різниця між двома сусідніми дозволеними значеннями амплітуд, яка носить назву **крок квантування** (step of quantum). Отже, кількість дозволених значень амплітуд повинна бути якомога більшою. В сучасних системах ІКМ вона дорівнює 256.

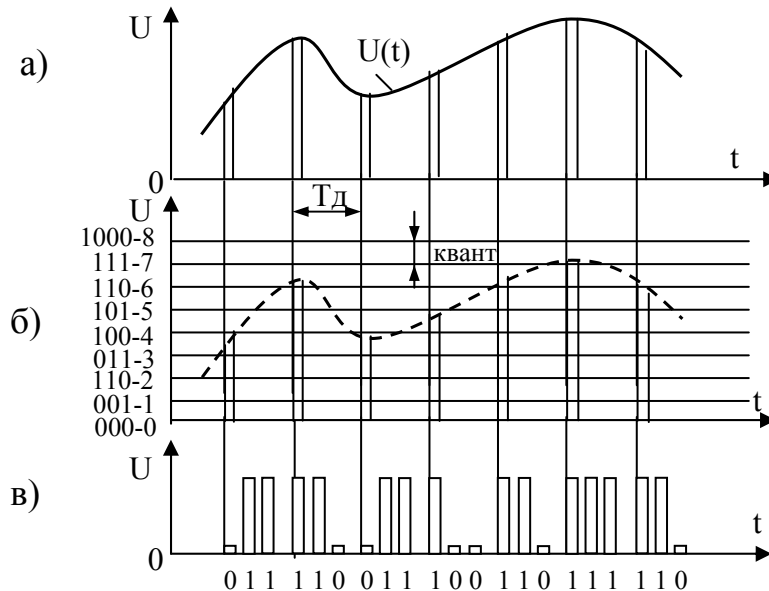


Рисунок 9.9 – Перетворення неперервного сигналу в ІКМ-сигнал

Операція кодування полягає в заміні нових (квантованих) значень амплітуд відповідним двійковим числом – кодовою комбінацією. На наведеному рисунку такими комбінаціями є тризначні двійкові числа, які є порядковими номерами значень амплітуд. Таким чином, амплітуда імпульсів, яка є інформаційним параметром, замінюється кодовими комбінаціями, що складаються з 1 і 0. На виході кодуючого пристрою кодові комбінації перетворюються в комбінації двійкових імпульсів. При цьому елементи комбінації 1 перетворюються зазвичай в імпульси струму, а 0 – в безструмові імпульси. В результаті перетворення на виході кодуючого пристрою з'являється ІКМ-сигнал, показаний на рис. 9.9, в). Такий сигнал називається цифровим, а системи передачі з імпульсно-кодовою модуляцією – цифровими системами передачі (ЦСП).

На приймальному пункті сигнали надходять в декодуючий пристрій, який виконує зворотнє перетворення ІКМ-сигналу в груповий АІМ-сигнал.

ІКМ-сигнали, які передаються каналом зв'язку, володіють більш високою завадостійкістю, оскільки являють собою прості двійкові сигнали, параметри яких легко відновлюються за допомогою регенераторів, що встановлюються вздовж траси та на приймальному пункті. Саме тому для ЦСП характерні висока якість передачі сигналів і практично необмежена дальність зв'язку.

9.9 Структура цифрової системи передачі

Спрощена структурна схема n -канальної системи передачі з ІКМ (ЦСП) наведена на рис. 9.10.

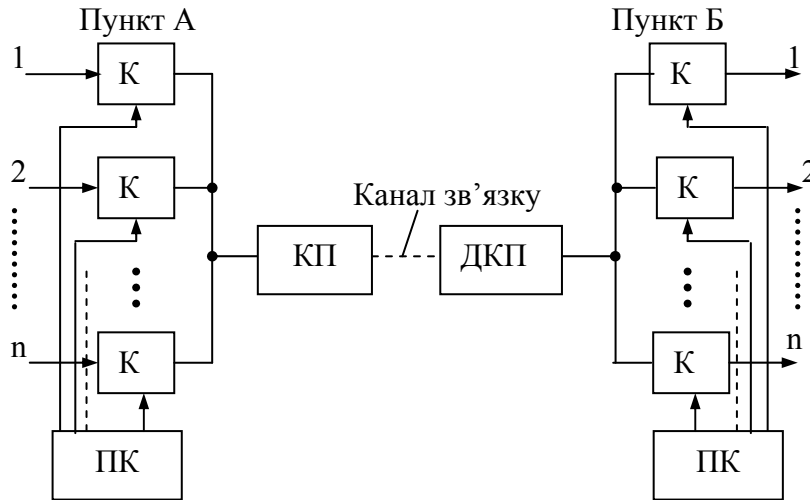


Рисунок 9.10 – Спрощена структурна схема ЦСП

Основними елементами системи є два комутатори-розподільники на кінцевих пунктах А і Б. Вони являють собою електронні ключі (К), станом яких (замкнені, розімкнуті) керують спеціальні пристрої – пристрої керування (ПК). Призначення і принцип роботи комутаторів-розподільників виходять з принципу організації часового розділу каналів. Ці пристрої спочатку під'єднують до лінії першу пару абонентів (створюють канал 1 – 1), потім – другу пару абонентів (створюють канал 2 – 2), потім – третю і т.д. до n -ої пари. Іншими словами, вони забезпечують дискретизацію неперервних індивідуальних сигналів і по чергову передачу елементів (імпульсів) групового сигналу в кодувальний пристрій (КП) на передавальному пункті А. Комутатор-розподільник приймального пункту Б забезпечує розподіл елементів групового сигналу, який надходить з декодувального пристрою ДКП, по відповідних колах для зворотного перетворення АІМ-сигналів в неперервні. Комутатори-розподільники на передачі і прийомі повинні працювати синхронно і синфазно.

Специфічними елементами в системах з ІКМ є кодувальні та декодувальні пристрої. В кодувальному пристрої груповий АІМ-сигнал піддається квантуванню і кодуванню, результатом якого є створення групового ІКМ-сигналу. В декодувальному пристрої ІКМ-сигнал перетворюється знову в груповий АІМ-сигнал.

9.10 Ієрархія цифрових систем передачі

В основі побудови цифрових систем передачі лежать первинні системи ІКМ, які вважаються ЦСП першого ступеня. З використанням апаратури часового групоутворення (другий ступінь, третій ступінь, четвертий ступінь і т.д.) цифрові потоки поступово ущільнюються, тобто збільшується кількість каналів, об'єднаних в одному цифровому потоці. Принцип побудови ЦСП наведений на рис. 9.11.

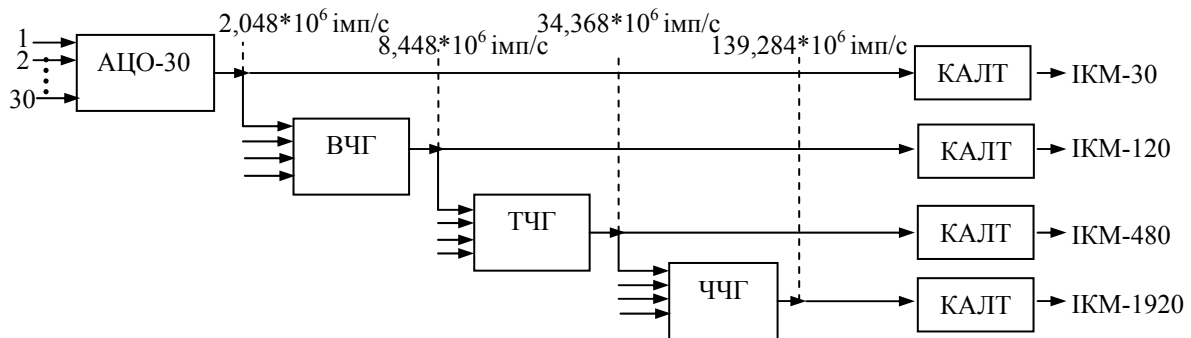


Рисунок 9.11 – Принцип побудови ЦСП

Цифрові системи передачі першого ступеня виконують дискретизацію, квантування, кодування і об'єднання 30 індивідуальних телефонних сигналів в один груповий ІКМ-сигнал з параметрами: цикл передачі - 125 мкс; частота дискретизації – 8 кГц; число дозволених рівнів, які замінюються восьмиелементними двійковими кодовими комбінаціями, - 256. Отже, за період 125 мкс в канал передається 30 восьмиелементних двійкових імпульсів, які відповідають миттєвим значенням 30 телефонних сигналів. Крім цього, в кожному циклі в канал передаються додаткові (службові) сигнали, які займають два канальних інтервали, тобто дві восьмирозрядних кодових комбінації.

Отже, цикл роботи має 32 однакових за тривалістю канальних інтервали, в кожному з яких передаються по вісім двійкових імпульсів. Це означає, що за цикл (125 мкс) передається в канал $32 \cdot 8 = 256$ імпульсів. Швидкість такого цифрового потоку, очевидно, може бути легко визначена за формулою:

$$C = \frac{256}{125 \cdot 10^{-6}} = 2,048 \cdot 10^6 \text{ імп/с.}$$

З рис. 9.11 видно, що наведені розрахунки стосуються першого ступеня побудови апаратури (система ІКМ-30).

Комплект кінцевої апаратури другого ступеня (ІКМ-120) має у своєму складі чотири комплекти аналого-цифрового обладнання АЦО-30, пристрій вторинного часового групоутворення (ВЧГ) та кінцеву апаратуру лінійного тракту (КАЛТ). Швидкість передачі групового сигналу ІКМ-120 дещо вища від збільшеної у чотири рази швидкості цифрового потоку на виході ІКМ-30. Це пояснюється введенням додаткових комбінацій імпульсів, які необхідні для узгодження роботи чотирьох АЦО-30.

З рис. 9.11 видно, що на третьому і четвертому ступенях побудови ЦСП використовуються аналогічні принципи та апаратура, хоча, звичайно, має місце і певна специфіка, яка, зокрема, пов'язана зі збільшенням швидкостей цифрових потоків.

9.11 Перспективи розвитку багатоканального зв'язку

Майбутнє багатоканального зв'язку пов'язується безпосередньо з розвитком *волоконно-оптичних систем передачі* (ВОСП). ВОСП – це системи, які використовують як середовище поширення сигналу оптичне волокно.

Спочатку розвиток ВОСП йшов у напрямку створення оптоелектронних елементів (джерел і приймачів оптичного випромінювання) і обладнання цими елементами каналуотворюючого устаткування ЦСП. Розвиток ЦСП і оптоелектроніки для її застосування в ЦСП йшов фактично незалежно. Для прикладу можна навести низку систем, побудованих за таким принципом: “Соната-2”, “Сопка-2”, ІКМ-120-4/5 зі швидкістю передачі 8 Мбіт/с; “Сопка-3”, ІКМ-450-5 зі швидкістю передачі 34 Мбіт/с; “Сопка-4М”, “Сопка-5” зі швидкістю передачі 140 Мбіт/с. Основною перевагою ВОСП порівняно з ЦСП, які працюють по металевому кабелю, є значне збільшення довжини ділянки регенерації (до декількох десятків кілометрів) та реалізація великих швидкостей передачі інформації.

