

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**Національний університет «Запорізька політехніка»**  
**Кафедра Радіотехніки та телекомунікації**

Методичні вказівки  
до лабораторних робіт з дисципліни  
«Системи комутації та розподілу інформації»  
для студентів спеціальності 172 «Телекомунікації  
та радіотехніка»  
всіх форм навчання

Частина 2

**2020**

Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з дисципліни «Системи комутації та розподілу інформації» для студентів спеціальності 172 «Телекомунікації та радіотехніка» всіх форм навчання в двох частинах. Частина 2 / Укл. Г.В. Мороз, Є.І. Колеснікова – Запоріжжя: НУ «Запорізька політехніка». – 2020. – 62 с.

Укладачі: Г.В. Мороз, асистент кафедри РТТ  
Є.І. Колеснікова, зав. лаб. кафедри РТТ

Рецензент: С.В. Морщавка, доцент, к.т.н.

Відповідальний  
за випуск: Г.В. Мороз, асистент кафедри РТТ

Затверджено  
на засіданні кафедри  
Радіотехніки та телекомунікацій  
Протокол № 10  
від «30» березня 2020 р.

## ЗМІСТ

	<b>ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ</b> .....	5
7	<b>ДОСЛІДЖЕННЯ МОДУЛІВ ЧАСОВОЇ І ПРОСТОРОВОЇ КОМУТАЦІЇ ЦИФРОВИХ АТС</b> .....	6
	7.1 Мета роботи.....	6
	7.2 Завдання для самостійної роботи студентів.....	6
	7.3 Описання лабораторної установки.....	6
	7.4 Порядок виконання роботи.....	6
	7.5 Теоретичні відомості.....	10
	7.6 Контрольні запитання та завдання.....	31
	7.7 Зміст звіту.....	31
8	<b>ДОСЛІДЖЕННЯ МОДУЛІВ ПРОСТОРОВО-ЧАСОВОЇ КОМУТАЦІЇ ЦИФРОВИХ АТС</b> .....	32
	8.1 Мета роботи.....	32
	8.2 Завдання для самостійної роботи студентів.....	32
	8.3 Описання лабораторної установки.....	32
	8.4 Порядок виконання роботи.....	32
	8.5 Контрольні запитання та завдання.....	35
	8.6 Зміст звіту.....	35
9	<b>ДОСЛІДЖЕННЯ ЦИФРОВИХ КОМУТАЦІЙНИХ ПОЛІВ 1-ГО І 2-ГО КЛАСІВ</b> .....	36
	9.1 Мета роботи.....	36
	9.2 Завдання для самостійної роботи студентів.....	36
	9.3 Описання лабораторної установки.....	36
	9.4 Порядок виконання роботи.....	36
	9.5 Теоретичні відомості.....	38
	9.6 Контрольні запитання та завдання.....	49
	9.7 Зміст звіту.....	50
10	<b>ДОСЛІДЖЕННЯ ЦИФРОВИХ КОМУТАЦІЙНИХ ПОЛІВ ТРЕТЬОГО ТА ЧЕТВЕРТОГО КЛАСІВ</b> .....	51
	10.1 Мета роботи.....	51
	10.2 Завдання для самостійної роботи студентів.....	51
	10.3 Описання лабораторної установки.....	51
	10.4 Порядок виконання роботи.....	51
	10.5 Контрольні запитання та завдання.....	53

10.6	Зміст звіту.....	54
11	<b>РОЗРАХУНОК ТА ДОСЛІДЖЕННЯ МЕРЕЖ ПЕРЕДАЧІ ДАНИХ З ПАКЕТНОЮ КОМУТАЦІЄЮ.....</b>	<b>55</b>
11.1	Мета роботи.....	55
11.2	Завдання для самостійної роботи студентів.....	55
11.3	Описання лабораторної установки.....	56
11.4	Порядок виконання роботи.....	56
11.5	Теоретичні відомості.....	57
11.6	Контрольні запитання та завдання.....	61
11.7	Зміст звіту.....	61
	<b>ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....</b>	<b>62</b>

## ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ

Лабораторний практикум є однією з основних форм засвоєння дисципліни «Системи комутації та розподілу інформації». Метою лабораторного практикуму є закріплення знань, отриманих під час вивчення основних тем теоретичного курсу, оволодіння студентами практичними навичками самостійного дослідження елементів структурних схем комутації різного призначення, поглиблення знань систем комутації за допомогою програмних засобів на ЕОМ.

Лабораторні роботи виконуються в лабораторії кафедри РТТ під керівництвом викладача. Лабораторні роботи виконуються кожним студентом індивідуально. Перед виконанням лабораторної роботи кожний студент зобов'язаний:

- знати відповідний розділ теоретичного курсу та мати чітке уявлення щодо процесів, які передбачається досліджувати;
- ознайомитися з методичними вказівками та інструкціями щодо виконання відповідної лабораторної роботи;
- виконати домашнє завдання та подати його викладачу в якості допуску до виконання лабораторної роботи.

Перед початком лабораторного практикуму студенти проходять інструктаж з правил техніки безпеки при виконанні лабораторних робіт та розписуються у відповідному журналі на кафедрі. Допуск до лабораторного практикуму студентів без попереднього інструктажу з правил техніки безпеки забороняється.

Після закінчення лабораторної роботи студенти повинні подати викладачу індивідуальний звіт, в якому містяться всі основні результати підготовки та виконання роботи. Звіт захищається під час здачі лабораторної роботи. Здача всіх лабораторних робіт, що передбачено навчальним планом, є необхідною ознакою виконання навчальної програми курсу. До здачі екзамену з дисципліни «Системи комутації та розподілу інформації» допускаються студенти, які виконали всі лабораторні роботи та здали їх з позитивними оцінками.

## **7 ДОСЛІДЖЕННЯ МОДУЛІВ ЧАСОВОЇ І ПРОСТОРОВОЇ КОМУТАЦІЇ ЦИФРОВИХ АТС**

### **7.1 Мета роботи**

Вивчення принципів синхронної цифрової комутації, дослідження процесів у цифрових системах комутації і способів реалізації блоків просторової і часової комутації на елементах цифрової техніки.

### **7.2 Завдання для самостійної роботи студентів**

7.2.1 Вивчити принципи роботи модулів часової і просторової комутації за пунктом 7.5 і літературою [4].

7.2.2 Відповісти на контрольні запитання.

### **7.3 Описання лабораторної установки**

Лабораторна робота виконується на персональному комп'ютері типу Pentium III з операційною системою Windows NT/XP та пакетами MatLab 6.0/6.5 і Electronics WorkBench 5.12.

### **7.4 Порядок виконання роботи**

7.4.1 Ввійти в середовище MatLab і викликати оболонку програми моделювання нелінійних динамічних систем Simulink, натиснувши кнопку ST (Simulink), на панелі інструментів командного вікна MatLab. Відкриється вікно оглядача розділів бібліотеки Simulink (Simulink Library Browser). Створити новий файл моделі за допомогою команди File/New/Model, або використовуючи кнопку L-1 на панелі інструментів.

Зібрати схему, зображену на рис. 7.1, що імітує роботу модуля часової комутації. Для цього необхідно відкрити відповідний розділ бібліотеки (наприклад, Sources - Джерела). Далі, указавши курсором на необхідний блок і натиснувши на ліву клавішу миші — “перетягнути” блок у вікно моделі. Для нашої схеми потрібні лише розділи бібліотеки Simulink та DSP Blockset.

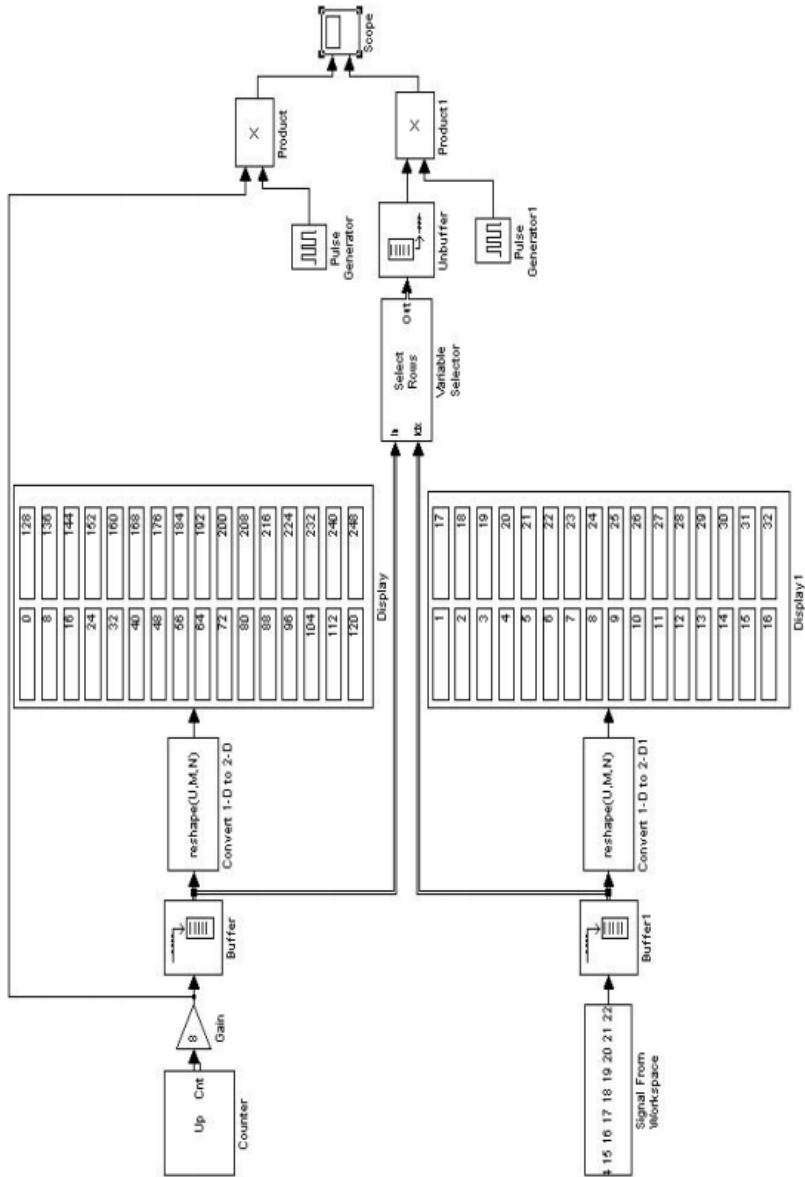


Рисунок 7.1 – Схема, що імітує роботу модуля часової комутації

Після установки на схемі всіх блоків з необхідних бібліотек потрібно виконати з'єднання елементів схеми. Для з'єднання блоків необхідно вказати курсором на “вихід” блоку, а потім, натиснувши його, не відпускаючи лівої клавіші миші, провести лінію до входу іншого блоку. Після чого відпустити клавішу.

Для зміни параметрів блоку необхідно двічі натиснути лівою клавішею миші, вказавши курсором на зображення блоку.

В блоці „Counter” змінити параметри: „Maximum count” з 255 на 31, „Output” з „Count and Hit” на „Count”. В блоці „Gain” змінити параметр „Gain” з 1 на 8. В блоках „Buffer” та „Buffer 1” змінити параметр „Output buffer size (per channel)” з 64 на 32. В блоках „Convert 1-D to 2-D” та „Convert 1-D to 2-D1” змінити параметри: „Number of output rows” з 1 на 16, „Number of output columns” з 1 на 2. В блоці «Signal From Workspace» змінити параметри: „Signal” з 1:10 на [1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32], „Form output after final data value by” з „Setting to zero” на „Cyclic Repetition”. Всі інші параметри у цих чи інших блоках не змінювати.

7.4.2 Запустити програму на виконання. Переглянути вид сигналу на вході і на виході модуля комутації (у виді графіків в блоці „Scope”) і виконати аналіз роботи модуля. Ця схема працює так, що з першого часового каналу на вході модуля інформація передається у відповідний йому перший часовий канал на виході модуля, і так кожний часовий інтервал.

В цій схемі блоки „Counter” та „Gain” виступають у ролі джерела інформації, а блок „Signal From Workspace” – джерело керуючої інформації. Блок „Buffer” – мовний запам'ятовувальний пристрій (МЗП), а блок „Buffer1” – керуючий запам'ятовувальний пристрій (КЗП). Схема модуля часової комутації зібрана для стандартної ІКМ-30 лінії, тобто комутує 32 часових інтервали.

7.4.3 Змінюючи дані в блоці „Signal From Workspace”, задати такий режим модуля комутації, щоб інформація від абонентів А, В, С була передана відповідно абонентам D, E, F. При цьому вважати, що абоненту А виділений канальний інтервал з номером N, де N – номер бригади по журналу обліку проходження лабораторних робіт, абоненту В – N+1 інтервал, абоненту С – N+2; абоненту D – 20, E – 21; F – 22. Проаналізувати і зарисувати вид вихідного сигналу, переконатися в

правильності роботи модуля комутації.

7.4.4 Повторити пункт 7.4.3 для такого режиму роботи:

A → B;

D → E;

F → C.

7.4.5 Реалізувати режим конференц зв'язку, при якому інформація від абонента А передавалася б до абонентів В, Е, С. Зафіксувати результат і виконати аналіз правильності роботи схеми.

7.4.6 Закрити програму MatLab.

7.4.7 Запустити пакет для дослідження схем Electronics WorkBanch та відкрити файл `t_modul.ewb`, який реалізує модуль часової комутації з 8-ю часовими інтервалами. Для зібраної схеми повторіть пункти 7.4.3-7.4.5, але при цьому вважати, що абоненту А виділений каналний інтервал з номером  $N \bmod 8$ , де N – номер бригади по журналу обліку проходження лабораторних робіт, абоненту В –  $(N+1) \bmod 8$  інтервал, абоненту С –  $(N+2) \bmod 8$ ; абоненту D –  $(N+4) \bmod 8$ , Е –  $(N+5) \bmod 8$ ; F –  $(N+6) \bmod 8$ .

7.4.8 Відкрити файл `prostranstvo.ewb`, який реалізує модуль просторової комутації. Вважаючи, що система складається з чотирьох ліній і чотирьох каналних інтервалів, виконати комутацію відповідно до табл. 7.1, в колонках якої через крапку з комою вказані номери ліній. Наприклад, до нульової лінії першого варіанту в момент часу, що відповідає нульовому каналному інтервалу треба підключити третю лінію, в момент часу, що відповідає першому каналному інтервалу – першу лінію і т. д. Проаналізувати і зарисувати вид вихідного сигналу, переконатися в правильності роботи модуля комутації.

Таблиця 7.1 – Варіанти завдань

N бриг.	1	2	3	4	5	6
N лінії						
0	3;1 1;2;3	1;0; 1;3	2; 3; 1; 2	1;0; 1;2	0;2;3; 1	1; 0; 3; 0
1	0; 0; 3; 2	0;3;3;2	1; 2; 3;0	3; 2; 3; 0	2;3; 1;3	3; 3; 1;3
2	2; 3; 0; 1	3; 1;0; 1	0; 1;0;3	2; 1; 0; 3	1;0; 2;0	0; 1; 2; 1
3	1;2; 1; 0	2; 2; 1;0	3; 0; 2; 1	0;3;2; 1	3; 1;0;2	2; 2; 0; 2

## 7.5 Теоретичні відомості

**7.5.1 Координати комутації.** Однокоординатною називається комутація, при якій з'єднувальні шляхи в системі відокремлені один від одного по одній розділовій ознаці, де під розділовою ознакою розуміється параметр, по якому в системі відбувається поділ з'єднувальних шляхів між входом і виходом. Наприклад, в аналогових системах найбільше поширення отримала однокоординатна комутація з просторовою ознакою поділу каналів.

