

О.В. Нейчев
СИСТЕМИ ДИСПЕТЧЕРСЬКОГО
УПРАВЛІННЯ
Навчальний посібник

Харків – 2015

О.В. Нейчев

СИСТЕМИ ДИСПЕТЧЕРСЬКОГО УПРАВЛІННЯ

Навчальний посібник

Харків – 2015

УДК 656.254.5

ББК 39.275.51

Н 38

*Рекомендовано вченою радою Українського державного
університету залізничного транспорту як навчальний посібник
(витяг з протоколу № 7 від 27 жовтня 2015 р.)*

Рецензенти:

професор Г.Ф. Кривуля (ХНУРЕ),



**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ
УКРАЇНИ**

**УКРАЇНСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ ЗАЛІЗНИЧНОГО
ТРАНСПОРТУ**

професор І.О. Фурман (ХНТУ сільського
господарства ім. Петра Василенка)

СИСТЕМИ ДИСПЕТЧЕРСЬКОГО УПРАВЛІННЯ

Нейчев О.В. Системи диспетчерського управління: Навч.
Н 38 посібник. – Харків: УкрДУЗТ, 2015. – 289 с., рис. 109,
табл. 7.
ISBN 978-617-654-040-3

У навчальному посібнику викладено основні принципи диспетчерського управління рухом поїздів, наведено технічні передумови для впровадження систем диспетчерської централізації і контролю, розглянуто структуру комплексу систем інтервального регулювання рухом поїздів і місце систем диспетчерського управління в цьому комплексі. Наведено короткі відомості про елементи і пристрої систем диспетчерської централізації з жорсткою логікою функціонування, розглянуто загальні принципи побудови і функціонування систем ДЦ «НЕВА», «ЛУЧ», особливості схемної реалізації приймально-передавальних пристроїв, що використовуються в їх складі. Викладено вимоги до мікропроцесорних систем ДЦ, наведено структуру комплексів технічних засобів центрального поста і лінійних пунктів, розглянуто механізм взаємодії окремих підсистем і пристроїв МСДЦ під час введення, передавання і реалізації командної і контрольної інформації.

УДК 656.254.5
ББК 39.275.51

ISBN 978-617-654-040-3

© Український державний університет
залізничного транспорту, 2015

Навчальний посібник

Нейчев Олег Володимирович

Відповідальний за випуск Нейчев О.В.

Редактор Ібрагімова Н.В.

Підписано до друку 12.06.15 р.

Формат паперу 60x84 1/16. Папір писальний.

Умовн.-друк.арк. 17,25. Тираж 200. Замовлення №

Видавець та виготовлювач Українська державна академія залізничного транспорту,
61050, Харків-50, майдан Фейєрбаха, 7.
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 2874 від 12.06.2007 р.

**УКРАЇНСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ**

**Кафедра автоматики й комп'ютерного телекерування
рухом поїздів**

О.В. Нейчев

СИСТЕМИ ДИСПЕТЧЕРСЬКОГО УПРАВЛІННЯ

Навчальний посібник

Харків 2015

УДК 656.254.5

ББК 39.275.51

Н 38

Нейчев О.В. Системи диспетчерського управління: Навч. посібник. – Харків: УкрДУЗТ, 2015. – 289 с.

У навчальному посібнику викладено основні принципи диспетчерського управління рухом поїздів, наведено технічні передумови для впровадження систем диспетчерської централізації і контролю, розглянуто структуру комплексу систем інтервального регулювання рухом поїздів і місце систем диспетчерського управління в цьому комплексі. Наведено короткі відомості про елементи і пристрої систем диспетчерської централізації з жорсткою логікою функціонування, розглянуто загальні принципи побудови і функціонування систем ДЦ «НЕВА», «ЛУЧ», особливості схемної реалізації приймально-передавальних пристроїв, що використовуються в їх складі. Викладено вимоги до мікропроцесорних систем ДЦ, наведено структуру комплексів технічних засобів центрального поста і лінійних пунктів, розглянуто механізм взаємодії окремих підсистем і пристроїв МСДЦ під час введення, передавання і реалізації командної і контрольної інформації.

Іл. 109, табл. 7, бібліогр.: 16 назв.

*Рекомендовано вченою радою УкрДУЗТ як навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів
(№ від 2015).*

Рецензенти:

проф. Г.Ф. Кривуля (ХНУРЕ)
проф. І.О. Фурман (Харківський національний технічний університет сільського господарства ім. Петра Василенка)

Український державний університет
залізничного транспорту, 2015

ЗМІСТ

	Стор.
Вступ.....	7
1. Принципи диспетчерського управління рухом поїздів.....	9
1.1. Організація управління рухом поїздів.....	9
1.2. Структура комплексу систем ІРРП.....	11
1.3. Способи диспетчерського управління при різному оснащенні станцій і перегонів технічними засобами....	14
1.4. Вимоги ПТЕ до систем ДЦ.....	16
1.5. Техніко-економічне обґрунтування впровадження систем ДЦ.....	19
1.6. Відповідальні команди в системах ДЦ.....	20
2. Елементи і пристрої систем ДЦ з жорсткою логікою функціонування.....	25
2.1. Напівпровідникові діоди.....	25
2.2. Транзистори.....	27
2.3. Логічні елементи.....	33
2.3.1. Умовні позначення логічних елементів.....	33
2.3.2. Електричні схеми логічних елементів.....	36
2.4. Тригери.....	40
2.4.1. Схема тригера з роздільними входами.....	41
2.4.2. Схема тригера зі спільними входами.....	43
2.5. Лічильники.....	44
2.5.1. Підсумовувальні лічильники	46
2.5.2. Віднімальні лічильники	47
2.5.3. Реверсивні лічильники.....	48
2.5.4. Схеми скорочення лічби.....	49
2.6. Шифратори.....	52
2.7. Дешифратори.....	56
2.8. Розподільники.....	60
2.9. Мультивібратори.....	65
2.10. Генератори синусоїдальних коливань.....	70
3. Принципи побудови систем управління і контролю.....	78
3.1. Загальні відомості.....	78
3.2. Види управління.....	80
3.2.1. Місцеве управління.....	80
3.2.2. Дистанційне управління.....	82
3.2.3. Телеуправління.....	83

3.3. Основні принципи побудови і функціонування систем телеуправління.....	85
3.4. Фізичні характеристики каналів зв'язку і сигналів.....	89
3.5. Імпульсні ознаки сигналів. Модуляція.....	92
3.6. Схеми пристроїв для передавання і приймання телемеханічних сигналів.....	103
3.6.1. Принцип дії системи телеуправління з фізичним розділенням елементів сигналів.....	103
3.6.2. Принцип дії системи телеуправління з частотним розділенням елементів складних сигналів.....	106
3.6.3. Принцип дії системи телеуправління з часовим розділенням елементів складних сигналів.....	107
3.6.4. Частотно-часове і кодове розділення сигналів.....	112
3.7. Вірогідність передавання повідомлень.....	114
3.7.1. Вплив кодів на вірогідність передавання повідомлень.....	116
3.7.2. Методи і засоби підвищення завадозахищеності каналів зв'язку.....	120
4. Структура підсистеми зв'язку систем ДЦ.....	124
5. Диспетчерська централізація «Нева».....	128
5.1. Експлуатаційно-технічна характеристика системи ДЦ «НЕВА».....	128
5.2. Структурна схема системи ДЦ «НЕВА».....	129
5.3. Формування, передавання та реалізація команд управління в системі ДЦ «НЕВА».....	132
5.3.1. Структура кодів команд і сигналів телеуправління.....	132
5.3.2. Формування кодів команд телеуправління.....	134
5.3.3. Перетворення кодів команд у сигнали ТУ.....	136
5.3.4. Принцип дії модулятора каналу ТУ ДЦ «НЕВА»...	141
5.3.5. Приймання та реалізація сигналів ТУ на лінійних пунктах.....	147
5.4. Пристрої каналу ТС ДЦ «НЕВА».....	149
5.4.1. Принцип дії апаратури каналу ТС систем ДЦ з жорсткою логікою функціонування.....	149
5.4.2. Структурна схема пристроїв каналу ТС ЛП.....	158
5.4.3. Особливості роботи приймальних пристроїв каналу ТС.....	162

5.4.3.1. Визначення якості частотних імпульсів і перетворення їх в імпульси постійного струму...	163
5.4.3.2. Генерування тактових і стробувальних імпульсів	167
5.4.3.3. Контроль неперервності надходження сигналу ТС і групова синхронізація розподільників.....	173
5.4.3.4. Виявлення і фіксація нової інформації.....	179
6. Диспетчерська централізація «ЛУЧ».....	184
6.1. Характеристика системи.....	184
6.2. Принцип відносної фазової маніпуляції.....	186
6.3. Структура кодів і сигналів ТУ в ДЦ «ЛУЧ».....	189
6.4. Принцип дії передавальних пристроїв каналу ТУ.....	190
6.5. Приймання сигналів ТУ на лінійних пунктах.....	195
6.5.1. Фазовий детектор.....	198
6.5.2. Роздільник фаз.....	202
6.5.3. Вузол фазового автопідстроювання.....	204
7. Мікропроцесорні системи диспетчерської централізації....	211
7.1. Автоматизація інформаційного забезпечення поїзних диспетчерів.....	211
7.2. Функції мікропроцесорних систем ДЦ.....	213
7.3. Функціональні підсистеми МСДЦ.....	221
7.4. Структура комплексу технічних засобів мікропроцесорних систем ДЦ.....	224
7.5. Програмно-апаратний комплекс центрального поста МСДЦ.....	227
7.6. Структура команд і контрольних повідомлень, що передаються каналами зв'язку МСДЦ.....	231
7.7. Модеми.....	233
7.7.1. Характеристики модемів.....	233
7.7.2. Принципи роботи модемів.....	235
7.8. Загальні принципи організації зв'язку локальною мережею «LPN».....	240
7.9. Взаємодія пристроїв ЦП під час формування команд ТУ і приймання контрольних повідомлень ТС.....	244
7.10. Лінійні пункти МСДЦ: склад технічних засобів і їх взаємодія.....	251
7.11. Організація обміну даними по міжмодульних шинах зв'язку.....	255

7.12. Загальні принципи узгодження систем ДЦ з пристроями ЕЦ стосовно введення і виведення інформації.....	265
7.13. Робота пристроїв ЛП під час приймання і виконання команд ТУ.....	269
7.14. Робота пристроїв ЛП під час формування і передавання сигналів ТС.....	273
7.15. Робота пристроїв ЛП під час виведення і введення відповідальної інформації.....	279
7.15.1. Алгоритмічні заходи з забезпечення безпеки руху під час передавання і виконання відповідальних команд.....	279
7.15.2. Технічні засоби для виведення відповідальної інформації.....	281
7.15.3. Технічні і алгоритмічні заходи для підвищення вірогідності контрольної інформації.....	284
Бібліографічний список.....	288

ВСТУП

Транспортно-дорожній комплекс України – один із найважливіших секторів соціально-економічної системи країни, який забезпечує потреби суспільного виробництва і населення в перевезеннях, цілісність економічного простору держави, відіграє вагомий роль у розвитку зовнішньоторговельних зв'язків з іншими країнами. Залізничний транспорт займає в цьому комплексі одне з ключових місць. Однак в умовах нестабільності обсягів перевезень, з одного боку, і серйозної конкуренції з боку автомобільного транспорту – з іншого, перспективи розвитку залізничного транспорту залежать від його економічної ефективності та безпечності.

Залізниця при зовнішній своїй простоті є складним механізмом, що складається з безлічі ланок єдиного технологічного процесу, спрямованого на задоволення потреб у перевезеннях пасажирів і вантажів, і, як і будь-який механізм, потребує обслуговування і управління. Основне завдання управління на залізничному транспорті – організація перевізного процесу з максимальною ефективністю використання технічних засобів при безумовному забезпеченні безпеки руху. Значний внесок у її вирішення роблять системи диспетчерської централізації (ДЦ) і системи диспетчерського контролю (ДК).

На сьогодні на залізницях проводяться заходи з підвищення швидкості руху вантажних і пасажирських поїздів; вдосконалюється конструкція колії, рухомий склад; розробляються та експлуатуються нові системи автоматизованого керування технологічними процесами; створюються автоматизовані робочі місця персоналу на різних рівнях управління. Одним з найбільш ефективних шляхів покращення експлуатаційних показників роботи залізничного транспорту є підвищення оперативності та якості керування перевізним процесом на базі єдиних диспетчерських центрів управління (ЄДЦУ). Створення таких центрів сприяє економії всіх видів ресурсів (рухомого складу, електроенергії, палива та ін.); своєчасному, повному та якісному виконанню заявок на транспортні послуги; скороченню тривалості кожного етапу управління; підвищенню вірогідності та повноти інформації,

використовуваної для планування експлуатаційної роботи, а також прискоренню самого процесу планування; скороченню штату працівників за рахунок укрупнення об'єктів управління та усунення проміжних ланок; поліпшенню умов праці оперативного диспетчерського персоналу.

Мета посібника – вивчення принципів побудови і функціонування діючих і перспективних систем диспетчерської централізації і диспетчерського контролю, що є основою для створення технічної і технологічної бази центрів управління експлуатаційною роботою.

1. ПРИНЦИПИ ДИСПЕТЧЕРСЬКОГО УПРАВЛІННЯ РУХОМ ПОЇЗДІВ

1.1. Організація управління рухом поїздів

Залізничний транспорт (ЗТ) являє собою складну, територіально розосереджену систему, що складається з великої кількості технологічних підрозділів (станцій, депо, тягових підстанцій, пунктів технічного обслуговування і т. д.) і технічних засобів (локомотивів і вагонів, колійного господарства, систем автоматики, телемеханіки, зв'язку, контактної мережі та ін.).

Головне завдання залізничного транспорту – здійснення перевезень пасажирів і вантажів з максимальною продуктивністю, мінімальною собівартістю і гарантованою безпекою руху.

В основу організації перевізного процесу на ЗТ покладено такі принципи:

- організація руху поїздів за графіком, що координує роботу всіх підрозділів залізниць з раціональним використанням пропускної спроможності ліній, пристроїв і споруд. Графік визначає послідовність зайняття перегонів поїздами, час їхнього відправлення та прибуття на кожен роздільний пункт, швидкість руху, тривалість стоянок на станціях, вагові норми і довжини поїздів;

- організація роботи станцій на основі типових технологічних процесів приймання, відправлення, пропускання поїздів, їх формування та розформування, завантаження і розвантаження вантажів, посадки і висадки пасажирів;

- оперативне планування експлуатаційної роботи для виконання графіка руху;

- технічне нормування завантаження і розвантаження, розмірів руху на дільниці, передавання завантажених і порожніх вагонів у пунктах стикування, нормування потрібних парків рухомого складу;

- диспетчерське управління виконанням завдань з перевезень;

- забезпечення безпеки руху поїздів при виконанні будь-яких видів робіт тощо.

Якість експлуатаційної роботи залізниць оцінюється використанням рухомого складу, собівартістю перевезень і

продуктивністю праці. Використання рухомого складу характеризують такі показники: швидкість руху (технічна, дільнична, маршрутна); час знаходження поїздів і вагонів на станціях; використання вантажопідйомності вагонів; середньодобовий пробіг локомотивів. Очевидно, що якість експлуатаційної роботи вища, якщо краще використовується рухомий склад, менша собівартість перевезень і вища продуктивність праці. Якщо менший час витрачається на перевезення одних вантажів, швидше вивільняється рухомий склад для перевезення інших. Отже, однією і тією самою кількістю вагонів і локомотивів можна виконати більший обсяг перевезень без придбання нового рухомого складу. Якщо ж обсяги перевезень відносно стабільні, але виконуються меншою кількістю вагонів і локомотивів, економічний ефект буде визначатися зменшенням амортизації рухомого складу (частина наявного парку не експлуатується), верхньої будови колії, штучних споруд та ін.

Крім того, зменшення часу надходження вантажів до пунктів призначення зміцнює позиції ЗТ і робить його більш конкурентоспроможним на ринку транспортних послуг.

Основою оперативного керування рухом поїздів на магістральному транспорті є диспетчерське управління. Вся мережа залізниць розбита на диспетчерські дільниці (кола). Довжина кожної з них залежить від інтенсивності руху поїздів та обсягу вантажної роботи і становить зазвичай 100-150 км. Згідно з основними принципами управління відповідальними технологічними процесами рухом поїздів у межах диспетчерського кола повинен керувати тільки один працівник - поїзний диспетчер (ДНЦ), який відповідає за виконання графіка руху поїздів на підпорядкованій йому дільниці. Накази поїзного диспетчера підлягають безумовному виконанню всіма працівниками, безпосередньо пов'язаними з рухом поїздів у межах зони відповідальності диспетчера. ДНЦ забезпечений селекторним зв'язком з усіма станціями своєї дільниці і стиковими станціями сусідніх дільниць, має радіозв'язок з локомотивними бригадами. Безперервно отримуючи інформацію про рух поїздів, положення на дільниці та враховуючи обстановку, що склалася, ДНЦ віддає необхідні накази черговим

по станціях (ДСП), локомотивним бригадам та іншим працівникам.

Метою діяльності ДНЦ є виконання необхідних розмірів руху поїздів на підпорядкованій дільниці і забезпечення приймання поїздів з сусідніх дільниць; своєчасне відправлення поїздів зі станцій, пропускання пасажирських і приміських поїздів за розкладом; дотримання вимог правил технічної експлуатації (ПТЕ), інструкції з руху поїздів і маневрової роботи, інструкції з сигналізації на залізницях [3]. Основне завдання поїзного диспетчера полягає в забезпеченні руху поїздів за графіком у межах своєї дільниці, що включає в себе перегони, обгінні пункти, роз'їзди, проміжні станції, що знаходяться між дільничними або сортувальними станціями. У разі виникнення позаштатних ситуацій, різного роду відмов, здатних викликати затримки в русі поїздів і їх запізнення, ДНЦ своїми діями зобов'язаний мінімізувати ці затримки і в найкоротший термін «ввести» потяги в графік. З цією метою він може зменшувати тривалість стоянок поїздів на роздільних пунктах; змінювати порядок і пункти схрещення, обгону поїздів; здійснювати безупинні схрещення, відправлення поїздів по «неправильній» колії (на двоколійних ділянках) та ін.

1.2. Структура комплексу систем ІРРП

На магістральному і промисловому транспорті України експлуатується значна кількість різних за призначенням, виконуваними функціями, елементною базою систем управління, контролю, зв'язку. Тією чи іншою мірою всі вони призначені для організації, оптимізації перевізного процесу, забезпечення його безпечності, створення комфортних умов пасажирам, клієнтам, працівникам ЗТ. Системи, призначені для управління рухом поїздів у межах перегонів, станцій і дільниць, розмежування рухомих одиниць безпечними просторовими і часовими інтервалами, отримали назву систем інтервального регулювання руху поїздів (ІРРП). На рис. 1.1 наведена структурна схема комплексу систем ІРРП.

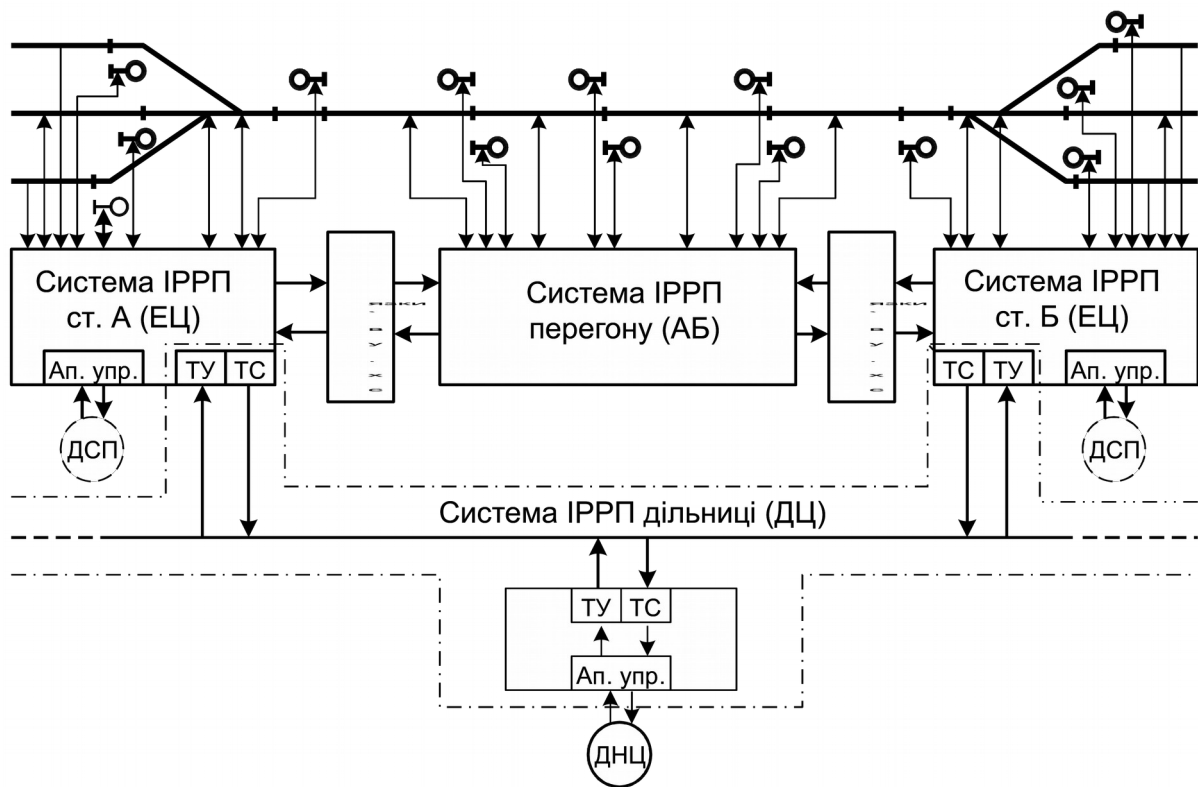


Рис. 1.1. Структурна схема комплексу систем ІРРП

Системи ІРРП станцій призначені для управління рухом поїздів у межах станцій. За їх допомогою здійснюється переведення стрілок, відкриття (закриття) сигналів світлофорів, перевірка виконання вимог щодо забезпечення безпеки руху та ін. Команди для виконання тієї чи іншої технологічної операції зазвичай формуються черговим по станції (ДСП). Інформація про стан об'єктів управління і контролю виводиться на апарат управління (Ап. упр.). Найбільшого поширення у якості станційних систем ІРРП набули електричні централізації стрілок і сигналів (ЕЦ).

Системи ІРРП перегонів призначені для підвищення пропускної спроможності перегонів і забезпечення безпеки руху в межах своєї зони відповідальності. Сучасні перегінні системи регулювання руху – автоматичної дії, станційні – напівавтоматичні. Для узгодження режимів функціонування перегінних і станційних пристроїв, обміну необхідною інформацією використовуються пристрої сполучення – схеми ув'язки.

Однак сама по собі наявність систем ІРРП на станціях і перегонах не може гарантувати забезпечення високих експлуатаційних показників роботи транспортного комплексу без належної організації перевізного процесу. Розглянемо такий приклад. Припустимо, одноколіїний міжстанційний перегін (див. рис. 1.1) обладнаний двостороннім АБ, що дозволяє пропускати потяги по ньому з інтервалом попутного прямування 5 хв; час ходу поїздів по перегону як у парному, так і непарному напрямках 30 хв. Припустимо, також, що на станціях А і Б підготовлені для відправлення в зустрічних напрямках по два потяги.

Якщо організувати рух по перегону таким чином, що на перегін по черзі будуть відправлятися поїзди з різних станцій: наприклад 1-й з А, 2-й з Б, 3-й з А, 4-й з Б (причому кожний наступний тільки після прибуття попереднього), для пропускання всіх поїздів буде потрібно 120 хв. Наявність АБ на перегоні ніяк не позначиться на його пропускній спроможності – при напіваавтоматичному блокуванні необхідний час для пропускання 4-х поїздів був би таким самим.

У випадку, якщо потяги пропускати парами з зазначеним раніше інтервалом попутного прямування 5 хв (наприклад 1-й, 2-й з А, 3-й, 4-й з Б) загальний час зайняття перегону чотирма потягами складе 70 хв. Протягом часу, що вивільнився (50 хв), по перегону можуть бути пропущені додаткові поїзди.

Як впливає з розглянутого прикладу, підвищення пропускної спроможності перегону було досягнуто за рахунок організації пакетного графіка руху – по два потяги в пакеті. У загальному випадку чим більша кількість поїздів у пакеті, тим краще. Проте слід брати до уваги той факт, що розміри пакетів залежать від колійного розвитку станцій диспетчерської дільниці. Кількість колій повинна бути достатньою для накопичування поїздів одного напрямку і приймання/пропускання поїздів зустрічного.

Очевидно, що сформувавши оптимальні пакети може лише посадова особа, яка має інформацію про місце знаходження поїздів у межах певного полігону, їхню категорію і ходові якості, фактичну швидкість руху, довжину; характеристики станцій (кількість колій, кількість вільних колій, їхня довжина); характеристики перегонів; очікуваний час прибуття поїздів на ту

чи іншу станцію та ін. Такою посадовою особою є поїзний диспетчер. Технічні засоби, що дозволяють ДНЦ з тією чи іншою ефективністю виконувати свої обов'язки, тобто керувати рухом поїздів у межах дільниці, складають основу систем ІРРП дільниць.

1.3. Способи диспетчерського управління при різному оснащенні станцій і перегонів технічними засобами

Для правильного планування і оперативного керівництва поїзною роботою (наприклад, для накопичення поїздів і формування пакетів див. п. 1.2) диспетчеру необхідно знати фактичний стан на дільниці і мати можливість швидко впливати на перевізний процес. Для цього диспетчер повинен безперервно забезпечуватися точною та наочною інформацією про поїзну ситуацію на дільниці і керувати процесами приймання та відправлення поїздів на станціях. Знання поїзної ситуації дозволяє диспетчеру прогнозувати роботу дільниці і намічати оптимальний план-графік руху поїздів.

Залежно від технічного оснащення станцій і перегонів диспетчерської дільниці рішення перерахованих вище завдань можливе кількома способами. (Під технічним оснащенням у даному випадку розуміється тип систем ІРРП станцій і перегонів.)

Якщо станції не обладнані системами ЕЦ (стрілки з «ручним» керуванням), а перегони автоблокуванням (напівавтоматичне або електрожезлове блокування), то відсутні технічні можливості для автоматичного або автоматизованого збору інформації, що є актуальним для диспетчера. У цьому випадку в диспетчера в розпорядженні тільки засоби телефонного зв'язку з черговими по станціях і радіозв'язку з машиністами локомотивів. Диспетчер змушений безперервно вести переговори з ДСП роздільних пунктів і складати уявлення про поїзну ситуацію на підставі доповідей чергових про час прибуття, відправлення, проходження поїздів, а також про всі події, здатні вплинути на роботу станцій і перегонів. Оцінювати поїзну ситуацію диспетчер може тільки керуючись графіком виконаного руху поїздів. Причому цей графік викреслюється самим

диспетчером. Встановлення маршрутів на станціях дільниці виконують чергові по станціях за розпорядженням ДНЦ.

Такий спосіб диспетчерського керування застосовується і на дільницях, де станції обладнані ЕЦ, перегони АБ, але відсутні автоматичні засоби збору, передавання, реєстрації та відображення інформації, що цікавить диспетчера (пристрої ТУ-ТС на станціях і диспетчерському посту (див. рис. 1.1)).

Розглянутий спосіб збору контрольної інформації та керування рухом має ряд серйозних недоліків. По-перше, низька оперативність передавання командної та контрольної інформації. До 70 % робочого часу ДНЦ йде на збір інформації та постановку завдань черговим, що скорочує час на аналіз поїзної ситуації та прийняття рішень. По-друге, інформація, що надходить каналами диспетчерського зв'язку, має низьку достовірність (ДСП зацікавлені в тому, щоб надати її керівнику у вигідному для себе світлі). На підставі недостовірної вхідної інформації ДНЦ може прийняти і реалізувати рішення, здатні призвести до серйозних затримок у русі поїздів.

При обладнанні станцій ЕЦ, а перегонів АБ виникають передумови для автоматизації процесів збору, передавання, приймання, реєстрації та відображення контрольної інформації. Технічні засоби, які вирішують вказані завдання, а також спосіб управління, що застосовується за їх наявності, отримали назву **диспетчерського контролю (ДК)**.

Пристрої диспетчерського контролю дають ДНЦ точну і безперервну інформацію про пересування поїздів у межах дільниці. На табло (екранах моніторів) робочого місця диспетчера відображуються блок-ділянки автоблокування, приймально-відправні колії роздільних пунктів, показання вхідних і вихідних світлофорів на станціях. При цьому скорочується час на ведення переговорів ДНЦ з черговими по станціях і локомотивними бригадами. Управління здійснюється аналогічно розглянутому раніше способу – з використанням каналів оперативного диспетчерського зв'язку: встановлення маршрутів на станціях дільниці виконують чергові за розпорядженнями ДНЦ. Але при ДК залишається низькою оперативність передавання командної інформації. Крім того, навіть на малих роздільних пунктах з

незначними розмірами руху необхідно утримувати штат ДСП, що врешті-решт знижує економічну ефективність роботи ЗТ.

Максимальне використання пропускної спроможності залізничних ліній, особливо одноколійних, досягається при диспетчерській централізації (ДЦ), яка концентрує (централізує) управління всіма роздільними пунктами, забезпечуючи виняткову чіткість і оперативність диспетчерського регулювання руху поїздів. При ДЦ поїзний диспетчер має можливість здійснювати керування стрілками і сигналами станцій диспетчерського кола без залучення чергових по станціях.

Комплекс пристроїв, що включає в себе автоматичне блокування на перегонах, електричну централізацію на станціях, системи телеуправління (ТУ), телесигналізації (ТС) (для передавання команд і контрольних повідомлень) і дозволяє сконцентрувати управління стрілками і сигналами ряду роздільних пунктів в одному місці і в руках однієї особи (поїзного диспетчера), отримав назву диспетчерської централізації.

Оскільки системи ДЦ призначені для управління рухом поїздів у межах диспетчерської дільниці, вони отримали і «альтернативну» назву: системи ІРПП дільниць (див. рис. 1.1). Як випливає з наведеного вище визначення, впровадження систем диспетчерської централізації можливе лише на дільницях, де станції обладнані пристроями ЕЦ, а перегони АБ.

Примітка. Це класичне визначення систем ДЦ, що зустрічається в ряді джерел [1, 2], на сьогодні слід скоригувати так: «комплекс пристроїв, що включає в себе автоматичне блокування на перегонах (або напівавтоматичне, доповнене пристроями контролю прибуття поїздів у повному складі на станції, що обмежують перегін)...». І далі за текстом.

1.4. Вимоги ПТЕ до систем ДЦ

За вимогами правил технічної експлуатації залізниць України [12] пристрої диспетчерської централізації мають забезпечувати:

а) управління з одного пункту стрілками і сигналами ряду станцій і перегонів;

б) контроль на апараті управління за положенням і зайнятістю стрілок, перегонів, колій на станціях і прилеглих до

них блок-ділянок, а також повторення показань вхідних, маршрутних і вихідних світлофорів;

в) можливість передачі станцій на резервне управління стрілками і сигналами з приймання, відправлення поїздів і виконання маневрів або передачі стрілок на місцеве управління для проведення маневрів;

г) виконання вимог щодо електричної централізації, автоматичного блокування й автоматичної локомотивної сигналізації, що застосовується як самостійний засіб сигналізації та зв'язку.

Нові системи диспетчерської централізації мають забезпечувати можливість зміни напрямку руху поїзним диспетчером при хибній зайнятості блок-ділянок та автоматичний запис графіка виконаного руху поїздів [12].

Вимоги пунктів а) і б) очевидні і впливають із призначення систем ДЦ (див. визначення). Разом з тим у частині контролю стану об'єктів (колійних ділянок зокрема) є деякі особливості. На перший погляд, вимоги, викладені в (п. б), передбачають необхідність контролю і відображення інформації про стан всіх колійних ділянок диспетчерського кола. Однак це не так. ПТЕ не вимагають від систем ДЦ обов'язкового контролю всіх блок-ділянок перегонів, а лише ділянок віддалення/наближення і факт зайнятості/вільності перегону. Тобто тієї інформації, якою гарантовано володіють системи ЕЦ. Пояснюється це тим, що збір інформації про стан контрольованих об'єктів диспетчерської дільниці здійснюється на станціях. Саме тут встановлюються кінцеві пристрої апаратури ТУ-ТС, що забезпечують сполучення з системами інтервального регулювання руху поїздів нижнього рівня: системами ЕЦ і АБ. Тому на центральний пост системи ДЦ для реєстрації та відображення може бути передана тільки та інформація (у тому числі і про стан перегінних пристроїв), яка є на станції. Якщо система АБ має технічну можливість збору та передавання на станції, що обмежують перегін, інформації про зайнятість/вільність всіх блок-ділянок і стан перегінних пристроїв АБ (наприклад, обладнана системою ЧДК), очевидно, що в цьому випадку ця ж інформація може бути передана на центральний пост і відображена на апараті управління ДНЦ. Проте зараз не всі перегони обладнані системами

диспетчерського контролю, що виключає можливість введення в систему ДЦ інформації про стан перегінних пристроїв.

Вимоги, викладені в п. в) правил технічної експлуатації, обумовлені необхідністю мати можливість змінювати режими управління роздільними пунктами при виході з ладу пристроїв ДЦ або зміні обсягів поїзної і маневрової роботи на станціях диспетчерського кола. Розрізняють диспетчерське, резервне, автономне і місцеве управління. При диспетчерському управлінні поїзною і маневровою роботою на станціях диспетчерського кола керує ДНЦ без «посередників». Разом з тим повинна існувати можливість управління об'єктами ЕЦ з місцевого пульта (резервне) і маневрових колонок (міськове). Резервне управління (РУ) застосовується при відмовах пристроїв ДЦ або при проведенні регламентних робіт з обслуговування пристроїв ДЦ або ЕЦ. При РУ керування всіма стрілками і сигналами роздільного пункту здійснює ДСП з традиційного апарату управління електричної централізації. На місцеве управління (МУ) можуть передаватись окремі стрілки або групи стрілок, що знаходяться в маневрових районах.

Великі станції диспетчерської дільниці зазвичай залишаються під управлінням чергових по станціях (на автономному управлінні (АУ)). Всією поїзною і маневровою роботою в цьому випадку керує ДСП, але для відправлення поїздів на одноколіїні перегони необхідний дозвіл поїзного диспетчера (не тільки усний, але і передачею по каналу ТУ спеціальних команд «РОН», «РОЧ», які дозволяють відправлення в непарному (РОН) і парному (РОЧ) напрямках відповідно). Контрольна інформація про стан станційних пристроїв і поїзну ситуацію по каналу ТС передається на центральний пост, де реєструється і відображується. Деякі станції можуть передаватись на автономне або місцеве управління на тривалий час (сезон), наприклад при збільшенні обсягів маневрової роботи на станціях, що знаходяться в безпосередній близькості від елеваторів, цукрових заводів і т.п. в період збирання врожаю. Таке управління часто називають сезонним.

1.5. Техніко-економічне обґрунтування впровадження систем ДЦ

На дільницях, обладнаних ДЦ, диспетчер, маючи можливість контролювати рух поїздів за показаннями табло (мнемосхема колійного розвитку дільниці на екрані монітора) і керувати пристроями сигналізації й блокування без посередників, не тільки приймає рішення з організації руху поїздів у конфліктних ситуаціях (збоях у графіку руху), але й особисто їх виконує. Це дозволяє з мінімальними втратами часу відновлювати нормальний рух на дільниці і тим самим створювати умови, що сприяють найкращому використанню пропускної спроможності дільниць при повному забезпеченні безпеки руху поїздів [2].

Системи диспетчерського управління застосовують на одноколійних і багатоколійних лініях залізниць, включаючи приміські дільниці з інтенсивним рухом поїздів. Найбільшу ефективність має застосування ДЦ на одноколійних дільницях, особливо якщо перегони обладнані двоколійними вставками, а роздільні пункти побудовані за поздовжньою схемою, що дозволяє виконувати безупинні схрещення поїздів (зустрічні роз'їзди). Більш висока ефективність впровадження систем ДЦ на одноколійних дільницях порівняно з багатоколійними пояснюється тим, що на одноколійних дільницях диспетчер у процесі своєї роботи повинен вирішувати завдання пошуку оптимальних місць (і виконання з мінімальними витратами часу) обгонів і зустрічних роз'їздів поїздів. На багатоколійних ділянках актуальний тільки обгін. Отже, системи ДЦ, які є інструментом для виконання диспетчером своїх службових обов'язків, на одноколійних ділянках задіяні більшою мірою, експлуатуються інтенсивніше, а отже, швидше окупаються.

Впровадження систем ДЦ дозволяє підвищити дільничну швидкість на 15-20 %, збільшити пропускну спроможність ділянок на 35-40 %. Чисельність експлуатаційного персоналу (у першу чергу ДСП роздільних пунктів) скорочується в середньому на 60 осіб на кожні 100 км залізничних ліній [2].

Одночасно з виконанням функцій передавання командної та контрольної інформації сучасні системи диспетчерського управління здійснюють самодіагностику, контроль пристроїв залізничної автоматики, ведуть архів поїзної ситуації, дій ДНЦ, чергових по станціях. Наявність архіву дозволяє зменшити час пошуку та усунення несправностей пристроїв ЗАТ, скоротити час

роботи систем ЕЦ і АБ в допоміжному режимі (з пошкодженнями чи відмовами). Крім того, підвищується відповідальність оперативних працівників ЗТ (ДНЦ і ДСП станцій, що знаходяться на автономному або резервному управлінні) за свої дії. У результаті за рахунок підсистеми протоколювання покращуються експлуатаційні показники роботи транспортного комплексу та підвищується (опосередковано) безпека руху.