Застосування аналогових систем передачі з ЧРК в ВОСП не знайшли практичного втілення, оскільки необхідність забезпечення потрібної завадозахищеності зменшує довжину підсилювальної ділянки до 3...6 км, тобто до величини, характерної для випадку використання металевих кабелів.

Розвиток ВОСП на новий рівень підняла поява *синхронної цифрової ієрархії* (synchronous digital hierarchy – **SDH**), яка була спеціально створена для реалізації переваг оптичного волокна. Розвиток ВОСП продовжується і в наші дні. Розглянемо основні напрямки цього розвитку.

Продовжується удосконалення оптоелектронних елементів та приймально-передавального обладнання. За рахунок використання чутливих фотоприймачів і когерентних методів прийому досягнута

довжина регенераційної ділянки за 400 км при використанні стандартного одномодового волокна з коефіцієнтом згасання 0,22 дБ/км.

Удосконалення технології SDH у напрямку використання спектрального ущільнення (технологія DWDM). Переважна більшість ВОСП використовує одне оптоволокно для передачі випромінювання однієї робочої довжини хвилі. Суттєво збільшити сумарну ємність системи можна шляхом передачі в одному волокні випромінювання декількох робочих довжин хвиль.

Технологія DWDM фактично являє собою реалізацію на новому технологічному рівні принципу ЧПК. Основною складністю в реалізації спектрального ущільнення є створення оптичного розгалуджувача на декілька входів/виходів з малими втратами при введенні/виведенні оптичного випромінювання.

Суттєве збільшення дальності зв'язку (довжини ділянок регенерації) при використанні ВОЛЗ досягається застосуванням волоконних підсилювачів. Для реалізації волоконних підсилювачів використовуються різні фізичні принципи. Широке розповсюдження знайшли підсилювачі, виконані на основі легованого ербієм оптичного волокна. Дані підсилювачі використовують властивості рідкоземельного елемента ербія підсилювати оптичний сигнал. Важливою позитивною властивістю такого підсилювача є те, що він забезпечує одночасне підсилення всіх спектральних компонент оптичного сигналу. Зазначимо, що традиційні підсилювачі “обслуговували” кожний оптичний сигнал окремо. Таким чином, волоконні підсилювачі на основі легованого ербієм оптичного волокна з успіхом застосовуються в технології DWDM.

10 ОСНОВИ АВТОМАТИЧНОЇ КОМУТАЦІЇ НА АТС

10.1 АТС: етапи розвитку та класифікація

АТС – це комутаційна техніка, що дозволяє здійснювати автоматичні підключення за маршрутом, що визначається цифровим номером абонента.

Етапи розвитку АТС

У своєму розвитку АТС пройшли чотири етапи.

1. **Машинні й декадно-крокові (АТСДК).** Декадно-кроковими називають АТС, комутаційне поле яких складається з декадно-крокових шукачів (електромеханічних пристроїв), а керуючі пристрої – з електромагнітних реле. В АТСДК застосовується безпосереднє керування встановленням з'єднання, коли послідовність імпульсів, що передаються під час набору номера, транслюється в електромагніти шукачів.

Уперше такі АТС було створено у 1889 році в США братами Строуджер. Покращені системи з шукачами на 300-500 ліній з'явилися в 1910-1920 роках. У них використовувався машинний привод, тому вони й отримали назву машинних. У СРСР декадно-крокові АТС почали виробляти в 1947 році. АТС-47 і АТС-54 – для міських телефонних мереж. Їмність таких АТС становила до 10 000 номерів з нарощуванням по 100 номерів; УАТС-49 – для автоматизації внутрішнього виробничого зв'язку, а СТС – для сільських телефонних станцій. Найбільше поширення отримали АТС-50/100 та АТС-500.

2. **Релейні, координатні та механоелектронні.** Головною особливістю координатних АТС є застосування комутаційних блоків, у яких комутація здійснюється за допомогою контактів тиску, а не ковзання, як в АТСДК, а також централізоване управління для вибору з'єднувального шляху в схемі. Перша система такого типу була побудована у Швеції 1926 року, у США – 1934 року. В СРСР координатні системи АТС почали виробляти лише в 1956 році. Найдосконаліші з них – АТСК-У – для міських систем, АТСК-50/200М – для сільської місцевості. Ще 1998 року на місцевих телефонних мережах України переважали АТС координатної системи – приблизно половина загальної ємності – 4 млн. номерів, а в сільських мережах було близько 90 % координатних АТС. Поява механоелектронних АТС стала перехідним періодом до застосування електронних систем. У Київській міській телефонній мережі широко використовувались механоелектронні АТС ARE-11.

3. **Квазіелектронні та електронні аналогові.** Особливістю квазіелектронних АТС є використання для побудови комутаційних полів швидкодіючих електромеханічних пристроїв, а для керуючих блоків – електронних пристроїв.

4. **Електронні цифрові.** Перша цифрова система була введена в дію у Франції 1972 року. А з 1978 року багато компаній у США почали впровадження цифрових систем.

На сьогоднішній день в українській телефонній мережі функціонують АТС усіх чотирьох поколінь, причому повністю вітчизняного виробництва використовуються лише АТС першого покоління, а решта – здебільшого іноземного походження.

Класифікація

Відповідно до класифікаційних ознак можна виділити різні типи АТС.

За ємністю розрізняють АТС:

- малої ємності – до 1000 номерів;
- середньої ємності – до 10 000 номерів;
- великої ємності – понад 10 000 номерів.

Класифікацію АТС за призначенням наведено в табл. 10.1.

Таблиця 10.1 – Типи АТС за призначенням

Телефонні мережі	Типи АТС
міжміські	– вузли автоматичної комутації; – міжміські (АМТС); – вузли з'єднувальних міжміських ліній
міські	– опорні станції; – транзитні станції; – опорно-транзитні станції; – офісно-виробничі (УАТС); – підстанції
сільські	– центральні станції; – вузлові станції; – кінцеві станції

Програмно-апаратні засоби АТС

На сьогоднішній день спеціальні програмно-апаратні та програмні засоби використовуються для автоматизації практично всіх сторін діяльності вузлів зв'язку України. При цьому автоматизації підлягають:

- абонентський відділ;
- розрахунковий відділ, розрахунковий центр;
- технічні відділи (лінійний цех, станційний цех);
- бюро ремонту;
- робочі місця керівництва;
- бухгалтерія;
- планово-фінансовий відділ;
- пункти прийому оплат.

Для комплексної автоматизації різних ділянок робіт на вузлах зв'язку взаємозв'язок систем, служб та відділів можна подати у такому вигляді (рис. 10.1).

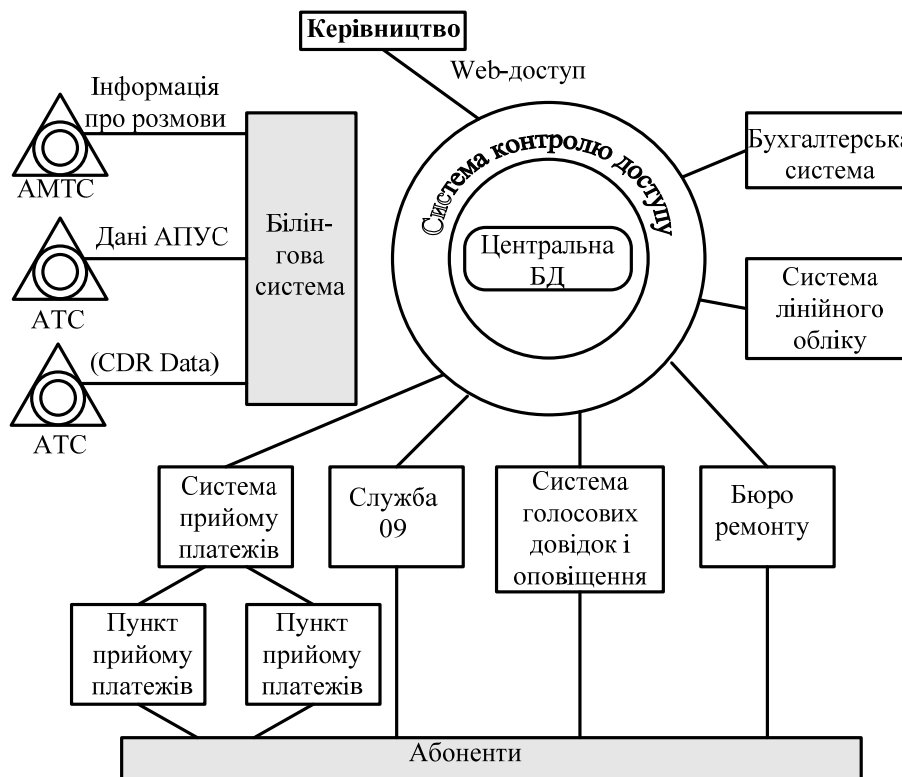


Рисунок 10.1 – Системи автоматизації підприємств електрозв'язку

Слід зазначити, що кожна з цих систем може мати свою базу даних та свій комплекс АРМ-ів. На різних вузлах зв'язку України використовується різноманітне програмне забезпечення систем автоматизації підприємств електрозв'язку. Провідними постачальниками програмного забезпечення для вузлів зв'язку України є: підприємство «Електронні системи», НВП «Інновін», НВФ «ГРІС», ВКФ «РиКо» та ін.

Серед існуючих тенденцій використання інформаційних систем на вузлах зв'язку можна виділити:

- розроблення типових рішень для автоматизації основних функцій вузлів зв'язку;
- орієнтація на впровадження автоматизованих систем комплексних розрахунків (АСКР);
- впровадження web-технологій для віддаленого доступу технічного персоналу до систем за допомогою корпоративної мережі (Інтранет).

Серед проблем використання вже існуючих програм особливо гострою є та, що програмне забезпечення АТС, імпортованих в Україну, їхня переінсталяція чи усунення яких-небудь недоліків (що регулярно з'являються в процесі роботи) не повною мірою доступні вітчизняному

експлуатаційному персоналу. Це може призвести до того, що, по-перше, ці станції можуть бути виведені з ладу впливом ззовні, а, по-друге, знаючи внутрішні коди операційних систем, можна ззовні мати доступ до баз даних АТС і проводити моніторинг інформації. Тому необхідно проводити технічну експертизу програмного забезпечення. Це завдання розв'язує Департамент спеціальних телекомунікаційних систем і захисту інформації (ДСТСЗІ) Служби безпеки України. Декілька відомих АТС вітчизняних і закордонних виробників таку експертизу вже пройшли.

10.2 Комутаційні прилади

10.2.1 Основні поняття і означення

Для здійснення комутації (з'єднань) ліній (чи каналів) і керування процесами встановлення з'єднань на АТС застосовуються комутаційні прилади.