Для геометричного подання багатокоординатної комутації введемо поняття простору ознак, позначимо його через  $P$ . За координату цього простору приймемо значення тих параметрів, що можуть служити ознакою для поділу каналів. Можна використовувати, наприклад, такі параметри сигналу, як частотний, часовий, амплітудний і т.д. Якщо усі з перерахованих параметрів у сигналів, що комутуються, виявляються співпадаючими, то поділ сигналів може здійснюватися у фізичному просторі (тобто для незалежної передачі або комутації сигналів необхідні індивідуальні фізичні лінії). Тому, в просторі ознак  $P$  однією з координат може бути і «просторова» ознака, що вказує на приналежність до визначеної фізичної лінії. Таким чином, кожен канал можна подати у виді деякого об'єму в просторі ознак  $P$ , координатами якого є зазначені вище ознаки.

Передача сигналів по лінії без перехресного впливу одного каналу на іншій вимагає, щоб об'єми окремих каналів не перетиналися. Розміри перетину каналу по кожній координаті не повинні бути більше динамічного діапазону зміни цього параметра.

Приймемо за достатню ознаку відсутності взаємного впливу каналів не перетинання їхніх об'ємів у просторі  $P$ . Будемо вважати, що простір  $P$  має  $k$  вимірів, а кожна  $i$ -та координата ( $i = 1, 2, \dots, k$ ) має  $C_j$  дискретних значень ( $j=1, 2, \dots, p$ ). Ці дискретні значення відповідають центрам смуги, що займається кожним каналом по цій координаті.

При зазначених обмеженнях положення каналу в просторі ознак можна однозначно охарактеризувати вектором, що виходить з початку координат і закінчується в точці, яка відповідає «центру ваги» об'єму простору  $P$ , що займається даним каналом.

Наведемо кілька прикладів.

1. Передача сигналів по індивідуальних фізичних лініях. У цьому випадку розділовою ознакою буде просторова ознака  $S$ . Кожна індивідуальна з'єднувальна лінія характеризується своїм параметром – умовним номером цієї лінії. Векторна діаграма сигналів, переданих по індивідуальних фізичних лініях, показана на рис. 7.2 а. Однокоординатна комутація в цьому випадку означає перетворення, наприклад,  $A_1$  у  $A_i$  (тобто передачу сигналів з першої лінії в  $i$ -ту).

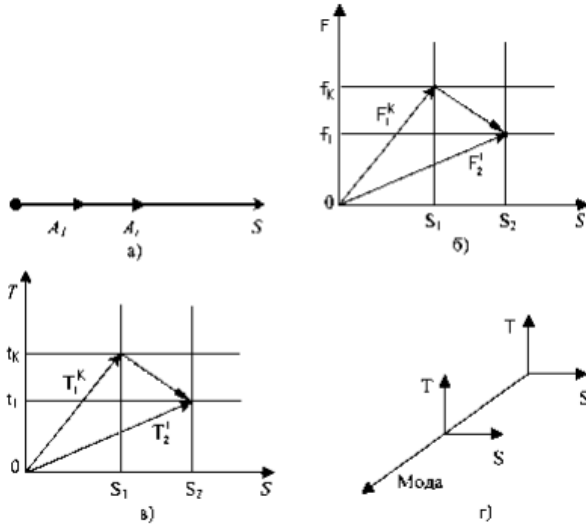


Рисунок 7.2 – Векторне подання сигналів і їхня комутація

2. Лінія з частотним поділом каналів (ЧПК). У цьому випадку для подання необхідно мати дві ознаки: просторову  $S$  і частотну  $F$ . Просторовий параметр  $S$  вказує умовний номер лінії з ЧПК. Частотні параметри  $f_i$  ( $i = 1, 2, \dots, k$ ) означають центри смуг пропускання кожного з каналів, що передаються по лінії  $S$ . На рис. 7.2 б наведено векторне подання каналів у лінії з ЧПК, при цьому запис  $F_i$  означає  $k$ -й канал  $i$ -ї лінії.

Наявність двох ознак ( $S$  і  $F$ ) дозволяє говорити про двокоординатну комутацію сигналів, переданих по каналах у лінії з ЧПК. Наприклад, сигнал з  $i$ -го каналу можна перенести з лінії  $S_1$  у той же канал лінії  $S_2$  чи з одного каналу перевести сигнал в інший канал тієї ж лінії, чи те й інше разом.

3. Лінія з часовим поділом каналів (ЧСПК). Сигнали в такій лінії можна подати в координатах ознак  $S$  (простір) і  $T$  (час). Координатами каналного інтервалу будуть умовний номер лінії з ЧСПК  $S$  і номер каналного інтервалу  $k$  ( $k=1, 2, \dots, n$ ) у структурі циклу (рис. 7.2 в).

Тут  $T_1^k, T_2^1$  – вектори сигналів, переданих по лініях  $S_1$  і  $S_2$  протягом каналних інтервалів з номерами  $k$  і  $1$  відповідно.

Можлива комутація сигналів по ознаках, число яких більш двох, наприклад, в оптичній комутації (рис. 7.2 г), однак такі комутаційні пристрої є в даний час експериментальними.

**7.5.2 Модуль часової комутації.** Блок що здійснює функцію часової комутації цифрового сигналу (перетворення його часової координати), називається модулем часової комутації або  $T$ -модулем (від time – час).

Нехай на вхід комутаційного модуля з ІКМ лінії надходять, а з виходу модуля ідуть у ІКМ лінію часовоуцільнені ІКМ сигнали (рис. 7.3).

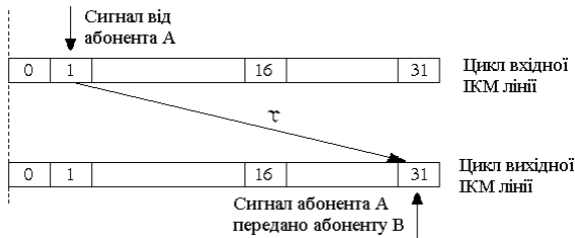


Рисунок 7.3 – Ілюстрація принципу часової комутації

За кожним каналним інтервалом закріплений строго визначений ІКМ сигнал (мовний сигнал абонента). Наприклад, абонент А закріплений за 1-м каналним інтервалом вхідної ІКМ лінії, а абонент В за 31-м каналним інтервалом вихідної. Інформація про це передається в сигнальному часовому каналному інтервалі. Зміна порядку проходження одного каналного інтервалу вихідної ІКМ лінії в порівнянні з вхідною означає передачу мовної інформації від одного абонента до іншого. У цьому і полягає принцип часової комутації (іноді говорять про перестановку каналних інтервалів або переміщення інформації з каналу в канал). Принцип часової комутації ілюструє рис. 7.3, де показаний один двопровідний тракт (наприклад, на передачу). Для здійснення розмови абонентів необхідно організувати такий же тракт

на прийом, тобто розмовний тракт повинний бути чотирипровідним.

Використання векторного подання цифрової комутації (рис. 7.4) у координатах простір-час дозволяє трохи по-іншому описати принцип часової комутації. Якщо припустити ортогональність перетворень часової і просторової координат цифрового сигналу, то отримаємо

$$\Psi(S, T) = \Psi(S) + \Psi(T). \quad (7.1)$$

Для часової комутації  $\Psi(S) = 0$ . Операція  $\Psi(T)$  є просто операцією затримки визначеного кодового слова на заданий час.

Структурно T-модуль характеризується ємністю T: N x M, K, де N – число вхідних часових каналних інтервалів у ІКМ лінії; M – число каналних інтервалів вихідної ІКМ лінії; K – число біт в одному кодовому слові (іноді, якщо значення K відоме заздалегідь, записують T: N x M).

T-модулі можуть бути реалізовані двома способами: за допомогою керованих змінних ліній затримки чи з використанням цифрових запам'ятовуючих пристроїв (ЗП). В даний час T-модулі цифрових комутаційних полів будуються тільки на ЗП внаслідок простоти і низької вартості реалізації.

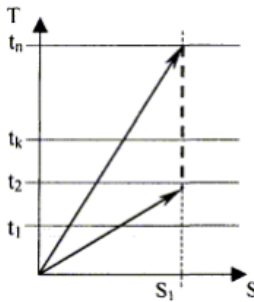


Рисунок 7.4 – Векторне подання часової комутації

У самому загальному виді T-модуль містить два ЗП – мовний і керуючий (рис. 7.5). Мовний ЗП призначено для запису/зчитування кодових слів каналних інтервалів, що комутуються, а керуючий містить адреси запису/зчитування для комірок мовного ЗП. Ці адреси надходять в керуючий ЗП з керуючих пристроїв системи комутації.

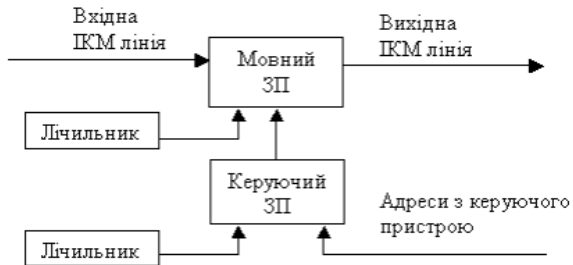


Рисунок 7.5 – Загальна схема реалізації Т-модуля

ЗП Т-модуля можуть працювати в двох еквівалентних по результату комутації режимах: «послідовний запис/довільне зчитування» і «довільний запис/послідовне зчитування».

1) У режимі послідовного запису/довільного зчитування (рис. 7.5) відбувається послідовний запис кодів слів у мовний ЗП по сигналах спеціально організованого лічильника номерів комірок ЗП і довільне зчитування з мовного ЗП по адресах, одержаних з керуючого ЗП або з керуючого пристрою. У цьому випадку визначені комірки пам'яті закріплюються за відповідними каналами вхідної ІКМ лінії. Інформація кожного вхідного часового інтервалу запам'ятовується в послідовних комірках пам'яті, що забезпечується збільшенням на одиницю вмісту лічильника на кожному часовому інтервалі. Нехай інформація з каналного інтервалу 2 повинна бути передана в каналний інтервал 3. За синхронізуючим сигналом станції, що збігається з початком каналного інтервалу 0, лічильник мовного ЗП обнулюється. Будемо вважати, що структура циклу часовоуцілененого групового сигналу всередині Т-модуля залишається тією ж самою, як і в ЦСП. У реальних системах комутації такого обмеження може і не бути. Крім того, каналні інтервали 0 і 16, усередині комутаційного поля, можуть використовуватися для цілей передавання внутрішньостанційних сигналів і бути звичайними каналами, що комутуються. За допомогою послідовного збільшення значення лічильника, що формує адреси мовного ЗП, кодовані відліки всіх каналів циклу записуються в цей ЗП. Тим самим реалізується режим послідовного запису в мовний ЗП.

На рисунку 7.6 надано ілюстрація роботи Т-модуля у режимі «послідовний запис/довільне зчитування».

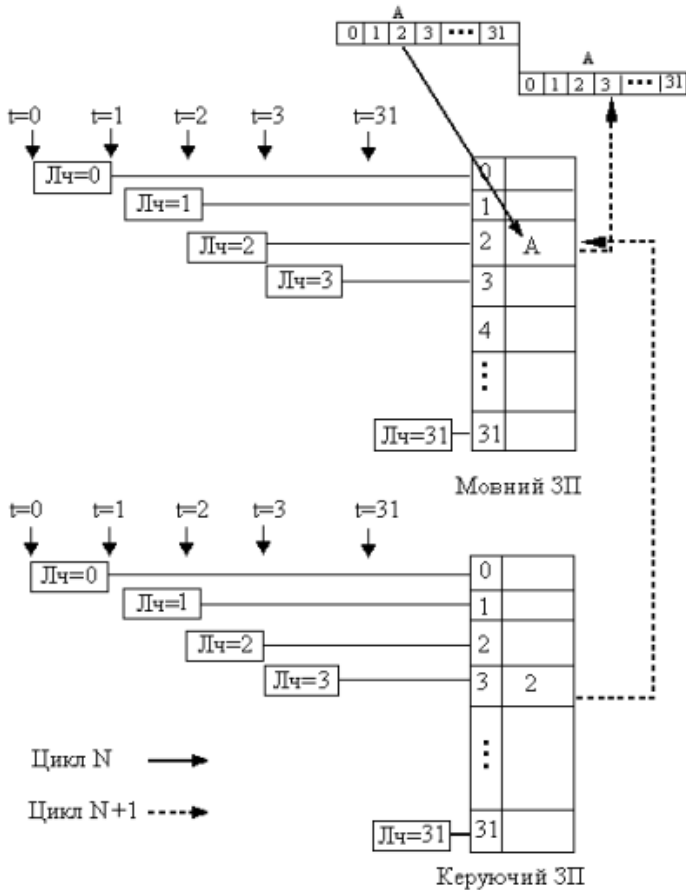


Рисунок 7.6 – Ілюстрація роботи Т-модуля. Режим «послідовний запис/довільне зчитування»

У наступному циклі здійснюється режим довільного зчитування. Для цієї мети організується лічильник адрес керуючого ЗП. Дані адреси записуються в керуючий ЗП центральним керуючим пристроєм АТС і визначають адреси зчитування для мовного ЗП. Для розглянутого прикладу при  $Лч = 3$  буде зчитана адреса 2, сигнал зчитування подано за адресою 2 в мовний ЗП, і інформація каналу 2 потрапить у каналний інтервал 3. Тим самим буде реалізовано режим довільного зчитування мовного ЗП.

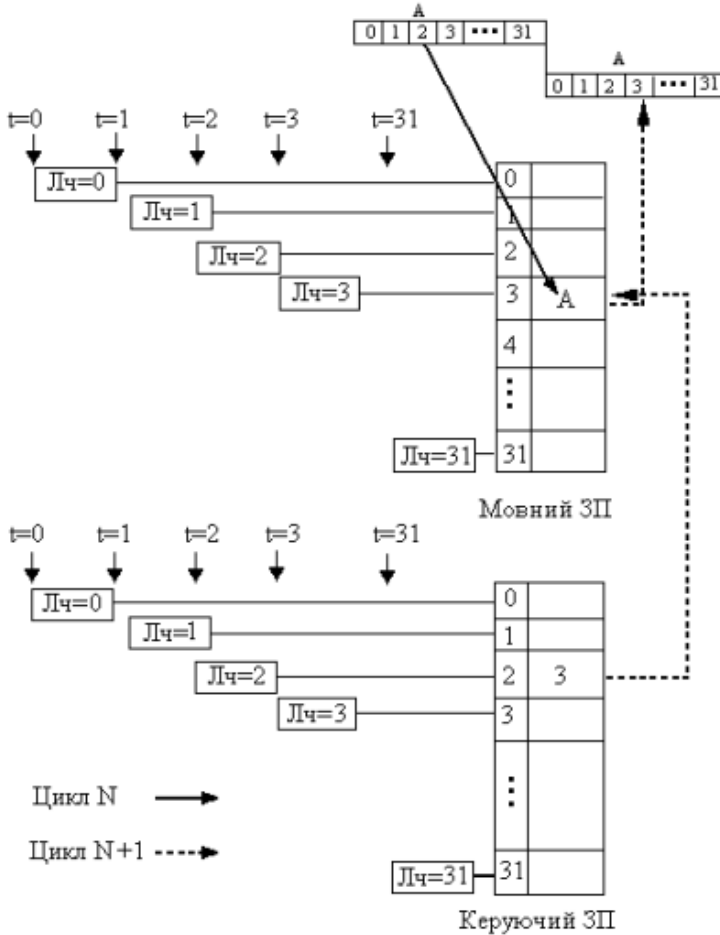


Рисунок 7.7 – Ілюстрація роботи Т-модуля. Режим «довільний запис/послідовне зчитування»

2) У режимі «довільного запису/послідовного зчитування» (рис. 7.7) відбувається довільний запис у мовний ЗП кодів слів за адресами сформованими керуючим ЗП чи керуючим пристроєм системи, і послідовне зчитування за сигналами лічильника. У цьому випадку інформація, що надходить на вхід, записується в комірки мов-

ного ЗП відповідно до адреси, що зберігається в керуючій пам'яті, а зчитування інформації відбувається послідовно — комірка за коміркою під керуванням лічильника вихідних часових інтервалів. У нашому прикладі інформація, що прийнята протягом часового інтервалу 2, записується безпосередньо в мовний ЗП за адресою 3, звідки автоматично зчитується у вихідний канал з номером 3 вихідної ІКМ лінії.