1.6. Відповідальні команди в системах ДЦ

Історично так склалося, що основне навантаження з забезпечення безпеки руху поїздів несуть системи ІРРП станцій і перегонів. Побудова, елементна база, алгоритми функціонування цих систем повинні виключати можливість виникнення небезпечних технологічних ситуацій у будь-яких режимах роботи, при відмовах елементів, вимиканні або вмиканні живлення тощо. Системи ІРРП дільниць (ДЦ) належать до систем другого роду – таких, що безпосередньо на безпеку руху не впливають. Електромагнітні завади, збої в роботі систем диспетчерського управління можуть призвести до втрати, а іноді й до спотворення змісту переданих/прийнятих команд, але системи ЕЦ виконують команду тільки в тому випадку, якщо виконано певні умови: відсутні ворожі маршрути, стрілки замкнені, ізольовані секції, що входять у маршрут, вільні і т. п. Навіть якщо команда, що надійшла з диспетчерського поста, сформована помилково (у результаті некоректних дій диспетчера, наприклад), її виконання до виникнення аварійної ситуації не призведе. Так, наприклад, небезпечна за своєю суттю команда «встановити маршрут приймання на колію № 3 (при зайнятій колії № 3)» не буде виконана пристроями ЕЦ, оскільки не виконано умови безпеки. Якщо ж третя колія в момент приймання команди виявилась вільною, маршрут буде встановлено, але, знову ж таки, без ризику створення аварії, оскільки в цьому випадку умови безпеки виконуються.

Такий підхід до розподілу функцій з забезпечення безпеки руху між системами ІРРП сприяв застосуванню для побудови систем ДЦ елементної бази «нижчих» класів надійності – від кодових реле і дискретних напівпровідникових елементів у перших системах ДЦ до інтегральних мікросхем,

мікроконтролерів, електронних обчислювальних машин – у сучасних. Це, у свою чергу, сприяло випереджальному розвитку систем диспетчерського управління порівняно з системами ЕЦ і АБ, особливо з моменту появи досить надійних і відносно недорогих офісних і промислових ЕОМ. Проте досвід експлуатації систем ДЦ показав, що традиційний розподіл функцій щодо забезпечення безпеки має, крім переваг, і ряд серйозних недоліків. Оскільки на ділянках, де впроваджуються системи ДЦ, на більшості станцій змінне чергування ДСП відсутнє, при деяких відмовах пристроїв ЗАТ можуть виникнути значні затримки поїздів. До таких відмов звичайно відносять такі:

- хибна зайнятість рейкового кола одноколійного перегону (неможлива зміна напрямку руху на цьому перегоні в штатному режимі);

- хибна зайнятість ізольованої секції встановлюваного маршруту (неможливо відкрити світлофор, що огорожує маршрут);

- порушення послідовності спрацьовування колійних реле після проходження поїзда (не розімкнено маршрут або частину маршруту);

- хибна зайнятість стрілочної секції, що виключає можливість переведення стрілки в штатному режимі.

Слід зазначити, що наведений перелік не є остаточним.

Зменшення часу затримок поїздів на дільницях з диспетчерським управлінням було б можливим, якби системи ДЦ, крім традиційних функцій, могли з необхідними показниками безпеки передавати команди **«Допоміжна зміна напрямку руху»**, **«Відкриття запрошувального сигналу»**, **«Штучне розмикання маршруту»**, **«Допоміжне переведення стрілки»** та ін. за потребою. Оскільки при виконанні зазначених команд ряд блокувальних залежностей з систем ІРРП станцій і перегонів знімається (не перевіряється фактична вільність станційних або перегінних ділянок колії), ці команди прийнято називати **«відповідальними»** – їх несанкціоноване формування і виконання може призвести до виникнення небезпечної ситуації.

Перераховані вище відмови апаратури ЗАТ трапляються і за наявності на станціях змінного чергування ДСП, проте в цьому випадку ціна відмов незрівнянно нижча порівняно з

диспетчерським управлінням. При автономному управлінні ДСП, діючи за посадовими інструкціями, особисто або через помічників переконуються у фактичній вільності перегонів або станційних колійних ділянок, потім, зробивши відповідні записи в журналі ДУ46 і отримавши дозвіл диспетчера, зривають пломбу з необхідної кнопки і керують станцією в допоміжному режимі.

При диспетчерському управлінні посадових осіб, здатних оперативно виконати необхідні перевірки для забезпечення безпеки руху, на станціях нема. Диспетчер, перебуваючи на значній відстані від об'єктів управління та контролю, особисто це завдання вирішити не може. Крім того, системи ДЦ з ряду об'єктивних причин (див. початок цього розділу) не можуть на належному рівні безпеки здійснювати передавання та виконання відповідальних команд. Тому при відмовах апаратури рейкових кіл рух поїздів на дільниці може бути зупинений на десятки хвилин або навіть на години до усунення несправності або до моменту передачі роздільного пункту на резервне управління.

Таким чином, введення оператором, передавання і виконання відповідальних команд являють собою серйозну проблему як організаційного, так і технічного характеру. Вирішення організаційних проблем вимагає розроблення для диспетчерського апарату та локомотивних бригад посадових інструкцій, що регламентують порядок проведення перевірок щодо виконання умов безпеки, форми доповідей, механізм їх реєстрації, послідовність дій диспетчерів під час введення відповідальних команд та ін. Повноцінне вирішення технічних проблем можливе лише шляхом підвищення безпечності систем ДЦ (або їх підсистем, призначених для передавання і виконання відповідальних команд) до рівня показників систем ЕЦ і АБ. Для цього потрібна принципова зміна підходу до побудови та функціонування систем ІРРП дільниць. Однак для систем ДЦ, що розробляються і впроваджуються на сьогодні, вказані завдання в будь-якому випадку повинні бути вирішені: як мінімум одна відповідальна команда вже визначена правилами технічної експлуатації, як обов'язкова (див. п. 1.4).

Контрольні питання до розділу

1. Поясніть призначення єдиних диспетчерських центрів керування.
2. Які принципи керування покладені в основу організації перевізного процесу на залізничному транспорті?
3. Якими показниками оцінюється якість роботи залізниць?
4. Що є основою оперативного керування рухом поїздів на магістральному транспорті?
5. У чому полягають основні завдання діяльності ДНЦ?
6. Поясніть призначення систем ІРРП станцій, перегонів, дільниць.
7. Як системи ІРРП впливають на ефективність роботи залізничного транспорту і його безпечність?
8. Дайте визначення диспетчерської централізації.
9. Чим відрізняються системи ДЦ і ДК?
10. Як поїзний диспетчер здійснює керування перевізним процесом, якщо станції не обладнані пристроями ЕЦ? Які можливості з'являються з обладнанням станцій ЕЦ, а перегонів АБ?
11. За яких умов (з якими технічними засобами на станціях і перегонах) можливе впровадження систем ДЦ? Чому?
12. Які вимоги висувають до систем ДЦ правила технічної експлуатації залізниць?
13. Що мають на увазі під диспетчерським, автономним, резервним, місцевим і сезонним керуванням?
14. Чому контроль стану всіх блок-ділянок перегонів не є обов'язковим для систем ДЦ?
15. На яких дільницях (з яким колійним розвитком) ефективність впровадження систем ДЦ найвища? Чому?
16. Обґрунтуйте економічну доцільність впровадження систем ДЦ.
17. Як впливає наявність підсистеми протоколювання (у сучасних системах ДЦ) на експлуатаційні показники роботи транспортного комплексу та безпеку руху? Чому?
18. Як традиційно розподіляються функції з забезпечення безпеки руху поїздів між системами ІРРП станцій, перегонів, дільниць?

19. При яких пошкодженнях пристроїв ЕЦ і АБ у випадку диспетчерського керування дільницею можливі значні затримки в русі поїздів?

20. Які команди, що передаються каналами ТУ систем ДЦ, називають відповідальними? Чому?

2. ЕЛЕМЕНТИ І ПРИСТРОЇ СИСТЕМ ДЦ З ЖОРСТКОЮ ЛОГІКОЮ ФУНКЦІОНУВАННЯ

У цьому розділі наведено відомості про напівпровідникові елементи і електронні пристрої, що найбільш широко використовуються для побудови систем диспетчерської централізації, у першу чергу з жорсткою логікою керування. Разом з тим володіння матеріалом за вказаною тематикою полегшить читачам вивчення загальних принципів побудови і функціонування будь-яких систем управління і контролю, у тому числі і мікропроцесорних.

Більш повну інформацію з питань електроніки та мікросхемотехніки можна знайти в роботах [14,15] або інших спеціалізованих виданнях.

2.1. Напівпровідникові діоди

Діод є приладом, опір якого залежить від полярності прикладеної до нього напруги і різко змінюється при її зміні. На рис. 2.1, а наведено умовне позначення напівпровідникового діода на електричних схемах. Вивід *a* називається *анодом*, а вивід *к* — *катодом*.

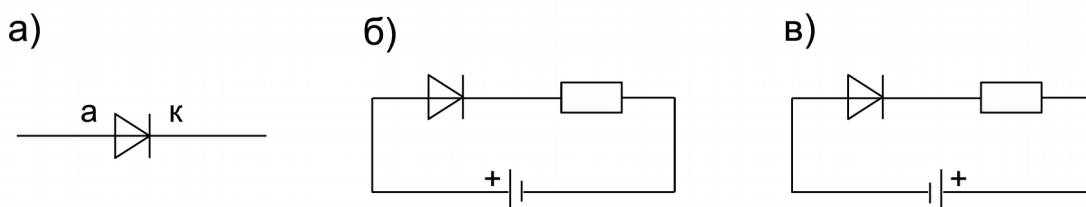


Рис. 2.1. Умовне позначення і схеми підключення діодів

Напрямок від анода до катода (визначений його графічним зображенням) називається пропусковим, оскільки при протіканні струму в цьому напрямі діод має малий опір (прямий). Протилежний напрям, що відповідає великому опору, називається заперним, а сам опір - зворотним. Прикладена до діода постійна напруга називається напругою зсуву. Якщо ця напруга викликає струм у пропусковому напрямі, зсув називається позитивним (рис. 2.1, б), а якщо в заперному – негативним (рис. 2.1, в).

Подаючи різну напругу зсуву, домагаються різних режимів роботи діода. Робочу точку можна вибрати як у позитивній (точка А), так і в негативній (точка Б) частинах вольт-амперної характеристики (рис. 2.2). Вибір робочої точки А забезпечується включенням діода за схемою, наведеною на рис. 2.1, б, при напрузі зсуву 1 В; робочої точки Б – включенням за схемою рис. 2.1, в при напрузі зсуву 15 В.

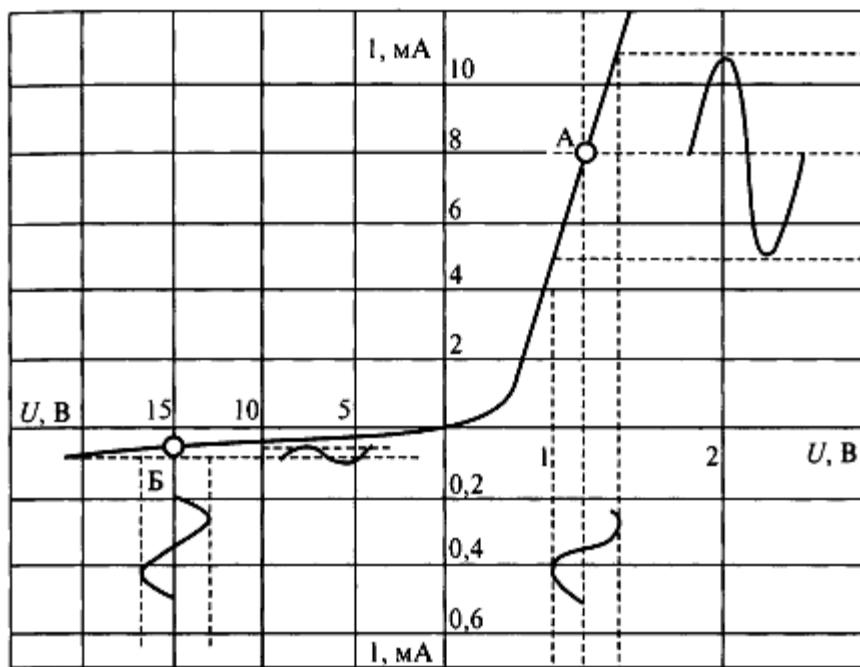


Рис. 2.2. Вольт-амперна характеристика діода

Якщо вхідна змінна напруга менша від позитивної напруги зсуву, то, незалежно від миттєвої полярності вхідної напруги, діод створює малий опір струму як у провідному, так і в заперному напрямках. Тобто практично не впливає на форму вихідної напруги і струму (рис. 2.3, а). За відсутності зсуву (рис. 2.3, б) діод виконує «випрямну» функцію, пропускаючи на вихід напругу тільки однієї із півхвиль джерела U_a . Тобто практично не впливає на форму вихідної напруги і струму (рис. 2.3, а).

При **негативному зсуві**, що перевищує амплітуду вхідної напруги, діод має великий опір як при прямій, так і при зворотній полярності, фактично розриваючи коло, у яке він включений: струм у навантаженні виявляється близьким до нуля (рис. 2.3, в).

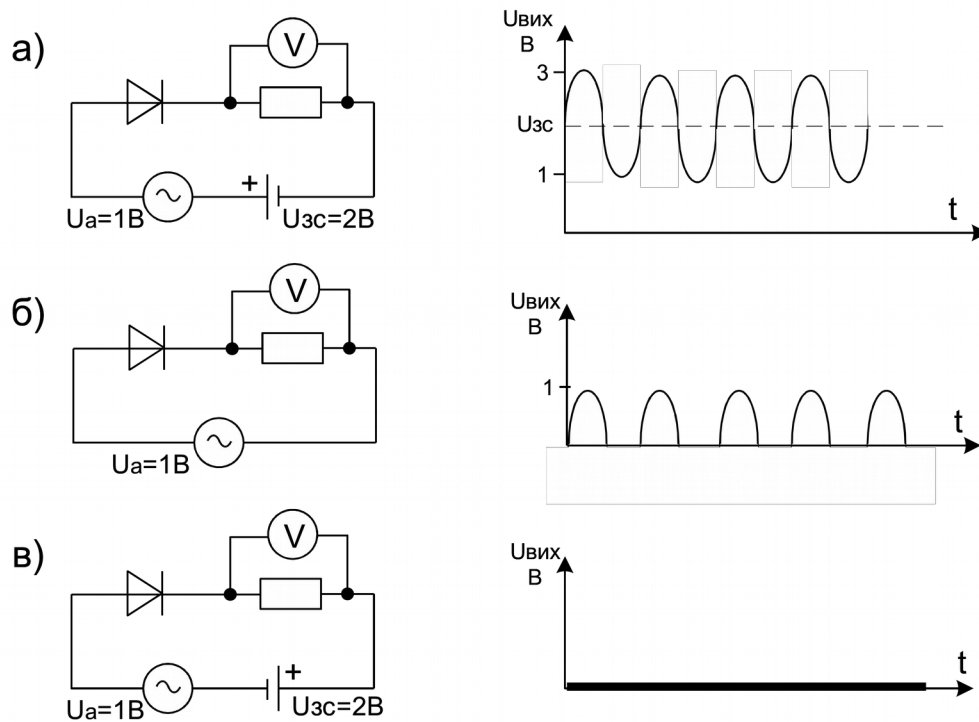


Рис. 2.3. Діаграми напруги на виході діодів: а – при позитивному зсуві ($U_{zc} > U_a$); б – при відсутності зсуву; в – при негативному зсуві ($U_{zc} > U_a$)

Наведені на рис. 2.3 діаграми є приблизними і ілюструють лише якісну залежність вихідної напруги від способу (полярності) підключення джерела напруги зсуву і джерела вхідної напруги. У реальних схемах вихідна напруга була б на 0.4...0.7 В нижчою від вказаних. Пояснюється це тим, що вольт-амперна характеристика діода нелінійна, причому найбільша нелінійність спостерігається в діапазоні 0.4...0.6 В для кремнієвих діодів і 0.1...0.4 В – для германієвих. При таких значеннях позитивної напруги зсуву опір діода ще великий, тому форма і амплітуда вихідної напруги значною мірою будуть залежати від співвідношення опорів діода і навантаження. У загальному випадку можна вважати, що на діоді, включеному в провідному напрямі, падіння напруги буде складати 0.5-0.6 В.

2.2. Транзистори

Біполярний транзистор – триполюсний напівпровідниковий прилад з двома р-п переходами. Він складається з областей

напівпровідника, що мають провідність різних типів і чергуються.

Залежно від послідовності чергування n- і p-областей розрізняють транзистори p-n-p і n-p-n типів. На практиці застосовують транзистори обох типів: принцип їх дії однаковий. Основними носіями зарядів у транзисторах n-p-n типу є електрони, а в транзисторах p-n-p типу – дірки.

Шари напівпровідника у складі транзистора називаються емітер, база і колектор. Зазвичай область колектора ширша, ніж емітера. Базу виготовляють із слаболегованого напівпровідника (внаслідок чого вона має великий опір) і роблять дуже тонкою. Оскільки площа контакту емітер-база значно менша від площі контакту база-колектор, поміняти емітер і колектор місцями за допомогою зміни полярності підключення не можна. Тому транзистор є несиметричним пристроєм.

Щоб зрозуміти відмінність між транзисторами p-n-p і n-p-n типів, не вдаючись у фізику роботи напівпровідникових переходів, умовно подамо переходи емітер-база і база-колектор у вигляді зустрічно включених діодів (рис. 2.4). (При цьому слід враховувати умовність наведеної схеми. Отримати прилад, що має властивості транзистора, електричним з'єднанням двох діодів неможливо. Однак для пояснення принципу роботи транзисторів така заміна цілком допустима [1].).

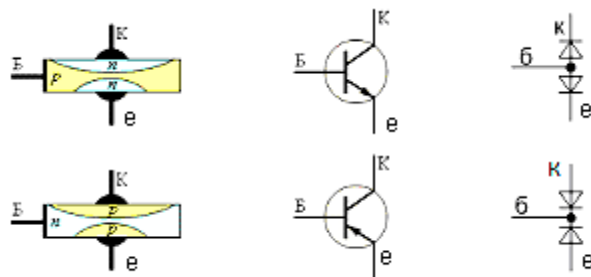


Рис. 2.4. Конструктивні відмінності, умовні позначення і еквівалентні схеми n-p-n і p-n-p транзисторів

Перехід емітер-база є керуючим, перехід колектор-база – керованим. За відсутності струму в колі база-емітер перехід база-колектор (а отже, і транзистор) закритий, за наявності струму через керуючий перехід з'являються передумови для появи струму в колі емітер-колектор, тобто для відкриття транзистора.

На прикладі схеми включення транзистора р-n-p типу (рис. 2.5, а) розглянемо деякі залежності між струмами I_k , I_b , I_e , що протікають через виводи транзистора. Всі ці залежності мають місце і в транзисторах n-p-n. За законом Кірхгофа струм I_e , що протікає через емітерний перехід, дорівнює сумі струмів I_k і I_b , що протікають через колекторний і базовий переходи:

$$I_e = I_b + I_k. \quad (2.1)$$

Струми колектора і емітера зв'язані співвідношенням

$$I_k = \alpha I_e. \quad (2.2)$$

Множник α (0.9 ... 0.99) називається коефіцієнтом передавання струму транзистора. З рівнянь (2.1), (2.2) випливає, що $I_k = \alpha I_b + \alpha I_k$; $\alpha I_b = I_k - \alpha I_k$; $I_b = (1-\alpha) I_k / \alpha$. Звідси

$$I_k = \alpha I_b / (1 - \alpha) = \beta I_b \quad (2.3)$$

Множник β називають коефіцієнтом посилення струму бази. У сучасних транзисторів β знаходиться в межах 50...200. Тобто збільшення або зменшення струму бази транзистора може викликати в β разів більшу зміну струму колектора. Однак це справедливо лише для певного режиму роботи транзистора, що залежить від схеми його включення, робочої напруги, опору навантаження та ін.

Оскільки транзистор не містить внутрішніх джерел живлення (енергії), сам по собі він не може забезпечити протікання струмів через ті чи інші кола. Тому **транзистор слід розглядати як керований струмом бази змінний резистор з опором, що може змінюватись у широких межах.**

Режими роботи транзисторів

Розглянемо особливості роботи транзисторів у безконтактних схемах, що виконують функції, аналогічні релейно-контактним схемами. За виразом (2.3) струм, що протікає через колекторний перехід, пропорційний струму бази. Серед усіх можливих станів, у яких транзистор може знаходитися залежно від величини струму бази, слід виділити два взаємно

протилежних, які широко використовуються в роботі безконтактних схем. Перший стан виникає, коли база має потенціал, що дорівнює (або більший) потенціалу емітера. Практично це досягається коротким замиканням виводів бази і емітера (при замкнених ключах S на рис. 2.5 а, б). У цьому випадку струм бази дорівнює нулю.

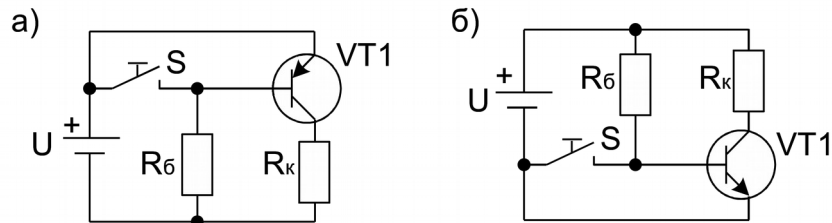


Рис. 2.5. Варіанти схем включення транзисторів: а – р-п-р типу; б – п-р-п типу

Відповідно до виразу (2.3) струм колектора також дорівнює нулю. Цей стан транзистора називається закритим, а режим роботи – режимом *відсікання*. У такому стані опір кола емітер-колектор транзистора сягає сотень тисяч Ом.

Другий стан виникає, коли через колекторний перехід транзистора протікає струм $I_k = U/R_k$. Очевидно, що це максимальне значення струму колектора. Це значення може бути досягнуто, коли опір кола емітер-колектор мінімальний, тобто транзистор повністю відкритий. Такий режим роботи транзистора називається режимом *насичення*.

За виразом (2.3) струм колектора може з'явитися тільки за наявності струму бази (наприклад, при розмиканні ключів S на рис. 2.5 а, б). Однак при жодному значенні струму бази транзистор не виявиться в режимі насичення. Визначимо мінімальне значення струму бази ($I_{бн}$ – струм бази насичення), при якому транзистор повністю відкриється. Оскільки в цьому режимі $I_k = U/R_k$, то $I_{бн} = U/\beta R_k$.

Для надійного відкриття транзистора необхідно, щоб фактичний струм бази I_b був більшим від $I_{бн}$ або хоча б дорівнював йому.

$$I_b \geq I_{бн} = U/\beta \min R_k, \quad (2.4)$$

де β_{\min} – найменший коефіцієнт підсилення за струмом, що може мати транзистор даного типу (довідкова інформація).

Особливістю роботи реальних схем з транзисторами, що працюють у ключових режимах, є те, що навіть на повністю відкритих транзисторах (у режимі насичення) спостерігається падіння напруги 0.4 ... 0.5 В. У деяких випадках ця особливість може мати небажані наслідки.

Припустимо, схема, наведена на рис. 2.5, а, використовується для управління силовим транзистором VT2 (рис. 2.6).

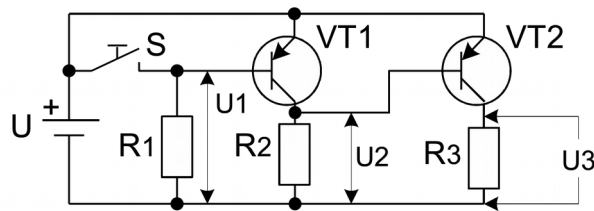


Рис. 2.6. Схема з каскадним з'єднанням транзисторів

Команди керування формуються замиканням/розмиканням ключа S . При замиканні ключа S напруга $U1$ виявиться рівною U , оскільки замкнений ключ має практично нульовий опір. Транзистор $VT1$ закриється, створивши умови для повного відкриття транзистора $VT2$. У цьому випадку $U3 = U - 0.5$ (В).

При розімкненому ключі S напруга $U1$ виявляється меншою, ніж потенціал емітера транзистора $VT1$, оскільки до бази транзистора підключений резистор $R1$ – транзистор відкривається, внаслідок чого підвищується напруга $U2$. Якби транзистор $VT1$ у відкритому стані мав нульовий опір, виконувалася б рівність $U2 = U$, де U – напруга джерела живлення. У цьому випадку умов для протікання струму бази $VT2$ не було б, транзистор $VT2$ виявився закритим, $U3 \rightarrow 0$. Однак, як було сказано раніше, фактичне значення напруги $U2$ на 0.5 В менше від U . Тобто, на 0.5 В менше потенціалу емітера $VT2$. У цьому випадку в колі емітер-база транзистора $VT2$ можлива поява струму I_b , здатного вивести цей транзистор з режиму відсікання. Найімовірніше, $VT2$ буде знаходитися в активному режимі, при цьому $0 < U3 < U$.

Для гарантованого закриття транзисторів застосовуються схемні рішення, наведені на рис. 2.7 а, б.

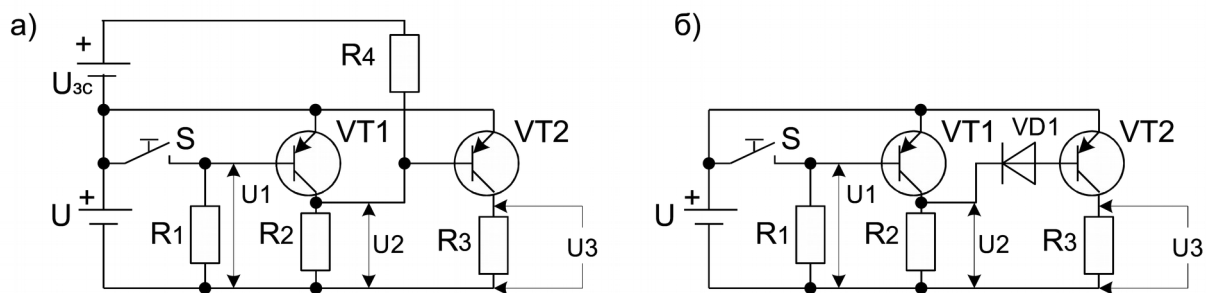


Рис. 2.7. Варіанти схем для забезпечення режиму відсікання:
а – з додатковим джерелом напруги зсуву; б – з діодом у колі бази транзистора

У схемі, наведеній на рис. 2.7, а, гарантоване закриття транзистора VT2 забезпечується негативним зсувом на перехід база-емітер VT2 від додаткового джерела з напругою U_{zc} . U_{zc} повинно бути 0.7...1.0 В. У цьому випадку можна прийняти, що у всіх режимах роботи транзистора VT1 до його вихідної напруги U_2 додається U_{zc} . Як наслідок, при відкритому VT1 сума $U_2 + U_{zc}$ виявляється більшою від U , що дозволяє гарантовано закрити VT2. При закритому VT1 сума напруг ($U_2 + U_{zc}$) $< U$, завдяки чому VT2 відкривається.

У схемі, наведеній на рис. 2.7, б, впевнене закриття транзистора VT2 при відкритому VT1 досягається включенням у коло струму бази VT2 діода VD1. Для протікання струму бази VT2 необхідно, щоб різниця потенціалів між емітером VT2 і колектором VT1 перевищила сумарне падіння напруги на діоді VD1 і переході емітер-база транзистора VT2 при позитивному зсуві (фактично, на двох р-п переходах: 0.8...1.0 В). Іншими словами, для появи струму бази VT2 напруга U_2 має бути на 1 В нижчою порівняно з напругою джерела живлення. При відкритому ж VT1 U_2 лише на 0.5 В нижча від U , тому транзистор VT2 виявиться закритим.

Аналогічні рішення застосовуються і в схемах, що містять транзистори n-p-n типу.

2.3. Логічні елементи

2.3.1. Умовні позначення логічних елементів

Припустимо, необхідно створити пристрій, що контролює стан двох інших пристроїв, які можуть знаходитися в стійких станах: «ввімкнено» і «вимкнено». За результатами контролю, створюваний пристрій повинен вмикати індикатор. Причому індикатор повинен бути ввімкнений, якщо стан контрольованих пристроїв однаковий (обидва ввімкнені або обидва вимкнені), і вимкнений - якщо різний.

Очевидно, що розроблюваний пристрій повинен мати входи, на які надходять сигнали про стан контрольованих пристроїв, і вихід для керування індикатором (рис. 2.8).

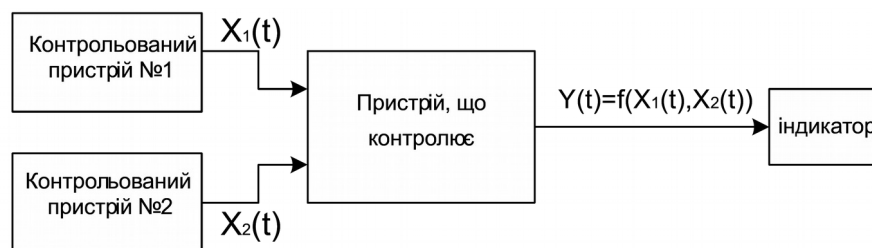


Рис. 2.8. Структурно-логічна схема пристрою, що синтезується

Залежності між вхідними та вихідними сигналами називаються *логічними залежностями*, а схеми, що реалізують ці залежності, – *логічними схемами*. Особливістю логічних схем будь-якої складності є застосування в них ключових елементів, що створюють певну залежність між вхідними та вихідними потенціалами (напругами). Причому і вхідні, і вихідні потенціали можуть приймати тільки два значення.

Існує спеціальний розділ математики – булева алгебра (алгебра логіки), за допомогою якої логічні операції, що виконуються схемами, можуть подаватися в математичній формі, де кожна вихідна логічна змінна однозначно описується за законами булевої алгебри як функція вхідних логічних змінних.

Процес створення та мінімізації логічних функцій, що описують роботу схем, називається *логічним аналізом*. Процес побудови електричних схем на підставі проведеного логічного аналізу називається *логічним синтезом*.

Використання алгебри логіки дозволяє строго математично знаходити оптимальні рішення залежно від поставленого завдання, і врешті-решт не тільки забезпечити логіку роботи схеми, але й мінімізувати саму схему. У результаті усувається апаратна надлишковість, підвищується надійність і швидкодія, пристрій стає дешевшим.

У даному навчальному посібнику не ставиться завдання викласти курс алгебри логіки, проте на деяких функціях, що мають практичний інтерес і є найбільш вживаними, слід зупинитися.

Найпростішими функціями алгебри логіки є логічне додавання (диз'юнкція), множення (кон'юнкція), заперечення (інверсія).

Логічне додавання (операція АБО): $f1(x1, x2) = x1 + x2$ – це функція, що приймає значення 1, якщо хоча б одна з вхідних змінних дорівнює 1. Якщо обидві змінні $x1$ і $x2$ одночасно дорівнюють 0, то і $f1(x1, x2) = 0$. Запис $x1 + x2$ читається як $x1$ АБО $x2$. Використовуючи еквівалентний знаку «+» символ диз'юнкції «V» операція АБО може бути записана як $f1(x1, x2) = x1 \vee x2$.

Логічне множення (операція І): $f2(x1, x2) = x1 \cdot x2$ – це функція, яка приймає значення 1, якщо обидві змінні одночасно дорівнюють 1. Якщо хоча б одна зі змінних дорівнює 0, то і $f2(x1, x2) = 0$. Запис $x1 \cdot x2$ читається як $x1$ І $x2$. Операція І може бути записана як $f2(x1, x2) = x1 \wedge x2$.

Логічне заперечення $f(x) = \bar{x}$, операція НЕ - це функція, яка дорівнює 0, якщо $x = 1$, і дорівнює 1, якщо $x = 0$. Запис \bar{x} читається як інверсія x або НЕ x .

Часто використовуються комбінації логічних операцій: логічне додавання з наступною інверсією (АБО-НЕ) і логічне множення з наступною інверсією (І-НЕ).

Умовні позначення і таблиці істинності базових логічних елементів наведені на рис. 2.9.

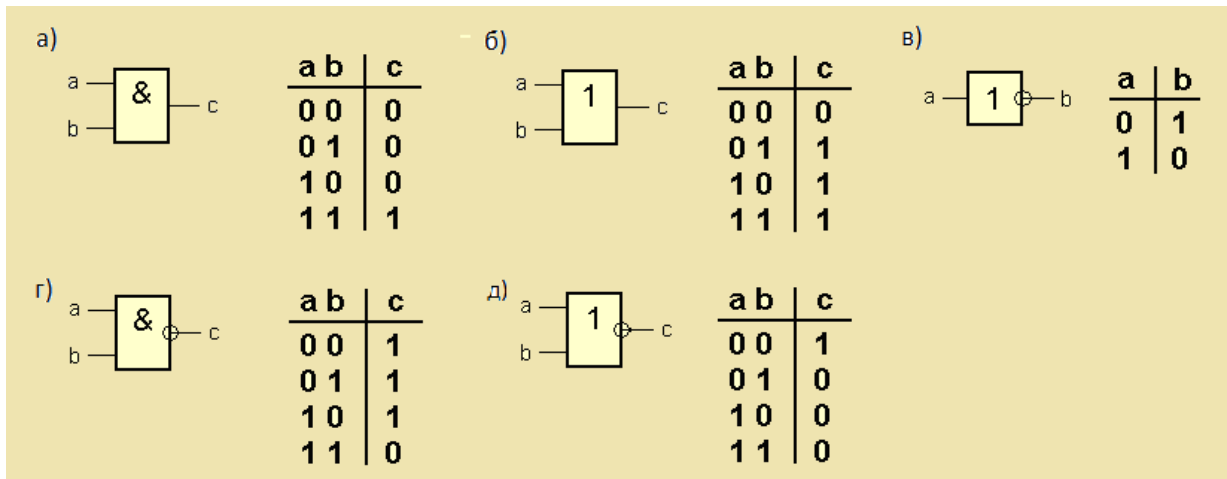


Рис. 2.9. Умовні позначення і таблиці істинності логічних елементів: а – І; б – АБО, в – НЕ, г – І-НЕ, д – АБО-НЕ

Повернемося до розглянутого на початку цього розділу завдання і складемо для розроблювального пристрою таблицю істинності. І вхідні (X_1 , X_2), і вихідний (Y) сигнали можуть приймати тільки значення 0 і 1 (рис. 2.8), тому при розробленні пристрою можна (і необхідно) застосовувати правила логічного аналізу. Домовимося, що для вмикання індикатора вихідний сигнал Y повинен приймати значення 1, а для вимикання – 0. Оскільки, за завданням, індикатор повинен бути ввімкнений при однакових значеннях вхідних сигналів ($X_1=X_2=0$ і $X_1=X_2=1$), таблиця істинності для створюваного пристрою буде мати вигляд, наведений на рис. 2.10, а.

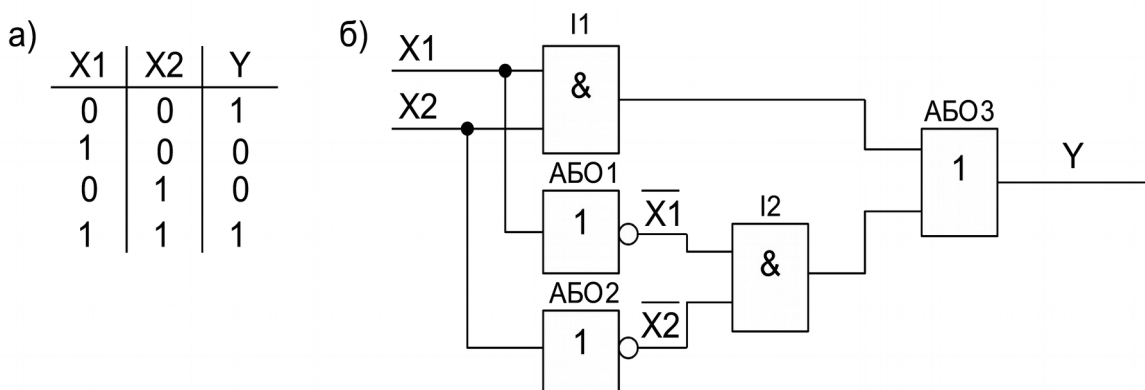


Рис. 2.10. Таблиця істинності (а) і структурно-логічна схема (б) створюваного пристрою

Четвертий рядок таблиці істинності реалізують елементи **ІІ** та **АБО3** (за верхнім входом). Тобто якщо $X_1=X_2=1$, логічна 1 з'явиться спочатку на виході елемента ІІ, а потім і на виході

елемента АБОЗ (за логікою роботи вказаних елементів (рис. 2.9)). У випадку, якщо $X1=X2=0$ (перший рядок таблиці істинності), одиниці з'являться на виходах інверторів АБО1, АБО2. Елемент І2 та елемент АБОЗ (за нижнім входом) відпрацюють у цьому випадку так само, як і І1 та АБОЗ в раніше розглянутій ситуації – на виході Y з'явиться 1. При неоднакових сигналах на входах X1, X2 (другий і третій рядки таблиці істинності) «нулі» одночасно з'являться на виходах елементів І1 та І2, а отже, і на виході Y.