Комутаційним приладом називається пристрій, що забезпечує з'єднання, розімкнення чи переключення електричних кіл, підключених до його входів і виходів, при надходженні в прилад керуючого сигналу. З'єднання, розімкнення і переключення електричних кіл у комутаційному приладі здійснюється комутаційним елементом (КЕ), що у найпростішому випадку являє собою один контакт на замикання.

До комутаційного приладу можуть під'єднуватися лінії з різною провідністю (дво-, три- і т.д. проводів), тому їхня комутація здійснюється декількома комутаційними елементами, які об'єднують в комутаційну групу. Комутаційні елементи комутаційної групи перемикаються одночасно під впливом керуючого сигналу, який надходить.

У комутаційному приладі залежно від його конструкції може бути встановлене різне число комутаційних груп. Сукупність комутаційних груп називається комутаційним полем приладу. Місце розташування комутаційної групи в комутаційному полі приладу називається точкою комутації.

Для комутації електричних кіл використовуються прилади, що забезпечують два стійких стани своїх комутаційних елементів. Одному стану комутаційних елементів приписується – 0, а іншому – 1. При цьому електричне коло, що проходить через комутаційний елемент, в одному з його станів розімкнене, а в іншому – замкнене. Для проходження електричного струму перший стан комутаційного елемента є закритим, а другий відкритим.

Комутаційні прилади розрізняються між собою структурними й електричними параметрами, обумовленими їхньою конструкцією. До структурних параметрів відносяться: число входів n , число виходів m ,

доступність D входів стосовно виходів, провідність ліній l , властивість пам'яті.

До електричних параметрів комутаційних приладів відносяться: опір комутаційного елемента в розімкнутому (закритому) стані R_3 і замкнутому (відкритому) стані R_0 , відношення яких називається комутаційним коефіцієнтом $K = R_3/R_0$; час переключення комутаційного елемента з одного стану в інший; внесене згасання в розмовний тракт; рівень шумів; напруга живлення; величина струму, необхідного для переключення комутаційного елемента; потужність, що споживається.

Комутаційні прилади характеризуються також терміном служби чи довговічністю, під якими розуміється припустиме число переключень чи допустимий час роботи, і інтенсивністю відмов, тобто імовірністю відмов в одиницю часу.

Деякі комутаційні прилади мають властивість пам'яті, тобто здатність зберігати робочий стан після припинення керуючого впливу. Це дозволяє скоротити витрату електроенергії для підтримки робочого стану приладу. Для повернення приладу у первинний стан потрібен новий керуючий вплив.

Комутаційні прилади за структурними параметрами можна розділити на чотири типи.

1. Комутаційні прилади типу (1×1) , що мають один вхід і один вихід (рис. 10.2, а). Число входів і виходів приладу вказується в круглих дужках, де перша цифра – число входів n , а друга – число виходів m . Прилад має два стани, в одному з яких з'єднання між входом і виходом відсутнє, а в іншому – з'єднання встановлене. Перехід комутаційного елемента з одного стану в інше здійснюється під впливом сигналу, що надходить на керуючий вхід R із пристрою керування. На рис. 10.2, а-и, наведені умовні зображення комутаційного приладу, які використовуються в техніці автоматичної комутації.

2. Комутаційні прилади типу $(1 \times m)$, що мають один вхід $n = 1$ і m виходів (рис. 10.2, в), г). У приладі можна установити з'єднання входу з кожним з m виходів, отже, доступність приладу $D = m$. Одночасно в приладі може бути встановлене тільки одне з'єднання.

3. Комутаційні прилади типу $n(1 \times m)$, що мають n входів і nm виходів (рис. 10.2, д), е). Кожному входу з n доступні тільки m певних виходів, отже, доступність приладу $D = m$ із загального числа виходів nm . У приладі одночасно може бути встановлено n з'єднань.

4. Комутаційні прилади типу $(n \times m)$, що мають n входів і m виходів (рис. 10.2, ж), и). Кожному з n входів доступний кожний з m виходів, отже, $D = m$. У приладі одночасно може бути встановлено n з'єднань, якщо $n \leq m$ чи m з'єднань, якщо $n > m$.

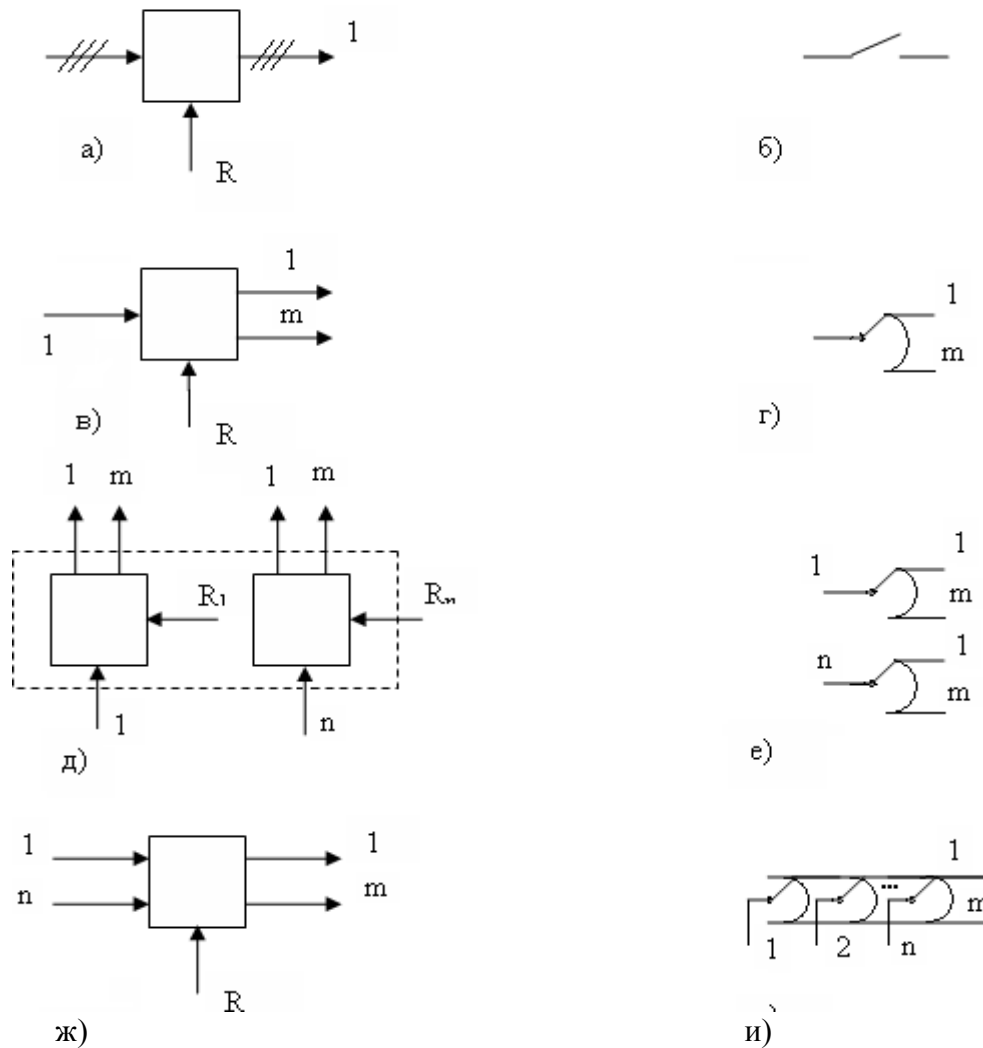


Рисунок 10.2 – Типи комутаційних приладів і їхні умовні зображення:

а), б) – прилад типу (1×1) ; в), г) – прилад типу $(1 \times m)$;
 д), е) – прилад типу $n(1 \times m)$; ж), и) – прилад типу $(n \times m)$

За допомогою комутаційних приладів будуються комутаційні блоки, ступені пошуку і комутаційне поле автоматичних телефонних станцій та вузлів, керуючі пристрої, лінійні і службові комплекти.

У техніці автоматичної комутації використовуються електро-механічні й електронні комутаційні прилади.

Вимоги до комутаційних приладів, що використовуються у комутаційних полях, призначених для комутації ліній чи каналів, по яких передається аналогова інформація, наприклад, телефонні переговори, істотно відрізняються від вимог, які висуваються до комутаційних приладів для побудови пристроїв керування.

Так, комутаційні прилади, що використовуються в пристроях керування, можуть мати комутаційний коефіцієнт $K = 10^3 \dots 10^5$, а для розмовного тракту потрібні прилади з $K = 10^9 \dots 10^{12}$.

Число послідовно ввімкнених комутаційних елементів для утворення з'єднувального кола від входу комутаційного поля до його виходу залежить від структури комутаційного поля і може бути досить великим. Тому внесене згасання у відкритому стані комутаційного елемента повинно бути досить малим, оскільки загальне допустиме згасання ділянки сполучного тракту в межах усього комутаційного поля вузла не повинно перевищувати 0,9...1,3 дБ.

Комутаційні прилади розмовного тракту повинні забезпечувати високе перехідне згасання між розмовними проводами (біля 78 дБ) і високі якісні показники, а саме, низький рівень перешкод (не більше 0,5 мВ), малі нелінійні спотворення (не більше 5 %), широкий динамічний діапазон передачі (біля 40 дБ). Електричні параметри комутаційних елементів розмовного тракту повинні мати високу стабільність протягом тривалого терміну служби. Для розмовного тракту необхідною умовою є створення двостороннього зв'язку, тому комутаційні елементи повинні мати двосторонню провідність.

До комутаційних приладів керуючих пристроїв висувають більш високі вимоги щодо швидкодії і надійності, ніж до приладів комутаційного поля. Тому в електронних і квазіелектронних вузлах комутації (АТС) для побудови пристроїв керування застосовують швидкодіючі електронні комутаційні прилади.

В даний час є АТС, у яких для побудови комутаційних полів застосовують електромеханічні комутаційні прилади: шукачі, багаторазові координатні і кодові з'єднувачі. Комутаційні елементи зазначених приладів (контакти) мають малий опір у замкнутому (відкритому) стані (порядку 0,01 Ом) і практично не впливають на величину робочого згасання станційного чотириполюсника. У закритому стані контактний комутаційний елемент має опір кілька десятків мільйонів ом і ємність декілька пікофарад.

В електронних АТС застосовуються електронні комутаційні прилади. Електронні прилади мають високу швидкодію, великий термін служби, високу надійність, але поступаються електромеханічним приладам цілою низкою своїх електричних характеристик. Наприклад, вони мають значно більший опір у відкритому (провідному) стані, значно менший опір і велику ємність у закритому (непровідному) стані.

10.2.2 Електромагнітні реле

Існує велике число різних типів реле, що відрізняються між собою конструкцією, принципом дії, швидкістю роботи, видом керуючого струму тощо.

За видом керуючого струму розрізняють реле постійного і змінного струмів. Реле можуть бути поляризованими чи нейтральними. Електро-

магнітні реле називаються поляризованими, якщо їхня магнітна система містить постійні магніти, і нейтральними в тому випадку, якщо магнітна система не має постійних магнітів.

Контакти реле можуть бути відкритими чи герметичними (ізольованими від зовнішнього середовища), які мають назву геркони.