Вибір режиму роботи Т-модуля залежить від конкретної реалізації комутаційного поля.

Нехай Т-модуль має параметри Т:  $N \times N$ , К. Тоді кількість каналних інтервалів, що може бути скомутована Т-модулем, розраховується за формулою

$$N = \frac{PT_{\text{ц}}}{KA_{\text{тц}}} \quad (7.2)$$

де  $T_{\text{ц}}$  — час циклу ІКМ лінії (мкс);

$P$  — число паралельно записуваних (зчитуваних) у ЗП біт;

$t_{\text{ц}}$  — час циклу ЗП (мкс);

$A$  — число, що характеризує організацію доступу до мовного ЗП.

Аналіз цієї формули показує, що ємність Т-модуля можна збільшити трьома способами:

1) паралельною обробкою кодового слова каналного інтервалу ( $P=K=8$  для стандартного ІКМ перетворення, хоча в ряді цифрових комутаційних полів довжина кодового слова може бути збільшена);

2) скороченням часу циклу ЗП ;

3) зменшенням значення параметра  $A$ .

Оцінимо можливість збільшення ємності Т-модуля шляхом зменшення часу  $t_{\text{ц}}$ . Нехай ЗП має  $t_{\text{ц}} = 1$  (відзначимо, що таке ЗП є надшвидкісним). При паралельній обробці кодових слів максимальна ємність Т-модуля з таким ЗП складе понад 62000 каналних інтервалів, що відповідає станціям великої і середньої ємності.

Однак, вартість таких надшвидкісних ЗП надзвичайно велика, тому реально використовується ємність Т-модуля дорівнює зазвичай  $128 \times 128$ ,  $512 \times 512$  чи  $1024 \times 1024$  каналних інтервалів. Для реалізації цифрових комутаційних полів великої ємності використовують багатоланковий метод з'єднання Т-модулів.

І, нарешті, розглянемо третій фактор можливого збільшення ємності Т- модуля: різні способи організації доступу до ЗП. Параметр А враховує збільшення швидкодії ЗП за рахунок зміни організації доступу до нього в порівнянні з основною схемою (рис. 7.5). Основна схема Т-модуля характеризується тим, що в ній поле комірок мовного ЗП є загальним для всіх каналних інтервалів вхідної ІКМ лінії і, крім того, цей мовний ЗП послідовно працює на запис і на зчитування. Для такої схеми  $A = 4$ . У Т-модулях цифрових телефонних систем найбільше застосування знайшла схема, що працює в режимі поділу запису і зчитування (рис. 7.8).

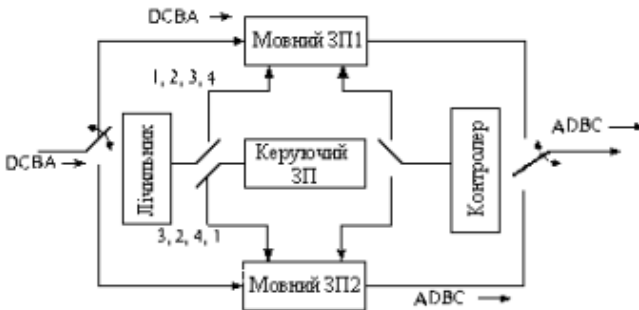


Рисунок 7.8 – Режим окремого запису/зчитування

На рис. 7.9 показані часові діаграми роботи розглянутого Т-модуля Під час першого ( $T_0$ ) циклу, вхідні мовні кодові слова в паралельній формі записуються в мовний ЗП1, а вихідні мовні слова зчитуються з мовного ЗП2. Вхідні мовні кодові слова ( $A_0B_0C_0D_0$ ) послідовно записуються в комірки мовного ЗП1 відповідно до послідовних адрес (1,2,3, 4,...), що задаються лічильником. Запис відбувається по сигналах, які формуються контролером дозволу запису.

Вихідні мовні кодові слова ( $C_1B_1D_1A_1$ ) зчитуються з мовного ЗП2 з використанням адрес комутації, одержуваних з керуючого ЗП (на рис 7.9 ці адреси позначені цифрами (3, 2, 4, 1) У наступний ( $T_1$ ) цикл вхідні кодові слова будуть записуватися в мовний ЗП2, а зчитуватися з мовного ЗП1

Для Т-модулів, що реалізують режим поділу запису і зчитування, число А дорівнює 2, тобто завдяки цьому режиму вдається в два рази збільшити ємність Т-модуля в порівнянні з основною схемою фактично за рахунок подвоєння ємності мовного ЗП.

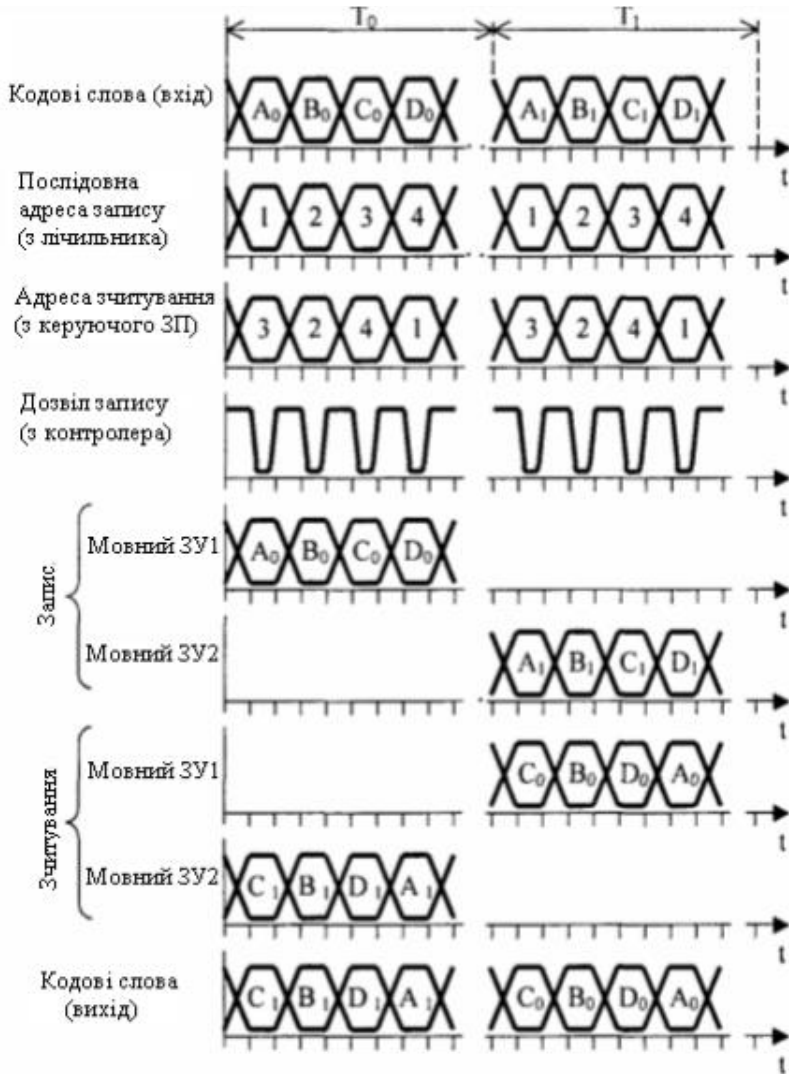


Рисунок 7.9 – Часові діаграми роботи Т-модуля, що реалізує принцип поділу запису/зчитування

Швидкодія Т-модуля з розділними записом/зчитуванням обмежується швидкістю запису в ЗП, тому що для запису вимагаються

три сигнали (вхідні мовні кодові сигнали, послідовна адреса запису і сигнал дозволу запису), а для зчитування – два сигнали (вихідні мовні кодові сигнали, адреса комутації). У зв'язку з тим, що режим «роздільний запис/роздільне зчитування» реалізується так, що загальний час запису дорівнює часу зчитування, швидкодія Т-модуля визначається часом процедури запису. Однак можливий інший режим роботи Т-модуля, що одержав назву «повільний запис/швидке зчитування», який дозволяє значно збільшити її швидкодію. При цьому, як правило, потрібно вже три мовних ЗП, робота яких може бути побудована за принципом, наприклад, парного запису, тобто в першому циклі  $T_0$  відбувається поділ вхідних кодових слів і їх запис одночасно в ЗП1 і ЗП2 (наприклад, слів  $A_0, C_0$  – у ЗП1, а  $B_0$  і  $D_0$  – у ЗП2). Аналогічно в циклі  $T_1$  здійснюється запис у ЗП2 і ЗП3, у циклі  $T_2$  в ЗП1 і ЗП3.

У циклі  $T_0$  з мовного ЗП3 виконується зчитування кодових слів відповідно до адрес керуючого ЗП. Ці кодові слова були записані в двох попередніх циклах  $T_1$ , і  $T_2$  (це можуть бути слова  $A_1 B_2, C_1 D_2$ ). У циклі  $T_1$  зчитування здійснюється з мовного ЗП1, а в циклі  $T_2$  – із ЗП2 Швидкодія такого Т-модуля визначається часом зчитування з мовного ЗП, що значно менше часу запису в ЗП.

З усіх розглянутих схем Т-модуля мінімальний об'єм мовного ЗП має основна схема. Збільшення швидкодії Т-модуля шляхом зміни режиму доступу призводить до збільшення об'єму мовного ЗП. Так, для реалізації режиму «повільний запис/швидке зчитування» вимагається вже три мовних ЗП. Однак, швидке зниження вартості ЗП в останні роки робить економічно обґрунтованим застосування таких Т-модулів.

Недоліком модуля часової комутації є те, що він здатний комутувати канали тільки однієї цифрової лінії. Тому для комутації  $N$  ІКМ ліній необхідно  $N$  модулів. А для організації з'єднання між собою різних ІКМ ліній послідовно з ним необхідно включення додаткового устаткування – блоків просторової чи просторово-часової комутації.

### 7.5.3 Модуль просторової комутації.

Блок чи модуль цифрового комутаційного поля, що здійснює просторову комутацію цифрового сигналу (перетворення його просторової координати), називається модулем просторової комутації або S-модулем (від space – простір).

Суть перетворення просторової координати цифрових сигналів полягає в тому, щоб перенести дане кодове слово з однієї ІКМ лінії в іншу із збереженням порядку проходження кодового слова в структурах циклів обох ліній (рис. 7.10).

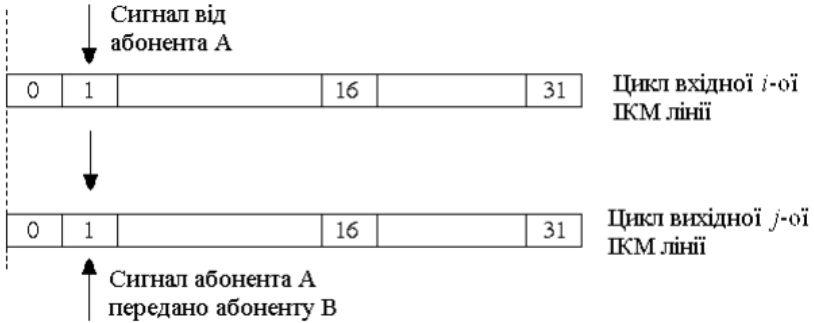


Рисунок 7.10 – Ілюстрація принципу просторової комутації

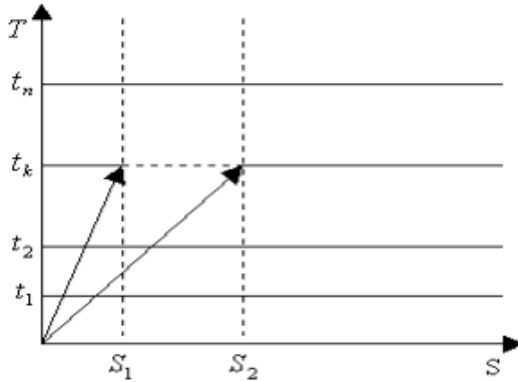


Рисунок 7.11 – Векторне представлення просторової комутації

Векторне представлення такого перетворення показано на рис. 7.11. У цьому випадку знову припускається ортогональність перетворень часової і просторової координат цифрового сигналу

$$\Psi(S, T) = \Psi(S) + \Psi(T) = \Psi(S), \quad (7.3)$$

де  $\Psi(T) = 0$ .

Структурно S-модуль описується за допомогою трьох чисел  $S: N \times M, K, \text{де } N, M$  – кількість вхідних і вихідних ІКМ ліній;  $K$  – число каналних інтервалів у кожній з ІКМ ліній. Якщо відома величина  $K$  (наприклад, ІКМ-30), то структурно S-модуль характеризується двома числами  $N \times M$ .

Розглянемо принцип побудови модулів просторової комутації цифрового сигналу на прикладі умовної комутаційної матриці (рис. 7.12). Матриця складається з вертикальних і горизонтальних шин і елементів «І» (електронні ключі).

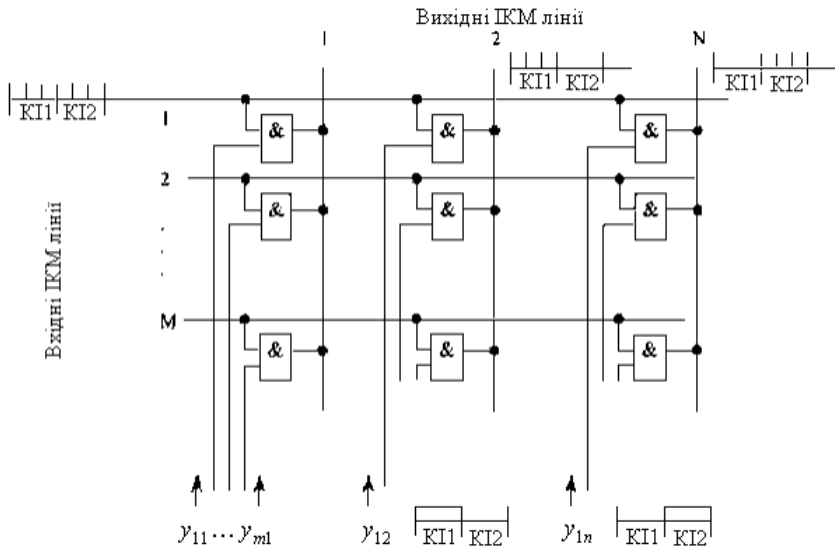


Рисунок 7.12 – Приклад просторової комутаційної матриці

Нехай в деякі каналні інтервали (наприклад,  $KI_1$  і  $KI_2$ ) необхідно передати кодові слова з першої вхідної ІКМ лінії, що включена в першу горизонтальну шину, в другу й в  $N$ -ту вихідні ІКМ лінії, що включені в другу і в  $N$ -ту вертикальні шини відповідно. У заданий час керуючий пристрій (на рис. 7.12 не показаний) включає відповідні ключі, посылаючи сигнали керування  $\gamma_{12}$  і  $\gamma_{1n}$  слово під час  $KI_1$  з першої вхідної ІКМ лінії попадає в другу вихідну ІКМ лінію, а під час  $KI_2$  – в  $N$ -ту вихідну ІКМ лінію. Кожен ключ залишається відкритим тільки на час тривалості одного каналного інтервалу. Зрозуміло, що

для забезпечення нормальної роботи такої матриці необхідно, щоб у кожний момент часу працював тільки один ключ на кожній вертикалі.