2.3.2. Електричні схеми логічних елементів

Інвертори і повторювачі

Транзистор із вхідним колом бази і вихідним колекторним колом являє собою інвертор – елемент, який, окрім посилення, змінює на 180 градусів фазу вхідного сигналу. Стосовно електричних кіл постійного струму, вираз «змінює фазу» означає, що при підвищенні потенціалу на базі (вхід транзистора) знижується потенціал на колекторі (вихід транзистора) і навпаки. Кожен з транзисторів, схеми яких наведені на рис. 2.5, 2.7, включено, як інвертори. Транзистори VT1 і VT2 (рис. 2.7) завдяки каскадному (послідовному) з'єднанню здійснюють подвійне інвертування вхідного сигналу, що еквівалентно роботі в режимі повторювача. Тобто кожен з транзисторів змінює фазу сигналу, що надходить на його вхід, на 180 градусів, а сумарна зміна складе 360 градусів: вихідний сигнал буде синфазним з вхідним. При двокаскадному включенні транзисторів (незалежно від того, у режимі інверторів, повторювачів або комбінацій цих режимів) коефіцієнт посилення $\beta = \beta_1 \cdot \beta_2$, де β_1 і β_2 – коефіцієнти підсилення за струмом транзисторів першого і другого каскадів відповідно.

На рис. 2.11 наведено схеми включення транзисторів у режимах інверторів (а), в)) і повторювачів (б), г)) вхідних сигналів.

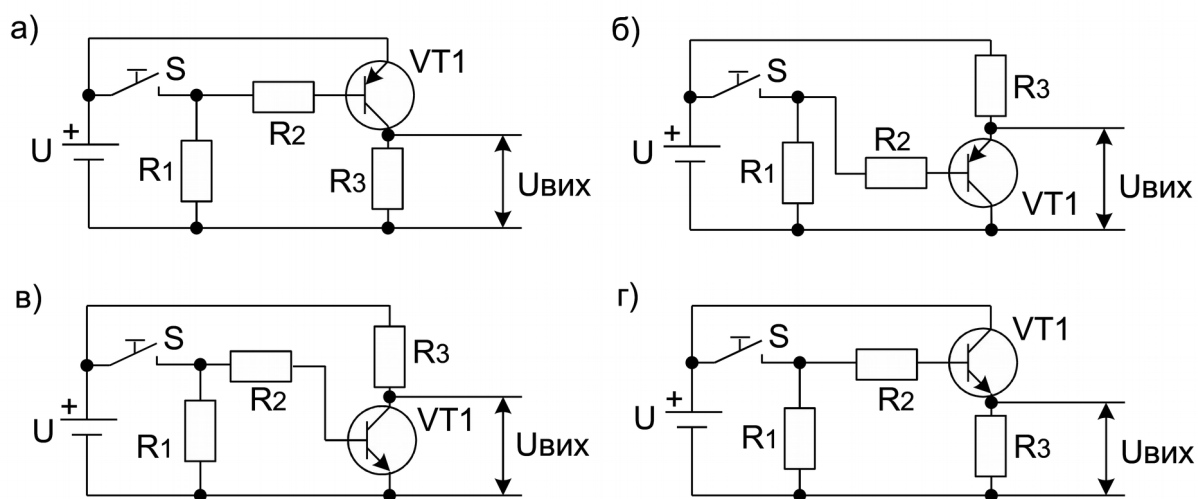


Рис. 2.11. Схеми включення транзисторів: а – р-п-р типу в режимі інвертора; б – р-п-р типу в режимі повторювача; в – п-р-п типу в режимі інвертора; г – п-р-п типу в режимі повторювача

Залежно від типу джерел вхідних сигналів, прийнятих рівнів логічних «1» і «0» для забезпечення необхідних режимів роботи транзисторів (відсічення і насичення) наведені схеми можуть доповнюватися елементами і схемними рішеннями, аналогічними розглянутим у розділі 2.2 (рис. 2.7).

Логічні елементи АБО, АБО-НЕ

Можливі варіанти електричних схем логічних елементів АБО, АБО-НЕ наведені на рис. 2.12. Домовимося, що одиниці відповідає напруга позитивної полярності з амплітудою 7...12 В, нулю – напруга з амплітудою, що знаходиться в діапазоні 0...6 В.

На рис. 2.12 позначено: пунктиром - «межі» логічних елементів; X1, X2 – входи; Y – вихід. Електромеханічні ключі S1 і S2 дозволяють подавати на входи логічних елементів керуючі сигнали: при розімкнених ключах – «0», при замиканні – «1». Хотілося б особливо відзначити той факт що «0» і «1» – це умовні позначення сигналів, прийняті в «міжлюдському» спілкуванні. Електронні пристрої «не розуміють» таких умовностей і оперують тільки з напругами (струмами), здатними якимось чином змінити режим роботи елементів.

Розглянемо роботу електричної схеми логічного елемента АБО (рис. 2.12, а). При розімкнених ключах S1, S2 транзистор VT1 закритий, оскільки позитивна напруга через діоди VD1 і

VD2 на базу транзистора не надходить, а резистором R1 база підключена («підтягнута») до негативного полюса джерела живлення. Як наслідок – вихідна напруга низька («0», перший рядок таблиці істинності (рис. 2.9)). Замикання будь-якого з ключів (або обох одночасно) призведе до відкриття транзистора і підвищення вихідної напруги практично до 12 В («1», другий, третій і четвертий рядки таблиці істинності).

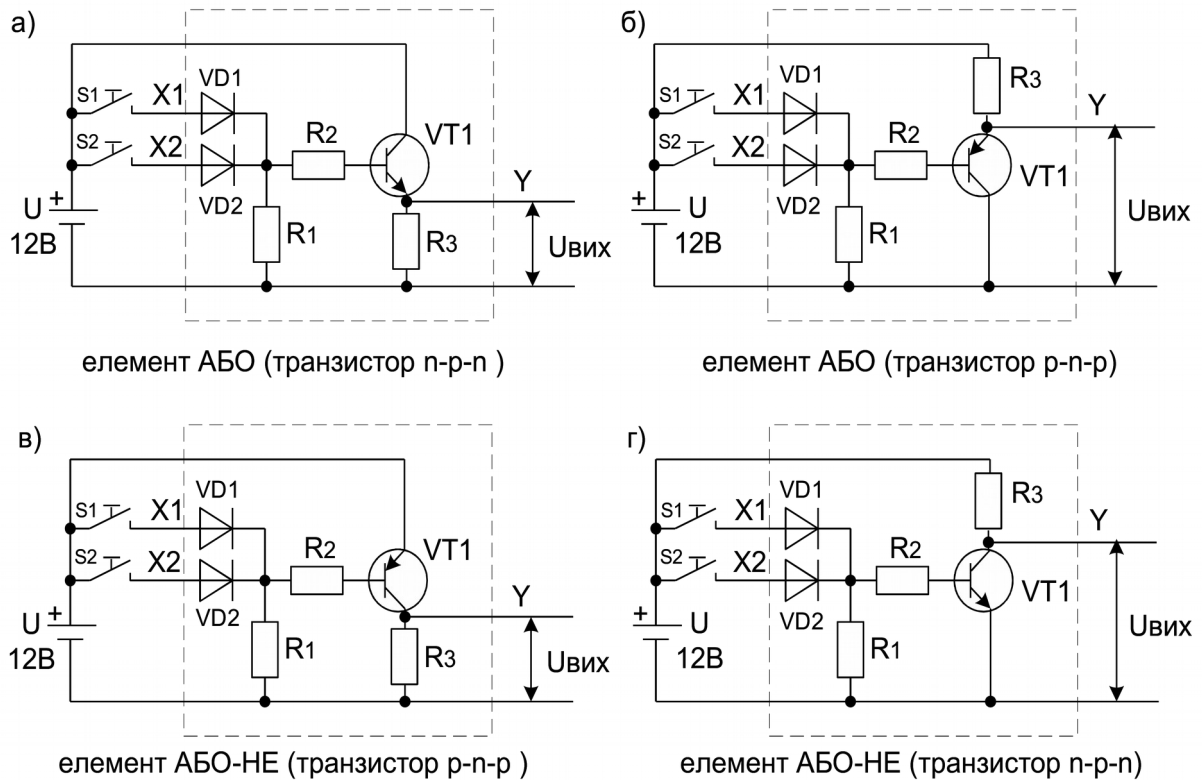


Рис. 2.12. Електричні схеми логічних елементів АБО, АБО-НЕ

Роботу логічного елемента АБО-НЕ розглянемо на прикладі схеми, наведеної на рис. 2.12, г. У загальному випадку операція АБО-НЕ - це дві логічних операції: АБО + НЕ. Логічна операція АБО реалізується аналогічно зі схемою, розглянутою раніше, а інверсію (логічне заперечення) реалізовано за рахунок включення навантаження в колекторне коло транзистора VT1 (див. «Інвертори»). Тому в цій схемі напруга на виході буде відповідати «1» тільки при розімкнених одночасно ключах S (при двох 0 на входах). У будь-якій іншій комбінації вхідних сигналів вихід Y буде перебувати в стані «0».

Слід зазначити, що для створення елементів АБО-НЕ можна було б як базові використовувати схеми елементів АБО, наведені

на рис. 2.12, а, б, а логічну операцію НЕ виконати за допомогою додаткового транзистора, включивши його за схемою інвертора.

Логічні елементи І, І-НЕ

Для випадку, коли логічній 1 відповідає відносно висока напруга позитивної полярності, а 0 – низька, схеми логічних елементів І та І-НЕ можуть виглядати так, як зображено на рис. 2.13.

Розглянемо роботу електричної схеми логічного елемента І на прикладі схеми рис. 2.13, а. При розімкнених ключах S1, S2 транзистор VT1 повинен бути закритим для формування низької вихідної напруги (вимога першого рядка таблиці істинності для елемента І (рис. 2.9)). У наведеній схемі ця вимога буде виконана, якщо потенціал точки «а» (точка з'єднання анодів діодів) виявиться меншим 0.5...0.7 В, необхідних для забезпечення протікання струму бази VT1 по колу +U, R3, діод VD3, перехід база-емітер VT1, резистор R4. У свою чергу це можливо, якщо опір резистора R3 буде в 30-40 разів більше від опору резисторів R1 і R2. У цьому випадку діоди VD1, VD2 і резистори R1, R2 утворюють два паралельних кола, які шунтують базу транзистора, утримуючи його в закритому стані і підтримуючи низьку напругу (0) на виході Y. При замиканні одного з ключів, наприклад S1, на катод діода VD1 буде подано високу напругу, що призведе до закриття діода і «розмикання» одного з двох паралельних кіл. Однак діод VD2 і резистор R2 продовжують шунтувати базу транзистора і підтримують у точці «а» низький потенціал – транзистор залишається закритим. І тільки в разі одночасного замикання двох ключів обриваються обидва кола, якими протікав струм бази; потенціал точки «а» зростає, транзистор відкривається, формуючи «1» на виході Y.

Незалежно від типу транзисторів у пристроях, що реалізують функцію І, вхідні сигнали повинні «обривати» паралельні кола, які або шунтують базу (при використанні транзисторів n-p-n типу), або якими, власне, і протікає струм бази (при використанні транзисторів p-n-p типу).

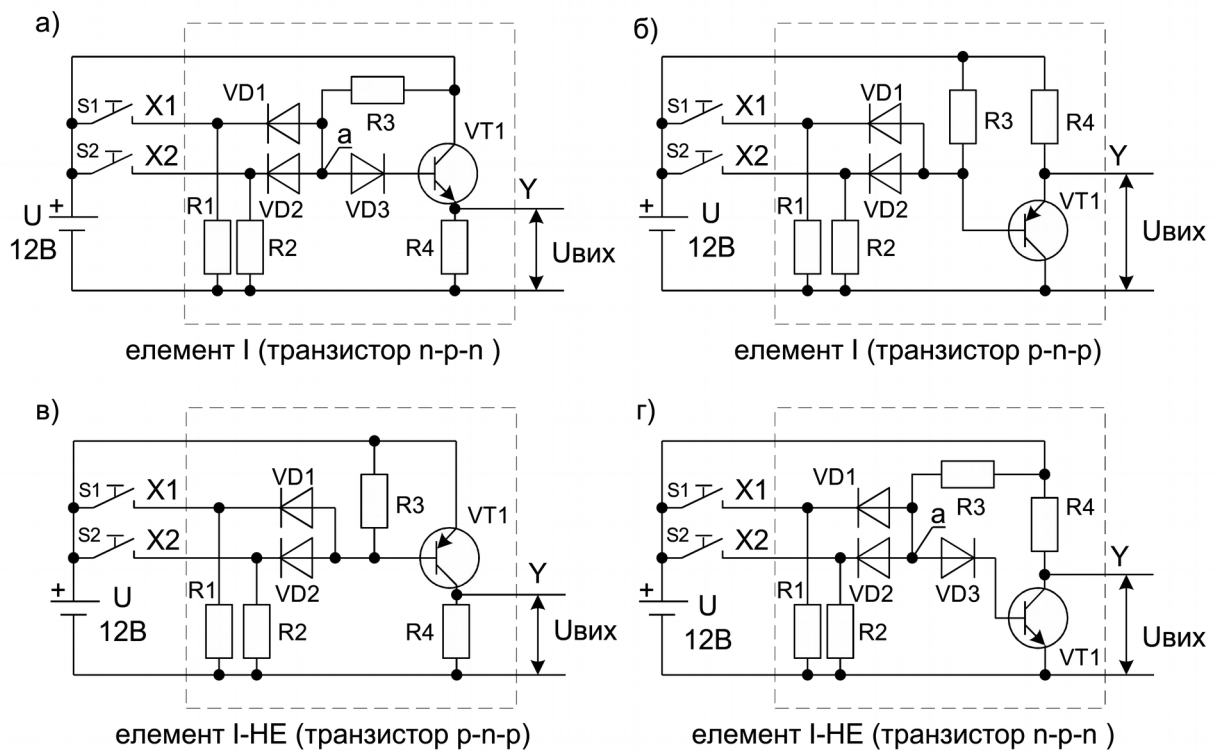


Рис. 2.13. Електричні схеми логічних елементів I, I-HE

Так, у схемі, наведеній на рис. 2.13, б, при розімкнених ключах $S1, S2$ ($X1=X2=0$) транзистор $VT1$ відкритий ($Y=0$), оскільки паралельно з'єднаними діодами $VD1, VD2$, резисторами $R1, R2$ створено два можливих кола протікання струму бази. Причому для утримання транзистора у відкритому стані досить одного. Тому для закриття транзистора необхідно «розірвати» обидва кола. Ця вимога виконується підключенням джерела запірної напруги до катодів діодів – одночасним замиканням ключів $S1, S2$.

Принципи побудови схем, що реалізують логічну функцію I-HE, аналогічні принципам, розглянутим у попередньому підрозділі.

2.4. Тригери

Тригером називається пристрій з двома стійкими станами, здатний необмежено довго зберігати один із них і стрибкоподібно переходити в інший, коли на відповідний вхід керування надходить імпульс певної полярності і амплітуди. Існує багато різновидів тригерних схем [1, 16], призначених для вирішення тих чи інших завдань у системах керування, контролю, зв'язку

тощо. У системах ДЦ з жорсткою логікою функціонування тригери застосовуються в якості елементів пам'яті і лічильників. Тому в даному посібнику розглянемо тільки дві схеми: з роздільними входами (застосовуваними в якості елементів пам'яті) і спільними входами (застосовуваними для побудови лічильників). Слід зазначити, що елементна база, використовувана для побудови тригерів, може відрізнитись від пристрою до пристрою, чи від системи до системи, але загальний принцип їх роботи залишається незмінним. В системах диспетчерської централізації, зокрема в ДЦ «НЕВА», використовуються тригери, побудовані на базисі дискретних напівпровідникових елементів. Схеми саме таких тригерів і будуть розглянуті в наступних розділах.

2.4.1. Схема тригера з роздільними входами

У схемі тригера з роздільними входами (рис. 2.14) один із стійких станів забезпечується відкритим транзистором Т1 і закритим Т2, а інший – відкритим Т2 і закритим Т1. Всі інші стани нестійкі і можуть існувати в таких ситуаціях:

- у момент переходу з одного стійкого стану в інший;
- при одночасному надходженні на окремі входи тригера сигналів керування, тобто при порушенні нормальної логіки роботи тригера.

Стойкі стани тригера забезпечуються взаємним впливом транзисторів VT1 на VT2 і VT2 на VT1. При правильному підборі опорів резисторів будь-який з транзисторів, перебуваючи у відкритому стані, утримує в закритому стані інший транзистор. Так, якщо відкритим виявляється транзистор VT1, на його колекторному навантаженні (резистор R5, вихід \bar{e}) буде присутня висока напруга, що виключає можливість протікання струму бази VT2. У той же час закритий транзистор VT2 створює умови для утримання у відкритому стані транзистора VT1.

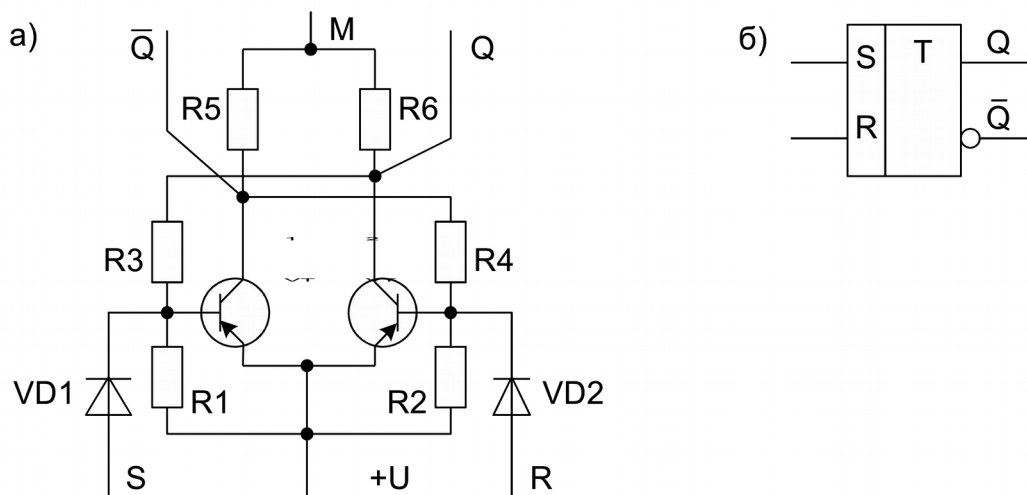


Рис. 2.14. Електрична схема (а) і умовне позначення (б) тригера з роздільними входами

За такого стану схеми перемикнути тригер можна лише примусово, закривши транзистор VT1 поданням на його базу (вхід S) керуючого сигналу з високою позитивною амплітудою. Як тільки VT1 закриється, знизиться напруга на його виході, що призведе до відкриття транзистора VT2. Струм бази VT2 буде протікати по колу +U – емітер-база VT1 - R4 - R5 - «М». Відкритий транзистор VT2 заблокує в закритому стані VT1. Зняття керуючого сигналу з входу S вже не змінить стан тригера: на виході Q буде присутня 1, на інверсному виході (\bar{Q}) - 0. Більш того, з цього моменту імпульси позитивної полярності, що можуть надходити на вхід S («set» – «встановити»), не призведуть до перемикання тригера.

Прийнято вважати: якщо 1 присутня на виході Q (0 – на виході \bar{Q}), то і тригер знаходиться в стані 1; якщо тригер встановлений у 0 – 0 буде присутній на виході Q, на інверсному виході \bar{Q} - 1.

Для скидання тригера («reset» – «скинути») необхідно подати керуючий сигнал на вхід R для примусового закриття транзистора VT2.

У розглянутій схемі для перемикання тригера з одного стану в інший імпульси однієї і тієї самої полярності необхідно по черзі подавати на різні входи: для встановлення в 1 – на вхід S, для встановлення в 0 – на вхід R. Одночасне надходження сигналів з

рівнями логічної одиниці на входи S і R (якщо саме «1» є сигналом керування) неприпустиме.

2.4.2. Схема тригера зі спільними входами

Від тригера з роздільними входами тригер із спільними входами відрізняється тим, що зміна його стану відбувається при надходженні імпульсів однієї і тієї самої полярності в одну і ту саму точку. У схемі, наведеній на рис. 2.15, а, спільним входом є точка *m*, що з'єднує обкладки 2 конденсаторів C1 і C2. Керуючі імпульси надходять на вхід тригера з ключа S1.

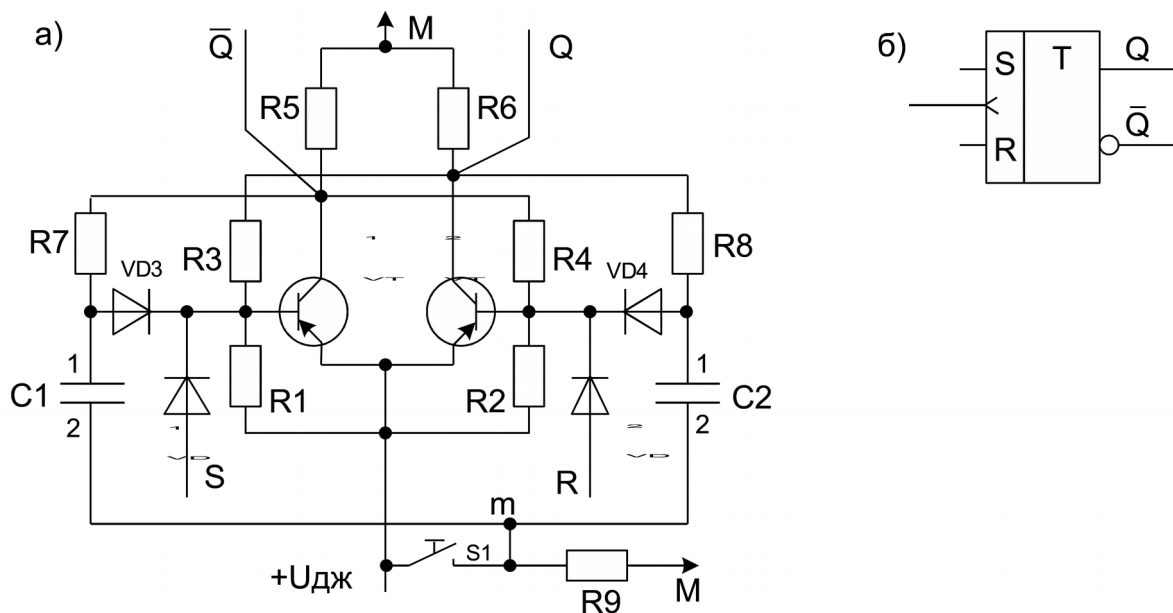


Рис. 2.15. Електрична схема (а) і умовне позначення (б) тригера зі спільними входами

Нехай у вихідному стані тригера VT1 – відкритий, VT2 – закритий. При відкритому VT1 напруга на виході \bar{Q} висока ($U-0.5$ В, де U – напруга живлення). Цією напругою утримується в закритому стані транзистор VT2 і заряджається конденсатор C1 по колу $+U$ – емітер-колектор відкритого VT1 – резистор R7 - C1 - R9 - «М». Причому обкладка 1 конденсатора заряджена позитивним зарядом, обкладка 2 – негативним. Оскільки VT2 закритий, на виході Q низька напруга, що сприяє утриманню у відкритому стані транзистора VT1 і створює можливість

практично повного розрядження конденсатора С2 по колу обкладка 1 С2 - R8 - R6 - «М» - R9 – обкладка 2 конденсатора С2. (Залишкова напруга на розрядженому конденсаторі С2 визначається потенціалом виходу Q тригера, тобто падінням напруги на резисторі R6, обумовленим протіканням струму бази VT1.)

У момент замикання ключа S1 потенціал точки m підвищується до напруги джерела живлення (+Uдж). З урахуванням того, що конденсатор С1 був заряджений, сумарна напруга (Uдж+UC1) на базі транзистора VT1 виявляється майже вдвічі більшою, ніж напруга на емітері: VT1 закривається. Короткочасно виявляються закритими обидва транзистори. Після часткового зарядження конденсатора С2 по колу +Uдж - S1 - С2 - R8 - R6 напруга на базі VT2 стає нижчою порівняно з потенціалом емітера цього транзистора, і транзистор відкривається. У наведеній схемі перемикання тригера відбувається по передньому фронту керуючих (тактових) імпульсів. У момент розмикання ключа стан тригера не змінюється. У цій фазі роботи тригера, під час інтервалу між імпульсами, відбувається зарядження конденсатора С2 і розрядження С1. Причому обкладка 1 конденсатора С2 виявляється зарядженою позитивним зарядом, а обкладка 2 – негативним.

У загальному випадку: під час кожного наступного тактового імпульсу закривається той транзистор, до бази якого виявився підключеним заряджений конденсатор (С1 або С2).

2.5. Лічильники

Лічильником називається типовий функціональний вузол електроніки, призначений для підрахунку вхідних імпульсів. Лічильник являє собою послідовне з'єднання тригерів певного типу, які утворюють пам'ять з заданою кількістю стійких станів.

Тригери зі спільними входами широко використовуються для побудови лічильників. Справа в тому, що подібні тригери перемикаються у два рази рідше порівняно з перемиканням пристрою, що формує керуючі імпульси. Так, замикання і розмикання ключа S1 (рис. 2.15, а) призведе до одноразового (з 1

в 0 або з 0 в 1) перемикання тригера. Повторне замикання і розмикання ключа поверне тригер у первинний стан. Фактично тригери з загальними входами ділять частоту надходження керуючих імпульсів на два. Поєднуючи послідовно виходи одних тригерів з входами інших, можна побудувати двійковий лічильник з будь-якою розрядністю.

Розрядність лічильника n дорівнює кількості Т-тригерів, використаних для його побудови. Кожний вхідний імпульс змінює стан лічильника; цей стан зберігається до надходження наступного сигналу керування. Значення виходів тригерів лічильника Q_n, Q_{n-1}, \dots, Q_1 відображують результат лічби в прийнятій системі числення. Вхідні імпульси можуть надходити до лічильника як періодично, так і довільно розподіленими в часі.

Лічильники характеризуються модулем і ємністю лічби. Модуль лічби **Клч** (його ще називають коефіцієнтом перерахунку) визначає кількість станів лічильника. У двійкових n -розрядних лічильників **Клч** $= 2^n$. Після підрахунку кількості імпульсів $N_{вх} = \text{Клч}$ лічильник повертається в початковий стан.

Ємність лічби **Nmax** визначає максимальну кількість вхідних імпульсів, яку лічильник може зафіксувати за один цикл роботи. За умови, що робота лічильника починається з нульового стану, **Nmax** $= \text{Клч} - 1$. Але остання рівність справедлива за умови, якщо лічильник не має спеціальних апаратних пристроїв, які обмежують кількість його можливих станів (див. *Схеми скорочення лічби*).

Залежно від призначення лічильники можуть працювати в режимах **керування, накопичення і ділення**. У режимі керування зчитування інформації про стан тригерів здійснюється після кожного вхідного тактового імпульсу, наприклад у розподільниках. У режимі накопичення головним є підрахунок заданої кількості імпульсів або лічба протягом певного проміжку часу (у пристроях, призначених для визначення частоти надходження імпульсів або частоти сигналу, наприклад). У режимі ділення (перерахунку) кінцевою метою є формування послідовності імпульсів з частотою, у **Клч** (або **Кд**) разів меншою від частоти вхідних імпульсів; **Кд** – необхідний (заданий) коефіцієнт ділення. У системах ДЦ лічильники найчастіше застосовуються у складі розподільників і дільників частоти.

За напрямком лічби лічильники бувають простими (підсумовувальними або віднімальними) і реверсивними.

2.5.1. Підсумовувальні лічильники

Розглянемо роботу трирозрядного лічильника, схема якого наведена на рис. 2.16, а, де ГТІ – генератор тактових імпульсів, Т1, Т2, Т3 – тригери першого, другого і третього ступенів лічильника.

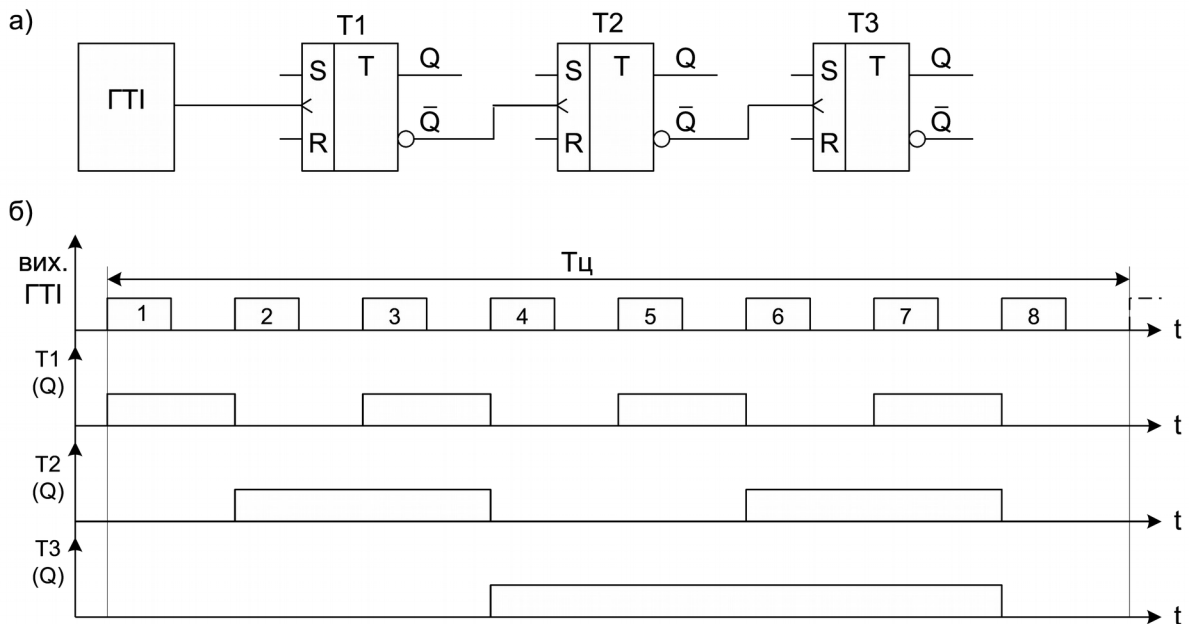


Рис. 2.16. Схема трирозрядного підсумовувального двійкового лічильника (а) і часова діаграма його роботи (б)

Тригери лічильника з'єднані між собою так, що *інверсні* виходи тригерів молодших розрядів керують роботою тригерів старших розрядів. Якщо схеми тригерів аналогічні наведеній на рис. 2.15, а, перемикання тригерів буде відбуватися **тільки при зміні напруги на їх входах з «0» в «1»**. Нехай до моменту формування імпульсу №1 на виході ГТІ всі тригери перебували в нульовому стані ($T_1=0$, $T_2=0$, $T_3=0$). Тобто на виходах Q були присутні 0, а на виходах \bar{Q} – 1. Вихід генератора тактових імпульсів (він же вхід тригера Т1) до моменту часу t_0 знаходився в стані «0». У момент формування переднього фронту першого тактового імпульсу відповідно до прийнятої логіки роботи тригерів із загальними входами Т1 перемикається в «1». На його

інверсному виході, який є входом тригера T2, сигнал змінюється з «1» в «0», тому тригер T2 зберігає свій попередній стан.

Таким чином, під час першого тактового імпульсу, а також протягом першого інтервалу стан тригерів лічильника буде $T3=0$, $T2=0$, $T1=1$. По передньому фронту другого тактового імпульсу відбувається чергове перемикання T1, цього разу з 1 в 0. На його інверсному виході сигнал змінюється з 0 в 1, і тригер T2 перемикається в 1. Тригер T3 зберігає свій попередній стан - 0. Під час другого такту (другий імпульс + другий інтервал) тригери перебувають у стані $T3=0$, $T2=1$, $T1=0$. Під час третього тактового імпульсу T1 встановиться в 1, а T2 і T3 залишаться в попередньому стані, тобто $T3=0$, $T2=1$, $T1=1$. Неважко помітити, що тригери лічильника у процесі його роботи у двійковому коді зберігають інформацію про кількість імпульсів, що надійшли. Протягом четвертого такту тригери будуть перебувати в стані $T3=1$, $T2=0$, $T1=0$; під час п'ятого – $T3=1$, $T2=0$, $T1=1$; шостого – $T3=1$, $T2=1$, $T1=0$; сьомого – $T3=1$, $T2=1$, $T1=1$. По передньому фронту восьмого тактового імпульсу всі тригери перемкнуться в нульовий стан – цикл роботи трирозрядного лічильника на цьому закінчився. З надходженням дев'ятого імпульсу лічильник поводить себе так само, як і під час першого.

2.5.2. Віднімальні лічильники

Якщо при побудові лічильника для керування тригерами старших розрядів використовувати «прямі» виходи тригерів молодших розрядів (виходи Q), поведінка лічильника буде дещо відрізнятися від розглянутої раніше (див. рис. 2.17, а, б).

При такій схемі з'єднань тригери старших розрядів будуть перемикатися в той момент, коли тригер молодшого розряду перемикається з 0 в 1. Припустимо, до надходження першого тактового імпульсу всі тригери перебували в нульовому стані. По передньому фронту першого тактового імпульсу тригер T1 встановлюється в 1. На його виході Q сигнал змінюється з 0 в 1, що для тригера T2 є «командою» на перемикання. Перемкнувшись в «1», T2 перемкне в одиничний стан і тригер T3. Таким чином, під час першого такту роботи лічильника всі тригери опиняться в стані «1»: $T3=1$, $T2=1$, $T1=1$ (двійкова 7). З

надходженням другого імпульсу на вхід Т1 цей тригер перемкнеться в 0, стан Т2 не зміниться, тому що на його вході напруга зміниться з високої на низьку ($1 \rightarrow 0$). Не зміниться і стан Т3: $T_3=1, T_2=1, T_1=0$ (6 у двійковому коді).

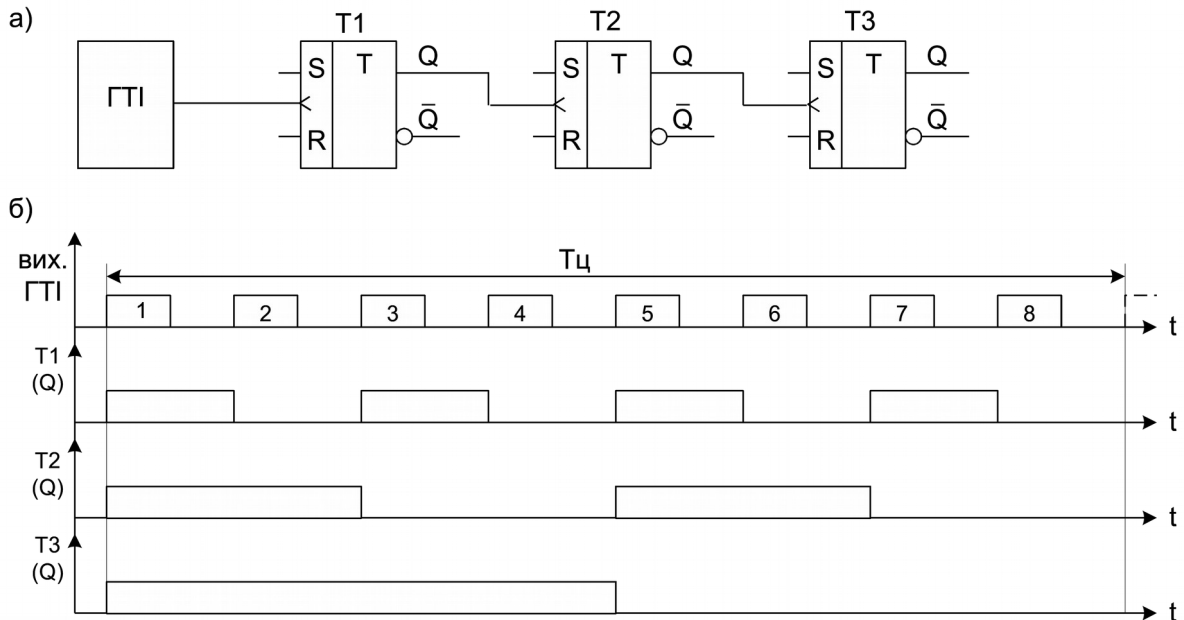


Рис. 2.17. Схема трирозрядного віднімального двійкового лічильника (а) і часова діаграма його роботи (б)

З надходженням третього тактового імпульсу стан тригерів лічильника виявиться так: $T_3=1, T_2=0, T_1=1$ (двійкова 5). Як видно з часової діаграми, наведеної на рис. 2.17, б, з надходженням тактових імпульсів вміст лічильника зменшується. Тобто лічильник працює як віднімальний.

2.5.3. Реверсивні лічильники

Реверсивні лічильники (рис. 2.18) дозволяють виконувати як операції підсумовування, так і віднімання. Залежно від сигналу керування V_{\pm} рахункові входи тригерів старших розрядів з'єднуються або з прямими, або з інверсними інформаційними виходами тригерів молодших розрядів. У режимі додавання ($V_+ = 1, V_- = 0$) відкриваються ключі I2, I4, з'єднуючи інверсний вихід Т1 з входом Т2, а інверсний вихід Т2 з входом Т3. Тому з надходженням кожного лічильного імпульсу стан лічильника буде збільшуватися на одиницю (див. п. 2.5.1). У режимі віднімання

($V+ = 0$, $V- = 1$) відкриваються ключі I1, I3, під'єднуючи до входів тригерів старших розрядів «прямі» виходи тригерів молодших розрядів. Як наслідок, кожний рахунковий імпульс буде зменшувати вміст лічильника на одиницю.