У техніці автоматичної комутації найбільше поширення одержали нейтральні електромагнітні реле постійного струму, які зазвичай називаються просто електромагнітними реле з відкритими чи герметичними контактами. Для керування колами, що мають індуктивні навантаження і струми до 0,2 А, застосовуються реле зі срібними контактами, при струмах у колі навантаження до 1 А використовуються реле з контактами з платини з доданням іридію, а для побудови різного роду датчиків (струми 2...3 А) – реле з контактами з вольфраму.

10.2.3 Комутаційні феритові елементи

На рис. 10.3 зображені ферити з послідовною і паралельною структурою магнітної системи. Ферит з послідовною структурою, рис. 10.3, складається з контакта 1 і осердя 2, виготовленого з матеріалу з прямокутною петлею гістерезису. На осердя намотані дві обмотки. Оскільки кінці осердя мають однакову полярність, контактні пружини розімкнуті. Для замикання контакта в обидві обмотки одночасно подається імпульс струму, що створює магнітні потоки Φ_1 і Φ_2 однакового напрямку, і осердя перемагнічується, рис. 10.3. Після перемагнічування осердя через контактні пружини проходить магнітний потік спрацьовування, який дорівнює $\Phi_{cp} = \Phi_1 + \Phi_2$. Він створює зусилля, у результаті якого пружини притягуються одна до одної. Через замкнуті контакти утворюється виконавче коло. Після припинення імпульсу пружини залишаються в замкнутому стані за рахунок залишкового магнітного потоку осердя.

Для розмикання контакта досить в одну з керуючих обмоток подати імпульс струму протилежної полярності. Цим створюється магнітний потік, спрямований назустріч залишковому магнітному потоку осердя, і завдяки силам пружності контактні пружини розмикаються.

Принцип дії фериту з рівнобіжною структурою магнітного кола наведений на рис. 10.3, в), г). Ферит має два осердя з намотаними на них обмотками. Коли струм в обмотках відсутній, контакт розімкнутий. Для замикання контакту на обидві керуючі обмотки одночасно подаються імпульси струму однієї полярності. Магнітні потоки, які при цьому виникають, впливають на контактні пружини і останні замикаються та залишаються в замкнутому стані після зникнення керуючого впливу.

Для розмикання контакта в одну з обмоток подається імпульс струму зворотного напрямку. Магнітні потоки при цьому в обох осердях будуть мати однаковий напрямок, а магнітний потік відпускання $\Phi_{відп}$ у

прошарку контактних пружин дорівнює різниці магнітних потоків осердів $\Phi_{відн} = \Phi_1 - \Phi_2$. Сила, що розвивається потоком $\Phi_{відн}$, недостатня для утримання пружин у притягнутому стані, завдяки цьому під дією сил пружності пружини розмикаються.

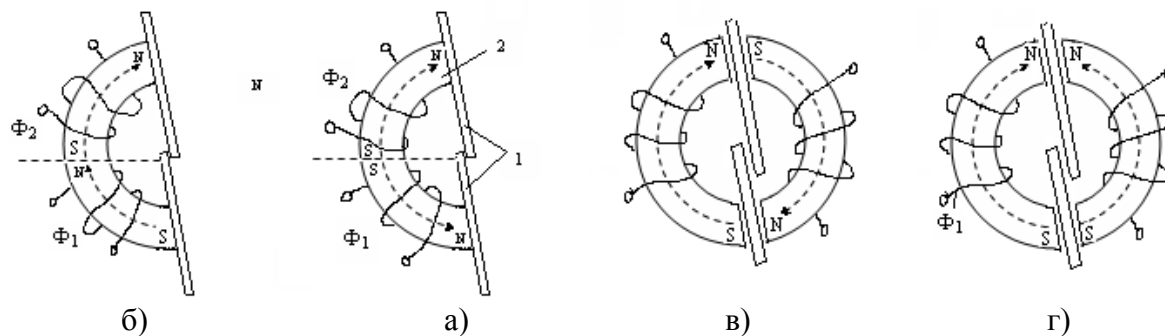


Рисунок 10.3 – Ферити:
а) вихідний стан; б) робочий стан;
в), г) ферит з рівнобіжною структурою

Для зміни стану намагніченості магнітної системи фериту амплітуда імпульсу повинна бути порядку 10 А, а тривалість імпульсу 10...15 мкс, час спрацьовування 0,5...0,8 мс. Основним достоїнством фериту порівняно з герконовим реле є можливість утримання контакта в робочому стані без споживання електроенергії (властивість пам'яті), а також керування більш короткими імпульсами, ніж час спрацьовування геркона.

10.2.4 Електронні комутаційні елементи

Для побудови комутаційного поля і керуючих пристроїв в АТС використовуються електронні (безконтактні) елементи, що мають два стани. Принцип дії таких елементів базується на різних фізичних явищах: електронних у напівпровідниках, іонних у газах, магнітних у феромагніта. При цьому використовується нелінійна залежність між фізичними величинами, що дає можливість створити стрибкоподібний перехід елемента з одного стану в інший. Один стан є провідним (відкритим), а другий – непровідним (закритим), причому час переходу з одного стану в інший дуже малий.

Як елементи для утворення двох станів електричного кола можуть використовуватися діоди, транзистори, магнітні елементи (ферити), оптрони тощо (рис. 10.4). Усі ці елементи дозволяють робити замикання і розмикання електричного кола немеханічним шляхом і виконують ту ж задачу, що і контакти електромагнітних реле. У системах автоматичної комутації для побудови комутаційних блоків і керуючих пристроїв

використовуються, в основному, напівпровідникові діоди, транзистори й оптрони. Керування елементами здійснюється подачею відповідно напруги чи струму на керуючий вхід Y (у дужках показаний потенціал робочого стану, а без дужок – вихідного стану). Принцип дії і характеристики зазначених елементів вивчаються в курсі мікро-електроніки.

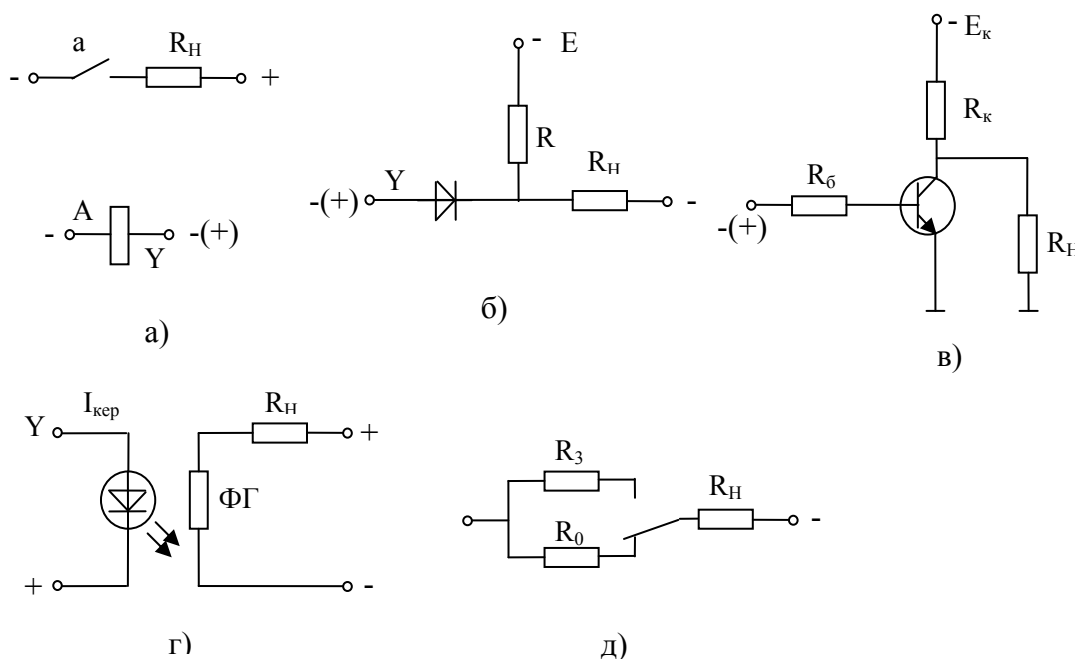


Рисунок 10.4 – Електронні комутаційні елементи:

а) релейний; б) діодний; в) транзисторний; г) оптрон; д) еквівалентна схема

Зазначені елементи не володіють повною мірою властивостями релейного контакту, що має практично нескінченний опір у розімкнутому стані і нульовий опір у замкнутому. У зазначених елементах значення опору у закритому стані велике, однак не нескінченне, а у відкритому стані мале, але не близьке до нуля. Ці елементи можуть бути подані еквівалентною схемою, рис. 10.4, д.

Відношення опорів елемента в закритому (розімкнутому) R_3 і відкритому (замкнутому) R_0 станах являє собою комутаційний коефіцієнт $K = R_3/R_0$, чим він більший, тим вища якість контакту.

Електронні елементи порівняно з електромеханічними мають значно більші швидкості перемикання, великий термін служби, малі габаритні розміри і мале споживання електроенергії, не вимагають іскрогасіння. Однак за величиною комутаційного коефіцієнта і комутаційними можливостями (числом кіл, які одночасно можуть керуватися) вони поступаються електромеханічним.

10.2.5 Шукачі

У системах електромеханічних АТС комутаційне поле будується за допомогою шукачів, що відносяться до багатопозиційних комутаційних приладів типу $(1 \times m)$, які мають властивість пам'яті. Шукачі мають різну конструкцію, однак усі вони містять три основні вузли:

- *контактне поле* (contact field) (статор – нерухомий вузол), що складається з ізольованих одна від одної *ламель* (lamel), до яких підключаються лінії, що комутуються, (виходи);

- ротор із щітками (рухливий вузол), які послідовно переміщуються по ламелях контактного поля. До щіток підключається лінія, що комутується, (вхід);

- *рушійний механізм* (motive mechanism) (привід), що забезпечує рух ротора з щітками.

Основними структурними (комутаційними) параметрами шукачів є: ємність контактного поля m , що дорівнює числу його виходів, та провідність l , обумовлена числом щіток шукачів, до яких може підключатися лінія, що комутується.

Щітки крокових шукачів пересуваються переривчастими рухами («кроками») за допомогою електромагнітного привода під дією імпульсів постійного струму. Електромагнітний привод складається з електромагніту і храпового механізму. Розрізняють крокові шукачі з прямим і зворотним приводом; перші пересувають щітки під час притягання якоря електромагніту, а другі – під час повернення його у початкове положення, після припинення імпульсу струму, за рахунок сили зведеної робочої пружини.

Крокові шукачі в більшості випадків мають тільки один обертальний рух щіток. Контактні ламелі, по яких пересуваються щітки, розташовуються на частині кола. Ємність контактного поля шукачів 10, 15, 25 виходів. Число рядів контактних панелей дорівнює числу щіток і визначає провідність шукачів, що може бути 3-8.

Комутаційним елементом у шукачах є контакт між щіткою і ламеллю, а комутаційною групою – сукупність контактів між щітками шукача і ламелями у відповідних рядах контактного поля.