Якщо просторова комутаційна матриця будується для паралельного передавання 8-бітового кодового слова, то знадобиться 8 горизонталей і 8 вертикалей для одного кодового слова. Підкреслимо, що переключення ключових елементів у матриці відбувається в темпі надходження кодових слів.

Аналіз роботи просторової комутаційної матриці показує, що сигнал на вході цієї матриці в кожен момент часу визначається тільки значеннями вхідного і керуючого сигналів і не залежить від того, що було на цих входах у попередній момент. Отже, матриця являє собою комбінаційний автомат (рис. 7.13) з  $N$  інформаційними входами,  $M$  інформаційними виходами і  $N \times M$  точками комутації, робота яких визначається керуючою частиною.

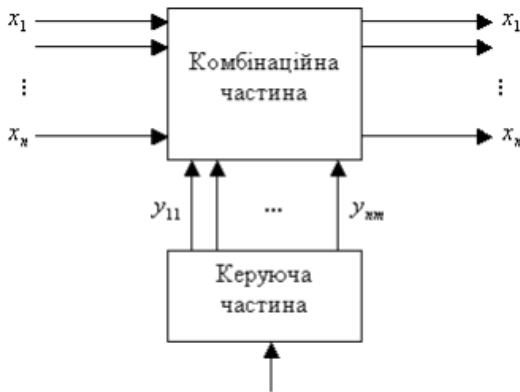


Рисунок 7.13 – Подання S-модуля у виді комбінаційного автомата

Комбінаційна частина S-модуля може бути реалізована різними способами: на електронних ключах (рис. 7.14 а), на інтегральних схемах середнього ступеня інтеграції – мультиплексорах і демультіплексорах (рис. 7.14 б і в), чи на великих інтегральних схемах (ВІС) матричної структури – програмувальних логічних матрицях (ПЛМ) (рис. 7.14 г).

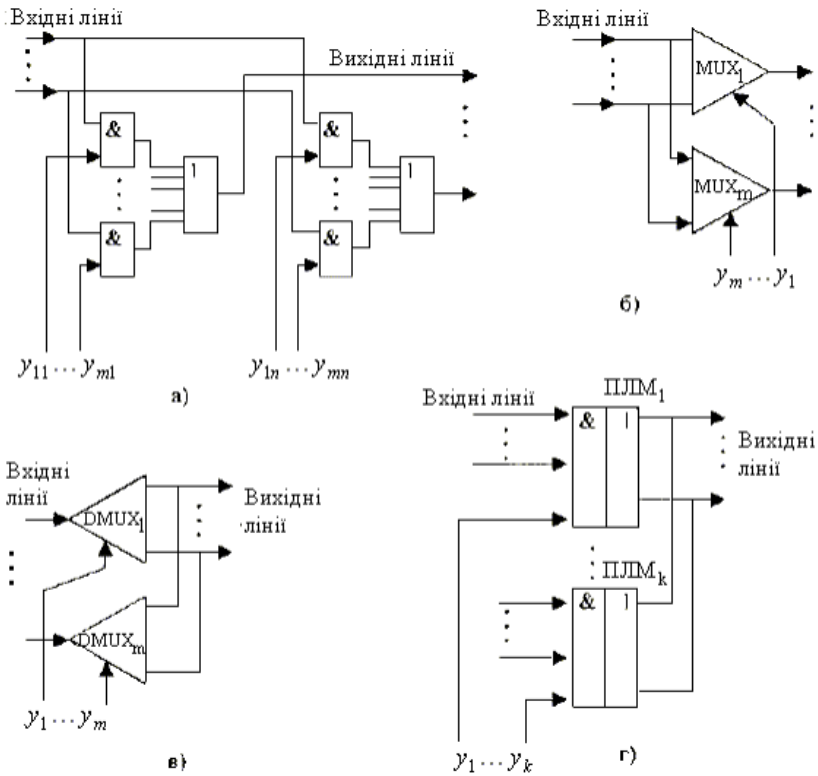


Рисунок 7.14 – Приклади побудови комбінаційної частини S-модуля

Керуюча частина S-модуля (іноді її називають блоком адресної інформації) призначена для вироблення адрес входу і виходу, що повинні бути скомутовані (точніше, адрес комутаційних елементів комутаційної матриці).

Ці адреси повинні заноситися в блок адресної інформації і зберігатися в ньому до закінчення з'єднання. Тому керуюча частина S-модуля будується на базі ЗП (будемо називати його керуючим ЗП), у який з керуючих пристроїв системи надходять сигнали керування. Обсяг пам'яті і структура керуючого ЗП (КЗП) визначається побудовою комутаційної матриці і параметрами  $N$  і  $M$ . При реалізації комутаційної матриці на електронних ключах кожній точці комутації

необхідний свій керуючий вхід, і їх кількість буде дорівнювати добутку  $N \times M$ . При реалізації комутаційної матриці на мультиплексорах/демультиплексорах число керуючих входів зменшується, оскільки керуючі сигнали передаються в кодованому виді. І, нарешті, побудова комутаційної частини на ПЛІМ дозволяє ще більш скоротити число керуючих входів.

Керування процесом комутації може бути організоване за принципом «керування по виходах» чи «керування по входах». У першому випадку в комірки пам'яті КЗП заносяться адреси вихідних цифрових ліній, що повинні бути скомутовані з конкретною вхідною лінією. В другому випадку в комірки пам'яті КЗП заносяться адреси вхідних цифрових ліній, що повинні бути скомутовані з конкретною вихідною лінією. Цифрові КП, побудовані на модулях просторової комутації, дуже широко використовувалися на перших етапах створення цифрових АТС, через простоту виконання і недорогу реалізацію. Однак недолік просторового комутатора, у якому комутується тільки один однойменний канал усіх вхідних і вихідних ІКМ ліній (що означає блокування при з'єднанні різнойменних каналів), призвів до того, що в даний час ці модулі використовуються тільки в сполученні з комутаційними модулями інших типів.

**7.5.4 Модуль просторово-часової комутації.** Блок (іноді його називають матрицею), що реалізує просторово-часове перетворення координат цифрового сигналу, називається S/T-модулем.

Нехай на блок, що реалізує просторово-часову комутацію, надходять цифрові потоки від двох ІКМ ліній (для визначеності приймемо, що по кожній лінії передаються цифрові сигнали, які мають структуру циклу ІКМ-30) (див. рис. 7.15).

Усі сигнали ІКМ ліній синхронізовані по циклах. Відповідно до адресної інформації, що надходить в керуючий пристрій блоку в шістнадцятому каналному інтервалі, необхідно встановити з'єднання абонента А з абонентом В. В адресі зазначено, що мовна інформація від абонента А передається в  $i$ -му каналному інтервалі ІКМ лінії 1, а абоненту В наданий  $j$ -й каналний інтервал ІКМ лінії 2.

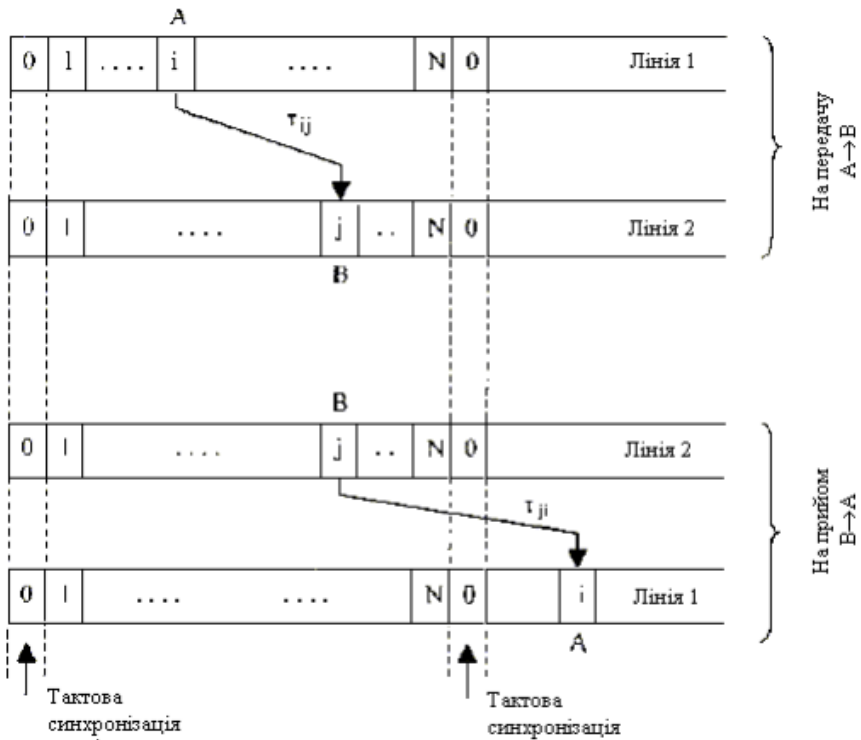


Рисунок 7.15 – Ілюстрація принципу просторово-часової комутації

Принцип просторово-часової комутації каналних інтервалів  $i$  та  $j$  в прямому і зворотному напрямках ілюструє рис. 7.15. Як видно з рисунка для передавання інформації з  $i$ -го каналного інтервалу ІКМ лінії 1 в  $j$ -й каналний інтервал ІКМ лінії 2 (від абонента А до абоненту В) необхідно затримати цю інформацію на час  $\tau = \tau_{ij}$ . У той же час, сигнал переданий у  $j$ -му каналному інтервалі лінії 2, повинний бути затриманий на час  $\tau_2 = \tau_{ji}$  переданий у  $i$ -му каналному інтервалі наступного циклу лінії 1. Таким чином, передача мовної інформації в прямому і зворотному напрямках повинна відбуватися в різних циклах.

Векторне подання просторово-часової комутації показано на рис. 7.16.

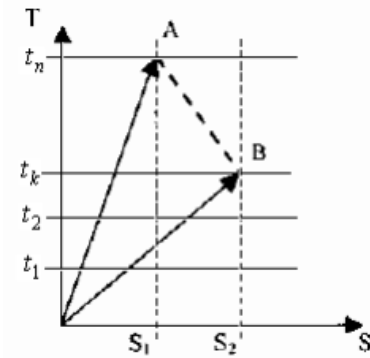


Рисунок 7.16 – Векторне подання просторово-часової комутації

У даному випадку перетворення  $\Psi(S, T)$  не можна подати сумою ортогональних перетворень  $\Psi(s)$  і  $\Psi(t)$ .

Структурними параметрами S/T-модуля є число  $N$  вхідних цифрових ліній із  $C1$  часовими каналними інтервалами кожна, а також число  $M$  вихідних цифрових ліній із  $C2$  часовими каналними інтервалами кожна – S/T:  $(N/C1) \times (M/C2)$ .

Можливі кілька способів побудови S/T-модулів. Найбільш часто застосовуються три основних: координатний спосіб побудови; використання мультиплексорів і демультиплексорів; використання кільцевих з'єднувачів.

Суть координатного методу ілюструє рис. 7.17. Схеми мовних ЗП утворюють умовну матрицю, розділену на рядки і стовпці. Запис кодів слів виконується одночасно в мовні ЗП вертикалі (чи горизонталі) матриці, що відповідають за вхідні цифрові лінії. Зчитування здійснюється по горизонталі (чи вертикалі) матриці в ту вихідну цифрову лінію, з якою необхідно здійснити комутацію.

Другий підхід до побудови S/T-модулів використовує мультиплексування цифрових групових трактів (тобто ІКМ - ліній) і часову комутацію ущільненого сигналу з наступним демультиплексуванням, тобто реалізується схема, показана на рис. 7.18.

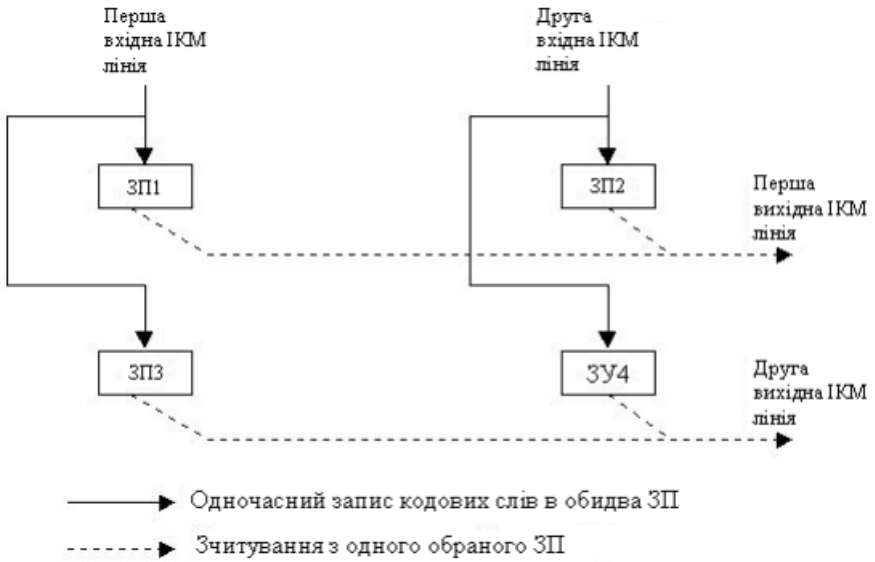


Рисунок 7.17 – Координатний спосіб побудови S/T-модуля

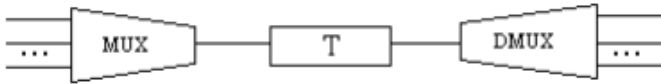


Рисунок 7.18 – Реалізація S/T-модуля з застосуванням мультиплексорів і демультимплексорів

На рис. 7.19 показана найпростіша реалізація модуля просторово-часової комутації, виконана на кільцевих з'єднувачах.

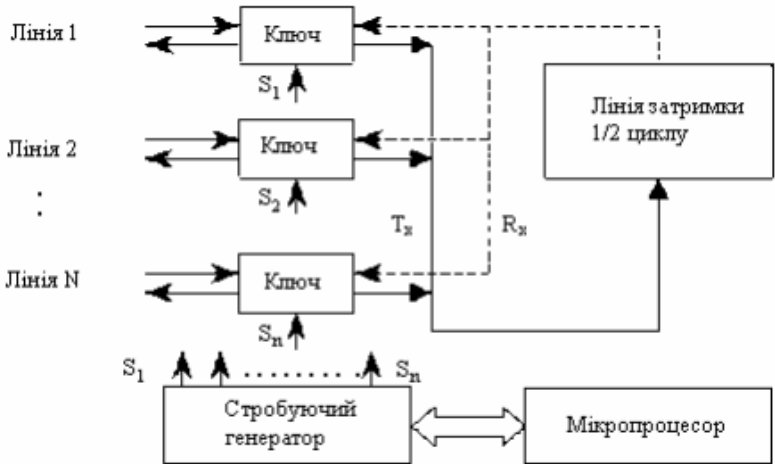


Рисунок 7.19 – Кільцевий S/T-модуль із затримкою на періоду

Кільцеву структуру для передавання інформації утворюють передавальна  $T_x$  і приймальна  $R_x$  шини разом із пристроєм затримки. Передача і прийом кодових слів здійснюються за допомогою ключів, що вмикаються сигналами  $s_1$ ,  $s_2$ , ...,  $s_n$  стробуючого генератора. Останній керується мікропроцесором, що розраховує необхідні часові каналні інтервали для кожного з'єднання. Інформація автоматично «обертається» усередині кільця. Для здійснення комутації в такій схемі необхідно лише затримати цифровий сигнал на час, рівний половині тривалості циклу.