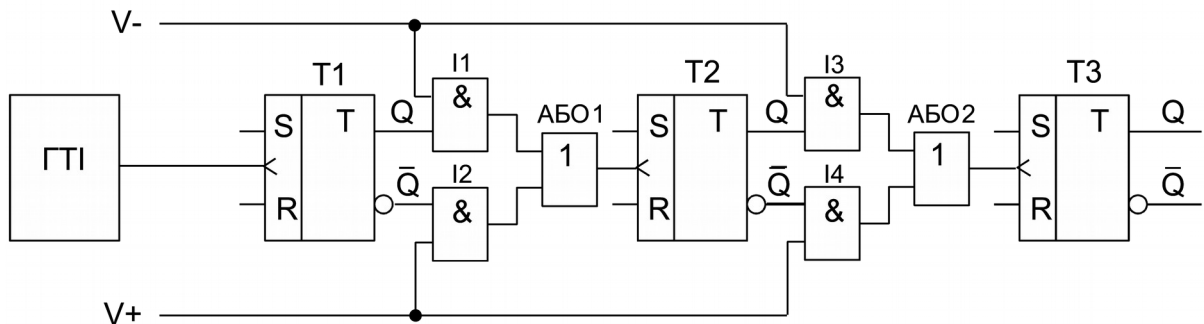


Рис. 2.18. Схема реверсивного лічильника

У викладенні принципів побудови та роботи лічильників (п. 2.5.1-2.5.3) ми виходили з того, що перемикання тригерів відбувається по передньому фронту імпульсів керування, тобто при зміні напруги на входах тригерів з 0 в 1. Якщо ж схемна реалізація тригерів відрізняється від прийнятої (рис. 2.15), перемикання тригерів може відбуватися і по задньому фронту зазначених імпульсів. Однак і в цьому випадку схеми лічильників, часові діаграми їх роботи в основному відповідають розглянутим.

2.5.4. Схеми скорочення лічби

Повний цикл роботи лічильника визначається його розрядністю. Так, дворозрядний лічильник переповнюється (і повертається в початковий стан) через кожні чотири такти, трирозрядний – через вісім, чотирирозрядний – через шістнадцять і т. д. Проте в ряді випадків виникає потреба в лічильниках, що мають відмінну (від повної) тривалість циклу. Припустимо, необхідно створити лічильник з тривалістю циклу в шість тактів ($K\theta=6$), тобто з шостим тактовим імпульсом лічильник повинен повернутися в початковий стан ($T1=0$, $T2=0$, $T3=0$). Очевидно, що лічильник повинен мати мінімум три розряди. При меншій кількості розрядів його переповнення і

повернення в 0 відбуватиметься передчасно, при більшому – тригери старших розрядів, починаючи з 4-го, взагалі перемикаються не будуть.

Найбільш поширеними схемними рішеннями для побудови таких лічильників є:

- використання дешифраторів стану лічильників (або елементів дешифраторів), що налаштовані на задану позицію і примусово встановлюють тригери лічильника в потрібний стан (рис. 2.19);

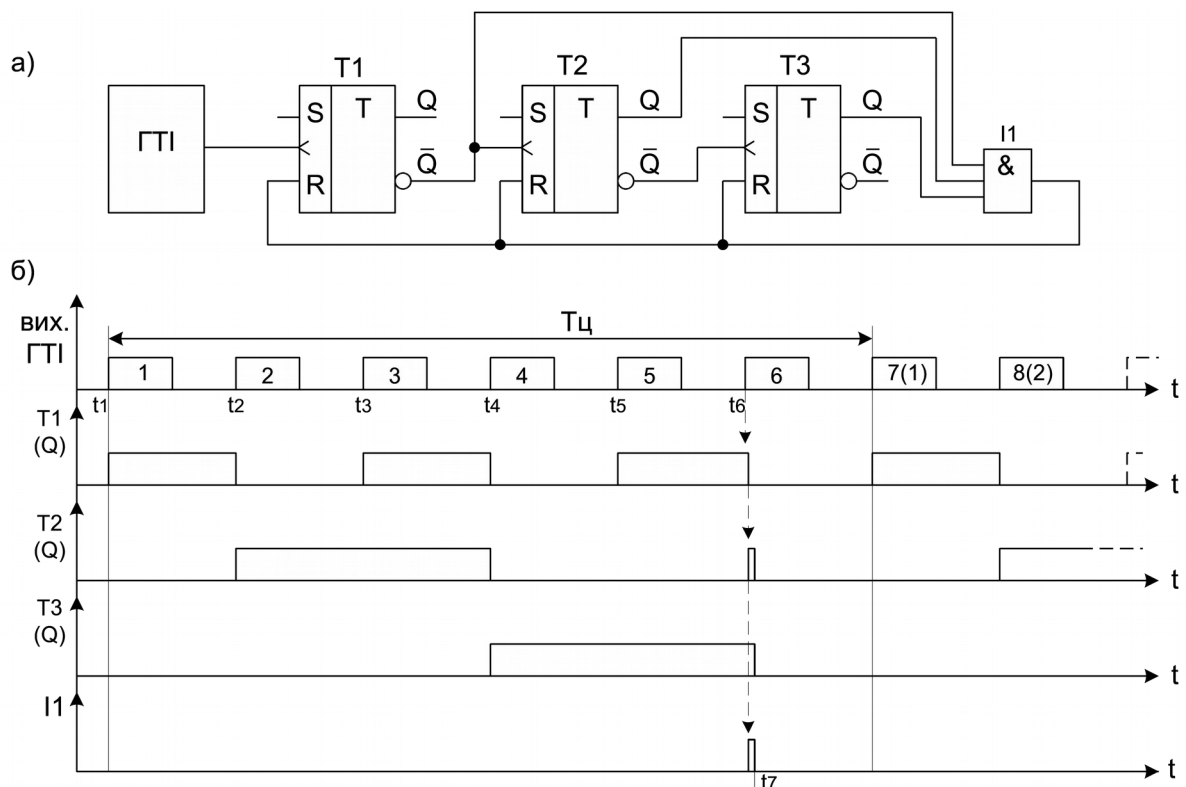


Рис. 2.19. Лічильник з дешифраторною схемою скорочення лічби (а) і часова діаграма його роботи (б)

- «позачергове» перемикання окремих тригерів лічильника, що еквівалентно додаванню до вмісту лічильника в певні моменти часу констант. Значення константи залежить від розряду того тригера, який перемикається позачергово (рис. 2.20).

Лічильник (тригери T1 - T3) і елемент I1, з'єднані за схемою, наведеною на рис. 2.19, а, забезпечують скорочення циклу роботи лічильника до шести тактів. Логічний елемент I1 виконує функції дешифратора стану лічильника. Входи елемента I1 з'єднані з тими виходами тригерів, які на шостому такті (з приходом шостого

тактового імпульсу) будуть перебувати в стані «1». Протягом перших п'яти тактів лічильник працює в штатному режимі за аналогією з лічильником, розглянутим в п. 2.5.1 (рис. 2.16, а). Шостий такт роботи лічильника характеризується таким станом тригерів: $T3=1$, $T2=1$, $T1=0$. Тому якщо підключити входи логічного елемента ІІ до прямих виходів тригерів $T3$, $T2$ і інверсного $T1$ (як це зроблено у схемі, наведеній на рис. 2.19, а), дозволена комбінація («1» на всіх входах елемента ІІ) буде виникати кожного разу, коли лічильник перемкне в шосту позицію (рис. 2.19, б, момент часу t_6). Відповідно до логіки роботи елемента І в цей момент логічна «1» з'явиться і на виході елемента ІІ, а отже, і на входах R («reset» – скидання) тригерів.

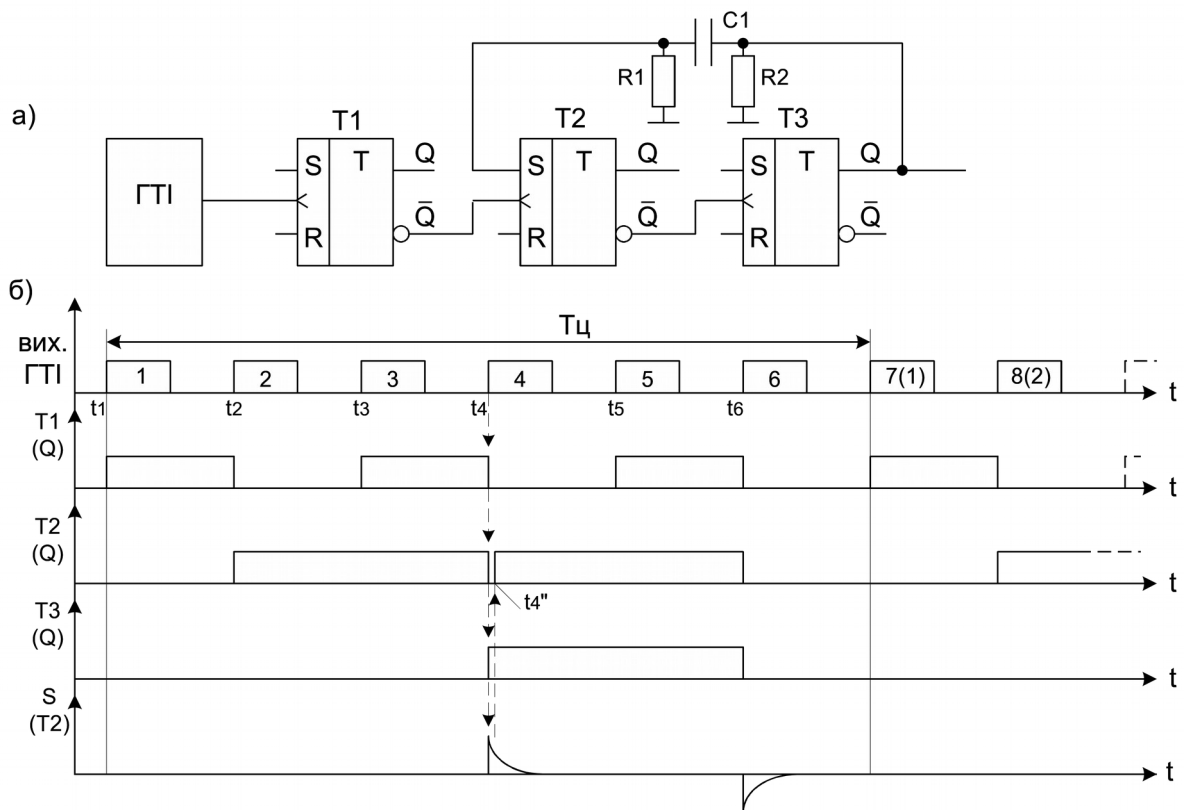


Рис. 2.20. Лічильник з позачерговим перемиканням тригерів (а) і часова діаграма його роботи (б)

За цим сигналом тригери встановляться в нульовий стан, закінчивши цикл роботи лічильника. Оскільки тригери, знаходячись у нульовому стані, знімають і дозволена комбінація з входів елемента ІІ ($QT3 = 0$, $QT2 = 0$, $\bar{Q}T1 = 1$), у момент часу t_7 сигнал скидання закінчується, дозволяючи нормальну роботу лічильника в черговому циклі.

Ще одним варіантом побудови лічильника зі скороченим циклом роботи може бути схема, наведена на рис. 2.20.

Особливістю схеми є наявність «зворотного» зв'язку між другим і третім ступенями лічильника: вихід Q тригера T3 з'єднаний з входом S тригера T2 через конденсатор C1. Протягом перших трьох тактових імпульсів лічильник працює аналогічно лічильникам, схеми яких наведені на рис. 2.16, 2.19. Відмінність у роботі починається з четвертим тактовим імпульсом. Під час третього такту стан тригерів лічильника такий: T3=0, T2=1, T1=1, конденсатор C1 розряджений. По передньому фронту четвертого тактового імпульсу (момент часу t4) спочатку встановлюється в 0 тригер T1, змушуючи перемкнутися в 0 тригер T2. T2, у свою чергу підвищуючи напругу на інверсному виході, формує команду на перемикання T3 в 1. Стрибкоподібне підвищення напруги на прямому виході T3 до рівня логічної 1 призводить до короткочасного підвищення (на час заряджання конденсатора C1) напруги на вході S тригера T2 – у момент часу t4" тригер T2 встановлюється в 1. Практично протягом усього четвертого такту тригери лічильника знаходяться в стані, що відповідає шостому такту роботи звичайного лічильника: T3 = 1, T2 = 1, T1 = 0. З п'ятим тактовим імпульсом встановлюється в 1 тригер T1: T3=1, T2=1, T1=1, а в момент формування шостого тактового імпульсу відбувається обнулення всіх тригерів: цикл роботи лічильника закінчився.

2.6. Шифратори

Шифратором називається функціональний електронний вузол, призначений для перетворення вхідного m-розрядного унарного коду у вихідний n-розрядний двійковий код. У цифрових пристроях шифратори використовуються для введення десяткових і текстових даних з клавіатури або кнопочового пульта, захисту інформації, її передавання при обмеженій кількості провідників ліній зв'язку тощо.

У системах ДЦ шифратори застосовуються для кодування (шифрування) повідомлень. Під кодуванням розуміється процес перетворення команд і сповіщень про стан контрольованих об'єктів з однієї форми в іншу, що здійснюється за певними

законами і правилами для оптимального передавання каналами зв'язку. *Більш детально питання, що стосуються призначення кодування, правил побудови кодів, їх впливу на вірогідність передавання інформації, розглянуто в наступному підрозділі.*

Відповідно до прийнятого в конкретній системі правила кодування шифратори перетворюють вхідний сигнал (натискання в певній послідовності кнопок на апараті управління або сукупність станів контрольованих об'єктів) у вихідний – двійковий код. Розрядність і структура кодів залежать від максимальної кількості вхідних повідомлень, необхідного рівня завадозахищеності, способу введення команд, наявної в розпорядженні розробника системи елементної бази і зазвичай відрізняються від системи до системи. Проте загальні принципи побудови шифраторів однакові.

Повний двійковий шифратор має m входів і n виходів, причому $m=2^n$. При активізації однієї з вхідних ліній шифратора на його виходах формується код, який відображує номер активного входу. Функція шифратора позначається буквами CD (coder). Входи шифратора нумеруються послідовними десятковими цифрами 0, 1, ..., $m-1$, а позначення виходів відображають вагу вихідних двійкових змінних $2^0, 2^1, \dots, 2^{n-1}$.

Нехай вхідні сигнали формуються натисканням кнопок K1-K7 і надходять на входи X1 - X7 шифратора відповідно (рис. 2.21). Виходами шифратора є шини Y0, Y1, Y2, причому Y0 відповідає молодшому розряду формованого коду, Y2 – старшому. Логічній 1 відповідає висока напруга, нулю – низька. Необхідна залежність між станом входів і виходів шифратора забезпечується діодною матрицею (діоди VD1 - VD12). У початковому стані, за відсутності введених команд, на всіх виходах шифратора присутня низька напруга ($Y2=0, Y1=0, Y0=0$). При натисканні оператором кнопки K1 напруга від позитивного полюса джерела живлення через діод VD1 подається в шину Y0, формуючи код команди: 001. При натисканні кнопки K2 через діод VD2 напруга від джерела живлення буде подана в шину Y1, що відповідає коду команди 010. Натискання кнопки K7 призведе до появи високої напруги (1) одночасно у всіх шинах Y0 - Y2, а код команди буде виглядати як 111.

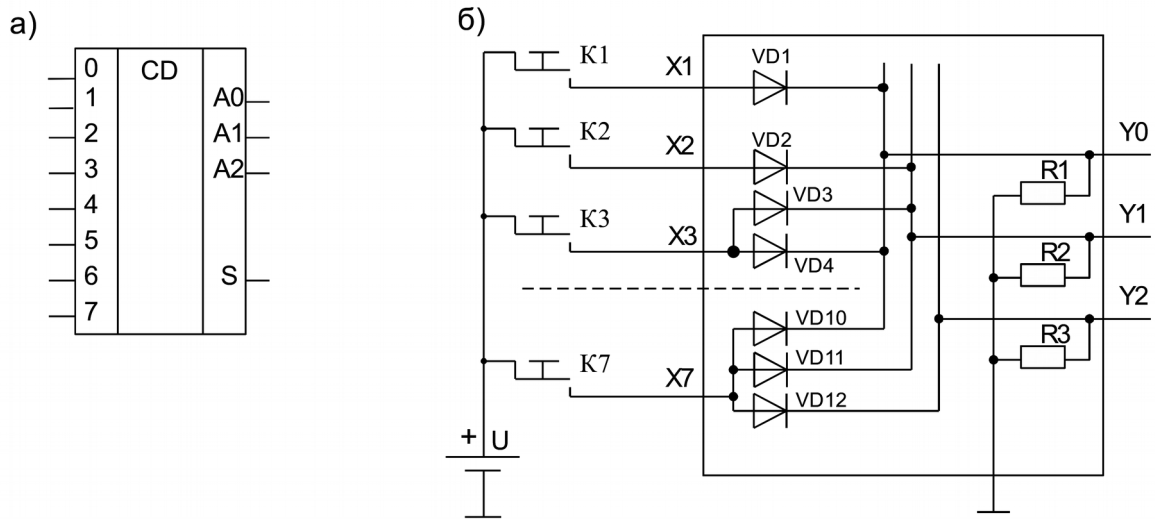


Рис. 2.21. Умовне позначення в електричних схемах (а) і ілюстрація, що пояснює принцип дії шифратора (б)

Недоліками розглянутої схеми є некоректна робота шифратора при одночасному натисканні декількох кнопок. Так, при натисканні кнопок K1 і K2 буде сформований код 011, що відповідає команді №3. Крім того, за її допомогою можна здійснювати тільки найпростіше перетворення: унарного коду у двійковий. Комбінація напруг на виходах шифратора (код команди) зберігається, доки утримується в замкнутому стані кнопка відповідної команди. Разом з тим, завдяки своїй простоті і, як наслідок, високій надійності, подібні шифратори знаходять застосування для розв'язання нескладних практичних задач.

Для формування більш складних кодів застосовуються і більш складні схеми шифраторів, проте принципових відмінностей від розглянутої на рис. 2.21 схеми вони не мають.

Нехай створювана система управління передбачає введення, передавання та виконання семи команд, причому для їх кодування має бути застосований заводо захищений код. Як варіант, розглянемо код з постійною вагою – кількість 0 і 1 у кодових комбінаціях має бути постійною. Будь-який заводо захищений код – надлишковий, тому розрядність такого коду (для семи команд) повинна бути більше трьох. Перевіримо можливість використання чотирирозрядного коду, у кодових комбінаціях якого нехай буде дві 1 і два 0. Максимальна кількість кодових

комбінацій N , що задовольняють цю вимогу, дорівнює кількості сполучень з 4 по 2:

$$N = C_2^4 = \frac{4!}{2!(4-2)!} = 6.$$

Тобто при використанні чотирирозрядного коду з постійною вагою, у якому завжди присутні дві 1 і два 0, можна закодувати шість команд. Для сьомої команди пропонується використовувати кодову комбінацію 1111. І хоча вона не «вписується» в правило: дві 1, два 0, кодова відстань з іншими дозволеними комбінаціями дорівнює двом – з точки зору завадозахищеності, вона не гірша за інших. (Аналогічне правило побудови кодів використовується в ДЦ «НЕВА» для кодування номерів груп об'єктів управління.)

Таким чином, шифратор, що розробляється, повинен мати 7 входів (за кількістю вхідних команд) і 4 виходи (за кількістю розрядів кодових комбінацій). Залежність стану виходів від стану входів наведена в табл. 2.1.

Таблица 2.1

Таблица істинності шифратора

X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	Y0	Y1	Y2	Y3
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0
0	1	0	0	0	0	0	1	0	1	0
0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	1
0	0	0	1	0	0	0	0	1	1	0
0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	1
0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1
0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1

Схема шифратора, що задовольняє вимоги табл. 2.1, наведена на рис. 2.22.

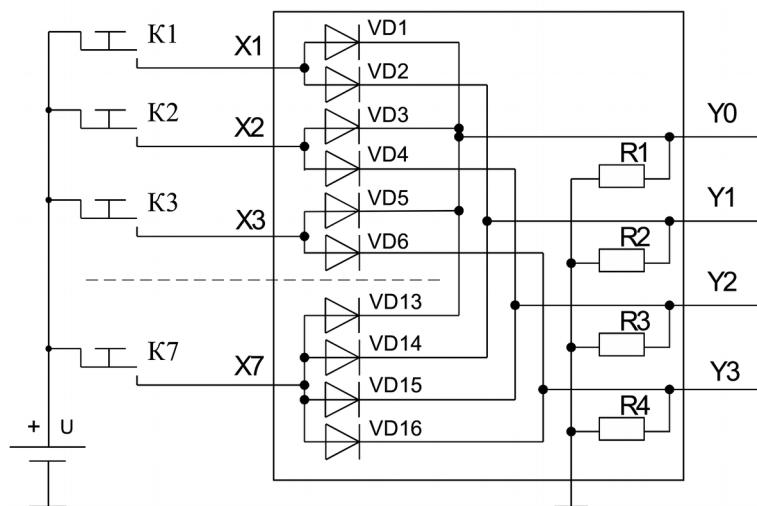


Рис. 2.22. Схема шифратора 7 x 4 (для формування кодів з постійною вагою)

Як і у випадку з шифратором, схема якого наведена на рис. 2.21, ключовим вузлом у схемі розроблюваного кодера є діодна матриця. Діоди VD1 - VD16 з'єднують входи і виходи шифратора відповідно до таблиці істинності (табл. 2.1). При розімкнених ключах K1 - K7 на всіх виходах присутні низькі напруги (0), що обумовлено підключенням до вихідних шин Y0 - Y3 резисторів R1-R4. При натисканні будь-якої кнопки напруга від джерела живлення через замкнутий контакт кнопки, включені в провідному напрямі діоди (по два для кнопок K1...K6 і чотири – для K7), буде подана на ті чи інші виходи шифратора, формуючи відповідний код команди.

Розглянуті в цьому розділі схеми шифраторів (рис. 2.21 і 2.22) наведені виключно як приклад можливого розв'язання задач кодування і не претендують на ідентичність з діючими системами ДЦ.

2.7. Дешифратори

Дешифратори (декодери) – це пристрої, що виконують функцію, зворотну шифруванню: у загальному випадку перетворюють двійковий код в унарний. Оскільки в рамках однієї системи управління правила кодування і декодування інформації повинні бути однаковими (в іншому випадку неможливо буде відновити зміст переданих повідомлень), таблиці істинності

шифраторів і дешифраторів також повинні бути ідентичними (за винятком того, що міняються місцями виходи і входи).

Розглянемо схеми дешифраторів, призначених для декодування ненадлишкових двійкових кодів і заводозахищених (наприклад, кодів з постійною вагою).

Нехай у пункті управління код команди формується шифратором, схема якого наведена на рис. 2.21. Таблиця істинності дешифратора, здатного визначити номер натиснутої кнопки (він же номер команди), наведена в табл. 2.2. Використовуваний двійковий код – не надлишковий (три розряди – сім команд).

Таблиця 2.2

Таблиця істинності дешифратора

X2	X1	X0	Y1	Y2	Y3	Y4	Y5	Y6	Y7
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	1	1	0	0	0	0	0	0
0	1	0	0	1	0	0	0	0	0
0	1	1	0	0	1	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0	1	0	0	0
1	0	1	0	0	0	0	1	0	0
1	1	0	0	0	0	0	0	1	0
1	1	1	0	0	0	0	0	0	1

Синтез пристрою, здатного вирішувати поставлене завдання, передбачає «проходження» двох етапів: логічного аналізу та логічного синтезу (див. п. 2.3.1). У результаті аналізу ми отримуємо сукупність функцій, що описують логіку роботи дешифратора:

$$\begin{aligned}
 Y1 &= X0 \wedge \overline{X1} \wedge \overline{X2}, & Y2 &= \overline{X0} \wedge X1 \wedge \overline{X2}, & Y3 &= X0 \wedge X1 \wedge \overline{X2}, \\
 Y4 &= \overline{X0} \wedge \overline{X1} \wedge X2, & Y5 &= X0 \wedge \overline{X1} \wedge X2, & Y6 &= \overline{X0} \wedge X1 \wedge X2, \\
 Y7 &= X0 \wedge X1 \wedge X2.
 \end{aligned}$$

Як впливає з наведених рівностей, у складі дешифратора має бути сім тривходових елементів І – по одному на кожен вихід. Так, наприклад, для того щоб на виході Y1 з'явився сигнал з рівнем 1, стан входів дешифратора має бути таким: X0=1, X1=0, X2=0. Логічний елемент І, що формує вихідний сигнал Y1, повинен не

тільки перевірити наявність «1» на вході X_0 , а й наявність «0» на входах X_1 і X_2 . Це можливо, якщо до складу дешифратора включити інвертори – для отримання інверсних сигналів $\overline{HE-X_0}$, $\overline{HE-X_1}$, $\overline{HE-X_2}$. Схема дешифратора, логіка роботи якого відповідає табл. 2.2, наведена на рис. 2.23.

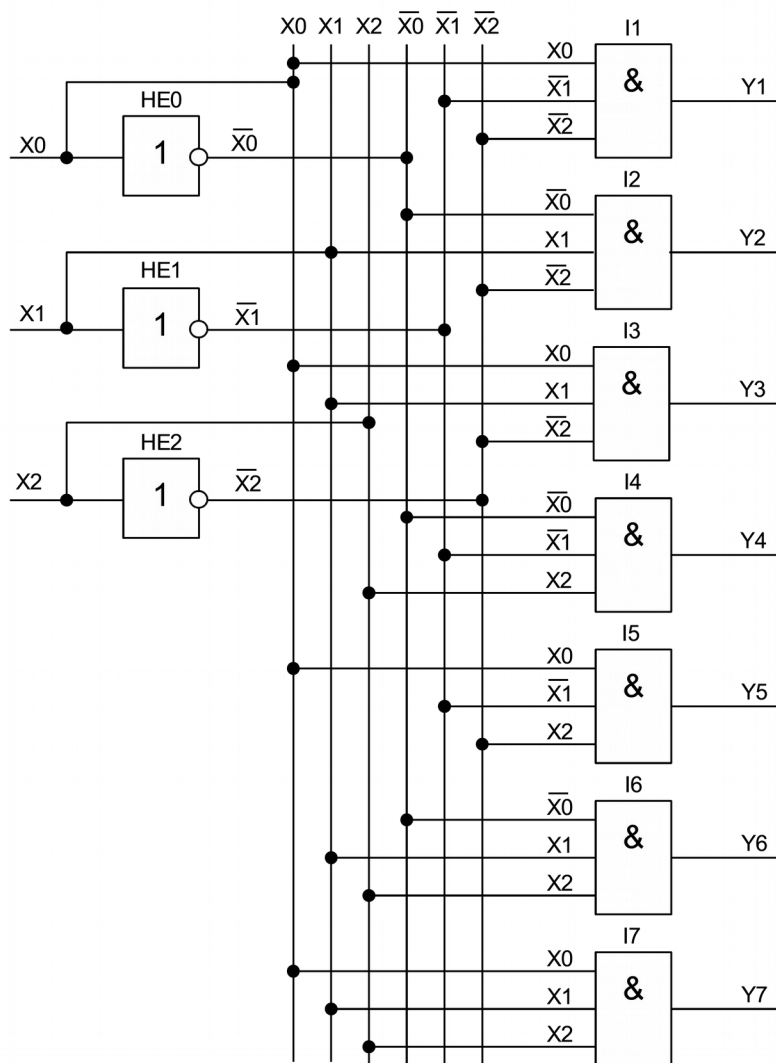


Рис. 2.23. Схема дешифратора 3x7 (для дешифрування ненадлишкових кодів)

Примітка. «Повноцінний» дешифратор перетворює трирозрядний двійковий код у вісім вихідних сигналів. Восьмий вихід (Y_0) переходить в одиничний стан за наявності сигналів з рівнями логічного 0 на всіх входах X_2 , X_1 , X_0 , тобто за відсутності команд, тому в наведеній на рис. 2.23 схемі цей вихід відсутній (не задіяний).

Тепер спробуємо розробити дешифратор, призначений для декодування чотирирозрядних кодів з постійною вагою (правило кодування дивися в табл. 2.1). Таблиця істинності дешифратора, здатного виконувати вказані функції, наведена в табл. 2.3.

Таблиця 2.3

Таблиця істинності дешифратора 4x8

X0	X1	X2	X3	Y1	Y2	Y3	Y4	Y5	Y6	Y7
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0
1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0
1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0
0	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0
0	1	0	1	0	0	0	0	1	0	0
0	0	1	1	0	0	0	0	0	1	0
1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1

Логічні функції, що описують роботу дешифратора, мають вигляд:

$$\begin{aligned}
 Y1 &= X0 \wedge X1 \wedge X2 \wedge X3, & Y2 &= X0 \wedge \bar{X1} \wedge X2 \wedge \bar{X3}, & Y3 &= X0 \wedge \bar{X1} \wedge \bar{X2} \wedge X3, \\
 Y4 &= \bar{X0} \wedge X1 \wedge X2 \wedge \bar{X3}, & Y5 &= \bar{X0} \wedge X1 \wedge \bar{X2} \wedge X3, & Y6 &= \bar{X0} \wedge \bar{X1} \wedge X2 \wedge X3, \\
 Y7 &= X0 \wedge X1 \wedge X2 \wedge X3.
 \end{aligned}$$

Для дешифрування семи кодових комбінацій, побудованих з використанням кодів з постійною вагою, знадобиться сім елементів І з чотирма входами і чотири інвертора. Схема такого дешифратора наведена на рис. 2.24.

Використовуючи розглянуті підходи і схемні рішення, можна розробити дешифратор будь-якої складності і з будь-якими заданими характеристиками.

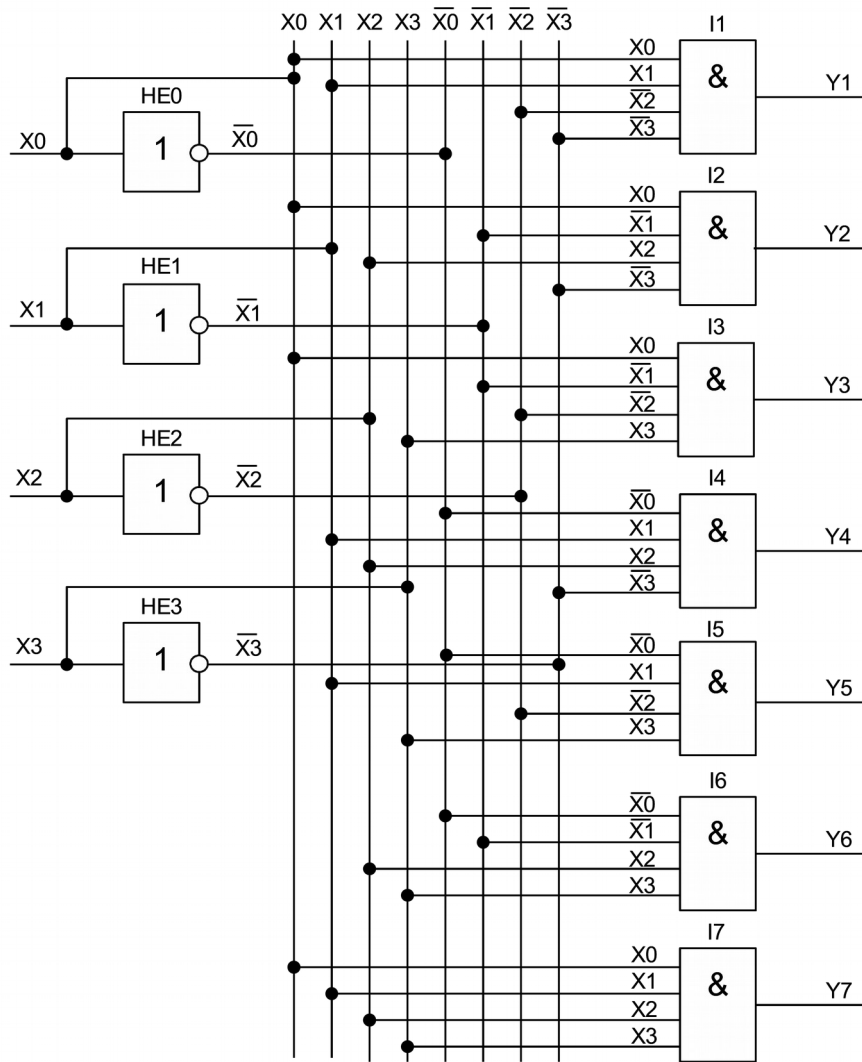


Рис. 2.24. Дешифратор 4x7 (для дешифрування кодів з постійною вагою)

2.8. Розподільники

У системах керування і контролю часто виникає необхідність у з'єднанні загальної лінії зв'язку з однією з N індивідуальних: для передавання команд, збору та передавання контрольної інформації та ін. Ці завдання вирішуються за допомогою пристроїв, що отримали назву розподільників. Розподільник можна уявити, як багатопозиційний перемикач, що в кожен момент часу з'єднує спільний вхід лише з одним із N індивідуальних виходів (або один із N входів з загальним виходом). У процесі його роботи перемикання по позиціях здійснюється послідовно з надходженням сигналів керування.

Розглянемо таке завдання: сформований шифратором код команди необхідно порозрядно (послідовно в часі) передати по лінії зв'язку. Як переносник інформації використовуються імпульси постійного струму, тривалість імпульсів, протягом яких передаються значення елементів кодової комбінації – t_i . Структурні схеми шифратора і передавача наведені на рис. 2.25.

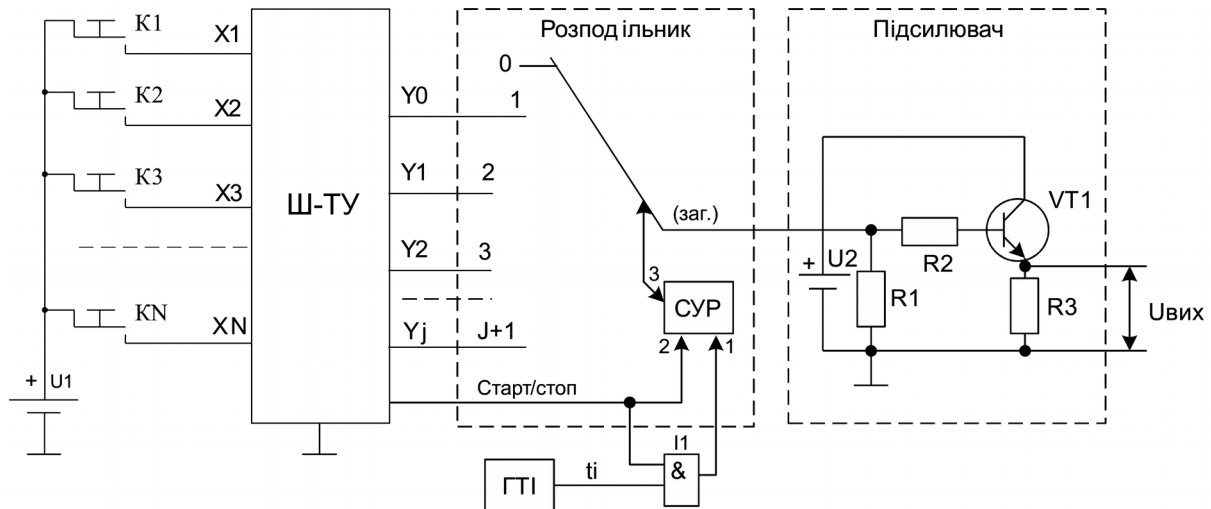


Рис. 2.25. Структурна схема пристроїв для передавання сигналів

Шифратор Ш-ТУ перетворює N команд, що вводяться натисканням кнопок $K1 - KN$, у j -розрядний двійковий код. За відсутності підготовленого для передавання коду команди на виході «Старт/стоп» шифратора підтримується сигнал з рівнем «0», що закриває ключ Π і блокує надходження тактових імпульсів на вхід 1 схеми управління розподільником (СУР), а по входу 2 примусово утримує розподільник у нульовій позиції. Очевидно, що схема шифратора повинна дещо відрізнитись від схем, розглянутих у попередніх підрозділах: у її складі повинен бути логічний елемент, що контролює натискання кнопок пульта управління.

Після введення команди шифратор формує код команди на виходах $Y0 - Yj$, а потім сигнал з рівнем логічної 1 на виході «Старт/стоп», дозволяючи роботу власне передавальних пристроїв: розподільника і підсилювача. На рис. 2.25 розподільник представлений як електромеханічний $j+1$ -позиційний перемикач. Перебуваючи в кожній з позицій, розподільник електрично з'єднує свій i -й вхід і загальний вихід. Вихід розподільника є входом підсилювача (транзистор $VT1$

включений за схемою емітерного повторювача), тому залежно від стану виходу шифратора, до якого в даний момент підключений спільний вхід розподільника, напруга на базі VT1 буде змінюватися, набуваючи значення 0 або 1 і повторюючи стан виходу шифратора. Синхронно буде змінюватися і напруга на резисторі R3, тобто в лінії зв'язку. Генератор тактових імпульсів (ГТІ) формує послідовність керуючих роботою розподільника тактових імпульсів, що надходять з періодом t_i . Власне період надходження цих імпульсів (імпульс + інтервал) визначає час, протягом якого розподільник знаходиться в тій чи іншій позиції, а отже, і тривалість імпульсів, протягом яких підсилювач буде передавати в лінію зв'язку значення елемента (розряду) кодової комбінації. Перемикання розподільника по позиціях (у наведеній схемі) забезпечується механічним зв'язком «рухомого» контакту розподільника і виходу 3 СУР.