До технічних параметрів шукачів відносяться: швидкість руху щіток шукачів; середній час комутації t_k , тобто час, необхідний для з'єднання входу з одним із виходів; потужність, що споживається; термін служби (число циклів руху щіток по ламелі поля до зносу).

На рис. 10.5 наведений ескіз конструкції шукача ШИ-11. На статорі розташоване контактне поле, що складається з чотирьох рядів (а, б, с, д) ламелей 2, розташованих по дузі в 120° . У кожному ряді є 12 ламелей, з них 10 – задіяних (1–10), до яких підключаються лінії, що комутуються, (виходи) і дві – службові 0 і 11. У нульовому положенні щітки

розташовуються у вихідному стані шукача, а в 11-му – у випадку відсутності вільних ліній у полі шукача. На початку кожного ряду ламелей розташовані нерухомі струмопідвідні щітки 3, кінці яких ковзають по щітках ротора. До цих щіток підключається лінія, що комутується, (вихід). На рис. 10.5 показаний тільки один ряд ламелей і одна щітка.

На роторі 4 є чотири контактних щітки 5, що одночасно можуть переміщатися по відповідних рядах ламелей. Шукач при встановленні з'єднання входу з одним з виходів працює в такий спосіб.

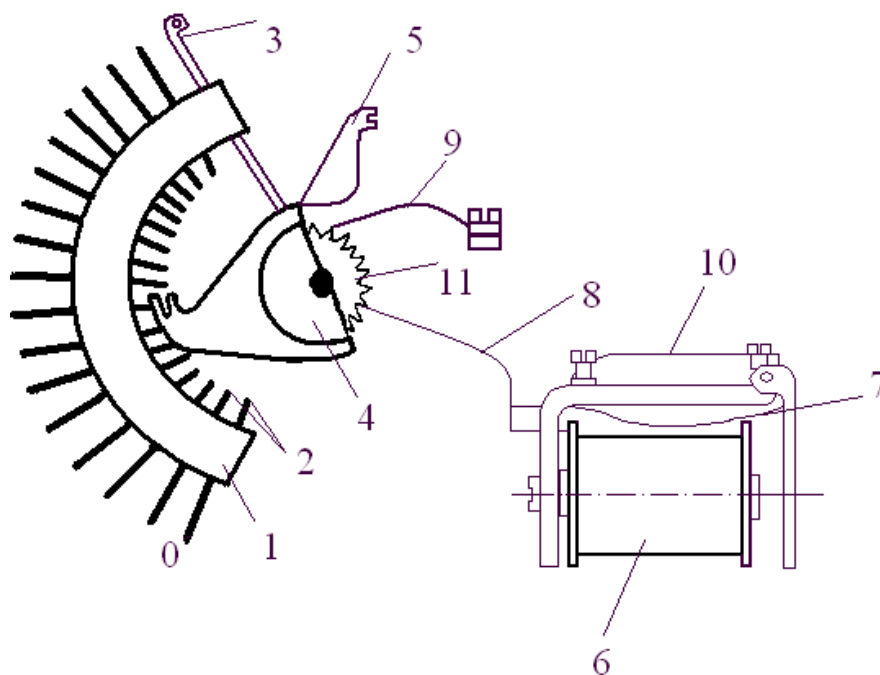


Рисунок 10.5 – Ескіз конструкції шукача типу ШИ-11

При надходженні керуючого імпульсу струму в обмотку електромагніту ЕМ 6 останній притягує ярів 7. При кожному притяганні ярка рушійна собачка 8, що знаходиться на ярі, повертає ротор із щітками на один крок, при цьому щітки переміщуються з попередньої ламелі на наступну. Стопорна собачка 9 перешкоджає зворотному обертанню ротора. Після зникнення імпульсу струму в обмотці електромагніта ярів повертається у вихідний стан під дією пружини 10. Рушійна собачка при цьому переходить під наступний зуб храпового колеса 11. Після надходження першого імпульсу в ЕМ шукача щітки переходять з ламелі 0 на ламель 1 і встановлюється з'єднання входу через струмопідвідні щітки, щітки ротора, ламель 1 з виходом, до якого підключена перша лінія. При надходженні другого імпульсу в ЕМ шукача процес повторюється і щітки переходять з ламелі 1 на ламель 2 та встановлюється з'єднання з іншим виходом і т.д.

10.3 Принципи автоматичної комутації

10.3.1 Основні поняття і означення

Під **комутацією** розуміється процес замикання, розмикання і переключення електричних кіл. На мережах електрозв'язку за допомогою комутації абонентські пристрої (передавачі і приймачі) з'єднуються між собою для передачі (прийому) інформації. Абонентські пристрої в деяких випадках називають кінцевими пристроями мережі. Комутація здійснюється на комутаційних вузлах (КУВ) чи (АТС), що є складовими частинами мережі електрозв'язку. Нагадаємо, що мережа електричного зв'язку являє собою сукупність технічних засобів, призначених для передачі (прийому) інформації (повідомлень). Складовими частинами мережі є абонентські пристрої, лінії (канали) зв'язку і комутаційні вузли. На рис. 10.6 для прикладу показана одна з можливих структур телефонної мережі.

Абонентські пристрої з'єднуються з комутаційним вузлом абонентськими лініями. Комутаційні вузли, що знаходяться на території одного міста (чи іншого населеного пункту) з'єднуються з'єднувальними лініями. Якщо комутаційні вузли знаходяться в різних містах, то лінії зв'язку, що з'єднують їх, називаються міжміськими чи внутрізонними.

Комутаційний вузол, до якого під'єднуються абонентські лінії, називається **комутаційною станцією** чи просто станцією. Суб'єкт, який користується абонентським пристроєм для передачі і прийому інформації, називається **абонентом**. Для передачі інформації від одного абонентського пристрою мережі до іншого потрібно встановити з'єднання між цими пристроями через відповідні вузли і лінії зв'язку.

Для здійснення з'єднання на комутаційних вузлах встановлюється комутаційна апаратура, що забезпечує з'єднання лінії між абонентами.

Сукупність лінійних і станційних засобів, призначених для з'єднання кінцевих абонентських пристроїв, називається **з'єднувальним трактом**. Число комутаційних вузлів між абонентськими пристроями, що з'єднуються, залежить від структури мережі і напрямку з'єднання, рис. 10.7.

Для здійснення необхідного з'єднання на комутаційний вузол від викликаючого абонентського пристрою повинна надходити інформація про номер абонентського пристрою, який викликається, яка є адресною інформацією, а з комутаційного вузла в абонентські пристрої посилають інформаційні сигнали для оповіщення абонентів про різні ситуації, що виникають у процесі встановлення з'єднання (сигнал виклику, зайнятості).

Під каналом чи лінією розуміється сукупність технічних засобів (лінійних, станційних), що забезпечують з'єднання і передачу інформації між двома суміжними комутаційними вузлами, а також між абонентськими

пристроями і комутаційною станцією. Після встановлення з'єднувального тракту між абонентськими пристроями передача інформації може здійснюватися тільки після підключення до з'єднувального тракту приймача інформації, тому трактом передачі інформації називають сукупність з'єднувального тракту, передавача і приймача, які забезпечують передачу і прийом інформації під час з'єднання між абонентськими кінцевими пристроями.

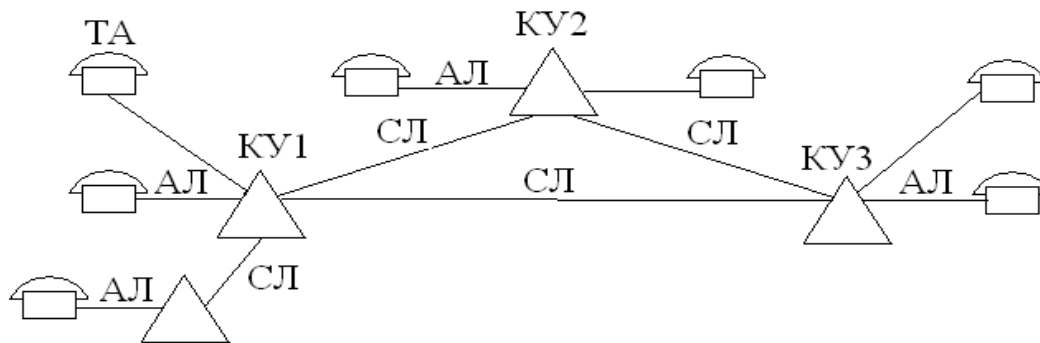


Рисунок 10.6 – Структура мережі

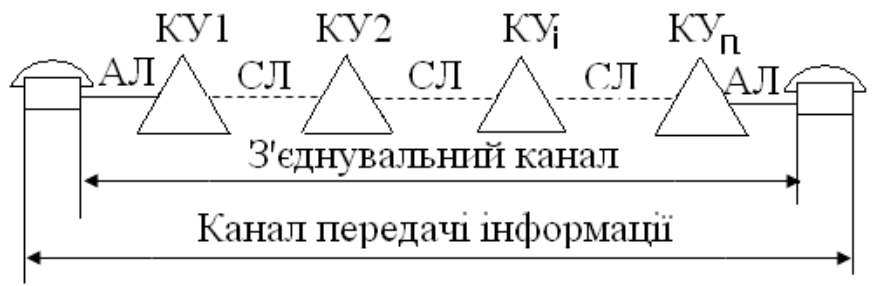


Рисунок 10.7 – Схема зв'язку між абонентськими апаратами

Мережа електрозв'язку призначається для передавання різної інформації: телефонної, телеграфної, передачі даних, мовлення, телебачення, телекерування тощо. Кожний з видів інформації висуває різні вимоги до електричних характеристик тракту передачі інформації, якості обслуговування викликів, надійності, достовірності й інших показників.

На комутаційних вузлах з'єднання може встановлюватися на час, необхідний для передачі одного повідомлення, наприклад, однієї телефонної розмови, чи на тривалий час, що перевищує час передачі одного повідомлення. Комутація першого виду називається **оперативною**, а другого – **кросовою** (довготерміною).

Оперативна комутація здійснюється комутаційними приладами на час передачі повідомлення і повернення приладів у первинний стан.

Кросова комутація виконується шляхом з'єднання ліній (каналів) на проміжних щитах відповідно до попередніх вимог абонентів чи відповідно до заздалегідь установленого розкладу на сеанси зв'язку.

10.3.2 Структура комутаційного вузла

Комутаційний вузол являє собою пристрій, призначений для прийому, обробки і розподілу інформації, що надходить. Для виконання своїх функцій комутаційний вузол (рис. 10.8) повинен мати: комутаційне поле КП, призначене для з'єднання входних і вихідних ліній (каналів) на час передачі інформації; пристрій керування ПК, що забезпечує встановлення з'єднання між входними і вихідними лініями через комутаційне поле, а також прийом і передачу керуючої інформації.