Наприклад, інформація (кодове слово) з лінії 3 повинна бути передана в лінію 10 і навпаки. Мікропроцесор визначив вільний 5-й каналний інтервал і зайняв його для лінії 3. З метою здійснення комутації для лінії 10 повинний бути зайнятий 21-й ( $5 + 1/2$  циклу =  $5 + 32/2 = 21$ ) каналний інтервал у циклі. Пройшовши по кільцю, кодове слово з лінії 3 буде передано в лінію 10 вмиканням відповідного ключа. Тепер необхідно передати кодове слово з лінії 10 у лінію 3.

Для цієї мети після зчитування лінією 10 (чи одночасно із зчитуванням) кодового слова з 21-го каналного інтервалу туди ж буде записане кодове слово, призначене для лінії 3. Затримка в кільці призведе до того, що ця інформація потрапить у 5-й ( $21 + 16 = 37 = 32 + 5 = 5$ ) каналний інтервал наступного циклу. Таким чином, для

комутації ліній 3 і 10 необхідні 5-й і 21-й каналні інтервали циклів.

Відзначимо, що така побудова S/T-модуля характеризується твердою залежністю між обраними для передачі інформації каналними інтервалами в циклі. Відсутністю такої твердої залежності відрізняється S/T-модуль, спрощена схема якого показана на рис. 7.20.

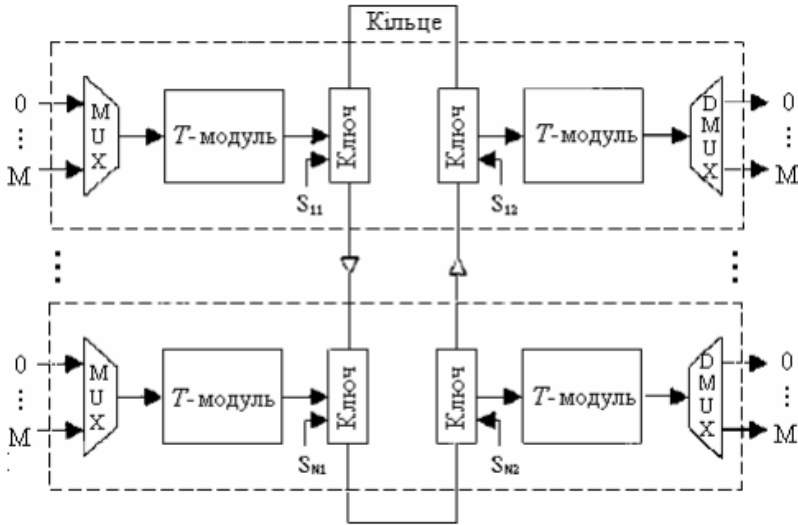


Рисунок 7.20 – Кільцевий S/T-модуль (MUX - мультиплексор, DMUX- демультіплексор,  $S_{ij}$ -стробуючі імпульси)

Використання T-модулів, централізоване керування T-модулями і ключами дозволяє записувати і зчитувати інформацію в будь-якому часовому каналному інтервалі циклу. Кільцеві S/T-модулі розглянутого типу мають два істотних недоліки:

1) В випадку розриву кільця вся система комутації виходить з ладу, тому необхідно дублювати кільце;

2) збільшення швидкості передавання інформації по кільцю прямо пропорційне числу часових каналних інтервалів комутаційного модуля і кільця (очевидно, що інформація, яка передається по кільцю, повинна робити оберт за 125 мкс, тому збільшення числа каналних інтервалів у циклі призведе до росту швидкості передавання).

## 7.6 Контрольні запитання та завдання

1. Назвіть і опишіть основні характеристики системи передавання ІКМ-30.
2. Що таке операції мультиплексування (демультиплексування)? Які види мультиплексування (демультиплексування) вам відомі?
3. Сформулюйте визначення однокоординатної і багатокординатної комутації. Дайте векторне представлення часової і просторової комутації.
4. Наведіть загальну схему Т-модуля. У яких режимах може працювати цей модуль?
5. Опишіть можливі способи збільшення ємності Т-модуля.
6. Наведіть схеми S-модулів, реалізованих на логічних елементах, мультиплексорах, демультиплексорах, на ПЛМ.
7. Що являє собою керуючий ЗП Т-модуля. В яких режимах може працювати цей модуль?
8. Що являє собою керуючий ЗП S-модуля. За яким принципом працює цей модуль?
9. Запишіть аналітичний вираз для складності реалізації Т-модуля через число еквівалентних точок комутації.
10. Запишіть аналітичний вираз для складності реалізації S-модуля через число еквівалентних точок комутації.
11. Дайте порівняльну характеристику Т- і S-модулів.

## 7.7 Зміст звіту

Звіт з лабораторної роботи повинний містити мету досліджень, структурні схеми модулів комутації, графіки, що пояснюють роботу модулів часової та просторової комутації для різних режимів роботи, як в середовище MatLab, так і в пакеті для дослідження схем Electronics WorkBanch.

## **8 ДОСЛІДЖЕННЯ МОДУЛІВ ПРОСТОРОВО-ЧАСОВОЇ КОМУТАЦІЇ ЦИФРОВИХ АТС**

### **8.1 Мета роботи**

Вивчення принципів синхронної цифрової комутації, дослідження процесів у цифрових системах комутації і способів побудови модулів просторово-часової комутації.

### **8.2 Завдання для самостійної роботи студентів**

8.2.1 Повторити принципи роботи модулів просторово-часової комутації за пунктом 7.5 і літературою [4].

8.2.2 Відповісти на контрольні запитання.

### **8.3 Описання лабораторної установки**

Лабораторна робота виконується на персональному комп'ютері типу Pentium III з операційною системою Windows NT/XP та пакетом Matlab 6.0/6.5.

### **8.4 Порядок виконання роботи**

8.4.1 Ввійти в середовище MatLab і викликати оболонку програми моделювання нелінійних динамічних систем Simulink, натиснувши кнопку OT (Simulink) на панелі інструментів командного вікна MatLab.

Використовуючи компоненти бібліотек Simulink і DSP Blockset, зібрати схему, зображену на рис. 8.1, що імітує роботу модуля просторово-часової комутації.

В блоці „Signal From Workspace” змінити параметр „Signal” з 1:10 на [ 11 12 13 14], в блоці „Signal From Workspace 1” з 1:10 на [21 22 23 24], в блоці „Signal From Workspace2” з 1:10 на [31 32 33 34], в блоці „Signal From Workspace3” з 1:10 на [41 42 43 44], в блоці „Signal From Workspace4” з 1:10 на [1 1 1 1 2 2 2 2 3 3 3 3 4 4 4 4], в блоці „Signal From Workspaces” з 1:10 на [1 2 3 4 1 2 3 4 1 2 3 4 1 2 3 4]. В усіх вищезазначених блоках змінити параметр „Form output after final data value by” з „Setting to zero” на „Cyclic Repetition”.

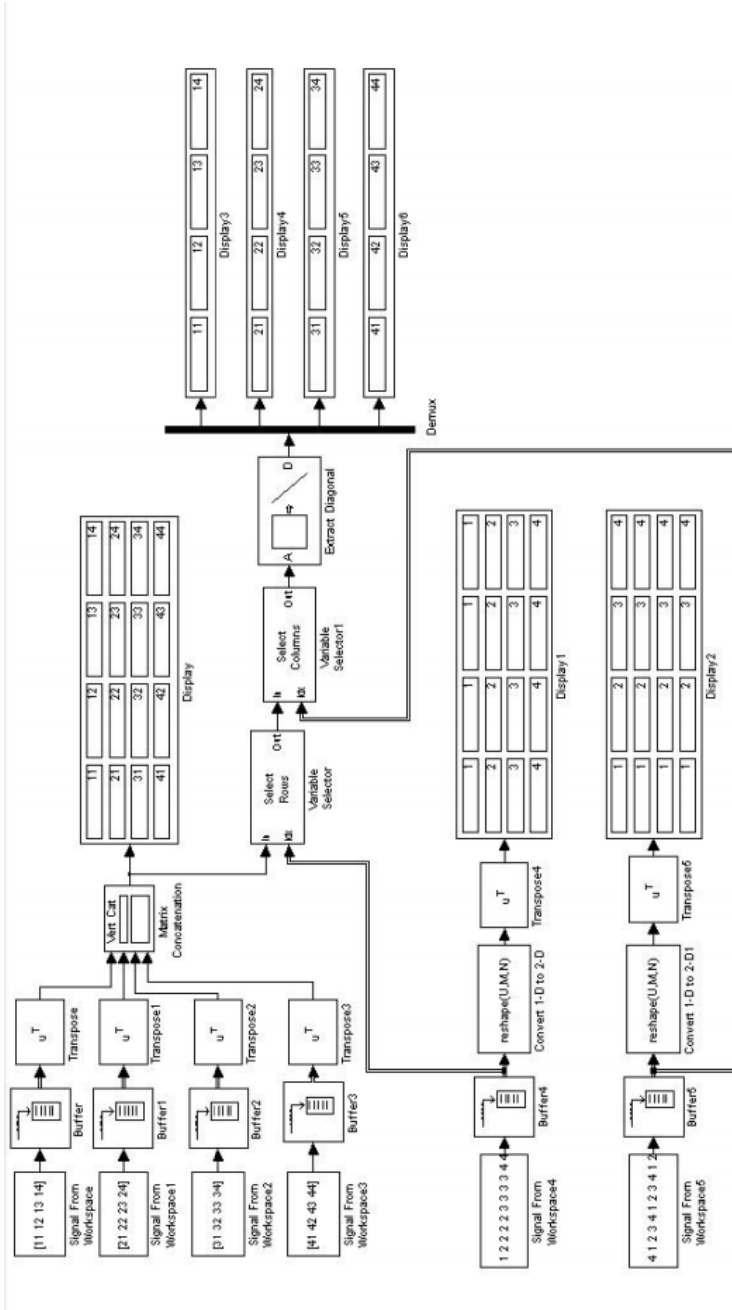


Рисунок 8.1 – Схема, що імітує роботу модуля просторово-часової комутації

В блоках „Buffer”, „Buffer1”, „Buffer2”, „Buffer3” змінити параметр „Output buffer size (per channel)” з 64 на 4, а в блоках „Buffer4” та „Buffer5” з 64 на 16. В блоках „Convert 1-D to 2-D” та „Convert 1-D to 2-D1” змінити параметри: „Number of output rows” з 1 на 4, „Number of output columns” з 1 на 4. В блоці „Matrix Concatenation” змінити параметри: „Number of inputs” з 2 на 4, „Concatenation method” з „Horizontal” на „Vertical”. В блоці „Variable Selector” параметр „Select” може приймати значення „Rows” чи „Columns”. Всі інші параметри у цих чи інших блоках не змінювати.

8.4.2 Запустити схему на виконання. Переглянути вид сигналів на вході і виході системи комутації (у виді матриць значень вхідних, вихідних і керуючих сигналів), виконати аналіз роботи системи. Ця схема працює так, що з першого часового каналу першої лінії на вході модуля, інформація передається у відповідний йому перший часовий канал та першу лінію на виході модуля, і так для кожного часового інтервалу з кожної лінії.

Схема модуля просторово-часової комутації має 4 лінії та 4 часових інтервали на вході та виході. В цій схемі блоки „Signal From Workspace”, „Signal From Workspace 1”, „Signal From Workspace2” і „Signal From Workspaces” виступають у ролі джерела інформації від 4 ліній, а блоки „Signal From Workspace4” (лінії) та „Signal From Workspaces” (часові інтервали) - джерело керуючої інформації. Блоки „Buffer”, „Buffer1”, „Buffer2” і „Buffer3” - МЗП, а „Buffer4” та „Buffer5” - КЗП.

8.4.3 Задати такий режим роботи модуля комутації, щоб:

- 1) інформація від абонента А була передана абоненту В;
- 2) інформація від абонента В була передана абоненту С.
- 3) інформація від абонента А передавалася б до абонентів В, С.

Зафіксуйте результат і виконаєте аналіз правильності роботи схеми.

При цьому вважати, що абоненту А виділений канальний інтервал з номером  $(N+2) \bmod 4$  і лінія  $N \bmod 4$ , де  $N$  – номер бригади з журналу обліку проходження лабораторного практикуму, абоненту В –  $(N+1) \bmod 4$  інтервал і лінія  $(N+3) \bmod 4$ , абоненту С –  $(N+3) \bmod 4$  і  $N \bmod 4$ .

8.4.4 Закрити програму Matlab.

8.4.5 Запустіть пакет для дослідження схем Electronics Workbench. Реалізуйте з його допомогою найпростішу схему просторово-часової комутації каналів, виконайте дослідження процесів в основних точках схеми. Для зібраної схеми слід повторити пункт 8.4.3.

## 8.5 Контрольні запитання та завдання

1. Дайте визначення S/T-модуля.
2. Наведіть векторну діаграму просторово-часової комутації.
3. Сформулюйте і поясніть основні принципи просторово-часової комутації.
4. Які основні структурні параметри S/T-модулів вам відомі?
5. Назвіть основні способи побудови S/T-модулів. Поясніть координатний спосіб побудови.
6. Назвіть основні способи побудови S/T-модулів. Поясніть основні принципи побудови S/T-модулів за допомогою мультиплексорів/демультиплексорів.
7. Назвіть основні способи побудови S/T-модулів. Охарактеризуйте спосіб побудови S/T-модулів на кільцевих з'єднувачах.
9. Що являє собою керуюче ЗУ S/T-модуля?
10. Запишіть аналітичний вираз для складності реалізації S/T-модуля через число еквівалентних точок комутації.
11. Дайте порівняльну характеристику T-, S- і S/T-модулів.

## 8.6 Зміст звіту

Звіт з лабораторної роботи повинен містити мету досліджень, структурні схеми модулів просторово-часової комутації, графіки, що пояснюють роботу модуля просторово-часової комутації для різних режимів роботи.

## **9 ДОСЛІДЖЕННЯ КОМУТАЦІЙНИХ ПОЛІВ ПЕРШОГО ТА ДРУГОГО КЛАСІВ**

### **9.1 Мета роботи**

Вивчення принципів синхронної цифрової комутації, дослідження процесів у цифрових системах комутації і способів побудови комутаційних полів цифрових АТС першого та другого класів.

### **9.2 Завдання для самостійної роботи студентів**

9.2.1 Повторити принципи побудови комутаційних полів першого та другого класів за пунктом 9.5 і літературою [4].

9.2.2 Відповісти на контрольні запитання.

### **9.3 Описання лабораторної установки**

Лабораторна робота виконується на персональному комп'ютері типу Pentium з операційною системою Windows NT/XP та прикладним програмним забезпеченням, до складу якого входять наступні файли: prostranstvo.exe – основна програма для дослідження цифрових комутаційних полів другого класу методом імітаційного моделювання; router3.exe – програма для дослідження триланкових комутаційних схем методом імітаційного моделювання.

### **9.4 Порядок виконання роботи**

9.4.1 Запустити на виконання програму, що імітує роботу просторово-часового комутаційного поля цифровий АТС. Задати у вікні "груповий сигнал" номер вхідної лінії (табл. 9.1). Зарисувати часове подання групового сигналу (рівень сигналу обраний близьким за значенням до номера канального інтервалу).

Таблиця 9.1 – Варіанти завдань

Бригада	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Номер вхідного часового каналу (канального інтервалу)	3	1	2	0	3	1	2	0	1
Номер вхідної абонентської лінії (просторового каналу)	2	3	0	1	3	3	0	1	3
Номер вихідного часового каналу (канального інтервалу)	0	2	3	1	2	3	1	2	3
Номер вихідної абонентської лінії (просторового каналу)	3	1	2	0	1	2	0	3	2

9.4.2 Згідно табл. 9.1 задати адреси комутації у керуючих полях просторового і двох часових комутаторів (адреси одного керуючого поля варто вибирати різними, через необхідність виконання умови відсутності блокування). В вікні "сигнал у каналі на виході" вказати номери вихідних часового і просторового каналів. Запустити програму на виконання, натиснувши кнопку "Run" у головному вікні програми. Зарисувати досліджувану комутаційну схему і часові зображення сигналів на виходах комутаційного поля, а у випадку нульових рівнів зафіксувати відсутність сигналів.