Те саме завдання (послідовне підключення $j + 1$ індивідуальних входів до загального) може бути вирішене і за допомогою електронних пристроїв. Нехай $(j + 1) = 8$, тобто розподільник повинен мати сім інформаційних позицій і одну (нульову) для вихідного стану. Крім того, необхідно передбачити вхід управління розподільником для примусового встановлення в нульову позицію (вхід 2 СУР (рис. 2.25)), а також тактовий вхід (вхід 1 СУР (рис. 2.25)). Аналіз логіки роботи розподільника підказує, що це завдання з успіхом вирішується пристроєм, що являє собою комбінацію двійкового лічильника і дешифратора станів цього лічильника. Схема такого пристрою наведена на рис. 2.26.

За наявності на вході 2 розподільника («старт/стоп») сигналу з рівнем логічного 0 «одиниця» з виходу інвертора НЕ1 надходить на входи R тригерів лічильника і встановлює лічильник у початковий стан. На всіх інверсних виходах тригерів T1...T3 присутні сигнали з рівнем «1», що призводить до появи на виході Y0 дешифратора «1». Розподільник знаходиться в нульовій позиції, відкриваючи по нижньому вході елемент I15.

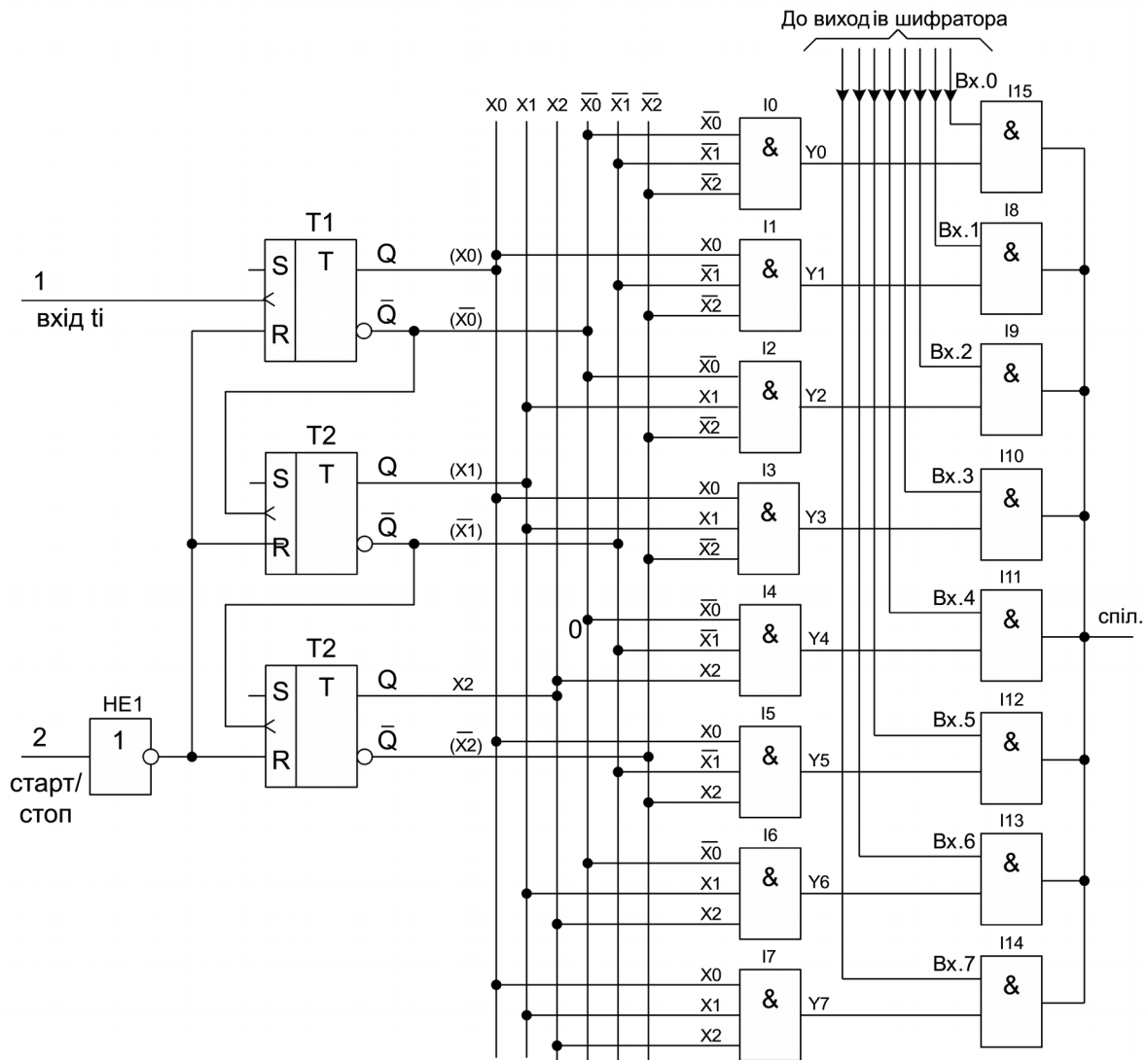


Рис. 2.26. Схема розподільника на 8 входів

Поява на вході 2 розподільника сигналу «старт» («1») сама по собі не змінить стан тригерів – знімається лише сигнал «Reset» з їх входів. З цього моменту тригери починають реагувати на тактові імпульси, що надходять на їх рахункові входи. У підрозділах 2.5 і 2.7 ми ознайомилися з роботою лічильників і дешифраторів, тому, не зупиняючись більше на деталях роботи цих вузлів розподільника, констатуємо: під час першого тактового імпульсу сигнал з рівнем «1» з'явиться на виході Y1 і відкриє по нижньому входу елемент I8. Стан виходу розподільника (спіл.) протягом цього часу буде визначатися станом входу Bx.1 (він же – молодший розряд шифратора), протягом другого такту – входом Bx.2 і т. д. Таким чином, з надходженням тактових імпульсів до спільного виходу розподільника (входу підсилювача) через фіксовані часові інтервали, що дорівнюють періоду надходження

тактових імпульсів, по черзі будуть підключені виходи шифратора. Значення кожного розряду сформованого шифратором паралельного коду (кової комбінації) послідовно, поелементно буде передано в лінію зв'язку.

У контрольованому пункті (на приймальному боці системи керування) розподільники повинні вирішувати зворотне завдання: з надходженням тактових імпульсів по черзі підключати до загального каналу (фактично до лінії зв'язку) комірки пам'яті дешифратора для реєстрації і подальшого декодування прийнятої команди. Схема такого розподільника наведена на рис. 2.27. Власне сама схема розподільника (якщо порівнювати з рис. 26) змін не зазнала – змінилася лише та її частина, яка керує підключенням загального каналу до індивідуальних виходів (логічні елементи I8-I15). Після зняття блокування розподільника («1» на вході 2) з прийманням першого тактового імпульсу спільний вхід буде підключений до першого виходу (Вих.1), під час другого такту – до другого (Вих.2) і т. д.

Примітка. Наведені на рис. 2.25 – 2.27 схеми ілюструють лише завдання, які вирішуються за допомогою розподільників: послідовне підключення виходів шифратора до лінії зв'язку в пункті управління і підключення елементів пам'яті дешифратора до лінії зв'язку в контрольованому пункті. Схема управління передавачем (рис. 2.25) досить умовна і не повинна сприйматися, як реальна у першу чергу через те, що при такому з'єднанні шифратора, розподільника і підсилувача, як це показано на схемі, на приймальному боці проблематично зафіксувати початок передавання сигналу, якщо молодші розряди кодової комбінації (виходи Y0, Y1, Y2 ...) знаходяться в «нульовому» стані. (Принаймні у випадку, коли переносником є однополярні імпульси постійного струму.)

Крім того, слід зазначити, що наведені схеми розподільників також далеко не єдині. Можливі й інші схемні рішення для їх побудови, наприклад на базі реєстрів зсуву.

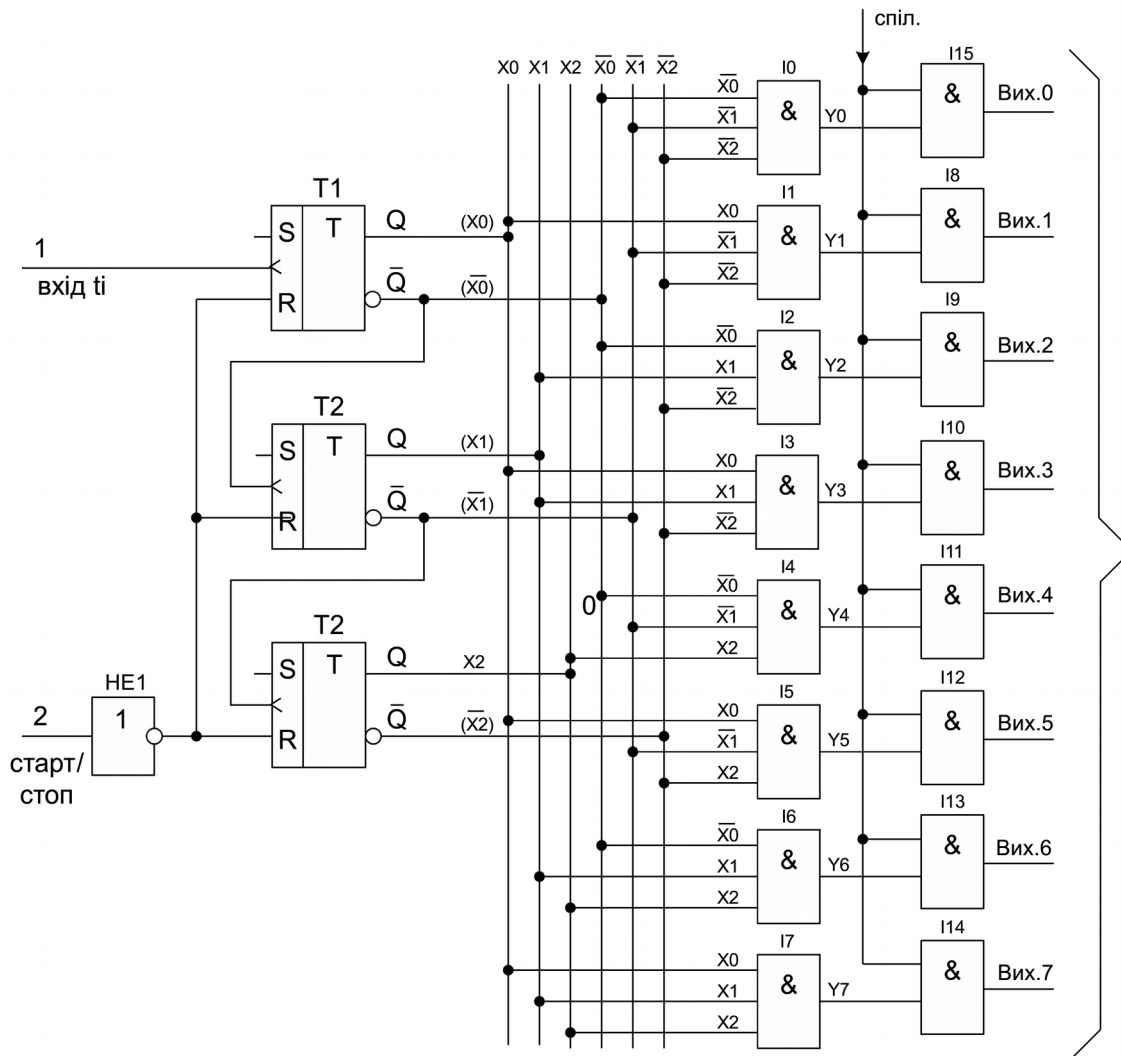


Рис. 2.27. Схема розподільника на 8 виходів

2.9. Мультивібратори

Мультивібратор – генератор імпульсів прямокутної форми (наприклад, тактових), що являє собою двокаскадний резистивний підсилювач з глибоким позитивним зворотним зв'язком [16]. В електронній техніці використовуються найрізноманітніші варіанти схем мультивібраторів, які розрізняються між собою за типом використовуваних елементів (транзисторні, тиристорні, мікроелектронні та ін.), режимом роботи (автоколивальні, із зовнішнім запуском), видами зв'язку між підсилювальними елементами, способам регулювання тривалості і частоти імпульсів.

Схеми мультивібраторів (рис. 2.28) багато в чому нагадують схеми тригерів, проте, на відміну від тригерів, у мультивібраторах

зворотні зв'язки між каскадами реалізовані за допомогою конденсаторів (порівняйте з рис. 2.14).

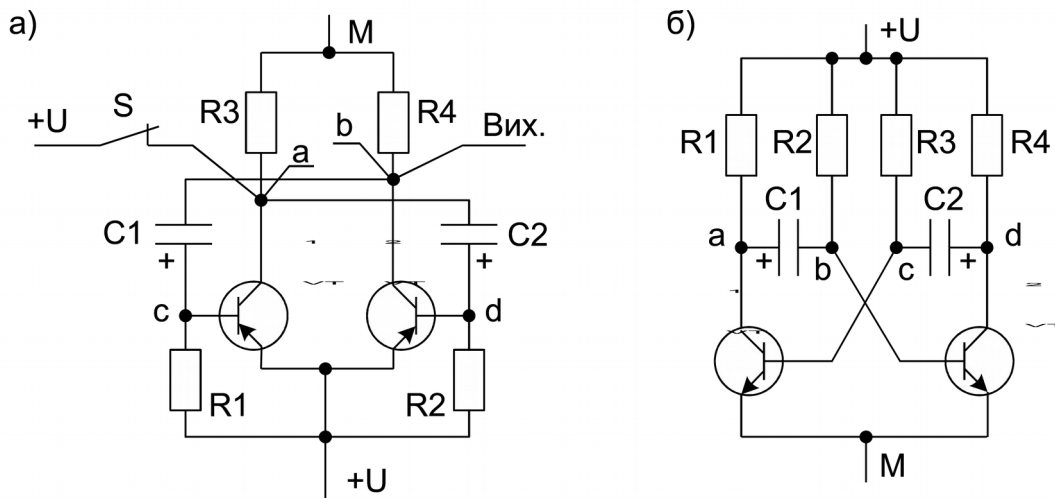


Рис. 2.28. Схеми мультивібраторів: а – з транзисторами р-п-р типу, б – з транзисторами п-р-п типу

У схемі мультивібратора, наведеної на рис 2.28, а, є зовнішній вхід керування (ключ S). При його замиканні блокується робота мультивібратора і визначається початковий стан елементів схеми:

- у точці «а» висока напруга (+ U);
- ключ S шунтує коло струму бази VT2 (потенціали емітера VT2 і точки «а» рівні), тому VT2 закритий;
- оскільки до нижньої і верхньої (за схемою) обкладок конденсатора C2 підключено один і той самий полюс джерела живлення, конденсатор C2 розряджений;
- закритий VT2 сприяє зниженню напруги в точці «b» і заряджанню C1 до напруги джерела живлення (коло заряджання: + U - емітер-база VT1 - C1 - R4 - полюс «М» джерела живлення);
- після повного заряджання C1 VT1 закритий. Принаймні струм бази VT1 не протікає, оскільки цьому перешкоджає заряджений конденсатор C1;
- потенціали точок «а», «с», «d» високі (+ U), потенціал точки «b» – низький (0).

У момент розмикання ключа S напруга в точці «а» знижується, бо VT1 все ще закритий, а через резистор R3 до цієї точки, а отже, і до бази VT2, виявляється підключеним негативний полюс джерела живлення. Оскільки конденсатор C2

повністю розряджений, у цій фазі роботи мультивібратора він практично не обмежує струм бази транзистора VT2 (зарядження конденсатора C2). Транзистор VT2 відкривається струмом, що протікає по колу: + U - емітер-база VT2 - C2 - R3 - полюс «М». У момент відкриття транзистора VT2 різко підвищується напруга в точці «b», формуючи передній фронт імпульсу на виході мультивібратора. Підвищення напруги в точці «b», крім того, створює умови для надійного закриття транзистора VT1, оскільки потенціал бази VT1 (ϕ_c), з урахуванням напруги на зарядженому конденсаторі, виявляється вдвічі більшим від потенціалу емітерів транзисторів. У загальному випадку

$$\phi_c = \phi_b + U_{c1}, \quad (2.5)$$

$$\phi_d = \phi_a + U_{c2}. \quad (2.6)$$

Для аналізу роботи транзисторів (визначення їх стану) ключовим є питання: як потенціали ϕ_c (база VT1) і ϕ_d (база VT2) співвідносяться з потенціалами емітерів (+ U). У цій фазі роботи мультивібратора $\phi_c > (+ U)$, $\phi_d < (+ U)$, що і визначає закритий стан VT1 і відкритий VT2. Низький потенціал на базі VT2 пояснюється закритим станом VT1 (як результат – низький потенціал ϕ_a) і поки ще розрядженим конденсатором C2 (U_{c2} близька до 0).

З часом відбувається зарядження конденсатора C2 і розрядження C1. Коло заряду C2 ми вже розглянули, а розрядження конденсатора C1 відбувається по колу нижня, позитивно заряджена обкладка конденсатора C1 - R1 - емітер-колектор VT2 (транзистор відкритий) - верхня обкладка конденсатора C1.

З зарядженням конденсатора C2 струм бази VT2 зменшується. У якийсь момент цей транзистор виходить з режиму насичення і переходить в активний режим. Опір кола емітер-колектор зростає, що призводить до зменшення напруги в точці «b» і струму через резистор R4. У цей же час внаслідок розрядження конденсатора C1 U_{c1} знижується. Настає момент, коли ϕ_c (вираз (2.5)) виявляється меншим, ніж (+U), і створюються умови для появи (поки ще незначного) струму бази

VT1. Цей струм протікає по колу позитивний полюс джерела живлення - емітер-база VT1 - C1 - R4 - «М». З цього моменту подальше перемикавання VT1 в повністю відкритий стан відбувається майже миттєво. Тут дається взнаки глибокий позитивний міжкаскадний зворотній зв'язок: поява струму бази VT1 частково відкриває цей транзистор, що призводить до появи струму в колі колектор-емітер VT1 і підвищенню напруги в точці «а». Враховуючи, що конденсатор C2 вже, практично, заряджений (саме внаслідок цього почалося поступове закриття VT2) навіть незначне підвищення потенціалу φ_d згідно з виразом (2.6) підвищує напругу на базі VT2 і сприяє «дозакриттю» транзистора. Закриття VT2 знижує напругу на його колекторі - на резисторі R4 (в точці «b»), а це, в свою чергу, сприяє подальшому відкриттю VT1. Транзистор VT1, відкриваючись, закриває VT2 ... і так до повного перемикавання транзисторів.

У цій фазі роботи мультівібратора, коли на його виході присутня низька напруга, стан елементів такий:

- VT1 відкритий за рахунок струму заряджання конденсатора C1 (+ U - емітер-база VT1 - C1 - R4 - «М»);

- відкритий VT1 (високий потенціал у точці «а») і заряджений у попередньому циклі конденсатор C2 утримують у закритому стані VT2. При цьому $\varphi_d > (+ U)$;

- C2 розряджається по колу нижня, позитивно заряджена обкладка C2 - R2 - емітер-колектор відкритого VT1 - верхня обкладка C2.

Чергове перемикавання мультівібратора відбудеться після заряджання конденсатора C1, коли внаслідок зменшення струму бази VT1 і часткового закриття цього транзистора потенціал φ_d (на базі VT2) виявиться меншим, ніж потенціал емітера, тобто виконається умова $\varphi_d < (+ U)$.

Принцип дії мультівібратора, схема якого наведена на рис. 2.28, б, аналогічний розглянутому раніше. В одному з квазістійких станів відбувається заряд конденсатора C1 (+ U - R1 - C1 - база-емітер VT2 - «М»). Струмом заряджання цього конденсатора транзистор VT2 утримується у відкритому стані. У цей же час заряджений конденсатор C2 розряджається по колу права, позитивно заряджена обкладка - R4 - R3 - ліва, негативно заряджена обкладка C2. Паралельно розрядним

резисторам при відкритому VT2 до конденсатора виявляється підключеним керуючий перехід транзистора VT1, причому до емітера транзистора підключена позитивно заряджена обкладка, а до бази - негативно заряджена. Внаслідок цього транзистор VT1 надійно закритий, у точці «а» присутня висока напруга, що сприяє подальшому заряджанню конденсатора C1. Стала кола заряджання конденсатора C1, що визначає час його заряджання: $\tau_{зар.} = C1 \cdot R1$; постійна кола розряджання C2: $\tau_{роз.} = C2 \cdot (R3 + R4)$. Очевидно, що при однакових ємностях конденсаторів заряджання C1 буде відбуватися швидше, ніж розряджання C2, оскільки, як правило, $R1 = R4$, $R2 = R3$. На відміну від раніше розглянутої схеми, після заряджання конденсатора C1 перемикання транзисторів не відбудеться, тому що струм бази VT2 не припиниться. Тепер він буде протікати по колу + U - R2 - база-емітер транзистора VT2 - «М». Конденсатор C2, що розряджається, продовжує утримувати в замкненому стані транзистор VT1. Перемикання транзисторів відбудеться після повного розряджання конденсатора C2, коли залишкова напруга на ньому вже не зможе утримувати в закритому стані VT1. Після появи струму бази VT1 (+ U - R3 - база-емітер транзисторів VT1 - «М») і зниження потенціалу в точці «а» заряджений C1 починає розряджатися по колу ліва, позитивно заряджена обкладка C1 - R1 - R2 - права, негативно заряджена обкладка C2 і, одночасно, назустріч струму бази VT2, надійно закриваючи цей транзистор. У результаті закриття VT2 підвищується напруга в точці «d», сприяючи заряджанню конденсатора C2 (+ U - R4 - C2 - база-емітер VT1 - «М») і утриманню у відкритому стані транзистора VT1 – струм заряджання конденсатора додається до струму бази транзистора, що протікає через резистор R3. Чергове перемикання транзисторів відбудеться після повного розряджання конденсатора C1 (заряджання C2 закінчиться раніше).

2.10. Генератори синусоїдальних коливань

Дана група генераторів призначена для формування і підтримання незагасальних коливань синусоїдальної форми необхідної частоти. Їх робота заснована на принципі самозбудження підсилювача, охопленого позитивним зворотним зв'язком (рис. 2.29). При цьому вхідним сигналом для підсилювача є частина його вихідної напруги, переданої ланкою зворотного зв'язку.

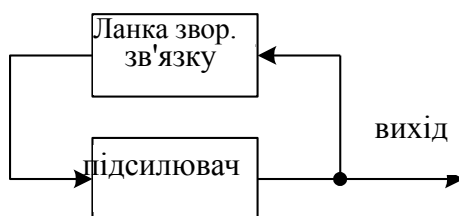


Рис. 2.29. Структурна схема генератора

Для збудження коливань у системі, структурна схема якої наведена на рис. 2.29, необхідне виконання двох умов. Перша полягає в забезпеченні балансу фаз: фазові зсуви, створювані підсилювачем $\varphi_{\text{п}}$ і ланкою зворотного зв'язку $\varphi_{\text{зс}}$, у сумі мають бути кратними 2π :

$$\varphi_{\text{п}} + \varphi_{\text{зс}} = 2\pi n.$$

Друга умова, необхідна для виникнення генерації, – це умова балансу амплітуд. При виконанні балансу амплітуд підсилювач компенсує ослаблення сигналу, створюване ланкою зворотного зв'язку, і у схемі виникають стійкі автоколивання. Для отримання вихідного сигналу синусоїдальної форми використовують кілька способів побудови схем. Найбільш поширеними схемами генераторів є LC-генератори, RC-генератори, генератор Колпітца, генератори Пірса, генератори з кварцовими стабілізаторами частоти та ін.

Розглянемо роботу генератора синусоїдальних коливань на прикладі LC-генератора з трансформаторним зв'язком. Генератор (рис. 2.30) являє собою підсилювальний каскад, виконаний за схемою з загальним емітером. Колекторним навантаженням транзистора VT є резонансний LC-контур з високою добротністю.

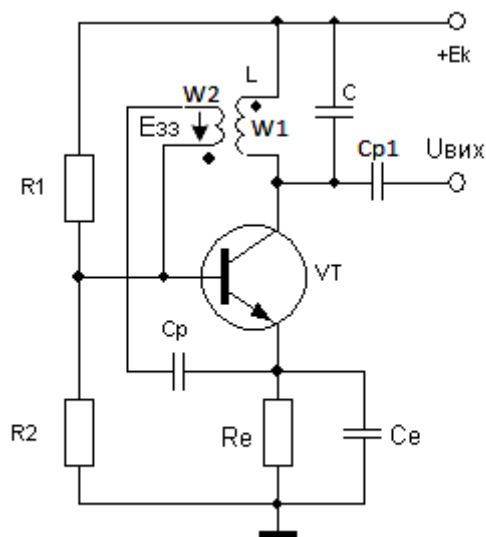


Рис. 2.30. Схема генератора з трансформаторним зворотним зв'язком

Сигнал зворотного зв'язку знімається з вторинної обмотки резонансного контуру і через розділювальний конденсатор C_p подається на базу транзистора, забезпечуючи сумарний фазовий зсув, близький до 2π . Якщо прийняти індуктивний зв'язок між первинною (w_1) і вторинною (w_2) обмотками ідеальним, для забезпечення балансу амплітуд необхідно виконати умову $\beta \geq w_1 / w_2$, де β – коефіцієнт посилення струму транзистора, w_1 , w_2 – кількість витків первинної і вторинної обмоток відповідно. Частота генерованих коливань близька до резонансної частоти коливального контуру:

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}.$$

Розглянемо процеси, що протікають у наведеній на рис. 2.30 схемі. Після підключення джерела живлення резисторами R_1 , R_2 на базі транзистора VT створюється позитивний відносно емітера зсув. У результаті транзистор відкривається, створюючи умови для протікання струму в колі колектор-емітер. Опори резисторів повинні бути досить великими, щоб транзистор не входив у режим насичення, а знаходився в активному режимі. Тобто повинна існувати можливість для подальшого відкривання і закривання транзистора з цього початкового стану. У перший

момент після часткового відкриття транзистора напруга джерела живлення виявляється прикладеною до коливального контуру, утвореного індуктивністю первинної обмотки трансформатора і конденсатором С. Спочатку колекторний струм транзистора заряджає конденсатор С (розряджений конденсатор шунтує обмотку W1), а потім, з його зарядженням, починає протікати і через індуктивний елемент. Як відомо, струм через індуктивний елемент зростає за законом, близьким до експоненціального: принаймні, не стрибкоподібно. Зростаючий у колекторній обмотці струм створює зростаючий магнітний потік, який, у свою чергу, пронизуючи витки вторинної обмотки, індукує в них ЕРС. Миттєва полярність індукованої напруги така, що до струму зміщення додається струм зворотного зв'язку, сприяючи подальшому відкриттю (“довідкриттю”) транзистора. У загальному випадку струм бази транзистора, що протікає по колу + Ек - R1 - база-емітер VT - Ре - «М», залежить від миттєвої полярності напруги на виході вторинної обмотки трансформатора і може як збільшуватися на величину струму зворотного зв'язку, так і зменшуватися.

$$I_b = I_c + (-) |I_{z3}|,$$

де I_b – струм бази транзистора;

I_c – струм зсуву;

$|I_{z3}|$ - модуль струму, створеного обмоткою зворотного зв'язку (W2).

У цій фазі роботи генератора струм зворотного зв'язку I_{z3} протікає по колу нижній вивід вторинної обмотки трансформатора (+ E_{z3}) - база-емітер VT - Ср - верхній вивід обмотки (- E_{z3}), тобто додаючись до струму зсуву. Оскільки сумарний струм бази зростає, опір кола колектор-емітер транзистора знижується, сприяючи подальшому збільшенню струму колектора (він же є струмом колекторної обмотки трансформатора). Зростаючий струм в обмотці W1 створює в трансформаторі зростаючий магнітний потік. Зростаючий магнітний потік індукує в обмотці зворотного зв'язку (W2) ЕРС з колишньою полярністю — такою, що сприяє подальшому відкриттю транзистора... і т. д. Через якийсь час (залежно від

ємності конденсатора C і індуктивності L) колекторний струм транзистора стабілізується. Стабілізація струму в колекторному колі пояснюється тим, що зі зменшенням опору транзистора навіть при зростанні струму бази через наявність резистора R_e приріст струму колектора буде зменшуватися, наближаючись до значення $I_k = E_k / R_e$. Стабілізація струму в колекторному колі транзистора VT веде до стабілізації струму в первинній обмотці трансформатора і стабілізації магнітного потоку, створюваного цією обмоткою.

ЕРС в обмотці зворотного зв'язку пов'язана з магнітним потоком, що її створює, виразом

$$E_{зз} = -W_2 \frac{d\Phi}{dt}, \quad (2.7)$$

де $E_{зз}$ – електрорушійна сила в обмотці зворотного зв'язку;

W_2 – кількість витків вторинної обмотки трансформатора;

$\frac{d\Phi}{dt}$ – похідна від магнітного потоку.

Тому зі стабілізацією магнітного потоку ЕРС зворотного зв'язку буде зменшуватися, наближаючись до нуля. Зменшення $E_{зз}$ призведе до зменшення струму бази транзистора, а отже, до його «прикриття». Фактично струм бази зменшиться до струму зсуву. Закриття транзистора викличе зменшення струму колектора, що протікає через первинну обмотку трансформатора. Це у свою чергу призведе до зменшення магнітного потоку, що пронизує витки вторинної обмотки і за виразом (2.7) – до зміни полярності ЕРС зворотного зв'язку. (Похідна функції позитивна, якщо функція зростає, негативна – при зменшенні функції, дорівнює нулю в точках екстремуму.) З цього моменту струм зворотного зв'язку протікає зустрічно струму зсуву, зменшуючи результуючий струм бази транзистора. Транзистор продовжує закриватися, зменшуючи струм у первинній обмотці трансформатора і створюваний нею магнітний потік. У свою чергу магнітний потік, що зменшується, індукує у вторинній обмотці ЕРС, яка сприяє подальшому закриттю транзистора. Ця фаза роботи генератора (закриття транзистора) закінчиться після стабілізації струму в первинній обмотці трансформатора в області малих значень. Відсутність приросту магнітного потоку (у даному випадку – у негативний бік) призводить, за виразом (2.3), до зменшення до нуля ЕРС зворотного зв'язку, що закривала

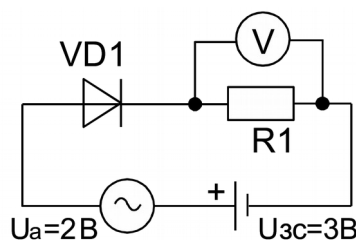
транзистор. Починається чергова фаза роботи генератора - поступове збільшення струму.

З описом RC-генераторів, Генераторів Колпітца, Пірса, генераторів з кварцовими стабілізаторами частоти можна познайомитися в спеціальній літературі. Ми ж зі свого боку лише зазначимо, що, не дивлячись на відмінність схем та елементної бази цих генераторів, загальні принципи їх роботи схожі й в цілому відповідають розглянутим.

Якщо в процесі роботи пристрою або системи, до складу яких входить генератор, потрібна зміна частоти коливань, до складу генератора включають вузол керування, що змінює за зовнішнім сигналом параметри коливального контуру: його сумарну ємність або індуктивність.

Контрольні питання до розділу

1. Побудуйте діаграму напруги на резисторі R1.



2. Як можна впливати на вибір робочої точки на вольт-амперній характеристиці діода?

3. Яке падіння напруги на діоді спостерігається при протіканні струму у провідному напрямі?

4. Наведіть умовні позначення і еквівалентні схеми n-p-n і p-n-p транзисторів.

5. Що називають коефіцієнтом посилення струму бази? Що характеризує цей коефіцієнт?

6. У яких режимах може знаходитись транзистор? Чим характеризуються ці режими?

7. Поясніть, якими будуть напруги U_1 , U_2 , U_3 при замкненому і розімкненому ключі S (рис. 2.7, а, б).

8. Поясніть, чому у схемі, наведеній на рис. 2.6, закриття транзистора VT2 не гарантується.

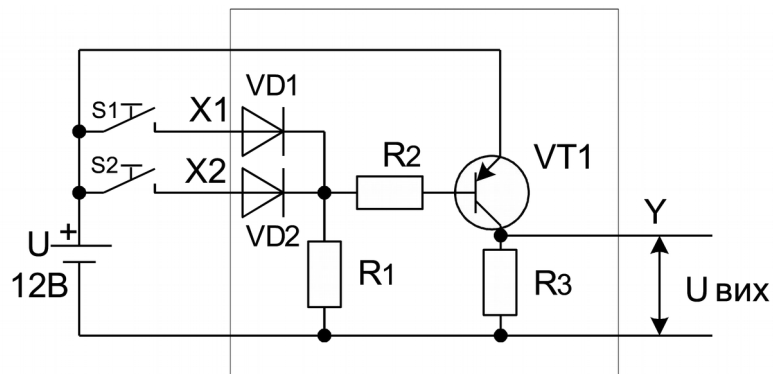
9. Що називають логічними залежностями і логічними схемами?

10. Що називають логічним аналізом і логічним синтезом?

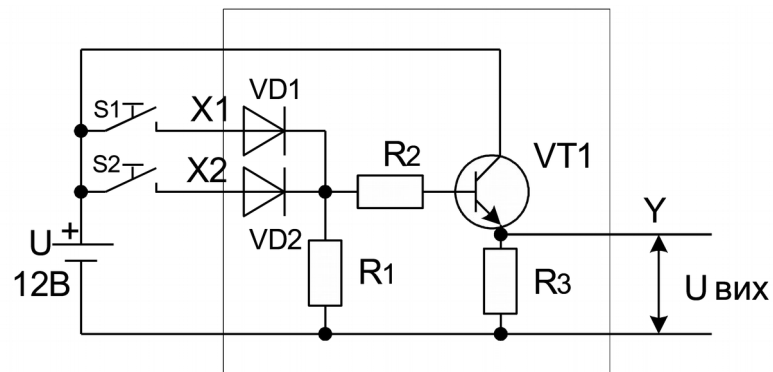
11. Наведіть умовні позначення і таблиці істинності базових логічних елементів.

12. Наведіть можливу електричну схему логічного елемента І (І-НЕ, АБО, АБО-НЕ) з трьома входами. Поясніть принцип роботи пристрою.

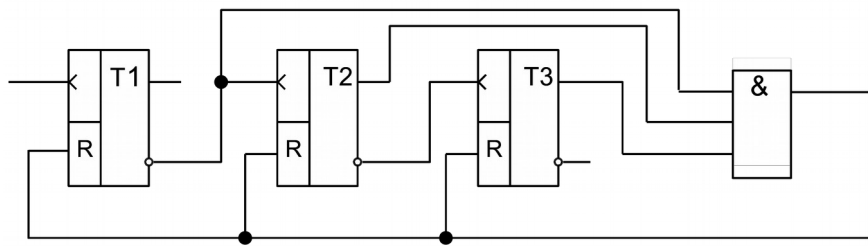
13. Яку логічну функцію здатен виконувати пристрій, схема якого наведена на рисунку?



14. Яку логічну функцію здатен виконувати пристрій, схема якого наведена на рисунку?



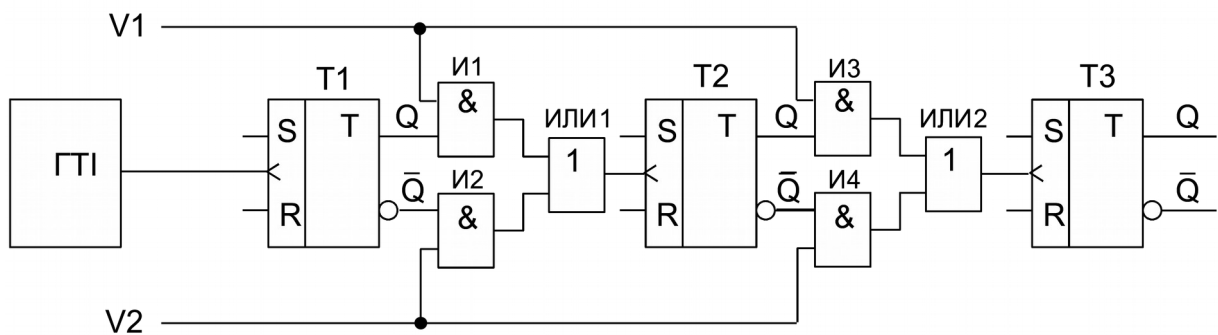
15. Схема якого пристрою наведена на рисунку? Для виконання якої функції призначено елемент І?



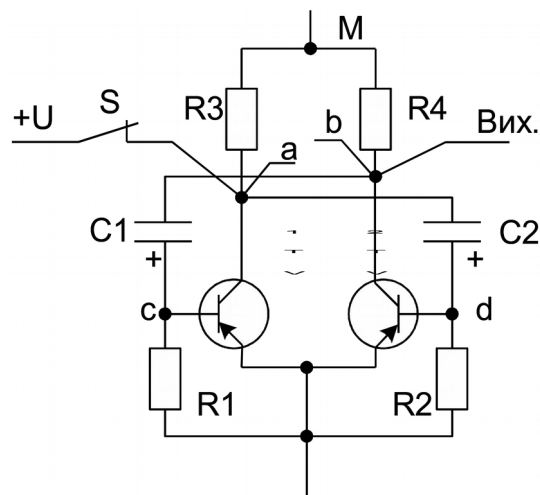
16. Поясніть призначення і принцип дії тригерів з роздільними входами.

17. Поясніть призначення і принцип дії тригерів з загальними входами.

18. Тригери наведеної нижче схеми знаходяться в стані $T1 = 0, T2 = 1, T3 = 1$. У якому стані повинні знаходитись входи $V1, V2$, щоб з наступним тактовим імпульсом тригери набули стану $T1 = 1, T2 = 1, T3 = 1$?



19. Схема якого пристрою наведена на рисунку?