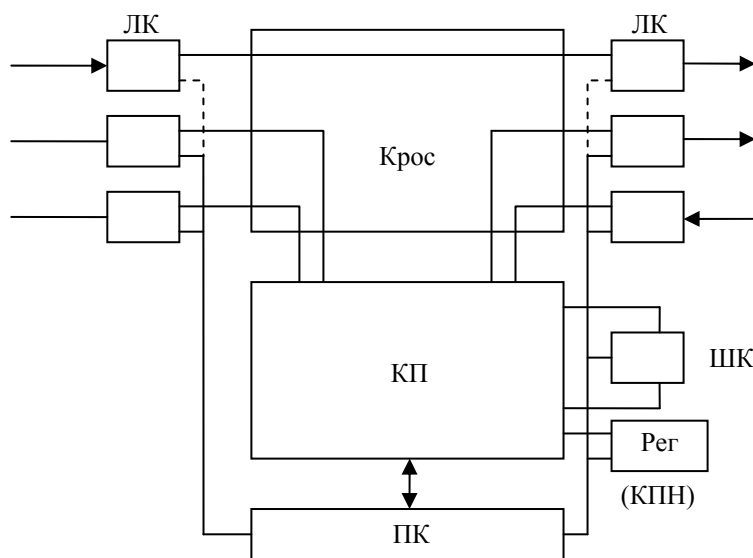


Рисунок 10.8 – Структура комутаційного вузла

До апаратури для прийому і передачі керуючої інформації відносяться: реєстри Рег, чи комплекти прийому номера КПН, кодові прийомопередавачі і перерахункові пристрої; лінійні комплекти входних і вихідних ліній (каналів) ЛК, призначені для прийому і передачі лінійних сигналів (сигналів взаємодії) по входних і вихідних лініях чи каналах для виділення каналів у системах передачі, а також для прийому і передачі сигналів взаємодії з керуючими пристроями вузла; шнурові комплекти ШК, призначені для живлення мікрофонів телефонних апаратів, прийому і відсилення службових сигналів у процесі встановлення з'єднання; пристрою введення і виведення ліній (крос). Крім того, на вузлі є джерела електроживлення, пристрої сигналізації й обліку параметрів навантаження (кількість повідомлень, втрат, тривалості заняття тощо).

10.3.3 Способи встановлення з'єднань

Комутаційні станції і вузли призначені для розподілу інформації між кінцевими пристроями (передавачами і приймачами) мережі зв'язку. Процес розподілу може здійснюватися різним чином залежно від обраного способу комутації. Відомі три способи комутації: комутація каналів, комутація повідомлень, комутація пакетів.

На телефонних мережах найбільш розповсюдженим способом комутації є комутація каналів (ліній). Він характеризується тим, що за переданою адресою надається тракт між передавачем і приймачем на весь час передачі інформації в реальному масштабі часу.

Спосіб комутації повідомлень характеризується тим, що тракт між передавачем і приймачем заздалегідь не встановлюється, а канал у потрібному напрямку надається за адресою, приписаною на початку повідомлення, тільки для передачі повідомлення, а в паузах цей канал може використовуватися для інших повідомлень. Повідомлення (чи його частина – сегмент) що прийшло на комутаційну станцію (вузол) надходить у запам'ятовуючий пристрій. Після прийому й аналізу адреси повідомлення стає в чергу для передачі його в потрібному напрямку. Системи комутації повідомлень є системами, що працюють за принципом системи з очікуванням, оскільки повідомлення, що надходять на станцію (вузол), можуть очікувати, поки наступить час для подальшої передачі.

Спосіб комутації повідомлень використовується для телеграфного зв'язку і передачі даних, коли не потрібна робота в реальному масштабі часу.

При комутації пакетів повідомлення розбивається на частини однакового обсягу, які називаються пакетами. Кожному пакету присвоюється номер пакета й адреса одержувача. Передача пакетів одного повідомлення відбувається аналогічно до передачі в системі з комутацією повідомлень і може здійснюватися по одному шляху чи різними шляхами. В останньому вузлі чи кінцевому пункті (приймачі) пакети збираються і видаються адресату. Останнім часом досліджуються питання пакетної передачі мови.

Основне призначення комутаційного вузла (станції) полягає у встановленні з'єднання між абонентськими пристроями (наприклад, телефонними апаратами) на час передачі інформації (наприклад, на час телефонної розмови) і наступне роз'єднання після закінчення передачі інформації. Для виконання цих функцій на комутаційному вузлі встановлюється відповідна апаратура.

Розглянемо принцип автоматичної комутації на прикладі АТС ємністю 10 номерів, виконаної на крокових шукачах типу ШИ-11. Спрощена структурна схема такої АТС наведена на рис. 10.9. Нумерація абонентських апаратів ТА однозначна (1, 2, ..., 9, 0). Кожна абонентська

лінія забезпечується абонентським комплектом АК і включається в комутаційне поле всіх шукачів виклику ШВ і всіх лінійних шукачів ЛШ.

У встановленні з'єднання між двома абонентськими лініями беруть участь два шукачі: шукач виклику ШВ і лінійний шукач ЛШ, які утворюють шнурову пару ШВ — ЛШ.

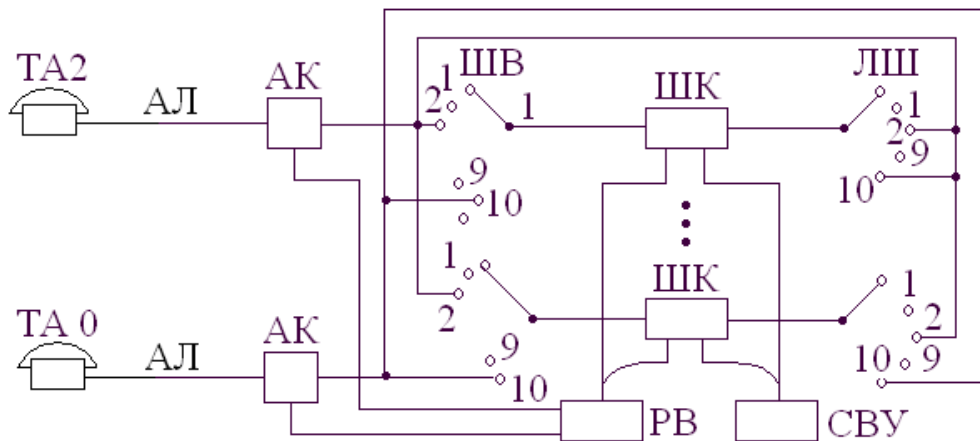


Рисунок 10.9 – Структурна схема АТС

Кожна шнурова пара має шнуровий комплект ШК, що разом з функціями керування шукачами в процесі встановлення з'єднання забезпечує живленням мікрофони ТА, що з'єднуються за допомогою даної шнурової пари; здійснює посилення викличного сигналу і сигналу контролю посилення виклику в ТА відповідно абонента, якого викликають, та абонента який викликає; приймає сигнали відповіді абонента, якого викликають, і відбою від ТА послуг закінчення розмови.

Процес установа з'єднання протікає в такий спосіб. Виклик, що надходить від телефонного апарата абонента фіксується абонентським комплектом. З останнього відповідним потенціалом відзначаються контакти (ламелі) у полі ШВ і ЛШ, у які включена лінія абонента, якого викликають. Одночасно з абонентського комплекту надходить сигнал у розподільник викликів РВ, який запускає один чи кілька ШВ вільних шнурових пар. Шукач виклику відшукує ламель у полі ШВ, до якої під'єднана лінія абонента, якого викликають, і підключає її до ЛШ, звідки в ТА посиляється сигнал «Відповідь станції». Далі абонент набирає номер ТА абонента, якого викликають, що приймається в ШК і передається в ЛШ. Лінійний шукач установа з'єднання з необхідною лінією і тестує лінію абонента, якого викликають, на зайнятість.

Якщо лінія абонента, якого викликають, зайнята, в апарат абонента, який викликає, посиляється сигнал «Зайнято» і після одержання від нього сигналу відбою відбувається роз'єднання. Якщо лінія абонента, якого викликають, вільна, то з нею встановлюється з'єднання. З ШК посиляються сигнали виклику в ТА абонента, якого викликають, і сигнал

контролю посилки виклику в ТА абонента, який викликає. Після відповіді абонента, якого викликають, посилення цих сигналів автоматично припиняється і здійснюється розмова між абонентами.

Після закінчення розмови сигнал відбою сприймається в ШК і шукачі даної шнурової пари стають вільними і можуть обслуговувати нові виклики.

Як було сказано раніше, не усі виклики, що надходять, можуть бути обслуговані негайно через відсутність у даний момент на тій чи іншій ділянці тракту вільного з'єднувального шляху. У цьому випадку в комутаційних системах, що відомі як системи з явними втратами, абонент, що викликає, одержує сигнал «Зайнято» і повинен дати відбій.

В інших комутаційних системах, відомих як системи з очікуванням, абонент не одержує сигнал «Зайнято», а очікує звільнення одного з зайнятих з'єднувальних шляхів, після чого з'єднання буде встановлено. Це не відноситься до випадку, коли зайнята лінія абонента, якого викликають. Є також комутаційні системи, що на деяких ділянках тракту працюють як системи з явними втратами, а на інших ділянках — як системи з очікуванням. Число втрачених викликів у системах з явними втратами і число абонентів, що очікують, у системах з очікуванням можуть бути використані для характеристики якості обслуговування викликів.

Якість обслуговування в системах з явними втратами характеризується імовірністю втрат, що визначається як відношення числа втрачених викликів до загального числа викликів, що надійшли на входи АТС:

$$P = \frac{C_{пор}}{C_{пост}} = \frac{C_{пост} - C_{обсл}}{C_{пост}}. \quad (10.1)$$

Для взаємодії телефонних станцій і вузлів та передачі необхідної інформації на різних етапах встановлення з'єднання і роз'єднання використовуються певні електричні сигнали. Сукупність цих сигналів називається системою телефонної сигналізації, у котру входять сигнали, що забезпечують необхідну і достатню інформацію абонентові при автоматичному зв'язку.

Сигнали, передані по абонентських і з'єднувальних лініях, у прямому і зворотному напрямках розділяються на три групи: лінійні, керування, інформаційні.

Лінійні сигнали передаються по лініях як у прямому, так і в зворотному напрямках з моменту початку встановлення з'єднання і до повного звільнення ліній. Ці сигнали відзначають основні етапи встановлення з'єднання: заняття, відбій, роз'єднання та ін.

До сигналів керування відносяться сигнали, передані між абонентськими апаратами і керуючими пристроями, а також між

керуючими пристроями вузлів і станцій у процесі встановлення з'єднання як у прямому, так і в зворотному напрямках. Основними сигналами керування є сигнали набору номера, так звана адресна інформація.

Інформаційні акустичні сигнали передаються в основному в зворотному напрямку (від АТС у ТА) і служать для інформації абонентам про стан з'єднання, що встановлюється, «Відповідь станції», «Зайнята», «Посилання виклику», «Контроль посилання виклику» .

10.3.4 Передача сигналів у процесі встановлення з'єднання

Для з'ясування призначення окремих видів сигналів розглянемо алгоритм встановлення з'єднання між абонентськими апаратами місцевої телефонної мережі з АТС декадно-крокової чи координатної системи.