9.4.3 Повторити пункт 9.4.2 для всіх можливих шляхів з'єднання заданого входу з заданим виходом в досліджуваному комутаційному полі. Для виходу з програми натиснути кнопку «Close».

9.4.4 Запустити програму «Router3.exe» для дослідження еквівалентної ланкової схеми. Натиснути кнопку «Параметри» для введення параметрів ланкової комутаційної схеми. В вікні, що після цього з'явиться, задати такі параметри:

тип встановлення з'єднання – через мінімально завантажений комутатор;

тип пошуку – лінійний пошук;

інтенсивність потоку викликів, що надходять – 0.1 вик/хв;

інтенсивність потоку сигналів "звільнення" – 0.1 вик/хв;

кількість абонентів – 16;

кількість комутаторів ланки В – 4;

кількість комутаторів ланки А і С – 4;

інтервал часу огляду системи – 500.

9.4.5 Закрити вікно «Параметри» і відкрити вікно

«Дослідження», натиснути кнопку «Увімкнути» для дослідження ланкової комутаційної системи.

Параметр «Швидкість» дозволяє змінювати швидкість роботи системи. Почекаати, поки скінчиться час огляду системи. Натиснути кнопку «Статистика» щоб переглянути вікно статистики, яке містить діаграму обробки запитів від абонентів, теоретичні й експериментальні ймовірності блокування. Зарисувати отриману ланкову комутаційну схему. Закрити вікно «Дослідження», натиснувши кнопку «Закрити».

9.4.6 Повторити пункт 9.4.5, змінюючи значення інтенсивності потоку викликів, що надходять, з 0.1 до 0.5 вик/хв. Побудувати графіки залежності теоретичної і практичної ймовірностей блокування від інтенсивності потоку викликів, що надходять. Закрити програму натисканням кнопки «Вихід».

## 9.5 Теоретичні відомості

Цифрові комутаційні поля (ЦКП) здійснюють функцію комутації часовоуцільнених ліній. Вони будуються за багатоланковим принципом. Ланкою ЦКП називають групу модулів, що виконують однакові функції перетворення координат цифрового сигналу.

ЦКП називають однорідним, якщо будь-яке з'єднання в ньому встановлюється через однакове число ланок. Більшість сучасних ЦКП мають однорідну структуру.

Відзначимо основні особливості побудови багатоланкових ЦКП.

1. ЦКП будуються з використанням модульного принципу. Застосування модулів забезпечує технологічність виробництва за рахунок скорочення типів блоків, зручність пристосування системи до зміни ємності, легкість експлуатації.

2. Цифрові КП мають симетричну структуру. Під симетричною розуміють структуру, в якій ланки 1 і  $N$ , 2 і  $N-1$ , 3 і  $N-2$  ..., є ідентичними за типом і числом блоків комутації. Такі КП виявляються симетричними щодо середньої лінії, яка розділяє їх на дві частини. Такі симетричні цифрові КП зручніше за все будувати на однотипних модулях, тому властивості симетричності і модульності є взаємодоповнюючими.

3. Цифрові КП майже завжди є дубльованими, що пов'язано з

критичністю неполадок у комутаційному полі до функціонування всієї системи в цілому.

При цьому, обидві частини КП (часто їх називають площинами) працюють синхронно і виконують ті самі дії. Але для реальної передачі інформації використовується тільки одна з них, що вважається активною. Друга частина знаходиться в «гарячому резерві», і у випадку неполадок або збоїв в активній площині відбувається автоматичне перемикання між площинами. При територіально рознесених цифрових КП здійснюють дублювання кожної територіально рознесеної групи, а між площинами обох груп утворюється пряме і перехресне з'єднання, що дозволяє зберегти працездатність системи в цілому при виході з ладу різномісних площин у різних групах (рис. 9.1).

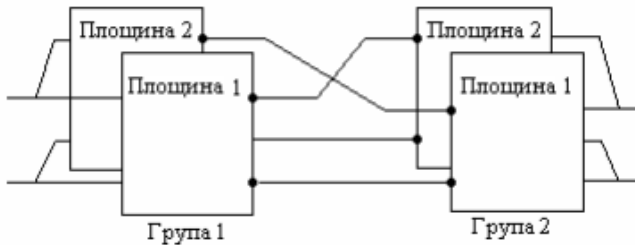


Рисунок 9.1 – Дублювання ЦКП

4. Цифрові КП є чотирипровідними, оскільки цифрові лінії, по яких передаються часовоущільнені ІКМ сигнали, також чотирипровідні.

5. ЦКП можуть відноситися до одного з двох типів: розділеного і нерозділеного. В розділених цифрових КП між вхідними і вихідними ІКМ лініями може встановлюватися тільки одне з'єднання. Це призводить до того, що цифрове КП розбивається на два ідентичних поля для кожного напрямку зв'язку. В нерозділеному цифровому КП обидва з'єднувальні шляхи для однієї розмови проходять через одне й те саме поле. Це може призводити до того, що обидва шляхи проходять через один і той же канальний інтервал середньої ланки КП, що заборонено.

6. Розрізняють двобічні й однобічні ЦКП. Двобічні ЦКП на вході КП включають тільки вхідні часовоущільнені лінії, а на виході –

вихідні. Однобічні – передавальну і приймальну частини включають на вході КП, тому такі КП називають згорнутими.

### 9.5.1 Класифікація цифрових комутаційних полів

Вся множина ЦКП поділяється на 5 класів, у кожному з яких можна виділити базову структуру і підструктури, утворювані додаванням мультиплексорів (MUX) і демультимплексорів (DMUX).

1. Базова структура  $S \times k - T \times r - S \times k$ .

Підструктура:  $MUX - S \times k - T \times r - S \times k - DMUX$ . Особливості цього поля – наявність S-модулів у першій й останній ланці. Порядок проходження S- і T-модулів усередині поля довільний, з дотриманням правил симетрії.

2. Базова структура  $T \times k - S \times r - T \times k$ .

Підструктура:  $MUX - T \times k - S \times r - T \times k - DMUX$ . Особливості цього поля – наявність T-модулів у першій й останній ланці. Порядок проходження S- і T-модулів усередині поля довільний, з дотриманням правил симетрії.

3. Базова структура  $S/T \times k - S \times r - S/T \times k$ .

Підструктура:  $MUX - S/T \times k - S \times r - S/T \times k - DMUX$ .

4. Базова структура  $S/T \times k$ .

Підструктура:  $MUX - S/T \times k - DMUX$ .

5. Кільцеві ЦКП, будуються на кільцевих комутаційних блоках, у цей час ще не одержали широкого поширення.

### 9.5.2 Складність реалізації цифрових комутаційних полів

Основним показником складності S-модуля є число фізичних точок комутації. У випадку електронних комутаційних приладів, важливим показником складності схеми є загальне число корпусів інтегральних мікросхем, на яких реалізована схема. Іншим корисним показником є число виводів інтегральних схем, тому що з'єднання виводів за межами інтегральних схем завжди менш надійні і більш дорогі, ніж з'єднання усередині.

При оцінюванні складності реалізації часових модулів необхідно враховувати як інформаційну пам'ять схеми (мовний ЗП), так і керуючу пам'ять (керуючий ЗП). При проведенні наступного аналізу будемо вважати, що 100 бітам пам'яті відповідає одна еквівалентна точка комутації. Складність реалізації  $\Gamma$  схеми, визначену через число

еквівалентних точок комутації, можна записати у такий спосіб

$$r = N_k + \frac{B}{100}, \quad (9.1)$$

де  $N_k$  – число фізичних точок комутації на ланці просторової комутації;

$B$  – загальне число бітів пам'яті мовного і керуючого ЗП на ланці часової комутації та керуючого ЗП на ланці просторової комутації.

### 9.5.3 Цифрові комутаційні поля першого класу

На початкових етапах розвитку цифрових комутаційних систем через високу вартість ЗП основу ЦКП складали ланки просторової комутації. Однак просторові комутатори мають велику ймовірність внутрішніх блокувань, тому на практиці отримали поширення структури, де просторові модулі комутації розділені часовими модулями. Ємність використовуваних на практиці модулів часової комутації складає діапазон від  $32 \times 32$  до  $1024 \times 1024$  вхідних/вихідних КІ, а модулів просторової комутації – від  $4 \times 4$  до  $128 \times 128$  вхідних/вихідних ліній.

На рис. 9.2 показане графічне зображення триланкового ЦКП першого класу структури S-T-S. Перший і третій каскади мають по одному просторовому комутатору  $N \times k$ , а другий каскад складається з  $k$  часових модулів.

Ємність цифрового КП визначається параметром  $N$  S-модуля і кількістю каналів  $s$  у цифровій лінії і розраховується як  $N \times s$ . Так, при використанні ЦСПКМ-30 і просторових комутаторів  $16 \times 16$  ємність складе 512 канальних інтервалів (КІ).

Розглянемо алгоритм роботи такої схеми. Нехай, наприклад, необхідно здійснити комутацію КП першої вхідної лінії з КІ5 четвертої вихідної лінії. Тоді спочатку процесорний блок визначає елемент Т-ланки з вільним вхідним КП і вільним вихідним КІ5. Нехай таким виявився другий модуль. Потім відбувається заповнення КЗП адресною інформацією. Далі виконується процес комутації: на першій ланці в першому КІ здійснюється перенесення інформації з першої лінії в другу, у Т-модулі здійснюється перенесення інформації з КП у КІ5, а на останній ланці в часовий інтервал КІ5 інформація переходить з другої в четверту лінію.

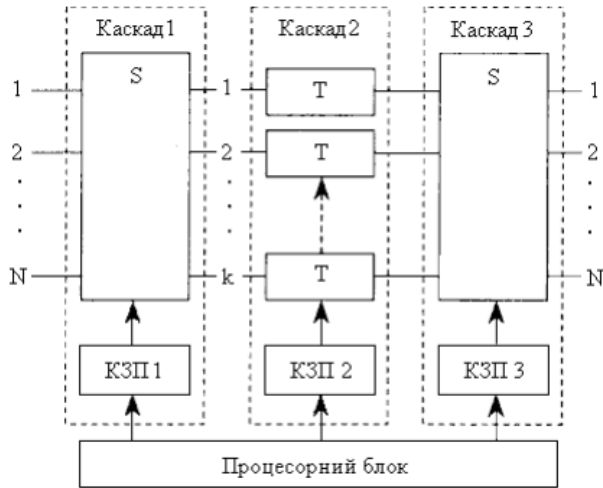


Рисунок 9.2 – Схема триланкового цифрового КП першого класу

Функціонально наведено на рис. 9.2 комутаційне поле еквівалентне триланковій просторовій схемі наступного виду

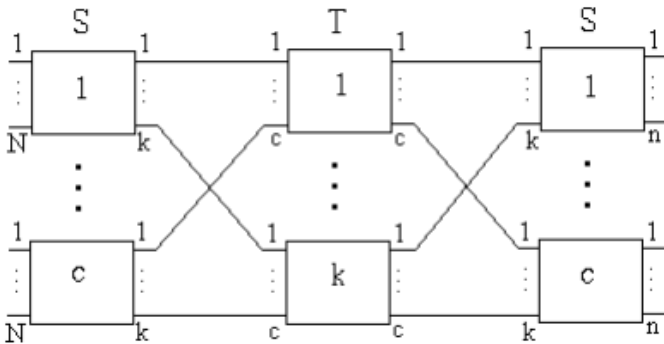


Рисунок 9.3 – Просторовий еквівалент триланкового ЦКП першого класу

Ймовірність блокувань в цій схемі, визначена за методом імовірнісних графів, буде дорівнювати

$$P_{\text{бл}} = \left[ 1 - \left( 1 - \frac{P}{\alpha} \right)^2 \right]^k, \quad (9.2)$$

де  $\alpha = \frac{k}{N}$ ,  $P$  – середня імовірність заняття КІ вхідної лінії, що кількісно дорівнює інтенсивності навантаження на один КІ цієї лінії. Відповідно до теореми Клоза  $P_{\text{бл}} = 0$ , якщо  $k > 2N - 1$ , тобто схема буде строго неблокуюча.

Складність реалізації  $r$  для схеми на рис. 9.2 з ємністю КІ 8 бітів, виражена через число еквівалентних точок комутації, дорівнюватиме

$$r = 2kN + \frac{kc}{100} [8 + 2\log_2 N + \log_2 c] \quad (9.3)$$

#### 9.5.4 Цифрові комутаційні поля другого класу

Схема триланкового ЦКП другого класу структури Т-S-T надана на рис. 9.4

Алгоритм роботи такої схеми наступний. Нехай, наприклад, необхідно здійснити комутацію КІ 1 першої вхідної лінії з КІ5 четвертої вихідної лінії. Тоді, спочатку процесорний блок визначає каналний інтервал центральної ланки в якому вільні перша вхідна і четверта вихідна лінії S-модуля. Нехай таким виявився 7-й КІ. Потім відбувається заповнення КЗП адресною інформацією. Далі здійснюється процес комутації: на першій ланці в першому Т-модулі здійснюється перенесення інформації з КІ у КІ7, у S-модулі в момент часу, що відповідає 7-му КІ, здійснюється перенесення інформації з першої лінії в четверту, а на останній ланці в четвертому Т-модулі виконується перенесення інформації з КІ7 у КІ5.

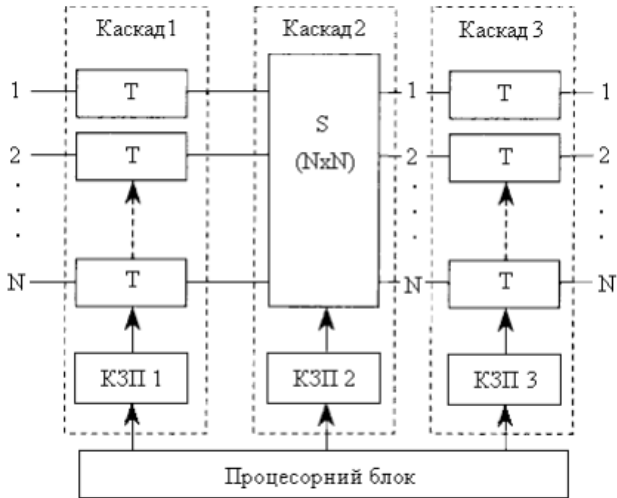


Рисунок 9.4 – Схема триланкового цифрового КП другого класу

Просторовий еквівалент схеми на рис. 9.4 надано на рис. 9.5.

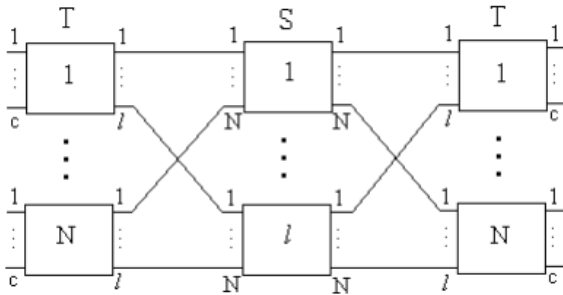


Рисунок 9.5 – Просторовий еквівалент триланкового ЦКП другого класу

Ймовірність блокувань в цій схемі, визначена за методом ймовірнісних графів, буде дорівнювати

$$P_{\text{бл}} = \left[ 1 - \left( 1 - \frac{P}{\beta} \right)^2 \right]^l, \quad (9.4)$$

де  $\beta = \frac{1}{c}$ ;

$P$  – середня імовірність заняття КІ вхідної лінії, що кількісно дорівнює інтенсивності навантаження на один КІ цієї лінії.