20. Поясніть призначення шифраторів і дешифраторів.

21. Що являють собою підсумовувальні, віднімальні і реверсивні двійкові лічильники? Чим вони відрізняються?

22. Для виконання яких функцій призначені розподільники? Які можливі варіанти їхньої схемотехнічної реалізації? Наведіть приклади.

23. Для чого призначені мультівібратори? Поясніть принцип дії мультівібратора на прикладі схеми, наведеної на рис. 2.28, б.

24. На якому принципі заснована робота генераторів синусоїдальних коливань?

25. Як чином можна змінювати робочу частоту генераторів синусоїдальних коливань?

3. ПРИНЦИПИ ПОБУДОВИ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ І КОНТРОЛЮ

3.1. Загальні відомості

Будь-яка цілеспрямована діяльність можлива лише в рамках певної системи з тим чи іншим рівнем складності. У даному випадку йдеться про **технологічні** системи, що складаються з людей і технічних засобів. Залежно від принципів побудови і функціонування апаратної складової технологічних систем зазвичай розрізняють технічні та кібернетичні системи, які взаємодіють з людиною [6]. Системи диспетчерського управління – це технічні системи (у всякому разі, на поточний момент), тому в даній роботі йтиметься саме про них.

Технічні системи створюються для виконання певної цільової функції, тобто для досягнення певного результату/результатів. Процес формування доцільної поведінки системи називається **управлінням**. Більш вузько (стосовно окремих пристроїв, а не систем) управління може бути визначено як процес надання на технічний засіб спеціально організованих впливів ззовні, спрямованих на отримання необхідного результату його функціонування. Пристрій, на який спрямовані керуючі дії, називається **керованим об'єктом (об'єктом управління)**, а пристрій, що їх формує, – **керуючим пристроєм**.

Комплекс технічних засобів, призначений для здійснення цілеспрямованої діяльності щодо будь-яких технологічних об'єктів, називається системою управління.

Виконання цільових функцій будь-якої системи управління досягається, якщо між її частинами відбувається обмін інформацією, енергією та речовиною. Залежно від призначення системи і засобів її реалізації три види обміну одночасно можуть і не бути присутніми, проте інформаційні та енергетичні взаємодії, як у системах диспетчерського управління, наприклад, є обов'язковими. Під інформаційною взаємодією в даному випадку розуміється передавання команд і контрольних повідомлень, під енергетичною – передавання енергії для роботи виконавчих механізмів: живлення ламп світлофорів, електродвигунів стрілочних приводів і т.п. Слід зазначити, що терміни «інформаційна взаємодія» і «енергетична взаємодія» досить умовні, оскільки неможливе передавання інформації без передавання енергії. Тим більше, що в ряді випадків процеси передавання інформації та електроенергії (у тому контексті, що

викладено вище) поєднуються. Тому відмінності в наведених термінах, швидше за все, кількісні, ніж якісні і мають відношення тільки до мети взаємодії.

Управління, як частина технологічного процесу, може бути ефективним лише в тому випадку, якщо оператор водночас з можливістю впливати на об'єкти управління отримує необхідну для прийняття рішень контрольну (сигнальну) інформацію. Технічні засоби, призначені для передавання і реалізації команд, називаються пристроями телеуправління (ТУ); передавання реєстрація і відображення контрольної інформації здійснюють пристрої телесигналізації (ТС). Величини і дані, що передаються за допомогою пристроїв ТУ-ТС, мають розпорядчий або контрольний характер. Всі вони об'єднуються загальним терміном «повідомлення» і охоплюють накази, команди, сповіщення про стан контрольованих об'єктів, значення вимірюваних величин, тобто все те, що має бути передано з одного пункту в інший. Стосовно систем ДЦ повідомленнями слід вважати команди (накази) на встановлення тих чи інших маршрутів, переведення стрілок, контрольну інформацію про стан станційних і перегінних пристроїв.

У більшості виробничих процесів керуючий пристрій знаходиться в пункті управління (ПУ), а керовані об'єкти – в одному або декількох контрольованих пунктах (КП), віддалених від пункту управління на деяку відстань. У цьому випадку для організації управління ПУ і КП з'єднуються лінією/лініями зв'язку (ЛЗ). У системах залізничної автоматики найбільшого поширення набули провідні лінії зв'язку. Під провідною лінією зв'язку звичайно розуміють технічні засоби, що включають у себе пристрої захисту від перенапруг, ізолятори, кабель, проводи, що з'єднують розпорядчі та виконавчі пункти (ПУ і КП відповідно). Реальні лінії зв'язку є досить складними комплексами елементів з розподіленими по довжині лінії параметрами: активним і індуктивним опором провідників, провідністю ізоляції, ємністю між провідниками лінії. І хоча в цьому посібнику завдання дослідження їх параметрів не ставиться, нагадати читачеві схему заміщення провідної лінії зв'язку буде не зайвим.

Лінія зв'язку елементарної довжини dl характеризується активним опором провідників R_a , індуктивністю L , опором

ізоляції R_i , ємністю C (рис. 3.1). Причому практично всі ці параметри нелінійні – їх значення можуть змінюватися від температури, вологості, частоти струму, що протікає по провідниках ЛЗ. Навіть якщо прийняти з деякою похибкою незмінність R_a , R_i , L і C , стає зрозумілим механізм впливу лінії зв'язку на сигнали, що передаються: у загальному випадку з віддаленням від джерела рівень сигналу в лінії знижується – сигнал «загасає».

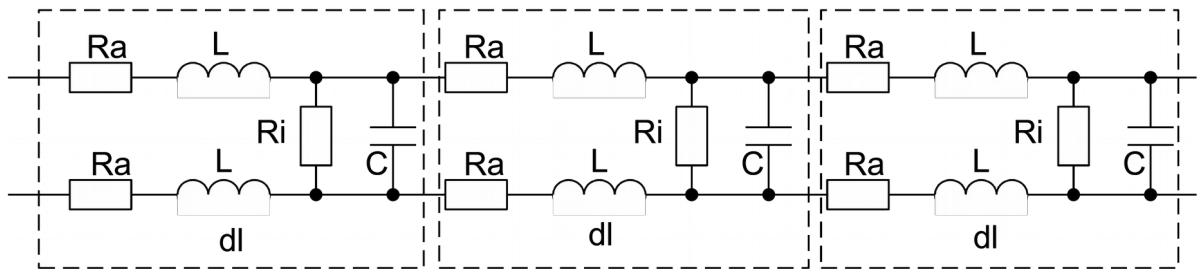


Рис. 3.1. Спрощена електрична схема провідної лінії зв'язку

3.2. Види управління

Залежно від способів передачі впливів керування від ПУ до КП, забезпечення виконавчих механізмів енергією для роботи розрізняють три основних види управління віддаленими об'єктами: місцеве, дистанційне і телемеханічне (телеуправління).

3.2.1. Місцеве управління

При місцевому способі в ПУ знаходяться органи управління і джерело енергії для живлення об'єктів, а на КП – тільки керовані об'єкти. Лінією зв'язку передаються керуючі впливи об'єктам управління. Процеси інформаційної та енергетичної взаємодії між частинами системи управління суміщені (див. підрозділ 3.1). У ряді літературних джерел цей спосіб називають також **прямопровідним управлінням**.

Приклад схемної реалізації місцевого способу управління показано на рис. 3.2. Тут органами управління є кнопки $K_1 - K_n$, за допомогою яких вмикаються і вимикаються керовані об'єкти. Лінійна батарея ЛБ для живлення об'єктів управління розташована в ПУ. Слід зазначити, що принципового значення

місце розташування пристроїв електроживлення не має – батарея може розташовуватися і в безпосередній близькості від ОУ, проте зазвичай для зменшення кількості напільних пристроїв установка живлення розміщується в пункті управління.

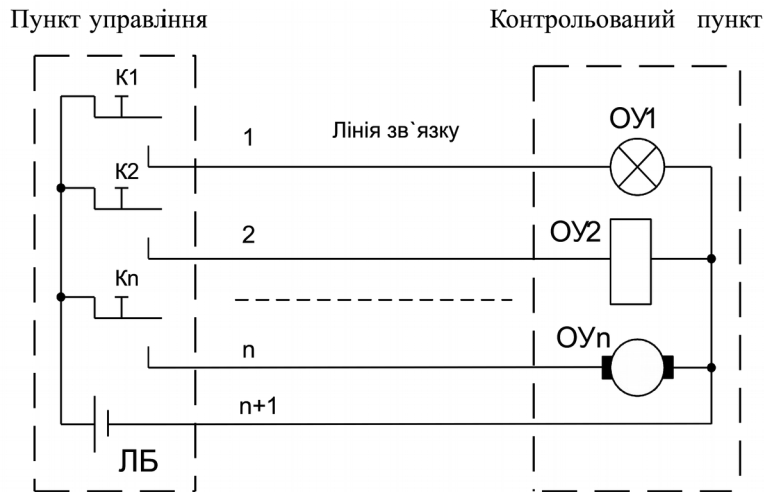


Рис. 3.2. Приклад схемної реалізації місцевого управління

Перевагами місцевого управління є його простота; практично миттєва реакція на введені команди; відсутність будь-якої додаткової апаратури, крім кнопкового пульта (комутатора), об'єктів управління і провідників лінії зв'язку. Його відрізняє висока надійність і завадостійкість. Так, пошкодження однієї з ліній зв'язку (при індивідуальних або резервованих зворотних провідниках) не порушує управління іншими об'єктами. Несанкціоноване вмикання об'єкта управління в результаті впливу електромагнітних завад на лінію зв'язку малоімовірно, оскільки вимагає значної потужності завади і її безперервної тривалої дії.

Найбільш поширений спосіб енергопостачання при місцевому управлінні – центральне живлення об'єктів. Енергія, необхідна для вмикання ОУ, передається по провідниках лінії зв'язку з пункту управління. Тому місцевий спосіб має два істотних недоліки: незначна дальність керування через втрати енергії в лінії зв'язку і багатопровідність. Для того щоб керувати N об'єктами за схемою, наведеною на рис. 3.2, потрібно мінімум $N + 1$ провідник (один провідник загальний). Якщо ж взяти до уваги той факт, що лінія зв'язку має досить великий опір (див. рис. 3.1), при управлінні ОУ зі значною потужністю споживання

(наприклад, стрілочними електродвигунами) для зменшення втрат енергії в лініях зв'язку частину кабельних жил необхідно дублювати. (Для прикладу: активна складова R_a опору мідної кабельної жили діаметром 1.05 мм і довжиною 1 км має опір 23,5 Ом.) Це у свою чергу веде до збільшення витрати кабельно-провідникової продукції та підвищення вартості системи управління. Тому місцевий спосіб застосовують при невеликих відстанях між ПУ і КП (до 1500-2000 м) і невеликій кількості об'єктів (одиниці, десятки).

3.2.2. Дистанційне управління

Дистанційний спосіб (рис. 3.3) принципово відрізняється від місцевого тим, що при дистанційному управлінні лінією зв'язку передається інформація про те, який об'єкт треба ввімкнути/вимкнути, а не енергія для роботи цього об'єкта: інформаційна та енергетична взаємодія частин системи керування розділені. У цьому випадку в пункті управління формуються керуючі дії, що забезпечують вибір ОУ, тобто команди управління. Ці команди використовуються для вмикання на КП комутуючих пристроїв (КУ), які, у свою чергу, замикають робочі кола об'єктів управління. Об'єкти управління отримують живлення від місцевих джерел, що знаходяться в безпосередній близькості від них.

Як впливає з рис. 3.3, при натисканні однієї з кнопок K , розташованих у пункті управління, замикається електричне коло відповідного комутуючого пристрою КУ (проміжного реле, наприклад), контактами якого здійснюється безпосереднє керування об'єктами.

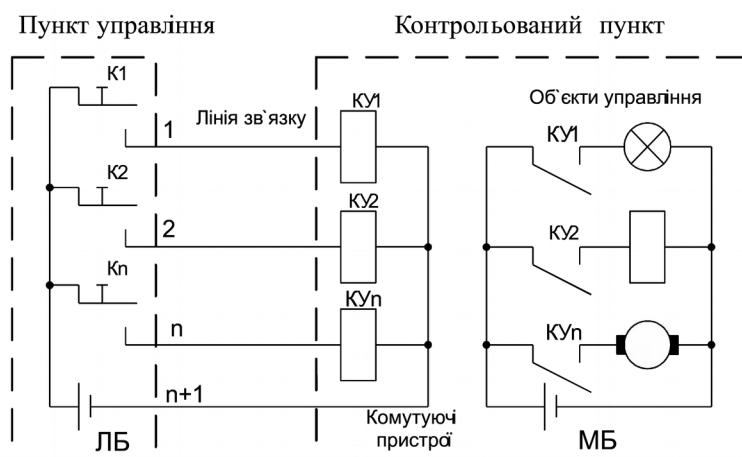


Рис. 3.3. Структурна схема системи з дистанційним управлінням

Дистанційний спосіб дозволяє збільшити дальність управління, оскільки лінією зв'язку передаються сигнали малої потужності – для вмикання проміжних реле. (Для порівняння: струм спрацювання комутуючого пристрою становить 15-20 мА; робочий струм об'єкта управління, зазвичай, 1-2 А.) Тому втрати енергії в лінії зв'язку при ДУ істотно менші, у порівнянні з місцевим управлінням. Однак такий недолік, як багатопровідність, зберігається. Дистанційне керування ефективне на середніх відстанях (до 3 – 5 кілометрів) при невеликій кількості об'єктів (десятки об'єктів).

ДУ застосовують в системах електричної централізації з місцевим живленням і в системах автоблокування. У цьому випадку в горловинах станцій (або на перегонах) розташовуються релейні шафи, у яких розміщуються проміжні реле, джерела живлення та інші комутуючі пристрої, що замикають робочі кола об'єктів управління.

3.2.3. Телеуправління

Термін «телеуправління» означає віддалене управління або управління на відстані.

Основна мета телемеханічного способу управління – зробити кількість провідників ліній зв'язку істотно меншою від кількості об'єктів керування. У цьому випадку лінія зв'язку повинна стати спільною для групи об'єктів. Щоб команди, передані загальною лінією зв'язку, впливали на якийсь певний об'єкт (а не на все відразу), у пункті передачі вони зашифровуються (коднуються), а в пункті приймання розшифровуються (декуються). Комплекс технічних засобів, що вирішують ці завдання, називається виборчими пристроями.

Структурна схема системи, що дозволяє реалізувати телемеханічний спосіб управління, наведена на рис. 3.4.

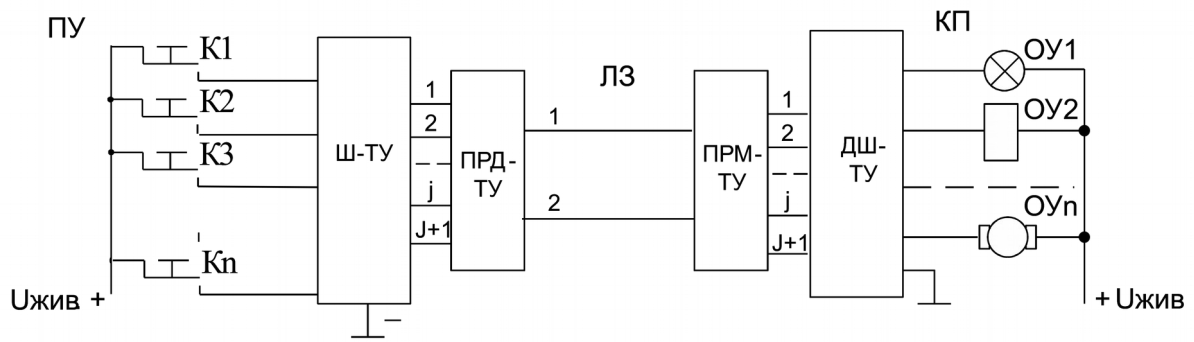


Рис. 3.4. Структурна схема системи ТУ

Керуючий вплив на систему з боку оператора здійснюється натисканням кнопок K_1-K_n на апараті управління. Вхідні сигнали перетворюються шифратором (Ш-ТУ) у форму, зручну для подальшої передачі. Передавач (ПРД-ТУ) забезпечує доставку команд у контрольований пункт, зазвичай двопровідною лінією. Приймач ПРМ-ТУ відновлює повідомлення і передає його в дешифратор (ДШ-ТУ). Дешифратор визначає зміст команди, вибирає об'єкт управління і необхідним чином впливає на нього. При телеуправлінні між ПУ і КП здійснюється тільки інформаційна взаємодія. Необхідну енергію для роботи об'єкти управління отримують від місцевого джерела.

Перевагою телеуправління порівняно з місцевим і дистанційним є значно менша кількість провідників лінії зв'язку (як правило, використовується двопровідна лінія), малі втрати енергії в ЛЗ, висока заводозахищеність, практично необмежена дальність управління та контролю (при використанні проміжних підсилювачів).

Більш докладно робота систем телеуправління розглянута в наступних підрозділах.

3.3. Основні принципи побудови і функціонування систем телеуправління

Зменшення кількості провідників лінії зв'язку при великій кількості об'єктів управління можливе за рахунок шифрування (кодування) переданої і дешифрування (декодування) прийнятої інформації.

Перед надходженням у лінію зв'язку повідомлення повинно бути сформоване таким чином, щоб його передавання здійснювалось з найбільшою ефективністю: заданою надійністю і максимальною швидкістю (докладніше див. п. 3.7.2).

Процес перетворення повідомлень з однієї форми в іншу, що здійснюється за певними законами або правилами для найбільш раціонального передавання лініями зв'язку, називається кодуванням. У свою чергу коди – це закони або правила, за якими відбуваються вказані перетворення. Так, наприклад, коди Бауера, циклічні коди, коди з постійною вагою – це правила перетворення повідомлень.

Крім того, кодами називають отримані в результаті кодування впорядковані множини логічних змінних, що несуть командну або контрольну інформацію. Так, коли ми говоримо: «Сформовано код команди ...», під кодом розуміємо саме результат кодування безвідносно до того, за яким правилом це кодування здійснювалося. У цьому випадку доречніше було б говорити «кодова комбінація». Кожна кодова комбінація зазвичай складається з фіксованого набору символів (рівномірні коди) і відповідає одному повідомленню.

Мету і результати кодування проілюструємо за допомогою такого прикладу. Припустимо, з пункту А в пункт Б необхідно передавати вісім різних команд: об'єкт управління № 1 ввімкнути; об'єкт управління № 1 вимкнути; об'єкт управління № 2 ввімкнути; ...; об'єкт управління № 4 вимкнути. Оскільки перелік команд заздалегідь визначений і незмінний (тобто якась інша команда, яка не входить до даного списку, передаватися не буде), по лінії зв'язку можна передавати тільки номер команди зі списку. Наприклад:

об'єкт управління №1 ввімкнути	1;
об'єкт управління №1 вимкнути	2;
об'єкт управління №2 ввімкнути	3;
.....
об'єкт управління №4 вимкнути	8.

Наведений список команд і десятковий номер, що їм відповідає (у даному випадку однорозрядна кодова комбінація), являють собою правило кодування для згаданої вище системи управління, наприклад з телефонним каналом зв'язку. Якби було

потрібно передавати більшу кількість команд, то, очевидно, треба було б і більше розрядів для кодування номерів команд: до десяти команд включно – достатньо одного розряду десяткового коду (0-9, розглянутий приклад); до ста команд включно – два розряди десяткового коду (00-99); до тисячі команд – три розряди десяткового коду (000-999) і т. д. Правило присвоєння командам номерів (правило кодування) вибирає розробник системи управління, керуючись певними міркуваннями (див. п. 3.7.2). Так, наведений список команд міг би виглядати інакше:

об'єкт управління №4 вимкнути	1;
об'єкт управління №4 ввімкнути	2;
об'єкт управління №3 вимкнути	3;
об'єкт управління №3 ввімкнути	4 і т. д.

Очевидно, що для правильного функціонування системи управління правила кодування інформації на передавальному боці і правила декодування на приймальному повинні бути однаковими. Тобто якщо шифратор при введенні команди «об'єкт управління № 3 вимкнути» формує на своєму виході «3», дешифратор після приймання «3» має створити умови для вимикання об'єкта № 3, а не якогось іншого.

У розглянутих прикладах для кодування команд використовувалась десяткова система числення. Проте її застосування в технічних системах управління проблематичне. Пояснюється це складністю представлення значень розрядів кодових комбінацій (0, 1, 2, ... 9) і в шифраторі, і в лінії зв'язку.

Інша справа – використання для побудови кодів двійкової системи числення. Її основна перевага порівняно з десятковою полягає в тому, що схемна реалізація пристроїв для операцій з двійковими числами не викликає особливих труднощів, оскільки більшість елементів, які використовуються для побудови схем, мають два стійких стани. Це електромагнітні реле, тригери, транзистори, що працюють у ключовому режимі. Один з цих станів позначають «1», інший «0». Крім того, для побудови телемеханічних сигналів достатньо двох імпульсних ознак: амплітуда U_1 або U_0 , частота f_1 або f_0 , фаза Φ_1 або Φ_0 для передавання елементів повідомлень, які мають значення «1» або «0» відповідно.

Повернемося до розглянутого раніше завдання (з пункту А в пункт Б необхідно передавати вісім різних команд), але для побудови кодів скористаємося двійковою системою числення. У табл. 3.1 наведено змістовне значення команд, десяткові і двійкові коди, що їм відповідають

Таблиця 3.1

Ненадлишковий трирозрядний код

Змістовне значення команди	Десятковий код	Двійковий код
об'єкт управління № 1 ввімкнути	1	001
об'єкт управління № 1 вимкнути	2	010
об'єкт управління № 2 ввімкнути	3	011
об'єкт управління № 2 вимкнути	4	100
об'єкт управління № 3 ввімкнути	5	101
об'єкт управління № 3 вимкнути	6	110
об'єкт управління № 4 ввімкнути	7	111
об'єкт управління № 4 вимкнути	8	000

Як і в першому випадку, кодування являє собою нумерацію команд, але тепер вже у двійковій системі числення. Звернемо тільки увагу на той факт, що для кодування восьми команд достатньо було одного розряду десяткового коду, а при використанні двійкового – знадобилося три. У загальному випадку, максимальна кількість кодових комбінацій N , яка може бути отримана для n -розрядного коду з основою M

$$N = (M)^n. \quad (3.1)$$

Для десяткового коду $M = 10$, а для двійкового $M = 2$. Неважко визначити мінімальну розрядність двійкового коду для десяти, ста або тисячі команд (як ми це робили для десяткового коду): для десяти команд – 4 розряди (0000-1010), для ста команд – 7 розрядів (0000000-1100100), для тисячі команд – 10 розрядів (0000000000-1111101000). Однак у реальних системах управління вибором правила (закону) кодування вирішуються не тільки питання нумерації команд, а ще й питання ефективної (максимально вірогідної і з мінімальними втратами) доставки.

Тому розрядність кодів (довжина) у технічних системах завжди більше від мінімальної (докладніше див. п. 3.7.1, 3.7.2).

Незалежно від прийнятого правила присвоєння командам двійкових номерів, сформований шифратором код команди повинен бути переданий з пункту А в пункт Б для подальшого дешифрування і формування необхідного впливу на об'єкт управління. Це завдання може бути вирішено різними способами.

Для передавання повідомлень лінією зв'язку необхідний переносник, який із заданою швидкістю і найменшими спотвореннями доставив би одержувачу адресоване йому повідомлення. Передавання повідомлень у системах телемеханіки відбувається каналами зв'язку, де в якості переносника повідомлень виступає постійний або змінний струм. Постійний струм характеризується такими параметрами, як амплітуда і полярність, змінний - амплітудою, частотою і фазою. Змінюючи один або декілька параметрів (ознак) переносника за певним правилом відповідно до структури вихідного повідомлення (коду), можна здійснити його доставку в пункт приймання.

Таким чином, у процесі передавання каналами зв'язку повідомлення ніби накладається на переносник, змінюючи його параметри. *Переносник з «нанесеним» на нього повідомленням називається **сигналом***. Очевидно, що кожне повідомлення, будь то команда або сповіщення про стан контрольованих об'єктів, утворює свій власний сигнал, відмінний від інших. Це необхідно для розрізнення повідомлень на приймальному боці.

При обмеженій кількості повідомлень кожному повідомленню можна поставити у відповідність певне значення ознаки переносника: наприклад першу команду з табл. 3.1 будемо передавати, використовуючи частоту f_1 змінного струму, другу команду – f_2 і т. д. Тобто при натисканні кнопки К1 відповідний пристрій у пункті управління генерує і передає в лінію зв'язку змінний струм з частотою f_1 ; при натисканні кнопки К2 – частоту f_2 , К3 – f_3 Приймання тієї чи іншої частоти в контрольованому пункті повинне забезпечити вмикання відповідного об'єкта управління. Якщо ж кількість повідомлень більше від кількості ознак, які можуть бути використані (так, у виділеній лінії зв'язку можна використовувати не більше 15-20 різних частот), кожному повідомленню ставиться у відповідність **складний сигнал**, що

складається з сукупності ознак, що використовуються на певних інтервалах часу. Такий підхід може бути використаний для порозрядного передавання двійкових кодів команд. Якщо значенням логічних змінних (0 і 1) двійкового коду привласнити певні значення ознак, наприклад f_1 і f_2 , передавання повідомлень буде зводитися до послідовного (через фіксовані інтервали часу) чергування частотних імпульсів переносника. *Імпульсами називаються короточасні впливи електричної напруги або струму на лінійне коло.* Протягом одного імпульсу значення ознаки переносника не змінюється. Часовий інтервал, протягом якого передається один імпульс складного сигналу, називається тривалістю імпульсу, а використовувані для побудови сигналів характеристики переносника – **імпульсними ознаками сигналу.**

3.4. Фізичні характеристики каналів зв'язку і сигналів

У підрозділі 3.1 було дано визначення **провідної лінії** зв'язку як комплексу технічних засобів, що включає в себе пристрої захисту від перенапруг, ізолятори, кабель, провідники для з'єднання розпорядчих і виконавчих пунктів. Чому йшлося про провідну лінію? Тому що це найбільш поширений у системах залізничної автоматики тип ліній зв'язку, який дозволяє передавати не тільки слабкострумові сигнали, а в ряді випадків і енергію для роботи об'єктів управління (див. підрозділи 3.2, 3.3). Термін «канал зв'язку» застосовувався неодноразово, проте визначення каналу зв'язку дано не було.

Під **каналом зв'язку** мають на увазі комплекс технічних засобів, що включає в себе лінію зв'язку і апаратуру, яка дозволяє забезпечувати передавання сигналів від джерела до одержувача незалежно від передавання по ній інших сигналів. Тобто лінія зв'язку - це середовище поширення сигналів, а канал зв'язку – це середовище + апаратура, що дозволяє ефективно використовувати це середовище. Так, по одній лінії зв'язку (у тому числі і провідній) можна організувати кілька каналів зв'язку, виділивши кожному для роботи певну смугу частот. При цьому можливе одночасне передавання сигналів різними каналами і в різних напрямках.

За типом середовища поширення і переносником, що використовується, канали зв'язку поділяються на провідні, акустичні, оптичні, інфрачервоні, радіоканали. У будь-якому каналі перенесення електромагнітної енергії сигналів залежить від властивостей каналу.

Кількісні можливості каналів зв'язку, з точки зору пропускної здатності (ємність каналу V_k), характеризуються трьома параметрами: часом, протягом якого канал надано відправнику повідомлення (T_k), смугою частот пропускання каналу (F_k) і допустимою електричною потужністю сигналу, що передається по каналу (H_k) [6]:

$$V_k = T_k \cdot F_k \cdot H_k. \quad (3.2)$$

Аналогічно може бути представлений і об'єм переданого сигналу V_c .

$$V_c = T_c \cdot F_c \cdot H_c, \quad (3.3)$$

де T_c – тривалість імпульсу сигналу;

F_c – ширина спектра частот сигналу;

H_c – перевищення рівня сигналу над рівнем завад.

Нормальне передавання сигналу можливе лише при правильному узгодженні об'ємів сигналу і каналу. Причому завжди повинна виконуватися не тільки умова $V_k > V_c$, але і $T_k > T_c$, $F_k > F_c$, $H_k > H_c$. Узгодження сигналу з каналом зводиться до зменшення одного параметра і пропорційного збільшення іншого зі збереженням умови $V_k > V_c$.

Очевидно, що чим більша кількість інформації передається по каналу в одиницю часу при заданій вірогідності, тим краще експлуатується канал (чим інтенсивніше використовується система – у даному випадку підсистема зв'язку, тим швидше вона окупається). Однак все сказане має відношення до систем зв'язку, орієнтованих на передавання інформації з комерційною метою. Для систем ДЦ максимальне завантаження каналу зв'язку не настільки актуальне порівняно з вірогідністю і швидкістю доставки інформації. Не дивлячись на різну кінцеву мету, поставлену перед апаратурою комерційного зв'язку та

підсистемою зв'язку ДЦ, для досягнення максимального використання каналу за частотою F_k і часом T_k при постійній енергії сигналів N_k застосовуються однотипні підходи.

Частотне розділення сигналів

Всю смугу частот каналу F_k розбивають на кількість наявних двійкових розрядів кодових комбінацій n з тим, щоб кожен з них передавався незалежно від інших на своїй частоті (рис. 3.5, а).

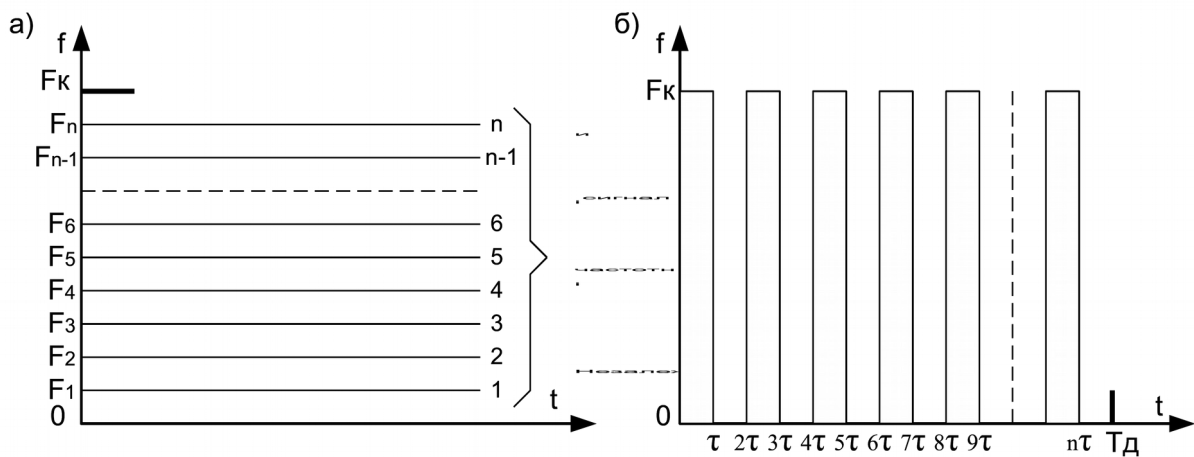


Рис. 3.5. Частотне і часове розділення сигналів

Подібний спосіб досить легко реалізувати при відносно невеликій кількості розрядів (а отже, і сигналів), оскільки розрізняти близькі частоти складно.

Якщо є обмеження на допустимий час передавання сигналів T_d , мінімальна смуга частот, необхідна для передавання сигналу такої тривалості, визначається співвідношенням $F_c = 1/T_d$. Максимальна кількість частотних сигналів $n = F_k / F_c$ [6].

Аналогічно можуть бути організовані частотні канали для незалежного передавання безперервних сигналів.

Часове розділення сигналів

Повністю використати смугу частот каналу зв'язку можна при передаванні сигнальних імпульсів тривалістю $\tau = 1/F_k$. Такі імпульси повинні передаватися послідовно в часі, оскільки кожен з них вимагає всієї смуги частот F_k каналу (рис. 3.5, б). Для правильного приймання сигналів між імпульсами повинні бути розділові інтервали. Тривалість такого інтервалу не може бути

меншою від тривалості імпульсу. Отже, за час T_d може бути передано n незалежних сигналів: $n = T_d / (2 \tau)$.

Крім розглянутих двох граничних випадків максимального використання об'єму каналу при частотному і часовому його розділенні, може бути організовано передавання частотно-часових сигналів за умови, що їх загальний об'єм не перевищує об'єму каналу V_k .

3.5. Імпульсні ознаки сигналів. Модуляція

У будь-якій системі управління завжди існує потреба в передаванні команд і контрольних повідомлень. Методи і засоби «задоволення» цієї потреби можуть істотно відрізнитися залежно від взаємного розташування контрольованих і керованих об'єктів, їхньої кількості, відстані між ПУ і КП.

Припустимо, між ПУ і КП прокладена двопровідна лінія зв'язку. Використовуючи відомі з підрозділу 3.2 схемні рішення, характерні для місцевого управління, неважко запропонувати схему керування одним об'єктом (рис. 3.6).



Рис. 3.6. Схема керування одним віддаленим об'єктом

Для вмикання ОУ (електродвигуна) натисканням кнопки К замикається електричне коло, по якому протікає робочий струм. Кнопка – з фіксацією, тому двигун буде ввімкнений навіть після припинення впливу на кнопку. Для вимикання двигуна оператор повинен ввести в систему управління команду «вимкнути» – витягнути кнопку (або розблокувати). Однак очевидно, що само по собі натискання кнопки не обов'язково призведе до виконання команди – для цього повинні бути виконані і інші умови: напруга джерела живлення і робоча напруга двигуна повинні бути узгоджені, падіння напруги на провідниках лінії зв'язку не

повинно перевищувати гранично допустимих значень. Іншими словами, повинна виконуватися умова $U_{дж}-U_{лз} = U_{ном}$, де $U_{дж}$ – напруга джерела живлення, $U_{лз}$ – падіння напруги в ЛЗ, $U_{ном}$ – номінальна (паспортна) робоча напруга двигуна. У даному випадку двигун виконує функцію вирішального елемента, а амплітуда напруги або струму несе інформацію про зміст команди: менше $U_{ном}$ – вимкнути, більше або дорівнює $U_{ном}$ – ввімкнути.

Якщо потрібно передавати більшу кількість команд (наприклад, для управління трьома двопозиційними об'єктами), необхідно застосовувати алгоритмічні та схемні рішення, характерні для телеуправління (див. підрозділ 3.4). Одним з можливих варіантів вирішення цього завдання може бути схема, наведена на рис. 3.7.

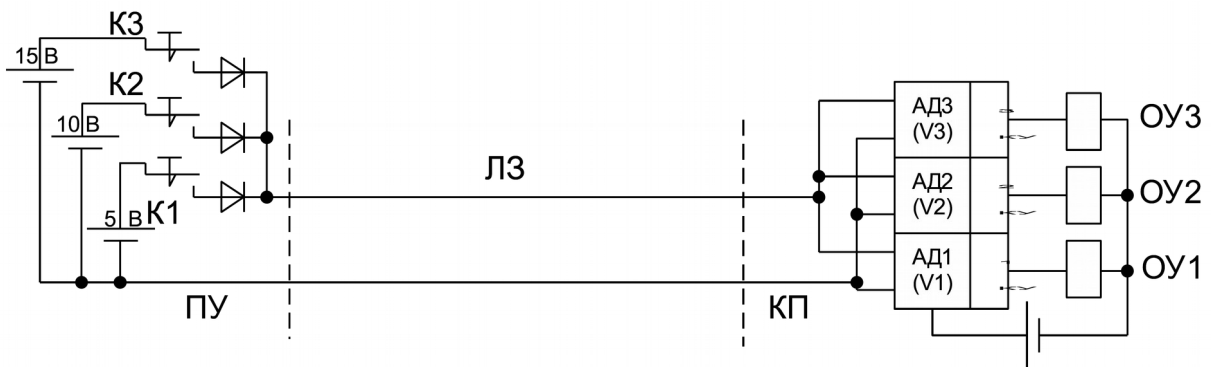


Рис. 3.7. Варіант схеми керування трьома об'єктами

Як і в попередній схемі, переносником інформації виступає постійна напруга, однак для передавання змісту команд використовується кілька значень амплітуд безперервного сигналу. Так, команда № 1 передається постійною напругою 5 В в ЛЗ, команда № 2 – напругою 10 В, команда № 3 – 15 В. У контрольованому пункті амплітудні детектори АД1-АД3 (фактично, вольтметри) вимірюють напругу, визначають значення команди і за допомогою комутуючих пристроїв КУ замикають робочі кола об'єктів управління. І хоча в реальних системах управління подібні схемні рішення не застосовуються, наведена на рис. 3.7 схема ілюструє можливість використання декількох значень однієї і тієї самої ознаки переносника (у даному випадку – амплітудної) для побудови різних сигналів.

Крім амплітуди в колах постійного струму для передавання інформації можна використовувати напрямок його протікання – полярність.

Якщо в якості переносника повідомлень використовувати змінну напругу або струм, для передавання сигналів відкриваються ще більші можливості: змінний струм, крім амплітуди, характеризується ще частотою і фазою. Причому кожна з цих ознак може приймати нескінченну кількість значень: частота від одиниць герц до одиниць гігагерц, фаза від 0 до 360 градусів.