При виклику абонентом станції (знятті телефонної трубки з важеля ТА) замикається шлейф абонентської лінії по постійному струму контактом перемикача РП телефонного апарата і в АК спрацьовує лінійне реле Л (рис. 10.10, а). Готовність станції до прийому інформації про номер абонента, який викликається, сигналізується акустичним сигналом «Відповідь станції», що посилається в телефонний апарат абонента, який викликає (рис.10.10, б).

Після одержання сигналу абонент приступає до набору номера з дискового чи кнопкового номеронабирача телефонного апарата. При наборі номера імпульсний контакт *ік* номеронабирача періодично розмикає шлейф абонентської лінії, завдяки чому на АТС періодично розмикається коло імпульсного реле. Через контакт цього реле адресна інформація надходить у прилади АТС (рис. 10.10, в). Відповідно до цієї інформації на АТС устанавлюються необхідні з'єднання, у результаті яких утворюється з'єднувальний тракт між апаратами абонентів. Після встановлення з'єднання з лінією абонента, якого викликають, відбувається перевірка її стану. Якщо лінія абонента зайнята, то в телефонний апарат абонента, який викликає, з приладів АТС посилається акустичний сигнал «Зайнято». Одержавши цей сигнал, абонент, що викликає, кладе телефонну трубку на важіль апарата, що є сигналом відбою для АТС. Якщо лінія вільна, то встановлюється з'єднувальний тракт між телефонними апаратами абонентів. Після цього в лінію абонента, якого викликають, надходить сигнал «Посилання виклику», а в лінію абонента, який викликає, сигнал «Контроль посилання виклику».

Сигналом відповіді абонента, якого викликають, є замикання шлейфа абонентської лінії при знятті телефонної трубки з перемикача. Після відповіді абонента припиняються сигнали «Посилання виклику» і «Контроль посилання виклику», а з'єднувальний тракт переходить у розмовний стан (рис. 10.10, г).

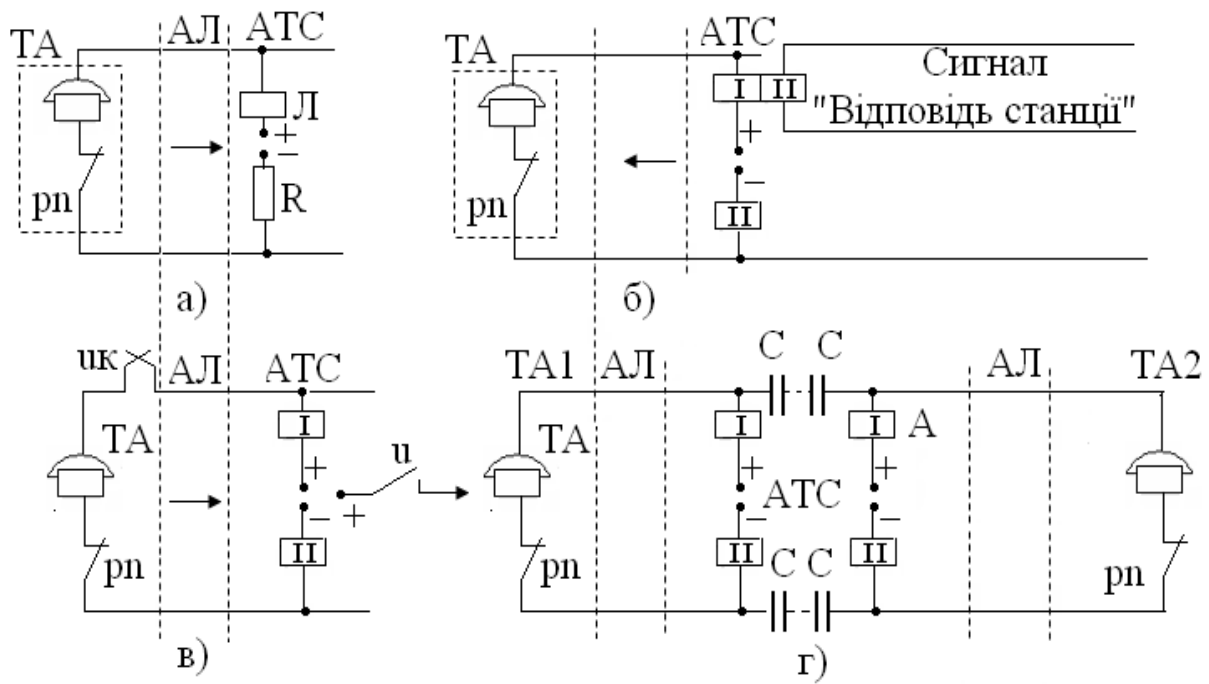


Рисунок 10.10 – Схема обміну сигналами між ТА й АТС:
а) послівка виклику на АТС; б) послівка сигналу «Відповідь станції»;
в) прийом адресної інформації; г) розмовний стан

Після закінчення розмови абоненти кладуть телефонні трубки на перемикачі своїх апаратів, забезпечуючи розмикання шлейфа абонентських ліній. Це служить сигналом відбою для приладів АТС. Сигнали відбою можуть надходити неодноразово з боку абонентів. При цьому в телефонний апарат того абонента, від якого не надійшов відбійний сигнал, із приладів АТС посилається сигнал «Зайнято» доти, поки абонент не дасть відбій.

Процес роз'єднання і повернення комутаційних приладів у початковий стан залежить від системи відбою, прийнятої на телефонній мережі. На рис. 10.11 наведено склад сигналів, які передаються по мережах АТС.

У процесі встановлення і роз'єднання лінії між абонентськими апаратами абоненти посилають на АТС інформацію різного призначення у вигляді сигналів: виклику станції, набору номера абонента, якого викликають, відповіді абонента, якого викликають, відбою абонентів. У свою чергу, з боку АТС в апарати абонентів надходить інформація про результати виконання окремих етапів установа з'єднання у вигляді сигналів «Відповіді станції», «Посилання виклику», «Контроль посилання виклику», «Зайнято». Уся ця інформація надходить у вигляді електричних сигналів.

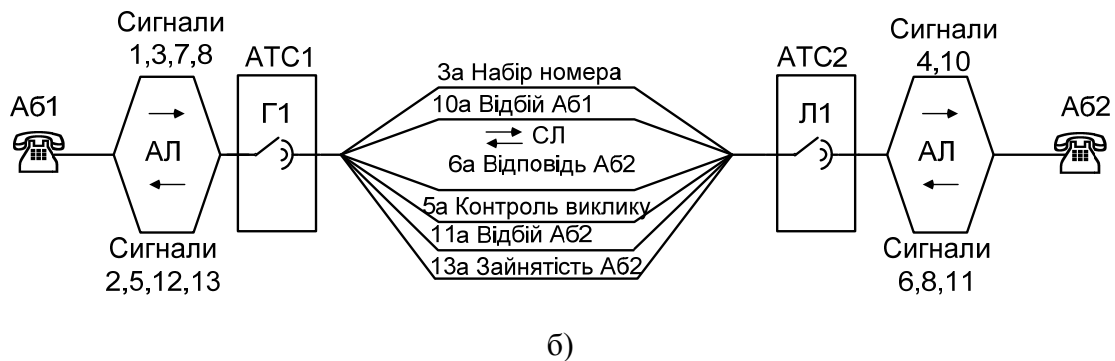
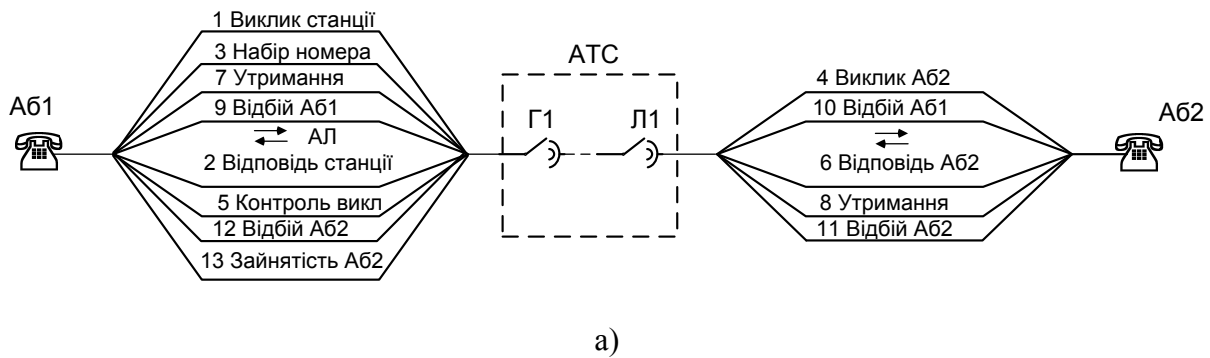


Рисунок 10.11 – Схема обміну сигналами на мережі:
а) нерайонованої; б) районованої

ВИСНОВКИ

Навчальний посібник „Основи побудови засобів та систем телекомунікацій” є, на думку авторів, корисним для студентів молодших курсів телекомунікаційного напрямку і студентів нетехнічного профілю, які будуть стикатися у своїй діяльності з підприємствами зв’язку. Враховуючи це, можна говорити про багатовекторне спрямування цього видання.

З одного боку посібник може бути корисним студентам телекомунікаційного напрямку для попереднього ознайомлення з цілою низкою цікавих питань їх майбутньої професії та основоположними поняттями, хоча у сучасному житті вони суттєво трансформовані.

Без сумніву, посібник буде цікавим і для іншої категорії студентів – майбутніх бакалаврів-менеджерів у галузі телекомунікацій.

По-третє, посібник в цілому і, зокрема, розділи 2, 4 і 5 відповідають програмі дисципліни „Спеціальна технологія”, яка викладається в рамках підготовки електромонтерів станційного устаткування телефонного зв’язку (робітнича професія).

І, зрештою, посібник містить спеціально орієнтований на першокурсників розділ „Університет і студент”, який може зіграти позитивну роль у справі адаптації студентів до вимог вищої школи та особливостей навчання в Вінницькому національному технічному університеті.