Відповідно до теореми Клоза  $P_{\text{бл}} = 0$ , якщо  $I \geq 2c - 1$ , тобто схема буде строго неблокуюча.

Складність реалізації  $r$  T - S - T комутаційних полів з ємністю КІ 8 бітів, виражена через число еквівалентних точок комутації, дорівнюватиме

$$r = N^2 + \frac{1}{100} [N * I * \log_2 N + 16N * c + 2N * I * \log_2 c] \quad (9.5)$$

### 9.5.5 Цифрові комутаційні поля третього класу

Поля цього класу є у відомій мері універсальними, оскільки дозволяють будувати системи комутації практично для всього діапазону ємностей: малої, середньої та великої. При цьому нарощування ємності відбувається, в основному, за рахунок збільшення ланок просторової комутації, переходячи від більш простих структур S/T-S-S/T до більш складних S/T-S-S-S/T і S/T-S-S-S-S/T. В таких КП використовуються S/T-модулі ємністю від 8/8 до 32/32 вхідних/вихідних ІКМ ліній

Схема комутаційного поля структури S/T-S-S/T надана на рис. 9.6.

Розглянемо алгоритм роботи цього КП, вважаючи що при його побудові були використані такі модулі: S/T:(8x32)x(8x32) і S:(8x32)x(8x32). Нехай, наприклад, необхідно здійснити комутацію КП першої вхідної лінії з КІ5 дев'ятої вихідної лінії. Тоді, спочатку процесорний блок визначає номери проміжних ліній, які проходять крізь комутатори центральної ланки, і мають вільними однойменні КІ. Нехай таким виявився 7-й КІ 1-ї вхідної і 2-ї вихідної лінії 3-го S-модуля центральної ланки. Далі відбувається заповнення КЗП адресною інформацією. І здійснюється процес комутації: на першій ланці в першому S/T-модулі виконується перенесення інформації з КП першої вхідної у КІ7 третьої вихідної лінії, у S-модулі в момент часу, що відповідає 7-му КІ, здійснюється перенесення інформації з першої лінії в другу, а

на останній ланці в другому S/T-модулі виконується перенесення інформації з КІ7 третьої вхідної у КІ5 дев'ятої (першої по відношенню до другого S/T-модуля) вихідної лінії.

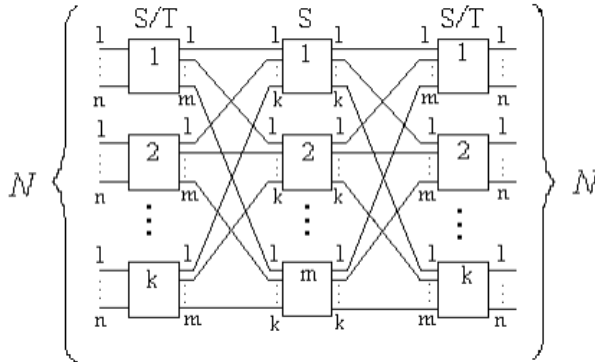


Рисунок 9.6 – Схема триланкового цифрового КП третього класу

Просторовий еквівалент схеми на рис. 9.6 надано на рис. 9.7.

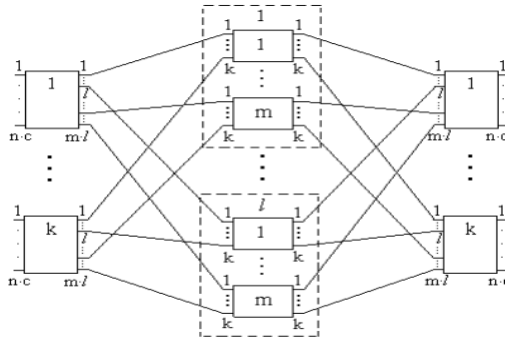


Рисунок 9.7 – Просторовий еквівалент триланкового ЦКП третього класу

Ймовірність блокувань в цій схемі, що визначена за методом ймовірнісних графів, буде дорівнювати

$$P_{\text{бл}} = \left[ 1 - \left( 1 - \frac{p}{\gamma} \right)^2 \right]^{l \cdot m}, \quad (9.6)$$

де  $\gamma = \frac{ml}{nc}$ ;

$P$  – середня імовірність заняття КІ вхідної лінії, що кількісно дорівнює інтенсивності навантаження на один КІ цієї лінії.

Відповідно до теореми Клоза  $P_{\text{ол}} = 0$ , якщо  $ml \geq 2_{nc} - 1$ , тобто схема буде строго неблокуюча.

Складність реалізації  $r$  схеми на рис. 9.6 з ємністю КІ 8 бітів при  $m = n$ ;  $c = 1$ , виражена через число еквівалентних точок комутації, дорівнюватиме

$$r = \frac{N^2}{n} + \frac{N_c}{100} [16 + \log_2 n + 2 \log_2 c + \log_2 N] \quad (9.7)$$

### 9.5.6 Цифрові комутаційні поля четвертого класу

В даний час структури четвертого класу цифрових КП знаходять широке застосування завдяки зручності збільшення ємності полів шляхом простого додавання S/T-модулів, виконаних у вигляді універсальних ІМС.

Схема триланкового ЦКП четвертого класу структури S/T-S/T-S/T надана на рис. 9.8, а його просторовий еквівалент – на рис. 9.9.

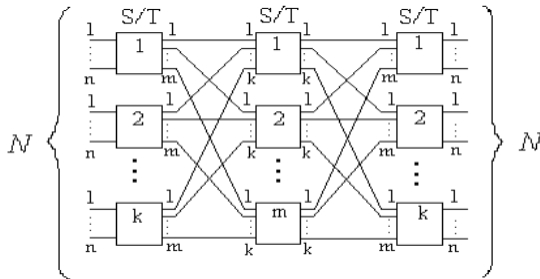


Рисунок 9.8 – Схема триланкового цифрового КП 4-го класу

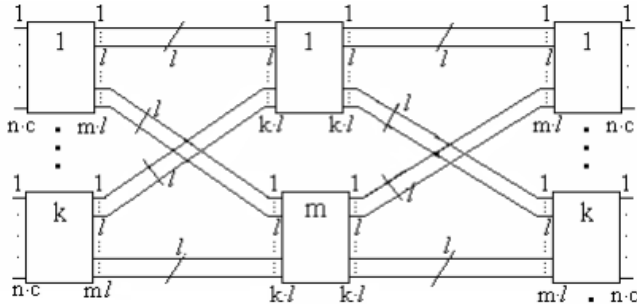


Рисунок 9.9 – Просторовий еквівалент триланкового ЦКП

Розглянемо алгоритм роботи цього КП, вважаючи, що при його побудові були використані модулі S/T:(8x32)x(8x32). Нехай, наприклад, необхідно здійснити комутацію КП першої вхідної лінії з КІ5 дев'ятої вихідної лінії. Тоді спочатку процесорний блок визначає номери вільних КІ проміжних ліній, що проходять крізь комутатори центральної ланки. Нехай такими виявилися 7-й КІ 1-ї вхідної і 14-й КІ 2-ї вихідної лінії 3-го S/T-модуля центральної ланки. Далі відбувається заповнення КЗП адресною інформацією. І здійснюється процес комутації: на першій ланці в першому S/T-модулі виконується перенесення інформації з КП першої вхідної у КІ7 третьої вихідної лінії, у S/T-модулі другої ланки здійснюється перенесення інформації з КІ7 першої вхідної в КІ 14 другої вихідної лінії, а на останній ланці в другому S/T-модулі виконується перенесення інформації з КІ 14 третьої вхідної у КІ5 дев'ятої (першої по відношенню до другого S/T-модуля) вихідної лінії.

Ймовірність блокувань в такій схемі, визначена за методом ймовірнісних графів, буде дорівнювати

$$P_{\text{бл}} = \left[ 1 - \left( 1 - \left( \frac{P}{\gamma} \right)^l \right)^2 \right]^m, \quad (9.8)$$

де  $y = \frac{ml}{nc}$ ;

$P$  – середня імовірність заняття КІ вхідної лінії, що кількісно дорівнює інтенсивності навантаження на один КІ цієї лінії.

Відповідно до теореми Клоза  $P_{\text{бл}} = 0$ , якщо  $m_l \geq 2nc - 1$ , тобто схема буде строго неблокуюча.

Складність реалізації  $r$  схеми на рис. Ж.8 з ємністю КІ 8 бітів при  $m = n = k$ ;  $c = 1$ , виражена через число еквівалентних точок комутації, дорівнюватиме Реалізаційні витрати (в елементах пам'яті) при  $m=n=k$ :

$$r = \frac{N_c}{100} [8 + \log_2 c + \log_2 n] \quad (9.9)$$

## 9.6. Контрольні запитання та завдання

1. Викладіть основні принципи цифрової комутації.
2. Які основні комутаційні модулі цифрових комутаційних полів вам відомі? Класифікація цифрових комутаційних полів.
3. Комутаційні поля 1-го класу. Викладіть принцип роботи цифрових комутаційних полів 1-го класу.
4. Запишіть вираз для розрахунку ймовірності втрат у цифрових комутаційних полях 1-го класу. Наведіть імовірнісний граф, що відповідає такому комутаційному полю.
5. З яких елементів складається і якою формулою виражається складність реалізації цифрових комутаційних полів 1-го класу?
6. Цифрові комутаційні поля 2-го класу. Викладіть принцип роботи цифрових комутаційних полів 2-го класу.
7. Запишіть вираз для розрахунку ймовірності втрат у цифрових комутаційних полях 2-го класу. Наведіть ймовірнісний граф, що відповідає такому комутаційному полю.
8. З яких елементів складається і якою формулою виражається складність реалізації цифрових комутаційних полів 2-го класу?
9. Наведіть просторовий еквівалент цифрового комутаційного поля 1 -го класу.
10. Наведіть просторовий еквівалент цифрового комутаційного поля 2-го класу.
11. Назвіть і охарактеризуйте відомі вам засоби побудови ко-

мутаційних полів 1-го і 2-го класів. Виконайте порівняльну характеристику комутаційних полів 1-го і 2-го класів. Переваги і недоліки зазначених комутаційних полів. Область застосування комутаційних полів 1-го і 2-го класів.

### **9.7 Зміст звіту**

Звіт з лабораторної роботи повинний містити мету досліджень, структурні схеми досліджуваних комутаційних систем, отримані графічні залежності, висновки.

## **10 ДОСЛІДЖЕННЯ ЦИФРОВИХ КОМУТАЦІЙНИХ ПОЛІВ ТРЕТЬОГО ТА ЧЕТВЕРТОГО КЛАСІВ**

### **10.1 Мета роботи**

Вивчення принципів синхронної цифрової комутації, дослідження процесів у цифрових системах комутації і способів побудови комутаційних полів цифрових АТС третього та четвертого класів.

### **10.2 Завдання для самостійної роботи студентів**

10.2.1 Повторити принципи побудови комутаційних полів третього та четвертого класів за пунктом 9.5 і літературою [4].

10.2.2 Відповісти на контрольні запитання.

### **10.3. Описання лабораторної установки**

Лабораторна робота виконується на персональному комп'ютері типу Pentium з операційною системою Windows NT/XP та прикладним програмним забезпеченням до складу якого входять наступні файли:

st\_st.exe – основна програма для дослідження цифрових комутаційних полів четвертого класу методом імітаційного моделювання;

router3.exe – програма для дослідження триланкових комутаційних схем методом імітаційного моделювання.

### **10.4 Порядок виконання роботи**

10.4.1 Запустити на виконання програму, що імітує роботу комутаційного поля четвертого класу із структурою S/T-S/T-S/T. Натиснути кнопку «Вх. Лінії», у вікні, що після цього з'явиться, натиснути кнопку «Скид» і встановити номери вхідного часового каналу (NT), вхідної часовоушільненої лінії (NS) та вхідного S/T-модуля (кнопки «Вст1» – «Вст4») згідно табл. 10.1, закрити вікно.

Таблиця 10.1 – Варіанти завдань

Бригада	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Номер вхідного S/T модуля	2	3	4	1	2	3	4	1	2
Номер вхідного часового каналу (канального інтервалу)	3	1	2	2	3	1	2	3	1
Номер вхідної лінії (просторового каналу)	2	3	3	1	3	3	3	1	3
Номер вихідного S/T модуля	1	2	3	4	1	2	3	4	1
Номер вихідного часового каналу (канального інтервалу)	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Номер вихідної лінії (просторового каналу)	3	1	2	3	1	2	1	2	2

10.4.2 Натискаючи кнопки, що відповідають S/T комутаторам, і заповнюючи відповідні керуючі поля, виконати комутацію заданого входу з заданим виходом (табл. 10.1). Натиснути кнопку "Run" у головному вікні програми. Зарисувати досліджувану комутаційну схему і часові зображення сигналів на виходах S/T модулів, а у випадку нульових рівнів зафіксувати відсутність сигналів. Комутацію треба виконувати з врахуванням того, що адреси кожного з керуючих полів, що не описані в обраних маршрутах, можуть бути довільними, але різними, через необхідність виконання умови відсутності блокування.

10.4.3 Дослідження з пункту 10.4.2 повторити для тих з'єднувальних маршрутів, що проходять крізь інші S/T модулі середньої ланки. Для виходу з програми натиснути кнопку «Вихід».

10.4.4 Запустити програму «Router3.exe» для дослідження еквівалентної ланкової схеми. Натиснути кнопку «Параметри» для введення параметрів ланкової комутаційної схеми. В вікні, що після цього з'явиться, необхідно задати такі параметри:

тип встановлення з'єднання – через мінімально завантажений комутатор;

тип пошуку – лінійний;

інтенсивність потоку викликів, що надходять – 0,1 вик/хв;

інтенсивність потоку сигналів "звільнення" – 0,1 вик/хв;

кількість абонентів – 64;

кількість комутаторів ланки В – 4;

кількість комутаторів ланки А і С – 16;

інтервал часу огляду системи – 500.

10.4.5 Закрити вікно «Параметри» і відкрити вікно «Дослідження», натиснути кнопку «Увімкнути» для дослідження ланкової комутаційної системи. Параметр «Швидкість» дозволяє змінювати швидкість роботи системи. Почекати, поки скінчиться час огляду системи. Натиснути кнопку «Статистика» щоб переглянути вікно статистики, яке містить діаграму обробки запитів від абонентів, теоретичні й експериментальні ймовірності блокування. Зарисувати отриману ланкову комутаційну схему. Закрити вікно «Дослідження», натиснувши кнопку «Закрити».

10.4.6 Повторити пункт 10.4.5, змінюючи значення інтенсивності потоку викликів, що надходять, з 0.1 до 0.5 вик/хв. Побудувати графіки залежності теоретичної і практичної ймовірностей блокування від інтенсивності потоку викликів, що надходять. Закрити програму натисканням кнопки «Вихід».

## 10.5 Контрольні запитання та завдання

1. Викладіть принципи побудови багатоланкових комутаційних схем. Переваги і недоліки одноланкових і багатоланкових комутаційних схем.

2. Викладіть основні принципи цифрової комутації.

3. Класифікація цифрових комутаційних полів. Переваги і недоліки цифрових комутаційних полів третього і четвертого класів.

4. Комутаційні поля 3-го класу. Викладіть принцип роботи цифрових комутаційних полів 3-го класу.

5. Запишіть вираз для розрахунку ймовірності втрат у цифрових комутаційних полях 3-го класу.

6. З яких елементів складається і якою формулою виражається складність реалізації цифрових комутаційних полів 3-го класу?

7. Цифрові комутаційні поля 4-го класу. Викладіть принцип роботи цифрових комутаційних полів 4-го класу.

8. Запишіть вираз для розрахунку ймовірності втрат у цифрових комутаційних полях 4-го класу.