Амплітуда, полярність, тривалість у колах постійного струму; амплітуда, тривалість, частота і фаза в колах змінного струму можуть бути використані в якості інформаційних ознак. Однак передавання інформації каналами зв'язку можливе буде тільки тоді, коли сигнали, побудовані з використанням тієї чи іншої ознаки, будуть **відрізнятись**. Раніше ми розглядали можливість присвоєння кожній команді певного значення ознаки (наприклад, команді №1 – f_1 , команді №2 – f_2 і т. д.). У системах управління доводиться мати справу з передаванням сотень команд і тисяч контрольних повідомлень, а при великій кількості об'єктів управління та контролю відмінність між значеннями ознак виявляється несуттєвою. Якщо використовувати для побудови сигналів близькі за значеннями амплітуди або частоти переносника, це може призвести до спотворення змісту переданих повідомлень. (Наприклад, у схемі, наведеній на рис. 3.7, замість трьох команд спробуємо передавати 15 при тій самій максимальній напрузі джерела живлення 15 В: команда № 1 – 1 В, команда № 2 – 2 В, команда № 3 – 3 В, ..., команда № 15 – 15 В. На приймальному боці команди буде важко розрізнити, оскільки відмінність між суміжними з них складає лише 1 В, а це вже близько до рівня завад.) Тому в системах телемеханіки використовують інший підхід: кожну команду або контрольне повідомлення спочатку кодують, формуючи унікальну (не повторювану від повідомлення до повідомлення) сукупність двійкових символів (див. підрозділ 3.3), а потім, присвоївши кожному значенню логічної змінної (0 і 1) певне значення ознаки переносника, порозрядно (у вигляді послідовності імпульсів) передають з ПУ в КП.

Щоб повідомлення, побудовані з імпульсів, могли відрізнятися одне від одного, параметри імпульсів переносника (амплітуда, тривалість, полярність, частота або фаза) повинні істотно змінюватися під впливом повідомлення, представленого у вигляді кодової комбінації.

Процес зміни параметрів переносника під впливом повідомлення, що передається, називається **модуляцією**.

Якщо в системі телемеханіки використовується обмежена кількість значень ознак для представлення «0» і «1» (наприклад, амплітуда 0 В для позначення «0» і 5 В - для «1», або частоти f_0 і f_1 для 0 і 1 відповідно), говорять про використання маніпуляції. Ступінь зміни ознаки під час модуляції прийнято називати **глибиною модуляції**.

Види модуляції залежать від струму переносника: постійний або змінний (синусоїдальний). Змінний струм у будь-який момент часу характеризується амплітудою, частотою і фазою:

$$i = I_m \sin(\omega t + \varphi), \quad (3.4)$$

де I_m – максимальна амплітуда струму;

ω – кутова частота;

φ – початковий фазовий кут.

Тому імпульсні ознаки і види модуляції можуть бути амплітудними, частотними, фазовими і похідними від них.

Амплітудна модуляція (АМ) характеризується зміною амплітуди струму/напруги переносника відповідно до зміни стану джерела повідомлення. Якщо вихідне повідомлення, що підлягає передаванню, на вході передавача представлене у вигляді функції $f(t)$, причому на певних інтервалах часу ця функція набуває значень 0 або 1 (рис. 3.8), зміна амплітуди носія може бути описана виразом $I_m = I_0 + \Delta I \cdot f(t)$ (або: $U_m = U_0 + \Delta U \cdot f(t)$).

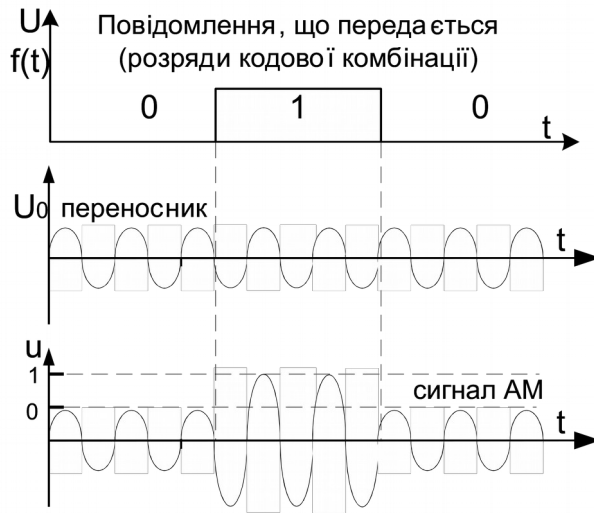


Рис. 3.8. Зміна параметрів переносника при амплітудній модуляції

У ті моменти часу, коли $f(t)=0$, змінний струм у лінії зв'язку має амплітуду переносника (I_0 , U_0); при $f(t)=1$ амплітуда сигналу в ЛЗ змінюється на $+\Delta I$ ($+\Delta U$) і складає $I_0+\Delta I$ ($U_0+\Delta U$).

Принципово важливим для АМ є вибір частоти переносника – вона повинна бути значно вищою порівняно з частотою зміни сигналу, що модулює (повідомленням). При передаванні дискретних сигналів для зменшення ймовірності помилок слід вибирати амплітуди з максимально можливими відмінностями. Одному значенню амплітуди імпульсу (зазвичай, високій амплітуді) присвоюється значення «1», іншому - «0». Приймачами амплітудно-маніпульованих сигналів є пристрої, що мають ступінчасту характеристику чутливості (порогову). Схема, що ілюструє роботу пристроїв передавання/приймання сигналів з АМ, наведена на рис. 3.9.

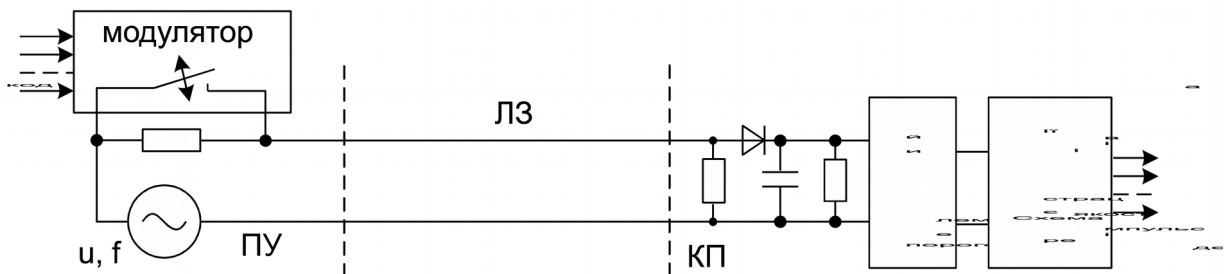


Рис. 3.9. Схема передавання/приймання АМ сигналів

Амплітудна ознака може використовуватись як у колах постійного, так і змінного струму. Однак амплітуда імпульсів

легко спотворюється в результаті дії завад, зміни провідності ізоляції між прямим і зворотним провідниками лінії зв'язку, коливань напруги живлення та ін., причому незалежно від роду струму. Тому в системах ДЦ для передавання інформації на значні відстані (між ПУ і КП) амплітудна ознака не використовується. (Кола постійного струму з АМ застосовуються для передавання інформації між окремими вузлами апаратури ПУ і КП, тобто в межах центрально поста ДЦ або лінійних пунктів.)

Частотна модуляція (ЧМ)

Якщо для передавання повідомлень використовується змінний струм, як імпульсна ознака може бути використана його частота. ЧМ являє собою процес зміни частоти носія (переносника) відповідно до повідомлення, що передається. Якщо модулююча функція $f(t)$ неперервна, то частота сигналу змінюється за законом

$$\omega = \omega_0 + \Delta\omega f(t), \quad (3.5)$$

де ω_0 – частота носія;

$\Delta\omega$ – максимальна зміна частоти модуляції (девіація).

Знак зміни носія залежить від другого доданка виразу (3.5): $\Delta\omega \cdot f(t)$. Він може бути як додатним, так і від'ємним – при «накладенні» повідомлення на переносник частота може як зростати ($+\Delta\omega$), так і зменшуватися ($-\Delta\omega$). У випадку дискретних сигналів характер зміни частоти носія визначає (призначає) розробник системи залежно від того, які частоти прийнято для передавання «0» і «1».

З урахуванням виразу (3.5) вираз (3.4) для частотної модуляції набуде вигляду

$$i = \text{Im} \sin((\omega_0 + \Delta\omega f(t)) t + \varphi).$$

У прикладі, наведеному на рис. 3.10, у результаті накладення на переносник повідомлення, що змінюється за законом $f(t)=[0, 1]$ (рис. 3.10, а), частота сигналу при $f(t)=0$ складає ω_0 ; при $f(t)=1$ — $\omega_0 - \Delta\omega$ (рис. 3.10, б).

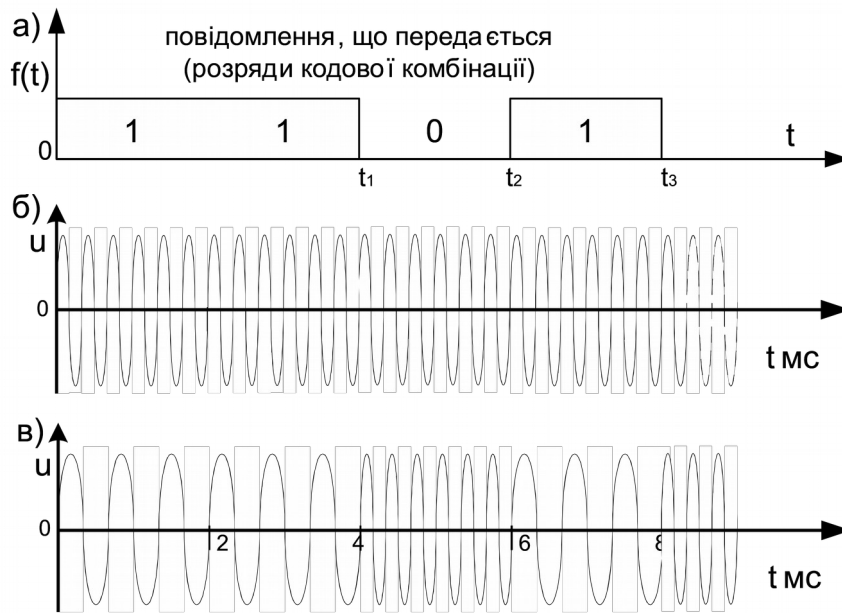


Рис. 3.10. Вихідне повідомлення, переносник і сигнал ЧМ

Для передавання повідомлень, представлених у вигляді двійкових кодів, достатньо двох частот. Одна частота використовується для передавання елементів сигналу, що мають значення логічного "0", інша - "1" (рис. 3.10). Значення частотної ознаки на приймальному боці, а отже, і якість прийнятого імпульсу (0 або 1) визначають частотні детектори. При обмеженій кількості робочих частот у якості детекторів можуть застосовуватися фільтри або резонансні контури, що дозволяють чітко розрізнити частоти, призначені для передавання елементів сигналу (рис. 3.11).

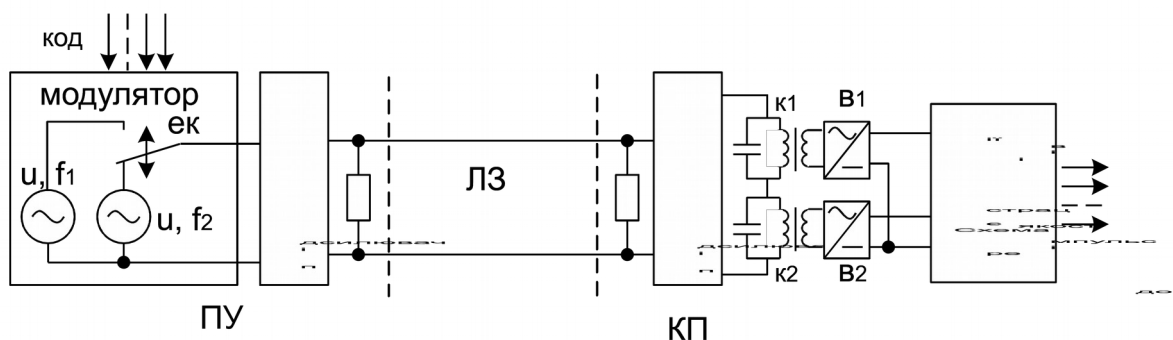


Рис. 3.11. Структурна схема пристроїв передавання/приймання ЧМ сигналів

Двійковий код команди порозрядно з виходу шифратора надходить у модулятор, де за прийнятим правилом побудови

сигналу за допомогою електронного ключа ЕК здійснюється вибір частот f_1 або f_2 для подальшого підсилення і передавання в ЛЗ. На приймальному боці сигнал підсилюється, а потім подається на коливальні контури K_1, K_2 , налаштовані на частоти f_1 і f_2 відповідно. Коливальні контури спільно з випрямлячами B_1, B_2 детектують сигнал (визначають якість імпульсів) і порозрядно, з прийманням, передають його (тепер уже у вигляді імпульсів постійного струму) у схему реєстрації якості імпульсів для подальшого дешифрування.

Застосування частотної ознаки більш доцільно порівняно з амплітудною: перетворення однієї частоти в іншу внаслідок зміни параметрів лінії або з іншої причини малоімовірно; сигнали можна передавати будь-якими лініями зв'язку, у тому числі і безпровідними; сигнали легко підсилювати, дальність передавання за наявності підсилювачів практично не обмежена. Однак приймальні пристрої погано захищені від завад, створюваних сусідніми лініями зв'язку, лініями електропередач, грозивими розрядами або комутаційними процесами в контактній мережі, якщо ці завади у своєму спектрі містять частоти, близькі до частот заповнення імпульсів телемеханічного сигналу. Більша частина цих проблем вирішується оптимальним вибором і рознесенням робочих частот, достатньо віддалених від основних частот завад і їхніх гармонійних складових, а також якісною фільтрацією сигналів. Тому використання частотної ознаки є найбільш поширеним явищем у системах передавання інформації.

Фазова модуляція (ФМ) являє собою зміну фази коливання носія (переносника) під впливом сигналу, що передається:

$$\varphi = \varphi_0 + \Delta\varphi \cdot f(t), \quad (3.6)$$

де: φ_0 – початкова фаза коливань;

$\Delta\varphi$ – гранична зміна фази носія.

Таким чином, при ФМ

$$i = I_m \sin(\omega_0 t + (\varphi_0 + \Delta\varphi \cdot f(t))).$$

Сигнал, побудований з використанням фазової модуляції, при $\Delta\varphi = \pi$ (180°) і $f(t)=[0, 1]$ представлений на рис. 3.12.

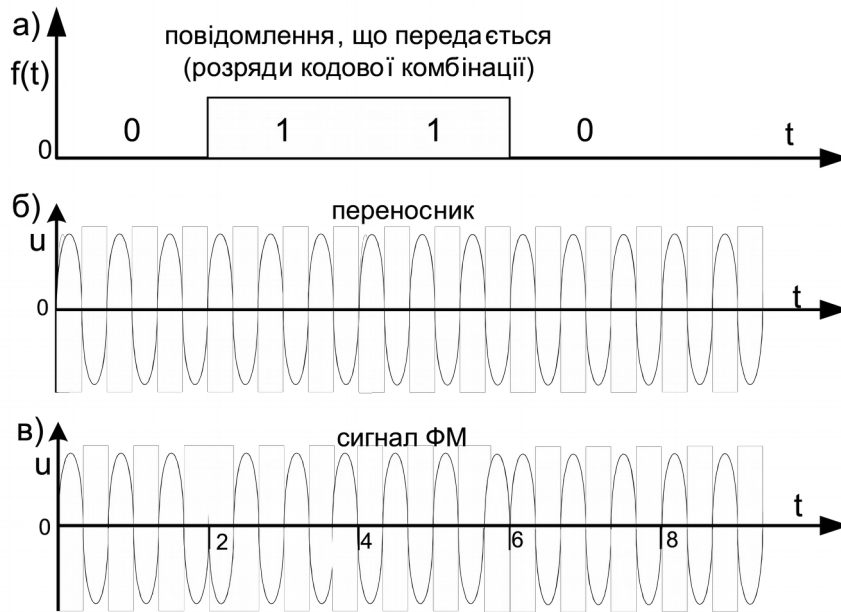


Рис. 3.12. Вихідне повідомлення, переносник і сигнал ФМ

У наведеній на рис. 3.12, в, діаграмі застосовано таке правило побудови сигналу:

$$i = I_m \sin(\omega_0 t + \pi \cdot 0) \equiv \text{«0»},$$

$$i = I_m \sin(\omega_0 t + \pi \cdot 1) \equiv \text{«1»}.$$

Частотна і фазова модуляції пов'язані зі зміною кута частоти носія: не буває зміни фази без зміни частоти, як і зміни частоти без зміни фази. Різниця між цими видами модуляції лише в характері зміни кута. Тому багато в чому подібними є і схемні рішення, що застосовуються для побудови приймально-передавальних пристроїв з ЧМ і ФМ (див. рис. 3.11 і 3.13).

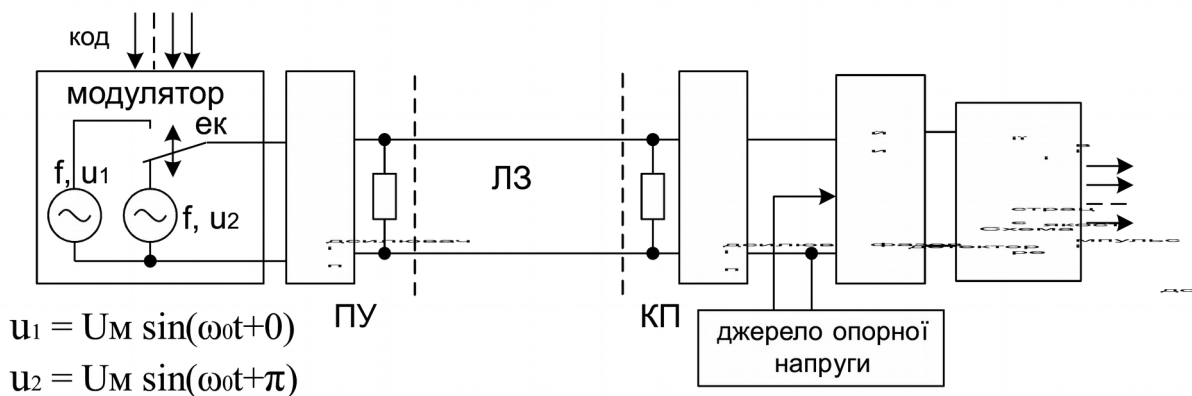


Рис. 3.13. Структурна схема пристроїв передавання/приймання ФМ сигналів

Двійковий код команди порозрядно з виходу шифратора надходить у модулятор, за прийнятим правилом побудови сигналу за допомогою електронного ключа ЕК здійснюється вибір джерела сигналів з тією чи іншою початковою фазою коливань для подальшого підсилення і передавання в ЛЗ. На приймальному боці сигнал підсилюється, а потім подається у фазовий детектор. Фазовий детектор шляхом порівняння інформаційного сигналу, прийнятого з лінії зв'язку, і опорної напруги визначає якість прийнятих імпульсів і порозрядно, з прийманням, передає їх у схему реєстрації якості імпульсів для подальшого дешифрування.

Фазова імпульсна ознака має високу завадозахищеність, що обумовлює її широке використання в системах передавання інформації.

Наведені на рис. 3.9, 3.11 і 3.13 схеми не претендують на ідентичність зі схемами реальних пристроїв зв'язку, що реалізують ті чи інші види модуляції – у цьому навчальному посібнику вони лише ілюструють можливі методи вирішення сформульованих вище завдань.

Часова (широтна) ознака

Тривалість посилення імпульсу (рис. 3.14) також є ознакою, що характеризує цей імпульс. Часові ознаки можуть бути притаманні як імпульсам, так і інтервалам, що розділяють ці імпульси. Для утворення часової ознаки рід струму значення не має. Це дозволяє передавати сигнали, побудовані з використанням часової ознаки, будь-якими каналами зв'язку.

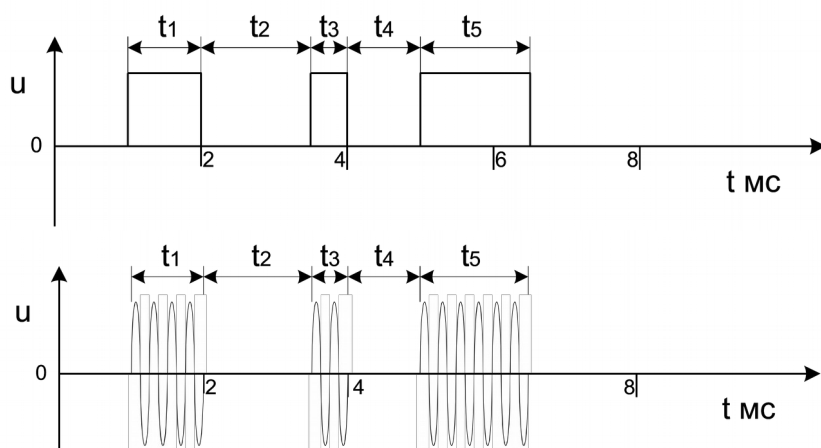


Рис. 3.14. Епюри сигналів, побудованих з використанням часової ознаки

Часові ознаки широко використовувалися в перших системах диспетчерської централізації, наприклад у системі ДВК (диспетчерська централізація часового коду). Характерним прикладом використання часової ознаки є кодове автоблокування. Однак через низьку завадостійкість часової ознаки (тривалість імпульсів легко спотворюється внаслідок впливу завад) у сучасних системах ДЦ для побудови сигналів часова ознака не використовується.

Полярна ознака

У якості ознаки імпульсів постійного струму можна використовувати полярність (напрямок) його протікання (рис. 3.15). Напрямок струму в колі фіксують пристрої, здатні реагувати на полярність імпульсів, наприклад поляризовані реле.

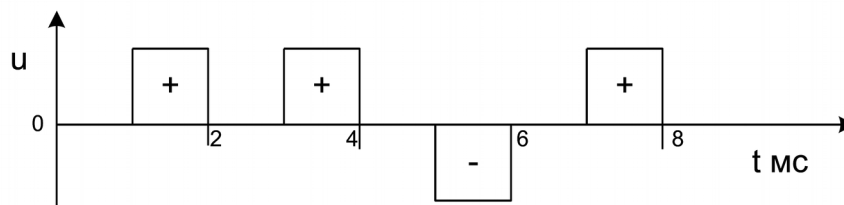


Рис. 3.15. Емпіричний сигнал, побудований з використанням полярної ознаки

Завадозахищеність сигналів, побудованих з використанням полярних ознак, досить висока, проте їх передавання можливе лише провідними лініями зв'язку. Крім того, проблематичним виявляється підсилення різнополярних імпульсів постійного струму; у виділеній лінії можна організувати тільки один канал зв'язку. Тому полярні ознаки застосовуються обмежено: в системах передавання інформації – у телеграфії; у перших системах ДЦ – ПЧДЦ (полярно-частотній диспетчерській централізації); у провідних системах АБ, а також для внутрішньо-системного обміну даними.

Крім розглянутих основних імпульсних ознак сигналів і видів модуляції можлива модуляція за відносними ознаками: відносно-фазова (ВФМ), частотно-імпульсна (ЧІМ), імпульсно-кодова (ІКМ) та інші [6].

Таким чином, у процесі модуляції в лінії зв'язку створюється така послідовність імпульсів, у якій кожному елементу переданої

кової комбінації (1 - n) відповідає «свій» імпульс, а символу елемента коду (1 або 0) – відповідне значення імпульсної ознаки (амплітуди, частоти або фази). Побудований сигнал набуває структури кодової комбінації, у яку перетворено первинне повідомлення (команда). Наприклад, створюється унікальна, притаманна тільки цій команді і цьому коду, послідовність частот (при використанні частотних імпульсних ознак). Припустимо, отримана в результаті кодування кодова комбінація має вигляд 001011; сигнал, що їй відповідає, для випадку частотної модуляції може виглядати так, як на рис. 3.16.

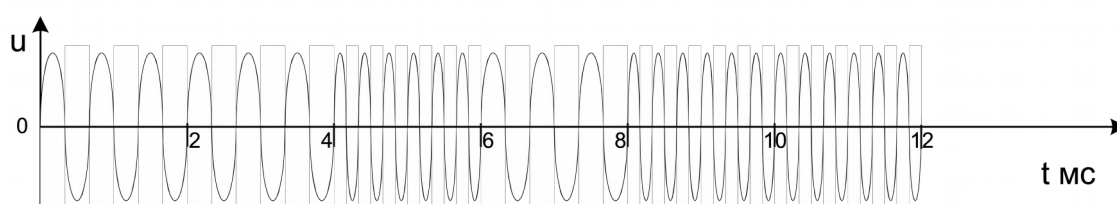


Рис. 3.16. Приклад побудови сигналу при частотній модуляції

Вибір конкретних частот для передавання значень логічних змінних коду (f_0 , f_1), тривалість імпульсів можуть відрізнятися від системи до системи і визначаються розробником залежно від призначення системи, умов експлуатації, об'ємів даних, рівнів завад та ін. У наведеному на рис. 3.16 прикладі для передавання «0» обрана частота 1500 Гц, для «1» – 3000 Гц, тривалість імпульсів 2 мс.

3.6. Схеми пристроїв для передавання і приймання телемеханічних сигналів

3.6.1. Принцип дії системи телеуправління з фізичним розділенням елементів сигналів

Після того як повідомлення набуло вигляду кодової комбінації, воно має бути доставлено по лінії зв'язку в пункт призначення для реалізації. Одним з варіантів вирішення цього завдання може бути схема, наведена на рис. 3.17.

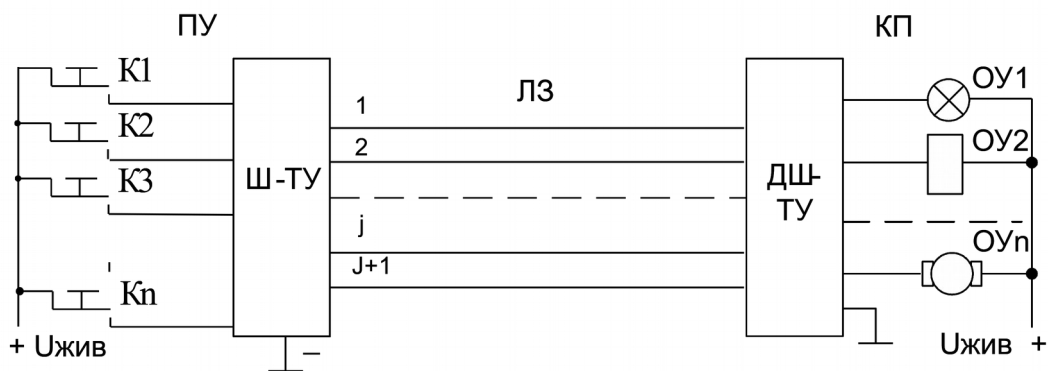


Рис. 3.17. Структурна схема пристроїв каналу ТУ з фізичним розділенням елементів складних сигналів

У пункті управління (рис. 3.17) оператор залежно від технологічної ситуації впливає на пристрої керування телемеханічної системи, внаслідок чого формуються первинні сигнали (команди). Це можуть бути сигнали від кнопок, рукояток, датчиків тощо. Первинні сигнали надходять у шифратор Ш-ТУ. Ш-ТУ формує код команди – перетворює первинний сигнал (натискання однієї або декількох кнопок у певній послідовності) у кодований вихідний сигнал. У результаті кодування первинні сигнали залишаються відмінними один від одного і у вихідному сигналі (кодовій комбінації). Потім код команди (її двійковий номер) повинен бути переданий з ПУ на КП. У схемі, наведеній на рис. 3.17, для передавання команд від Ш-ТУ до дешифратора (ДШ-ТУ) кожному розряду кодової комбінації виділяється окремий провідник лінії зв'язку. Приймачами закодованої команди в КП можуть бути електронні реєструючі пристрої або проміжні реле (як у випадку дистанційного керування). Дешифратор, аналізуючи стан контактів проміжних реле, формує необхідний керуючий вплив на відповідний об'єкт управління. Можливий варіант схемної реалізації схеми телеуправління для передавання семи команд, поданий на рис. 3.18.

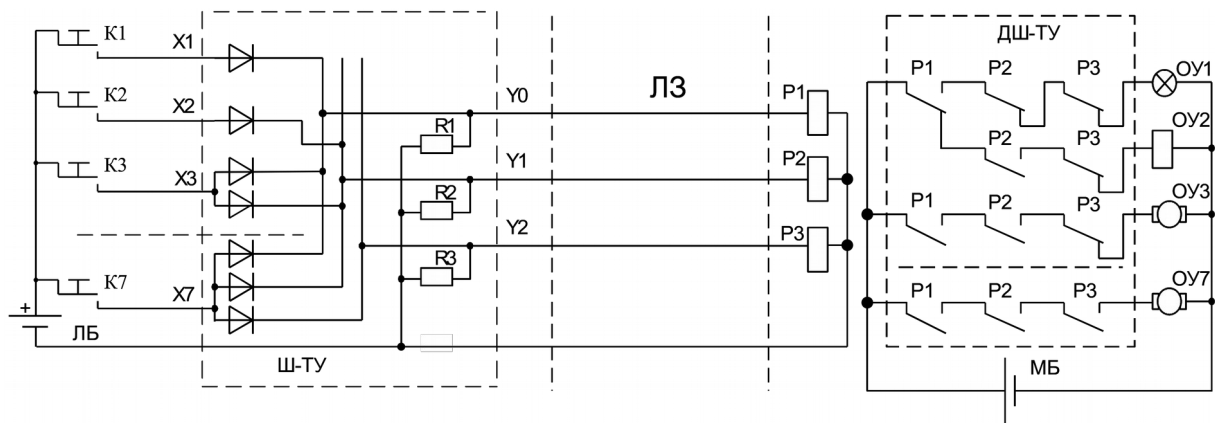


Рис. 3.18. Схеми пристроїв шифрування і дешифрування команд ТУ з фізичним розділенням елементів сигналів

У наведеній схемі для кодування команд використовується трирозрядний двійковий код (див. табл. 3.1); переносник інформації – постійний струм; використовувана ознака переносника – амплітудна. У цій схемі процеси шифрування (кодування) команд і модуляції суміщені.

У системах, побудованих за таким принципом, якщо код команди складається з j розрядів, для передавання інформації з ПУ на КП потрібен $j+1$ провідник (один загальний, зворотній). Максимальна кількість різних команд N , яка може бути передана в цьому випадку лінією зв'язку, при використанні двійкового кодування за виразом (3.1):

$$N = 2^j.$$

Так, наприклад, якщо код складається з восьми розрядів ($j=8$) потрібні 9 провідників лінії зв'язку, якою можна буде передати 256 команд. Інформація про значення кожного розряду сформованого коду передається одночасно (паралельно) від ПУ до КП, тому такий канал зв'язку іноді називають паралельним.

Очевидно, що з такою організацією підсистеми зв'язку необхідна кількість провідників ЛЗ виявляється значно меншою, ніж кількість об'єктів управління (9 проти 256). Проте в ряді випадків навіть така їх кількість може істотно підвищити вартість системи управління, особливо якщо відстань між ПУ і КП складає сотні кілометрів. Тому в системах ДЦ для управління віддаленими розосередженими об'єктами розглянуте схемне рішення розповсюдження не отримало.

3.6.2. Принцип дії системи телеуправління з частотним розділенням елементів складних сигналів

Зменшення необхідної кількості провідників лінії зв'язку можливе при частотному поділі елементів сигналів (рис. 3.19).

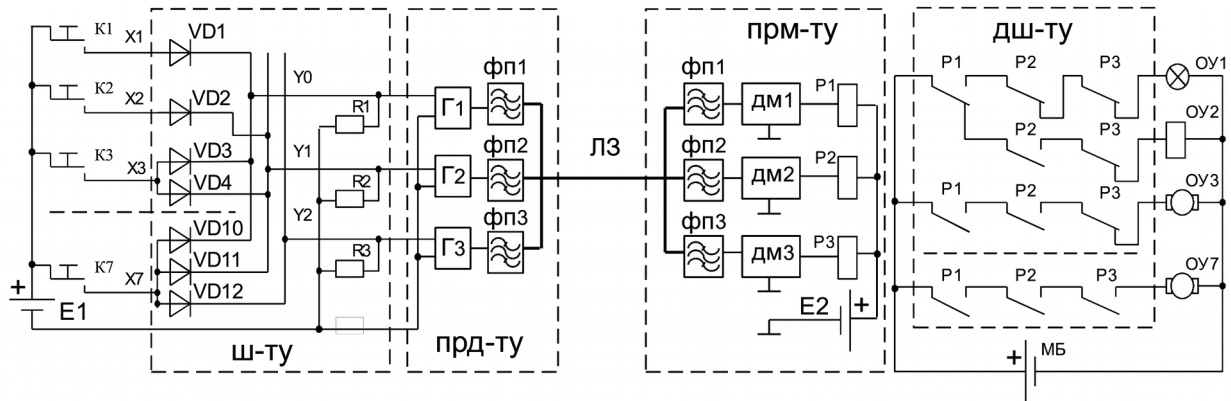


Рис. 3.19. Структурна схема каналу ТУ з частотним розділенням елементів сигналів

Для передавання кодів команд використовується двопровідна лінія зв'язку, по якій організовано n частотних каналів – за кількістю розрядів кодових комбінацій (у наведеній схемі 3, оскільки для кодування семи команд достатньо трьох двійкових розрядів). Сформований шифратором Ш-ТУ код команди надходить на входи генераторів Г1-Г3 (у загальному випадку Г1-Г n). Передавання логічних «1» здійснюється посилкою в лінію зв'язку змінного струму на робочих частотах генераторів. Для передавання «0» відповідний генератор вимикається. Фільтри ФП1-ФП3 знижують до прийнятної рівня взаємні впливи апаратури каналів на передавальному кінці і дозволяють виділити «свій» сигнал на приймальному. Демодулятори ДМ1-ДМ3 перетворюють частотні сигнали в постійну напругу з необхідними параметрами і здійснюють керування проміжними реле Р1-Р3.

Якщо жодна з кнопок К1-К7 не натискалась, у шинах Y0, Y1, Y2, а отже, і на входах генераторів Г1-Г3 напруга відсутня. За прийнятим правилом роботи передавача генератори вимкнені, частотні сигнали в лінію зв'язку не надходять. Відсутність сигналів необхідної частоти на входах демодуляторів призводить до того, що всі проміжні реле знеструмлені, контактами

проміжних реле у схемі дешифратора об'єкти управління ОУ1-ОУ7 вимкнені.

Розглянемо роботу схеми на прикладі введення і передавання команди №7. При натисканні кнопки К7 шифратор Ш-ТУ формує код команди «Об'єкт управління №7 ввімкнути»: через діоди VD10, VD11 і VD12 напруга від джерела живлення Е1 (логічна «1») подається в шини Y0, Y1, Y2 (формується код «111» - двійкова сімка). Оскільки в цьому випадку на входах всіх генераторів (Г1-Г3) присутня висока напруга, останні виробляють і передають у лінію зв'язку одночасно три частоти. Приймання і демодуляція частотних сигналів у контрольованому пункті призводить до вмикання всіх проміжних реле (Р1-Р3), відтворюючи переданий код на приймальному боці системи. У дешифраторі ДШ-ТУ фронтними контактами проміжних реле замикається робоче коло об'єкта управління №7.

У схемах, наведених на рис. 3.18 і 3.19, інформація про значеннях всіх розрядів кодових комбінацій передається з ПУ в КП одночасно і неперервно, доки оператор не припинить вплив на кнопку апарату управління. Перевагою систем, що працюють за вказаним принципом, є їх висока швидкодія, обумовлена одночасним передаванням сигналів усієї кодової комбінації. Затримка у виконанні команд визначається лише часом виходу на номінальний режим роботи генераторів пункту управління і часом реакції демодуляторів у контрольованому пункті. Як недолік можна назвати відносно невелику кількість частотних каналів, які можуть бути організовані по одній лінії зв'язку (див. підрозділи 3.3, 3.4), що обмежує максимальну розрядність використовуваного коду, а отже, і кількість керованих об'єктів.

3.6.3. Принцип дії системи телеуправління з часовим розділенням елементів складних сигналів

Один з можливих варіантів схем системи телеуправління з часовим розділенням елементів сигналів наведений на рис. 3.20.

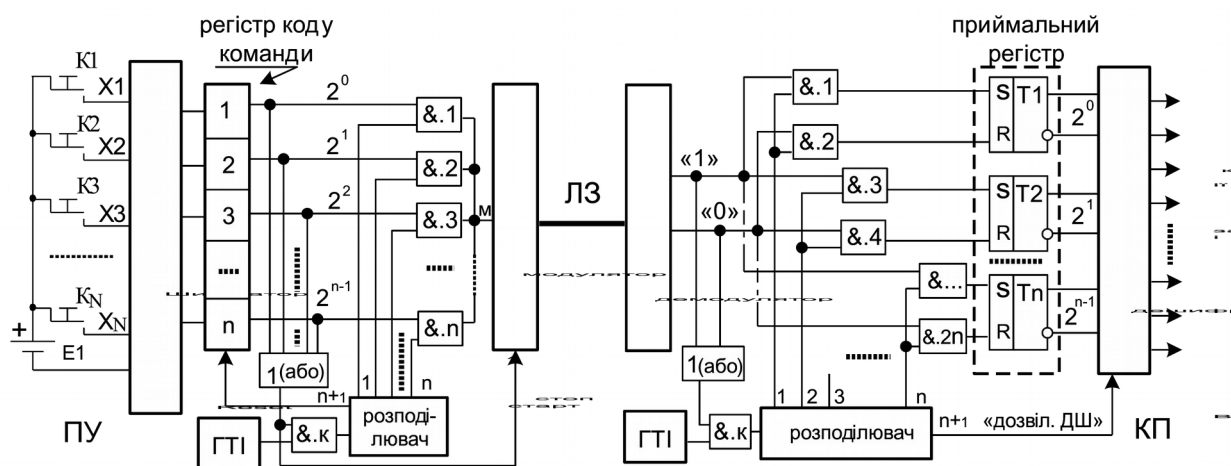


Рис. 3.20. Система ТУ з часовим розділенням елементів складних сигналів

У системах ТУ, що використовують зазначений принцип, передавання кодів команд здійснюється поелементно, порозрядно – послідовно в часі. Кожен розряд кодової комбінації передається протягом певного часу у вигляді імпульсу змінного струму. Нехай як імпульсна ознака для побудови сигналу використовується частотна (див. підрозділ 3.5, рис. 3.16). Очевидно, що робота таких систем можлива за наявності як на передавальному, так і на приймальному боці пристроїв точного відліку часу. Це завдання виконують розподільники спільно з генераторами тактових імпульсів (ГТІ). Для коректної роботи системи ТУ розподільники повинні перемикатися з позиції в позицію синхронно (одночасно) і синфазно (узгоджено: в один і той самий момент часу розподільники пункту управління і контрольованого пункту повинні знаходитися в однойменних позиціях). Синхронізація роботи розподільників – завдання досить складне. Більш детально з методами його вирішення ознайомимося в наступних підрозділах. Зазначимо лише, що в наведеній на рис. 3.20 схемі в синхронізації розподільників ПУ і КП беруть участь: у пункті управління – ГТІ, логічний елемент І (&.К – ключ), логічний елемент АБО; у контрольованому пункті – ГТІ, логічний елемент І (&.К), логічний елемент АБО.