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

АІМ-сигнал – амплітудно-імпульсно-модульований сигнал
АМТС – міжміська АТС
АПД – апаратура передачі даних
АТС – автоматична телефонна станція
АТСДК – декадно-крокова АТС
БШТА – безшнуровий телефонний апарат
ВАХ – вольт-амперна характеристика
ВОЛЗ – волоконно-оптична лінія зв'язку
ВОСП – волоконно-оптична система передачі
ДСТСЗІ – Департамент спеціальних телекомунікаційних систем і захисту інформації
ЗКС – загальний канал сигналізації
ІКМ – імпульсно-кодова модуляція
канал ТЧ – канал тональної частоти
КЕ – комутаційний елемент
МККТТ – Міжнародний консультативний комітет з телефонії і телеграфії
ОВ – оптичне волокно
ПМТ – переносна мікротелефонна трубка
ПСТ – персональний супутниковий термінал
РК – розподільна коробка
РРЛ – радіорелейна лінія
РС – рухома станція
РШ – розподільна шафа
СБ – стаціонарний блок
СПД – система передачі даних
ТКН – температурний коефіцієнт напруги
ТМЗК – телефонна мережа загального користування.
ФНЧ – фільтр нижніх частот
ЦСП – цифрова система передачі
ЧРК – частотний розділ каналів
ЧсРК – часовий розділ каналів
ШСЗ – штучний супутник Землі

ЛІТЕРАТУРА

1. Положення про організацію навчального процесу за кредитно-модульною системою у Вінницькому національному технічному університеті / Уклад. Леонтьєв В.О. та ін. – Вінниця: ВНТУ, 2004. – 16 с.
2. Положення про порядок підготовки магістрів у Вінницькому національному технічному університеті / Мокін Б. І., Грабко В. В., Мокін В. Б., Бевз С. В. – Вінниця: ВНТУ, 2006. – 75 с.
3. Козак І. А. Телекомунікації в бізнесі: Навч. посіб. – К.: КНЕУ, 2004. – 367 с.
4. Современные телекоммуникации. Технологии и экономика. / Под ред. С. А. Довгого. – М.: Эко-Трендз, 2003. – 320 с.
5. Томаси У. Электронные системы связи – М.: Техносфера, 2007. – 1360 с.
6. Стеклов В.К., Беркман Л.Н. Телекомунікаційні мережі: Підруч. для студ. вищ. навч. закл. за напрямком «Телекомунікації». – К.: Техніка, 2001. – 392 с.
7. Стеклов В. К., Беркман Л. Н. Проективання телекомунікаційних мереж: Підруч. для студ. вищ. навч. закл. за напрямком «Телекомунікації»/ За ред. В. К. Стеклова. – К.: Техніка, 2002. – 792 с.
8. Столингс В. Беспроводные линии связи и сети. – М.: Издательский дом "Вильямс", 2003. – 640 с.
9. Убайдуллаев Р. Р. Волоконно-оптические сети. – М.: Эко-Трендз, 2001. – 263 с.
10. Кунегин С. В. Системы передачи информации. – М.: в/ч 33965, 1997. – 317 с.
11. Гордиенко В. Н., Ксенофонтов С. Н., Кунегин С. В., Цыбулин М. К. Современные высокоскоростные цифровые телекоммуникационные системы. Ч. 3. Группообразование в синхронной цифровой иерархии: Учебное пособие / МТУСИ. – М., 1999. – 76 с.
12. Телекоммуникационные системы и сети: Учеб. Пособие. Том 1. Современные технологии / Б. И. Крук и др. – М.: Горячая линия – Телеком, 2003. – 647 с.
13. Волоконно-оптические системы передачи и кабели: Справочник / И. И. Гроднев, А. Г. Мурадян, Р. М. Шарафутдинов и др. – М.: Радио и связь, 1993. – 264 с.
14. Автоматическая коммутация: Учебник для вузов / О. Н. Иванова, М. Ф. Копп, З. С. Коханова, Г. Б. Метельский; Под ред. О. Н. Ивановой. – М.: Радио и связь, 1988. – 624 с.

15. Цифровые и аналоговые системы передачи: Учебник для вузов / В. И. Иванов, В. Н. Гордиенко, Г. Н. Попов и др.; Под ред. В. И. Иванова. – М.: Радио и связь, 1995. – 232 с.
16. Теория передачи сигналов: Учебник для вузов / А. Г. Зюко, Д. Д. Кловский, М. В. Назаров, Л. М. Финк. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Радио и связь, 1986. – 304 с.
17. 100 лет радио: Сб. статей / Под ред. В. В. Мигулина, А. В. Гороховского – М.: Радио и связь, 1995. – 384 с.
18. Многоканальная связь и РРЛ / Баева Н. Н., Бобровская И. К., Брескин В. А., Федорова Е. Л.: Учебник для вузов связи. – М.: Радио и связь, 1984. – 216 с.
19. Гроднев И. И., Верник С. М. Линии связи: Учебник для вузов. – 5-е изд., перераб. и доп. – М.: Радио и связь, 1988. – 544 с.
20. Зингеренко А. М., Баева Н. Н., Тверецкий М. С. Системы многоканальной связи. – М.: Связь, 1980. – 439 с.
21. Вемян Г. В. Передача речи по сетям электросвязи. – М.: Радио и связь, 1985. – 272 с.
22. Назаров М. В., Прохоров Ю. Н. Методы цифровой обработки и передачи речевых сигналов. – М.: Радио и связь, 1985. – 176 с., ил.
23. Метрологическое обеспечение систем передачи: Учеб. пособие для вузов / Б. П. Хромой, В. Л. Серебрин, А. Л. Сенявский и др.: Под ред. Б. П. Хромого. – М.: Радио и связь, 1991. – 392 с.

ГЛОСАРІЙ

Акцепторний – P-type

Американська асоціація електронної промисловості – Electronic Industries Association (EIA)

Американський інститут національних стандартів – American National Standards Institute (ANSI)

Апаратура каналу даних – Data Communication Equipment (DCE)

Базова станція – Base Station

Безшнуровий – Cordless

Вентильні властивості – Properties of Valve

Відеосигнал – Video Signal

Відштовхування – Repulsion

Вікна прозорості – Low-loss Transmission Windows

Випрямлення – Grading

Високоеліптична – Highly Elliptical Orbit (HEO)

Високоомний – High-resistance

Вплавлення – Alloying

Геостаціонарна орбіта – Geostationary Earth Orbit (GEO)

Градiєнт – Gradient

Граничні умови – Extreme Conditions

Гратка – Grid

Детектування – Detection

Детектор мовної активності – Voice Activity Detector

Дієздатність – Availability

Дифузійний струм – Diffusive Current

Домішкові – Extrinsic;

Донорні – N-type

Досконала структура – Perfect Structure

Електродинамічний – Electrodynamic

Електростатичний – Electrostatic

Енергетична діаграма – Power Diagram

Естафетна передача – Token Passing

Європейська асоціація виробників комп'ютерів – The European Computer Manufactures Association (ECMA)

Європейський інститут стандартів у галузі телекомунікацій – European Telecommunications Standards Institute (ETSI)

Завадозахищеність – Obstacle Stability

Завадостійкість – Protection Ratio

Захисний інтервал – Safeguard

Зворотна напруга – Reverse Voltage

Згортальне кодування – Code Compression

Інжекція – Injection

Інститут інженерів з електротехніки і радіоелектроніки США – Institute of
Electronic and Electrical Engineers (IEEE)

Іонізація – Ionization;

Каналоутворююча апаратура – Channel-create Apparatus

Керуючий струм – Drive Current

Кінцеве обладнання даних – Data Terminal Equipment (DTE)

Кластер – Clump, Cluster

Коефіцієнт перекриття – Contact ratio

Комірка – Location

Комутаційна апаратура – Commutate Apparatus

Комутація кросова – Cross Switching

Комутація оперативна – Operative Commutation

Контактне поле – Contact Field

Кристалічна структура – Crystalline Structure

Крок квантування – Step of Quantum

Лавинне розмноження – Aalanche Reproduction

Ламель – Lamel

Ланка сигналізації – Signaling Link

Легування домішками – Impurity Doping

Магнітопровід – Magnet(ic) Core

Маркування – Marking

Міжнародна організація зі стандартизації – International Organization for
Standartization (ISO)

Міжнародний консультативний комітет з телеграфії і телефонії –
Committee Consultation International de Telegraphique et Telephonique
(CCITT)

Міжнародна спілка з електрозв'язку – International Telecommunication
Union (ITU)

Міжнародна електротехнічна комісія – The International Electrotechnical
Commission (IEC)

Модуль ідентифікації абонента – Subscriber Identity Module (SIM)

Наближені розрахунки – Approaching Calculations

Надвисокочастотні діоди – Microwave Diodes

Надлишковість – Excess, Surplus

Накопичення – Accumulation

Напруженість електричного поля – Electric Field Strength

Неврівноважені носії – Unbalanced Carriers

Нелінійні перетворення – Nonlinear Conversion

Неперервність – Continuity, Integrity

Нерівномірність – Granularity, Inequality, Nonuniformity

Неспотворені – Undisfigured

Низьковольтний – Low Volt

Низькоорбітальна – Low Earth Orbit (LEO)

Об'ємний опір – Solid Resistance
 Одностороння дія – One-sided Activity
 Одностороння провідність – Unidirectional Conduction
 Омічний – Ohmic
 Осцилографічна трубка – Cathode-ray Tube
 Перегрів – Overheating
 Передпробійна область – Before Disruption Zone
 Перезарядка – Recharging
 Перетворювачі зображень – Transformers of Images
 Перехідні характеристики – Transfer Characteristics
 Приграничний шар – Boundary Layer
 Прискорювальне поле – Accelerating Field
 Пробій діода – Diode Disruption
 Пункт сигналізації – Signaling Point
 Радіовидимість – Radio Visibility
 Режим відсічки – Cutoff Mode
 Режим насичення – Saturation Mode
 Результируючий струм – Total Current
 Рекомбінація – Recombination
 Рівноважне значення – Equilibrium Value
 Розмаїття – Variety
 Розсмоктування – Dispersal
 Роумінг – Roaming
 Руйнування – Destruction
 Рухома станція – Mobile Station
 Рушійний механізм – Motive Mechanism
 Середньоорбітальна – Medium Earth Orbit (MEO)
 Сила відштовхування – Repulsive Force
 Синхронна цифрова ієрархія – Synchronous Digital Hierarchy
 Стомлювання – Fatigue
 Стрибкоподібно – in Discrete Steps
 Струм витоку – Source Current
 Тепловідведення – Heatsink
 Термічна – Thermal, Thermic
 Термострум – Thermocurrent
 Транзисторний ключ – Transistor Key
 Фазовий зсув – Phase Shift
 Центр комутації – Center of Commutation
 Часове мультиплексування – Time Division Multiply (TDM)
 Частотний поділ – Frequency Division Method (FDM)
 Швидкодія – Fast-acting
 Широкопasmовий – Broadband
 Штриховка – Shading

Навчальне видання

Василь Мартинович Кичак
Святослав Тадіонович Барась
Юрій Іванович Кравцов
Оксана Степанівна Городецька

Основи побудови засобів та систем телекомунікацій

Навчальний посібник

Редактор Т. Старічек

Оригінал-макет підготовлено О. Городецькою

Підписано до друку
Формат 29,7×42¼. Папір офсетний.
Гарнітура Times New Roman.
Друк різнографічний. Ум. друк. арк. .
Наклад прим. Зам. № .

Вінницький національний технічний університет,
науково-методичний відділ ВНТУ.
21021, м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95,
ВНТУ, к. 2201.
Тел. (0432) 59-87-36.
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи
серія ДК № 3516 від 01.07.2009 р.

Віддруковано у Вінницькому національному технічному університеті
в комп'ютерному інформаційно-видавничому центрі.
21021, м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95,
ВНТУ, ГНК, к. 114.
Тел. (0432) 59-81-59.
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи
серія ДК № 3516 від 01.07.2009 р.