9. З яких елементів складається і якою формулою виражається складність реалізації цифрових комутаційних полів 4-го класу?

10. Приведіть приклади цифрових комутаційних полів 3-го і 4-го класів. Поясніть алгоритм складання схеми просторового еквівале-

нта цифрових комутаційних полів 3-го і 4-го класів.

11. Виконайте порівняльну характеристику комутаційних полів 1-го, 2-го, 3-го і 4-го класів. Переваги і недоліки зазначених комутаційних полів. Області застосування комутаційних полів 3-го і 4-го класів.

## **10.6   Зміст звіту**

Звіт з лабораторної роботи повинний містити мету досліджень, структурні схеми досліджуваних комутаційних систем, отримані графічні залежності, висновки.

## 11 ОПТИМІЗАЦІЯ МЕРЕЖ З КОМУТАЦІЄЮ ПАКЕТІВ

### 11.1 Мета роботи

Оволодіння методами та засобами оптимізації мереж з комутацією пакетів за критерієм зменшення середнього часу проходження інформаційних блоків по каналах мережі, з врахуванням обмежень на витрати.

### 11.2 Завдання для самостійної роботи студентів

11.2.1 Повторити методи оптимізації мереж з комутацією пакетів за пунктом 11.5 і літературою [5].

11.2.2 Вирішити наступне завдання. Нехай є мережа передачі даних з комутацією пакетів (рис. 11.1) з числом вузлів  $k=5$ , між якими існує  $\xi=7$  каналів. До вузлів поступає потік пакетів інтенсивністю  $\lambda$  пакетів/хв. Вважається, що довжина пакету має експоненційний розподіл з середньою довжиною 1000 біт.

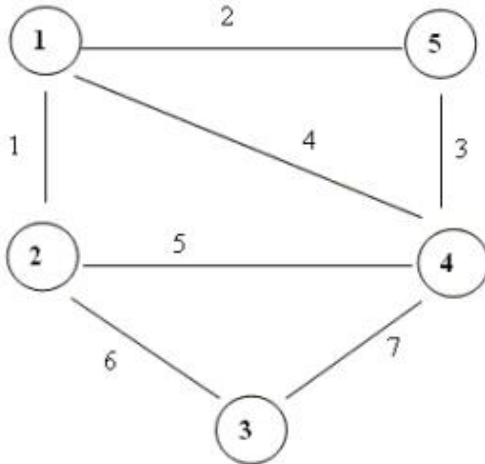


Рисунок 11.1 - Мережа передачі даних з комутацією пакетів

Усі елементи матриці інтенсивності обміну пакетів на мережі

однакові  $\gamma_{ij} = \Gamma$ ,  $i = 1,5$ ;  $j = 1,5$ ;  $i \neq j$ . Алгоритм керування обміном такий, що між двома вузлами обираються найкоротші шляхи. Обмін між вузлом 1 і вузлом 3 проходить через вузол 2, а між вузлами 2 і 5 – через вузол 4. Швидкості передавання двійкової інформації по всіх лініях однакові і рівні  $c$ .

Необхідно знайти

- загальну інтенсивність потоку в мережі  $\gamma$ ;
- середній час затримки пакету в вузлі 1;
- середній час проходження пакету по мережі передачі  $\tau_{\text{ср}}$ ;
- оптимальні значення пропускної здатності ліній  $c_i$ ,  $i=1,L$ , що забезпечують мінімальну середню затримку пакетів  $\tau_{\text{хв}}$  за умови збереження сумарної пропускної здатності ліній  $\sum_{i=1}^L c_i = L * c$ ;
- мінімальну середню затримку пакетів  $\tau_{\text{хв}}$  й порівняти її з начальною середньою затримкою  $\tau_{\text{ср}}$ .

Значення параметрів  $\Gamma$  і  $C$  слід вибирати із табл. 11.1 у відповідності до номера варіанту.

Таблиця 11.1 – варіанти завдань

Бригада	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$\Gamma$ , пакетів/с	10	15	5	20	15	28	24	30	25	4
$c$ , кбіт/с	32	64	16	64	32	64	64	64	64	16

### 11.3 Описання лабораторної установки

Лабораторна робота виконується на персональному комп'ютері типу Pentium з операційною системою Windows NT/XP, пакетом Mathcad 7.0-2001.

### 11.4 Порядок виконання роботи

11.4.1 Відкрити в середовищі Mathcad файл, що містить модель мережі, для якої виконується оптимізація. Присвоїти відповідним змінним числові дані свого варіанта. Ними можуть бути координати вузлів, довжина пакету, матриця обміну, вагові коефіцієнти функції витрат.

11.4.2 Обчислити інтенсивності обміну по окремих лініях зв'язку, виходячи з заданої топології мережі, матриці обміну і критерію обміну: по найкоротшому шляху між вузлами.

11.4.3 Знайти швидкості проходження пакетів по окремих лініях для двох способів оптимізації (формули (11.6) і (11.14)).

11.4.4 Знайти часи проходження пакетів по окремих лініях для двох способів оптимізації (формули (11.8) і (11.15)).

11.4.5 Повторити розрахунки з новими вихідними даними, вказаними викладачем.

### 11.5 Теоретичні відомості

Постановка задачі оптимізації. Нехай існує мережа з  $N_K$  комутаційними вузлами і  $N_L$  ділянками передачі між вузлами (рис. 11.2).

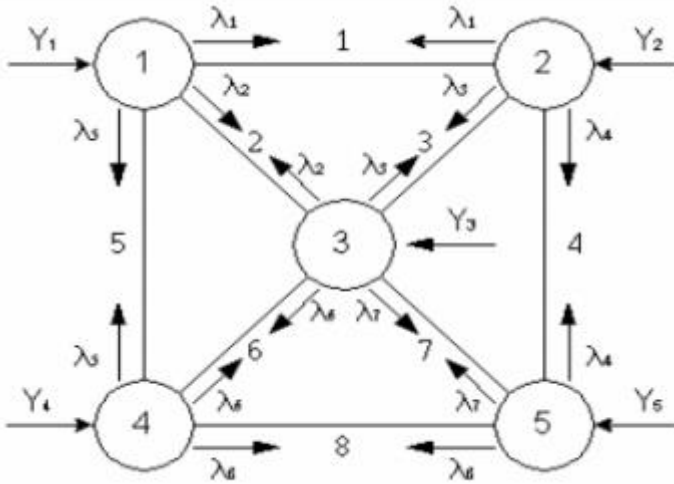


Рисунок 11.2 – Приклад мережі передачі даних

До вузла  $k$  надходить навантаження із середньою частотою  $\gamma_k$ . Це навантаження розподіляється по трактах передачі відповідно до відомих імовірностей розподілу. Нехай середня інтенсивність надходження інформації з лінії  $i$  дорівнює  $\lambda_i$ . Всі інтервали часу між надходженням пакетів розподілені експоненційно. Довжина інформаційного пакета також має експоненційний розподіл з середнім

значенням  $1/\mu$ . Необхідно мінімізувати середній час  $t_F$  проходження пакетів по мережі з врахуванням того, що для цієї мережі задані загальні витрати, що не перевищують величини  $D$ , зміст яких пояснюється далі.

Для вирішення цієї задачі необхідні додаткові пояснення. Спочатку необхідно побудувати модель вузла (рис. 11.3).

У будь-якому вузлі є процесор, що обробляє адреси, які знаходяться в заголовках пакетів й розподіляє інформаційні пакети відповідно до цих адрес по каналах передачі. Інформаційні пакети очікують у черзі звільнення каналу передачі. Часом очікування й обробки в процесорі можна зневажити, так само, як і ймовірністю втрат через кінцеву ємність пам'яті. З врахуванням зазначених передумов середній час проходження (сума часу очікування і передавання) по лінії  $i$  мережі складає

$$t_i = \frac{1}{\mu \cdot c_i - \lambda_i}, \quad i=1,2,\dots,N_L, \quad (11.1)$$

де  $c_i$  – швидкість передачі двійкових сигналів по лінії  $i$ .

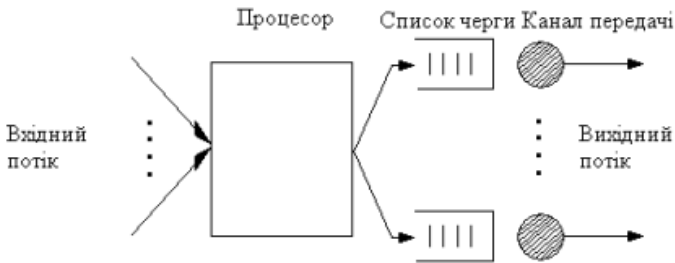


Рисунок 11.3 – Модель вузла комутації

Для середнього часу проходження пакетів по мережі можна записати вираз

$$t = \sum_{i=1}^{N_L} \frac{\lambda_i}{\gamma} \frac{1}{\mu \cdot c_i - \lambda_i} \quad (11.2)$$

при

$$\gamma = \sum_{k=1}^{N_K} \gamma_k \quad (11.3)$$

Залежність витрат від швидкості передачі виражається у такий спосіб

$$D = \sum_{i=1}^{N_L} c_i^\alpha \cdot d_i \quad (11.4)$$

де  $d_i$  – вартісний коефіцієнт, що залежить від довжини каналу, а параметр  $\alpha$  лежить в межах  $0 \leq \alpha \leq 1$ .

Тепер розглянемо функцію

$$\Phi = \sum_{i=1}^{N_L} \frac{\lambda_i}{\gamma} \cdot \frac{1}{\mu c_i - \lambda_i} + \beta \sum_{i=1}^{N_L} c_i^\alpha \cdot d_i \quad (11.5)$$

з невідомим коефіцієнтом  $\beta$  (метод множників Лагранжа). Після визначення часткової похідної по змінній  $C_i$ , прирівнявши цю похідну до нуля з врахуванням (11.4) одержимо систему рівнянь з  $N_L + 1$  невідомими  $C_1, \dots, C_{N_L}, \beta$ .

Для випадку  $\alpha = 1$ , тобто при лінійній функції вартості, можна знайти точне розв'язання сформульованої задачі

$$c_i = \frac{\lambda_i}{\mu} + \frac{D^*}{d_i} \cdot \frac{\sqrt{\lambda_i d_i}}{N_L}, \quad i=1,2,\dots,N_L, \quad (11.6)$$

де  $D^* = D - \sum_{i=1}^{N_L} d_i \frac{\lambda_i}{\mu}$ ,  $D^* > 0$

Таким чином, час проходження по лінії  $i$  визначається виразом

$$t_i = d_i \frac{\sum_{j=1}^{N_L} \sqrt{\lambda_j d_j}}{\mu D^* \sqrt{\lambda_i d_i}}, \quad (11.7)$$

а середній час проходження в мережі – виразом

$$t_F = \frac{(\sum_{i=1}^{N_L} \sqrt{\lambda_i d_i})^2}{D^*}, \quad (11.8)$$

Якщо увести величину  $\bar{n}$ , що виражає середнє число шляхів

передачі на одне з'єднання, то одержуємо

$$t_F = \bar{n} \frac{\left( \sum_{i=1}^{N_L} \sqrt{\frac{\lambda_i}{\lambda}} d_i \right)^2}{\mu \cdot D^*}. \quad (11.9)$$

За умови

$$\bar{n} = \frac{1}{\gamma} \sum_{i=1}^{N_L} \lambda_i \quad \lambda = \sum_{i=1}^{N_L} \lambda_i.$$

Описаний процес оптимізації дозволяє одержати малий середній час проходження пакетів по мережі, але має той недолік, що відповідно до (11.6) допускає невеликі значення інтенсивності викликів на окремих ділянках передачі

У результаті узагальнення процесу оптимізації можна було б усунути цей недолік. Такий підхід полягає в наступному

Мінімізуємо вираз

$$t_F^{(m)} = \left[ \sum_{i=1}^{N_L} \frac{\lambda_i}{\gamma} t_i^m \right]^{\frac{1}{m}} \quad (11.10)$$

з урахуванням додаткової умови заданої вартості

$$D = \sum_{i=1}^{N_L} d_i c_i.$$

Ця загальна формула має кілька окремих випадків. Для  $m=1$  одержуємо вже описаний критерій оптимізації, для  $m=2$  мінімізується квадрат часу проходження, а для  $m \rightarrow \infty$  час проходження по всіх лініях буде однаковим.

Варто ще зупинитися на окремому випадку  $m=2$ . З врахуванням сформульованого поставлення задачі це означає, що зважене стандартне відхилення часу проходження повинне бути мінімальним. Якщо, як додаткову умову, прийняти таку, щоб середній час проходження мав постійне значення

$$T = \sum_{i=1}^{N_L} \frac{\lambda_i}{\gamma} \frac{1}{\mu \cdot c_i - \lambda_i}, \quad (11.11)$$

процес оптимізації приводить до наступного виразу для швидкості передачі двійкових сигналів

$$c_i = \frac{\lambda_i}{\mu} + \frac{1 \bar{n}}{\mu T}, \quad i = 1, 2, \dots, N_L \quad (11.12)$$

Індивідуальні часи проходження  $t_i$  стають рівними

$$t_i = \frac{T}{n}, \quad i = 1, 2, \dots, N_L \quad (11.13)$$

Перевага цього підходу полягає в тому, що функція вартості тут не має значення і її можна не враховувати.

### 11.6 Контрольні запитання та завдання

1. Які види комутації з запам'ятовуванням ви знаєте? Порівняйте їх між собою.
2. По яких параметрах виконується оптимізація мереж з комутацією пакетів?
3. З чого складається загальний час проходження повідомлень у мережах з пакетною комутацією?
4. За яким законом розподілені інтервали між надходженнями пакетів і довжини інформаційних пакетів у досліджуваній мережі?
5. Які параметри мережі комутації задані і що підлягає розрахунку в процесі оптимізації за обраним критерієм у досліджуваних мережах з пакетною комутацією?
6. Виконайте розрахунки, замінивши дані в матриці тяжіння, задавши іншу середню довжину пакета і середній час проходження пакетів по мережі.

### 11.7 Зміст звіту

Звіт повинен містити мету дослідження, постановку задачі, схему досліджуваної мережі, отримані результати, а також висновки по проведених дослідженнях. Результати доцільно подавати у вигляді графіків та діаграм.

**ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ**

1. Вербанов О.В. Системи комутації електрозв'язку. Термінальне обладнання та вузли комутації. Навчальний посібник. Частина 1. / О.В. Вербанов, В.І. Дузь, В.М. Колчар, Г.В. Стівбун – Одеса, ОНАЗ ім. О.С. Попова, – 2008.
2. Системи комутації електрозв'язку. Основи телефонної акустики та електроакустичні перетворювачі. / Укладач В.І. Дузь. – Одеса, ОНАЗ ім. О.С. Попова, – 2007.
3. Дузь В.І. Системи комутації і розподілу інформації. Модуль 1: навч. посіб. / В.І. Дузь – Одеса: ОНАЗ ім. О.С. Попова, – 2013.
4. Лившиц Б.С. Теория телетрафика. / Б.С. Лившиц, А.П. Пшеничников, А.Д. Харкевич – М.: Связь, 1979.
5. Саати Т.Л. Элементы теории массового обслуживания и ее приложения. / Т.Л. Саати – М.: Сов. радио, 1971.
6. Аваков Р.А. Основы автоматической коммутации: Учебник для вузов. / Р.А. Аваков, О.С. Шилов, В.И. Исаев, – М.: Радио и связь, 1981.
7. Баркун М.А. Цифровые системы синхронной коммутации / М.А. Баркун, О.Р. Ходасевич – Минск, Эко-Трендз, 2001.
8. Беллами Дж. Цифровая телефония: Пер. с англ. / Под ред. А.Н. Берлина, Ю.Н. Чернышова – М.: Эко-Трендз, 2004. – 640 с.