У вихідному стані контакти кнопок К1 - КN розімкнені, на виходах шифратора 1–п низькі напруги, що відповідає «0», комірки пам'яті регістра коду команди 1–п знаходяться в нульовому стані (на їх виходах також сигнали з рівнем «0»). До виходів регістра коду команди паралельно підключено входи

елементів I ($\&.1 - \&.N$), призначених для перетворення паралельного коду команди в послідовність частотних імпульсів, і елемент АБО схеми управління розподільником. Оскільки на всіх виходах регістра присутні логічні «0», за логікою роботи елемента АБО сигнал нульового рівня присутній і на його виході, закриваючи ключ $\&.K$ (у результаті тактові імпульси з виходу ГТІ на вхід розподільника не надходять) і формуючи сигнал «стоп» для вимикання генератора частот, що знаходиться в модуляторі.

Як видно зі схеми, модулятор має два входи управління: старт/стоп для його вмикання або вимикання; вхід «М», по якому (при ввімкненому генераторі модулятора – «1» на вході «старт/стоп») здійснюється вибір робочої частоти передавача. За наявності на вході «М» «нуля» модулятор передає в лінію зв'язку змінний струм з частотою, що відповідає логічному 0 (назвемо її f_0), якщо ж на вході «М» сигнал з рівнем «1» (знову ж при ввімкненому генераторі) – у лінію зв'язку передається частота, привласнена логічній 1 (f_1).

Таким чином, у початковому стані модулятор вимкнений, у лінії зв'язку сигнал з частотами f_0 і f_1 відсутній, розподільник заблокований. На виходах розподільника 1- n логічні 0.

Демодулятор, встановлений на приймальному боці, працює таким чином. При прийманні з лінії зв'язку сигналу з частотою f_0 логічна 1 з'являється на виході «0»; при прийманні сигналу з частотою f_1 логічна 1 з'являється на виході «1»; за відсутності в лінії зв'язку сигналів із зазначеними частотами низька напруга, що відповідає «0», присутня на обох виходах (початковий стан). Нулі на виходах «1» і «0» демодулятора (виходах елемента АБО) формують на виході АБО логічний 0, що призводить до закриття по верхньому входу ключа $\&.K$ і блокування розподільника КП в нульовій позиції. На виходах 1- n розподільника – логічні нулі, тригери приймального регістра – у нульовому стані. ГТІ працює безперервно (так само, як і ГТІ ПУ), однак тактові імпульси на вхід розподільника не надходять.

Після введення оператором якої-небудь команди (наприклад, натиснута кнопка К3) шифратор формує її двійковий код ($0\dots 011$ – всього n розрядів), який надходить на входи елементів пам'яті регістра кодів команд і запам'ятовується: у шинах 2^0 , 2^1 з'являються сигнали з рівнем 1, в інших – 0. Завдяки наявності

цього регістра оператору достатньо короткочасно натиснути необхідну кнопку, а не утримувати її протягом всього часу передавання сигналу. Команда зберігається в регістрі до закінчення циклу роботи передавача.

Як тільки стан виходів регістра кодів команд став ненульовим, на виході логічного елемента АБО з'являється «1». Цим сигналом відкривається ключ &.К по верхньому входу і паралельно вмикається генератор модулятора (команда «старт»). Через відкритий ключ &.К перший же тактовий імпульс з виходу ГТІ перемикає розподільник ПУ в першу позицію, у результаті чого по нижньому входу відкривається логічний елемент &.1. Оскільки на верхньому вході цього елемента також 1 (шина 2⁰), сигнал з рівнем «1» з'являється на вході М модулятора, змушуючи його працювати на частоті f₁ – у лінію зв'язку передається активний імпульс.

Приймання активної частоти в КП призводить до того, що на виході «1» демодулятора з'являється логічна 1. Це у свою чергу призводить до появи 1 на виході елемента АБО, відкриття ключа &.К та запуску розподільника. Розподільник КП перемикається в першу позицію (на його першому виході – «1»), створюючи умови для запису інформації в першу комірку пам'яті приймального регістра. Оскільки з лінії зв'язку надходить частота f₁, по двох входах виявляється відкритим елемент &.1: тригер Т1 встановлюється в «1», у шині 2⁰ з'являється сигнал з рівнем «1». Таким чином, молодший розряд кодової комбінації команди прийнятий і зареєстрований.

Генератори тактових імпульсів ПУ і КП виконують функції таймерів, що ведуть відлік часових інтервалів, відведених на передавання/приймання окремих імпульсів сигналу. Оскільки і ГТІ, і розподільники одноступінні, їх перемикання з позиції в позицію відбувається синхронно.

При формуванні чергового тактового імпульсу з боку ГТІ розподільники ПУ і КП перемикаються в другу позицію: у пункті управління перевіряється стан другого елемента пам'яті регістра коду команди (шина 2¹). Оскільки в розглянутому прикладі в цій шині також «1», стан входу М модулятора не змінюється – у лінію зв'язку буде передаватися частота f₁. У цей же час на приймальному боці ЛЗ розподільником і логічними елементами

&.3, &.4 вибирається тригер T2 для запису інформації, що надходить. Оскільки приймається активна частота, «1» присутня на верхньому (за схемою) виході демодулятора і через відкритий по нижньому входу ключ &.3 записується в тригер.

Наступний тактовий імпульс ГТІ ПУ перемикає розподільник в третю позицію. Тепер третя комірка пам'яті регістра коду команди визначає режим роботи модулятора. Оскільки на етапі формування коду в цю комірку був записаний 0, на вході М модулятора напруга змінюється з високої на низьку (у попередньому такті передавалася інформація про «1»). Модулятор змінює робочу частоту з f_1 на f_0 . Приймання пасивної частоти в КП призводить до появи «1» на нульовому виході демодулятора. Елемент АБО КП утримує ключ &.К у відкритому стані, забезпечуючи перемикання розподільника в чергову позицію (третю). У тригер T3 (на схемі не показаний) записується 0.

Схема управління розподільником КП побудована таким чином, що розподільник перемикається по позиціях з 1 до n, доки з лінії зв'язку приймається змінний струм з f_1 або f_0 , тобто протягом усього часу передавання сигналу.

Таким чином, з формуванням ГТІ тактових імпульсів розподільник ПУ вибирає і підключає до входу М модулятора виходи елементів пам'яті регістра кодів команд, забезпечуючи передавання в лінію зв'язку інформації про значення розрядів коду, а розподільник КП вибирає і підключає до виходів демодулятора відповідну комірку пам'яті приймального регістра для запису.

Після передавання (і реєстрації в КП) інформації про n-й розряд коду команди з черговим тактовим імпульсом розподільник ПУ формує сигнал з рівнем «1» на виході «скидання» (n+1 – службова позиція розподільника). За цією командою перемикаються в нульовий (вихідний) стан комірки пам'яті регістра коду команди, закривається по всіх входах логічний елемент АБО, формуючи «0» на своєму виході і закриваючи ключ керування розподільником &.К. Цим же сигналом вимикається і генератор модулятора (формується команда «стоп»). Пристрої пункту управління перейшли в початковий стан, чекаючи введення чергової команди.

Розподільник контрольованого пункту після перемикаання в $n + 1$ позицію формує сигнал «дозвіл дешифрування», за яким ДШ визначає зміст команди і вмикає/вимикає відповідний об'єкт керування. Цей службовий сигнал потрібен для того, щоб виключити передчасне формування керуючого впливу з боку дешифратора на який-небудь ОУ, доки команда з лінії зв'язку не прийнята повністю.

Після вимикання модулятора в лінії зв'язку сигнали з частотами f_0 і f_1 відсутні. Демодулятор КП встановлює на виходах «1» і «0» сигнали з рівнем логічного нуля, що призводить до закриття по обох входах елемента АБО, закриття ключа &K, примусового встановлення в нульову позицію і блокування розподільника. Апаратура контрольованого пункту також переходить у початковий стан.

3.6.4. Частотно-часове і кодове розділення сигналів

У п. 3.6.1-3.6.3 ми розглянули основні способи розділення елементів складних сигналів, а також можливі варіанти схем побудови систем управління та контролю, що використовують той чи інший спосіб.

У тих випадках, коли є обмеження на час передавання повідомлень при часовому розділенні елементів сигналів (п. 3.6.3) або обмежена кількість частотних каналів при частотному розділенні (п. 3.6.2) можна використовувати комбіновану систему з частотно-часовим розділенням сигналів (рис. 3.21).

У кожній часовій позиції розподільника відбувається одночасна передача сигналів всіма частотними каналами. Якщо кількість каналів j , одночасно передається j бітів інформації. Загальна кількість елементарних двійкових повідомлень, переданих за один цикл (з моменту виявлення новизни в стані контрольованих об'єктів або введення команди до закінчення передачі) у системі, що працює за таким принципом, дорівнює добутку кількості позицій розподільника на кількість частотних каналів.

У наведеній на рис. 3.21 схемі організовано два частотних канали з частотами переносника $f_{1.0}$, $f_{1.1}$ (перший канал) і $f_{2.0}$, $f_{2.1}$ (другий) для передавання контрольної інформації.

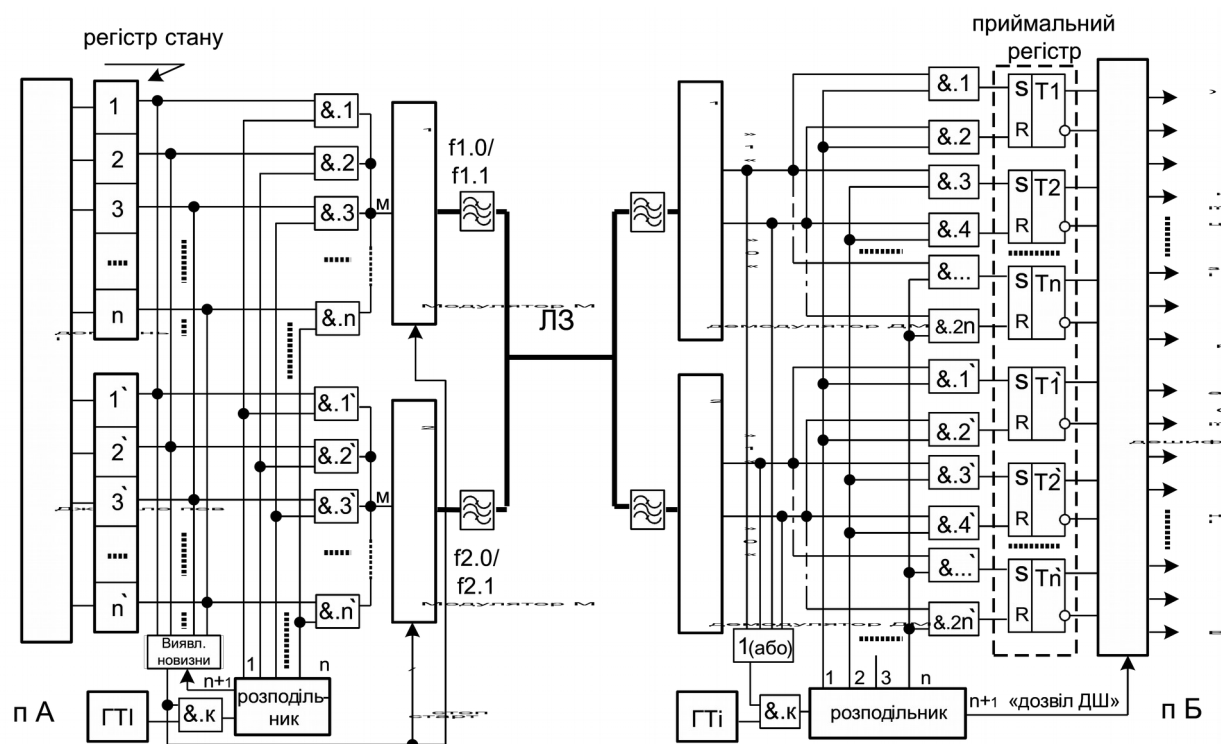


Рис. 3.21. Частотно-часове розділення сигналів

При зміні стану будь-якого контрольованого об'єкта схема виявлення новизни, підключена до регістра станів, розгальмовує розподільник пункту А і вмикає обидва модулятори М1 і М2, починаючи черговий цикл передачі інформації. Поява в лінії зв'язку активних або пасивних частот по кожному з частотних каналів призводить до запуску розподільника пункту Б (елемент АБО відкриває ключ &.К). Розподільники, перемикаючись синхронно і синфазно по позиціях, забезпечують вибір режиму роботи генераторів (М1, М2) залежно від стану елементів пам'яті регістра станів (у пункті передачі); вибір відповідних елементів пам'яті приймального регістра для запису інформації в пункті приймання. Після закінчення інформаційної частини сигналу і перемикавання обох розподільників в $n+1$ позицію в пункті А скидається ознака наявності новизни (у схемі виявлення новизни), що призводить до закриття ключа &.К, скидання і зупинки розподільника, вимикання модуляторів. У пункті Б в цей же час формується сигнал дозволу дешифрування. Після

вимикання модуляторів M1 і M2 на всіх виходах демодуляторів у пункті приймання встановлюються сигнали «нульового» рівня, що закривають елемент АБО, ключ &K та блокують розподільник.

Кодове розділення сигналів

Під кодовим розділенням сигналів мають на увазі спосіб побудови повідомлень, при якому кожному вихідному повідомленню N ставиться у відповідність певна n-розрядна двійкова комбінація, що передається пристроями з частотним, часовим або частотно-часовим розділенням елементів цієї комбінації. Наведені на рис. 3.19 і 3.20 схеми пристроїв ТУ саме і реалізують кодовий принцип розділення команд, адресованих різним об'єктам управління. За таким самим принципом можуть бути побудовані і системи, призначені для передавання контрольної інформації (рис. 3.21).

3.7. Вірогідність передавання повідомлень

Кожне повідомлення (наприклад, команда) перш ніж бути доставленим кінцевому одержувачу, кілька разів перетворюється як у ПУ, так і в КП. Перше перетворення відбувається на етапі введення команди оператором у систему управління. Оператор для формування команди повинен у певній послідовності натиснути кнопки вибору лінійного пункту, початку і кінця маршруту – виконати ряд дій, у загальному випадку унікальних і характерних тільки для цієї команди. У результаті впливу диспетчера на апарат управління шифрувальні пристрої системи здійснюють друге перетворення – формують код команди: сукупність логічних змінних, що несуть інформацію про адресу одержувача і смисловий зміст команди. Потім код команди надходить у передавач, де в процесі модуляції перетворюється в сигнал (третє перетворення) і передається одержувачу. У пункті приймання відбуваються зворотні перетворення: демодуляція, дешифрування, реалізація (у тому чи іншому вигляді). Очевидно, що якщо всі перетворення відбулися за прийнятими для даної системи правилами, а в процесі передачі сигнал не був спотворений, команда буде виконана безпомилково.

Правильне розпізнавання імпульсів на приймальному боці означає правильне (достовірне) приймання переданих повідомлень. Це можливо в тому випадку, якщо прийняті імпульси спотворені не настільки, щоб приймальний пристрій не зміг розрізнити імпульсних ознак сигналів: 0 і 1. Однак на практиці виявляється, що на кожному етапі з тією чи іншою ймовірністю можливе виникнення різного роду помилок. Причин, що ведуть до їх появи, досить багато, проте всі вони можуть бути розділені на дві групи: апаратурні спотворення, викликані нестабільністю параметрів елементів пристроїв приймання/передавання; спотворення сигналів завадами в каналі зв'язку. Наслідками помилок у розпізнаванні можуть бути невиконання команди (захисна відмова), виконання іншої команди (трансформація). У ряді випадків навіть за відсутності передачі будь-якого сигналу вплив завад на приймач може призвести до помилкового впізнання (помилкова команда). Тому при розробленні систем управління завжди виходять з того, що повідомлення в процесі передавання з певною ймовірністю можуть спотворюватися.

Системи залізничної автоматики є системами управління відповідальними технологічними процесами і здатні впливати на безпеку руху, екологічну безпеку та ін. Стосовно таких систем діючими стандартами в частині вірогідності передавання інформації встановлено максимально допустимі ймовірності [6]:

- трансформування команди – $1 \cdot 10^{-14}$;
- трансформування контрольної інформації ТС – $1 \cdot 10^{-8}$;
- втрати команди (при можливості повторної передачі до п'яти разів) – $1 \cdot 10^{-14}$;
- втрати контрольної інформації ТС (при можливості повторної передачі до п'яти разів) – $1 \cdot 10^{-8}$;
- виникнення помилкової команди або контрольного повідомлення за їх відсутності – $1 \cdot 10^{-12}$.

Слід особливо підкреслити, що в існуючих системах ТУ-ТС навіть при належному утриманні каналоутворювальної апаратури та ліній зв'язку ймовірність спотворення елементарного сигналу (одного символу повідомлення) становить, приблизно $1 \cdot 10^{-4}$.

3.7.1. Вплив кодів на вірогідність передавання повідомлень

Сигнали, що відповідають певним повідомленнями, передаються лініями зв'язку у вигляді послідовностей імпульсів. Причому ці послідовності мають структуру кодів команд або сповіщень про стан контрольованих об'єктів (див. підрозділи 3.3, 3.5). Отже, спотворення окремих імпульсів сигналу в процесі його передавання спотворить і кодову комбінацію на виході приймача і в решті-решт зміст команди. Тому вирішення проблеми підвищення вірогідності переданих повідомлень слід шукати у виборі правил побудови та дешифрування кодів команд і контрольних повідомлень, маючи на увазі, що в пункті приймання досить часто доведеться дешифрувати спотворені коди.

Повернемося до прикладу, розглянутого в підрозділі 3.3. Припустимо, що для управління 4-ма об'єктами необхідно з пункту А в пункт Б передавати 8 команд. Для кодування цих команд використаємо трьохрозрядний двійковий код (табл. 3.1), а для побудови сигналу – частотну маніпуляцію. Припустимо також, що під час передавання команди «об'єкт управління № 3 вимкнути» був спотворений другий імпульс сигналу (див. рис. 3.22). Спотворення виявилися настільки значними, що демодулятор прийняв рішення, що другий імпульс має значення «0».

Таким чином, у результаті демодуляції була отримана кодова комбінація **100** (у той час як з ПУ на КП передавалася команда **110**). Дешифратор команд замість вимикання ОУ № 3 вимкне об'єкт управління № 2.

При запропонованому в табл. 3.1 правилі кодування трансформація команд буде відбуватися при кожному спотворенні сигналу в процесі передавання (хоча б одного символу). Пояснюється це тим, що правило побудови кодів передбачає використання всіх можливих кодових комбінацій, які можуть бути сформовані з трьох двійкових розрядів. Тому розглянутий у підрозділі 3.3 підхід до кодування, як до простої нумерації команд, для систем управління відповідальними технологічними процесами є неприйнятним.

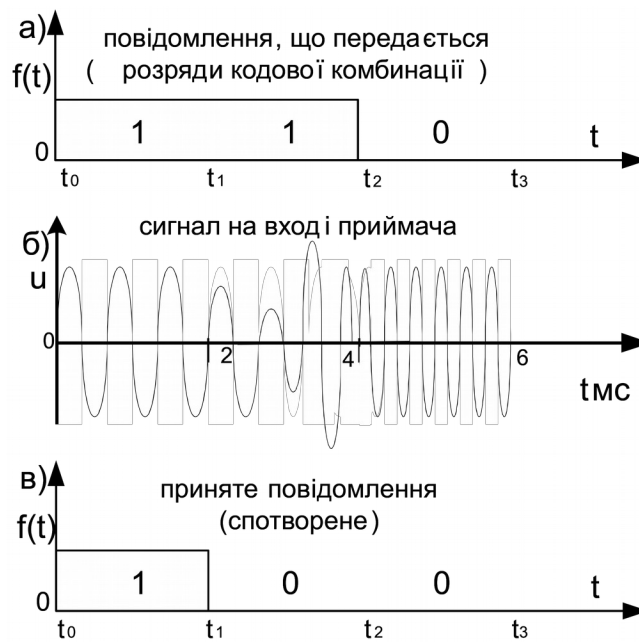


Рис. 3.22. Наслідки дії завад

У системах телемеханічного керування (окрім, власне, нумерації) за допомогою кодування вирішується ще декілька завдань:

- 1) мінімізація часу передавання повідомлень (передавання повідомлень повинно відбуватися за мінімальний час);
- 2) надійність доставки повідомлень (імовірність спотворення змісту переданих повідомлень повинна бути мінімальною).

Тому для підвищення надійності каналу зв'язку в системах ТУ необхідно застосовувати коди, що задовольняють певні вимоги (у даному випадку під кодами розуміються і правила побудови кодових комбінацій, і природно, самі кодові комбінації). По-перше, коди повинні мати мінімальну довжину (розрядність), оскільки це зменшить час передавання команд. По-друге, коди повинні бути **завадозахищеними**, тобто стійкими до перетворення однієї кодової комбінації в іншу при спотворенні окремих символів. Вирішення цих завдань суперечливе, оскільки для мінімізації часу передавання сигналів потрібно прагнути до зменшення довжини кодів, а підвищення завадостійкості можливе за рахунок її збільшення.

Щоб код став стійким до дії завад, при його побудові використовують не всі можливі кодові комбінації, а тільки

частину. Інша частина використовується для виявлення помилок, що виникають у процесі передавання і приймання. Наприклад, для трирозрядного коду всі можливі кодові комбінації:

000, 001, 010, 011, 100, 101, 110, 111.

Рекомендовані для використання як такі, що відрізняються одна від одної більш ніж одним розрядом:

001 010 100 111,
або 000 011 101 110.

Але в цьому випадку за допомогою трирозрядного двійкового коду можна буде закодувати не вісім, а тільки чотири команди. Для кодування ж восьми команд знадобиться збільшити кількість розрядів коду як мінімум на один: 0001, 0010, 0100, 0111, 1000, 1011, 1101, 1110, 1111. Тобто зробити код надлишковим. При такому підході спотворення одного імпульсу в процесі передавання не призведе до трансформування однієї команди в іншу. *Здатність кодів протистояти трансформуванню повідомлень залежить від мінімальної кодової відстані d – кількості двійкових розрядів, яким одна дозволена кодова комбінація відрізняється від іншої (у наведеному прикладі $d=2$).* У завадозахищених кодів $d>1$. У загальному випадку чим більша кодова відстань, тим більш стійким виявляється код до трансформування команд. Так, якщо з наведеного переліку можливих кодових комбінацій трирозрядного двійкового коду використовувати тільки 000 і 111 ($d = 3$), для трансформування однієї команди в іншу в процесі передавання необхідно спотворити одночасно три імпульси (три розряди). Імовірність такої події дуже незначна.

Таким чином, очевидно, що збільшення кодової відстані можливе за рахунок збільшення кількості контрольних двійкових розрядів, а отже, і загальної довжини коду. У свою чергу довжина коду не може бути як завгодно великою, оскільки це призведе, по-перше, до зменшення кількості переданих в одиницю часу повідомлень, а по-друге, до збільшення кількості спотворених повідомлень. Цей факт пояснюється тим, що **використання завадозахищених кодів і збільшення кодової відстані не захищає сигнали від спотворення окремих імпульсів внаслідок впливу завад, а лише зменшує ймовірність трансформування одних кодових комбінацій в інші, якщо**

сигнал виявиться спотвореним. Але і це ще не все: чим більшу довжину має кодова комбінація (за рахунок контрольних розрядів, наприклад), тим вища ймовірність її приймання з помилкою. Збільшення довжини кодових комбінацій веде до збільшення часу передавання відповідних їм сигналів, а отже, і до підвищення ймовірності того, що за цей час виникне досить потужна завада, здатна спотворити один або декілька імпульсів. Прийнята хибна кодова комбінація після дешифрування відсіюється, команда не виконується. Оператор повинен повторно передати цю ж таки команду, що веде до додаткового завантаження каналу зв'язку, зниження оперативності керування та ін.

Однак слід зазначити, що в кодах з кодовою відстанню $d > 2$ існує можливість не тільки виявляти помилки, але і виправляти їх. Більш докладно цей матеріал викладено в роботі [7].

У системах диспетчерської централізації з жорсткою логікою управління («НЕВА», «ЛУЧ») застосовувалося тільки виявлення помилок передавання/приймання, а спотворені повідомлення ігнорувалися. При незначному завантаженні каналів зв'язку і відносно коротких повідомленнях, що характерно для вказаних систем, такий підхід був виправданий. У сучасних мікропроцесорних системах ДЦ (МПДЦ) між центральним постом і лінійними пунктами передаються значні об'єми інформації, що, природно, веде до збільшення довжини і часу передавання сигналів. Як було сказано раніше, у подібній ситуації загальна кількість спотворених повідомлень зростає. Так, при ймовірності спотворення елементарного сигналу $p = 0.0001$ ймовірність безпомилкової передачі повідомлення довжиною:

- 1000 символів $= 0.9048$;
- 10 000 символів $= 0.3678$;
- 100 000 символів $= 4.53 \cdot 10^{-5}$.

Тому в МПДЦ реалізовано функції і виявлення, і виправлення помилок.

Основними характеристиками кодів є:

- основа коду m – кількість різних символів, що використовуються для побудови кодових комбінацій. У двійкових кодів $m = 2$ (0 і 1);

- довжина коду n – кількість двійкових розрядів кодової комбінації;

- максимальна кількість кодових комбінацій $N = m^n$;
- кількість інформаційних символів k – кількість розрядів кодової комбінації, що використовуються для кодування повідомлень;
- кількість контрольних символів r – кількість розрядів кодової комбінації, що використовуються для підвищення завадозахищеності кодів;
- вага кодової комбінації i – кількість логічних одиниць у кодовій комбінації;
- кодова відстань d – кількість двійкових розрядів, яким одна кодова комбінація відрізняється від іншої.

3.7.2. Методи і засоби підвищення завадозахищеності каналів зв'язку

Нагадаємо, що під **каналом зв'язку** прийнято розуміти комплекс технічних засобів, що включає в себе лінію зв'язку і апаратуру, яка дозволяє забезпечувати передавання сигналів від джерела до одержувача незалежно від передавання по ЛЗ інших сигналів.

Як можна підвищити завадозахищеність провідних каналів зв'язку, що використовуються в системах ДЦ, і зменшити кількість помилок, які виникають у процесі передавання/приймання? Для пояснення методів і засобів вирішення цієї проблеми звернемося до прикладу.

Припустимо, в одній з аудиторій навчального закладу йде лекція. Вікна аудиторії виходять на вулицю з інтенсивним рухом автотранспорту. У процесі читання лекції з'ясовується, що частина студентів, що знаходяться в далеких від викладача рядах, не може впевнено сприймати матеріал, що викладається, – рівень шуму дорівнює або перевищує рівень корисного сигналу. Чому в перших рядах «все чути», а в останніх «майже нічого»? Тому що в процесі поширення від джерела (викладача) до одержувача (студента) акустичний сигнал, як і будь-який інший, загасає, його рівень знижується на тлі практично незмінного в межах аудиторії рівня сторонніх шумів.

Перше, що спробує зробити лектор, – почне говорити голосніше. Стосовно каналів зв'язку систем телеуправління

аналогічним рішенням буде **збільшення вихідної потужності передавача**. Проте слід мати на увазі, що корисний сигнал в одній аудиторії (одному каналі) є завадою для іншої (іншого), тому можливості такого підходу до вирішення проблеми забезпечення стійкості зв'язку обмежені.

Якщо більш гучне читання лекції не допомогло, викладач або студенти спробують щільніше закрити вікна аудиторії, щоб знизити рівень шуму в аудиторії. Технічним аналогом цієї дії є **екранування ліній зв'язку**.

У тому випадку, якщо і цей захід не увінчався успіхом, можна порекомендувати учасникам лекції змінити аудиторію: перейти, наприклад, у підвальне приміщення. Близьким аналогом в системах диспетчерської централізації буде **заміна повітряних ліній зв'язку кабельними**, заглибленими в землю. Земля в цьому випадку буде виконувати функцію додаткового екрана. Якщо зміна аудиторії неможлива, можна перемістити джерело сигналів (викладача) у центр аудиторії, тобто **змінити структуру лінії зв'язку або ретранслювати повідомлення**.

Ще один варіант – відмовитися від акустичного каналу зв'язку і «перемкнутися» на оптичний: викладач письмово на дошці викладає лекційний матеріал, а студенти конспектують написане. Технічний аналог – відмова від традиційних провідних ліній зв'язку і перехід на **волоконно-оптичні**.

Природно, наведений приклад має недоліки. Аналогія між акустичним каналом зв'язку (у якому передавач – органи мовлення викладача, а приймачі – слухові апарати студентів) і провідним телемеханічним каналом не є повною. У випадку з лекцією не можна якимось чином змінити (переналаштувати) передавачі та приймачі або змінити правила кодування інформації – граматичні, лексичні, стилістичні правила російської або української мови. У системах ТУ ці проблеми вирішуються досить легко:

- **вибором** для роботи каналу зв'язку **частотного діапазону**, у якому рівні завад мінімальні;

- вибором для побудови сигналів тих **імпульсних ознак**, які найменше схильні до спотворень у результаті впливу завад, тобто використанням частотної або фазової модуляції;

- застосуванням **завадозахищених кодів** і технічних засобів, що дозволяють виправляти виявлені помилки.

Контрольні питання до розділу

1. Що розуміють під “системою управління”, “об'єктом управління”?

2. Поясніть переваги й недоліки місцевого, дистанційного і телеуправління. Від яких факторів залежить максимальна дальність керування в системах з місцевим і дистанційним керуванням?

3. Поясніть, яким чином у системах телеуправління можливе передавання команд різним об'єктам по двопровідній лінії зв'язку?

4. Переведіть у двійковий код: 35, 129, 664. Якому десятковому числу відповідає двійкове: 11011, 10010010?

5. Що називають «повідомленням», «сигналом», «переносником», «імпульсом»?

6. Що називають лінією зв'язку і каналом зв'язку? У чому полягає відмінність між ними?

7. Від чого залежить пропускну здатність каналів зв'язку?

8. Поясніть суть частотного і часового розділення сигналів. Наведіть приклад.

9. Назвіть імпульсні ознаки сигналів. Поясніть їх переваги й недоліки з точки зору доцільності використання в системах передавання інформації.

10. Що називають модуляцією і маніпуляцією? Назвіть види модуляції, які найчастіше використовуються в системах ДЦ. Чому?

11. Які з видів модуляції є більш стійкими до впливу електромагнітних завад? Чому?

12. Поясніть переваги й недоліки систем ТУ з фізичним розділенням елементів сигналів. Яку мінімальну кількість провідників повинна мати лінія зв'язку системи ТУ з фізичним розділенням елементів сигналів для керування 500 об'єктами?

13. Поясніть переваги й недоліки систем ТУ з частотним, часовим і кодовим розділенням сигналів.

14. Які перетворення відбуваються з повідомленнями в системах ТУ у процесі введення, передавання, приймання і реалізації?

15. Які максимально допустимі ймовірності встановлено діючими нормативними документами стосовно трансформування команди, трансформування контрольної інформації ТС, втрати команди, втрати контрольної інформації ТС, виникнення помилкової команди або контрольного повідомлення за їх відсутності?

16. Чому надлишкові коди прийнято називати завадозахищеними? Чи впливає ступінь завадозахищеності кодів на ймовірність трансформування окремих імпульсів сигналу у процесі передавання? Чому?

17. Назвіть основні характеристики кодів.

18. Які методи і засоби застосовують для підвищення завадозахищеності каналів зв'язку?

4. СТРУКТУРА ПІДСИСТЕМИ ЗВ'ЯЗКУ СИСТЕМ ДЦ

Найбільш поширеними системами диспетчерської централізації з жорсткою логікою функціонування, які досі перебувають в експлуатації, є системи ДЦ «НЕВА» і «ЛУЧ». Розроблені вони в 60-х–70-х роках минулого століття. Проте, не дивлячись на свій «поважний вік», ряд обмежень і об'єктивних недоліків, обумовлених у першу чергу використовуваною елементною базою, алгоритми їх функціонування і схемні рішення становлять інтерес для розуміння принципів роботи будь-яких систем управління та контролю, зокрема систем диспетчерської централізації. У тому числі і сучасних.

Системи ДЦ являють собою комплекси технічних засобів, призначені для керування територіально розосередженими групами об'єктів, відстань між якими може сягати сотень кілометрів. Тому організація і забезпечення надійного зв'язку між складовими частинами систем диспетчерської централізації є пріоритетним завданням. У ДЦ «НЕВА» зв'язок між лінійними пунктами і центральним постом організований по фізичному двопровідному лінійному колу, до якого паралельно підключаються приймальні та передавальні пристрої ЛП [4, 5]. *Фізичні лінійні кола можуть бути з'єднані з постом ДЦ безпосередньо або за допомогою апаратури високочастотного зв'язку (ВЧ).* Схема з'єднання апаратури ЦП з лінійними пунктами при безпосередньому зв'язку наведена на рис. 4.1. Технічні засоби апаратури каналів телеуправління (ТУ) і телесигналізації (ТС) у межах поста ДЦ практично незалежні один від одного і представлені окремими комплексами пристроїв з незалежними виходами. Для переходу з двопровідної схеми зв'язку в межах ділянки на чотирипровідну в межах поста ДЦ на центральному посту встановлюється розділовий фільтр Φ , що зменшує до прийнятних рівнів взаємні впливи апаратури каналів. У тих випадках, коли довжина диспетчерської дільниці велика, передбачається встановлення підсилювального обладнання. Підсилювальний пункт (ПП) має у своєму складі два розділових фільтри, аналогічних тому, який встановлений на центральному посту, і симплексні підсилювачі сигналів ТУ і ТС.

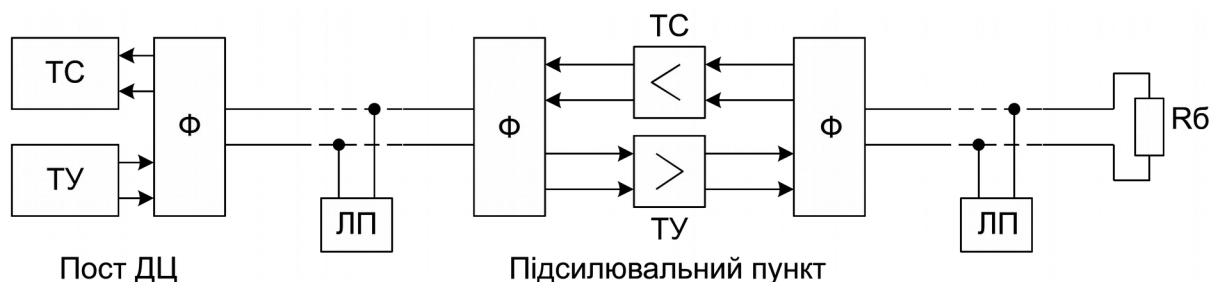


Рис. 4.1. Структурна схема зв'язку поста ДЦ з лінійними пунктами по фізичним колам

За існуючими нормами в межах диспетчерської дільниці має бути не більше двох підсилювальних пунктів (трьох підсилювальних ділянок). Лінійне коло найбільш віддаленої від поста ДЦ підсилювальної ділянки навантажене баластним резистором R_b з опором, що дорівнює хвильовому опору кола; для лінійних кіл решти ділянок навантаженнями є входні опори підсилювальних пунктів.

Наведена на рис. 4.1 структура зв'язків застосовується на дільницях, що безпосередньо примикають до постів ДЦ. Якщо ж центральний пост системи ДЦ розташований на значній відстані від диспетчерської дільниці (наприклад, в управлінні залізниці, як це буває при організації єдиних дорожніх центрів керування), застосовується комбінована структурна схема зв'язків (рис. 4.2). Між ЦП і найближчим до нього лінійним пунктом (або точкою кабельної траси виділеного лінійного кола) передавання командної та контрольної інформації здійснюється високочастотними каналами зв'язку, а в межах дільниці – за аналогією з розглянутою вище схемою. Для управління диспетчерською дільницею виділяється окрема пара каналів ВЧ, що проходять у зустрічних напрямках. На посту ДЦ модулятор М з'єднаний двопровідним колом з пристроями каналу ТУ для передавання сигналів керування. Демодулятор ДМ таким же чином підключений до постових пристроїв каналу ТС. Перехід ВЧ сигналів ТУ та ТС на відносно низькочастотні фізичні лінійні кола здійснюється в трансляційних пунктах (ТП), розміщених у пунктах виділення каналів ВЧ.

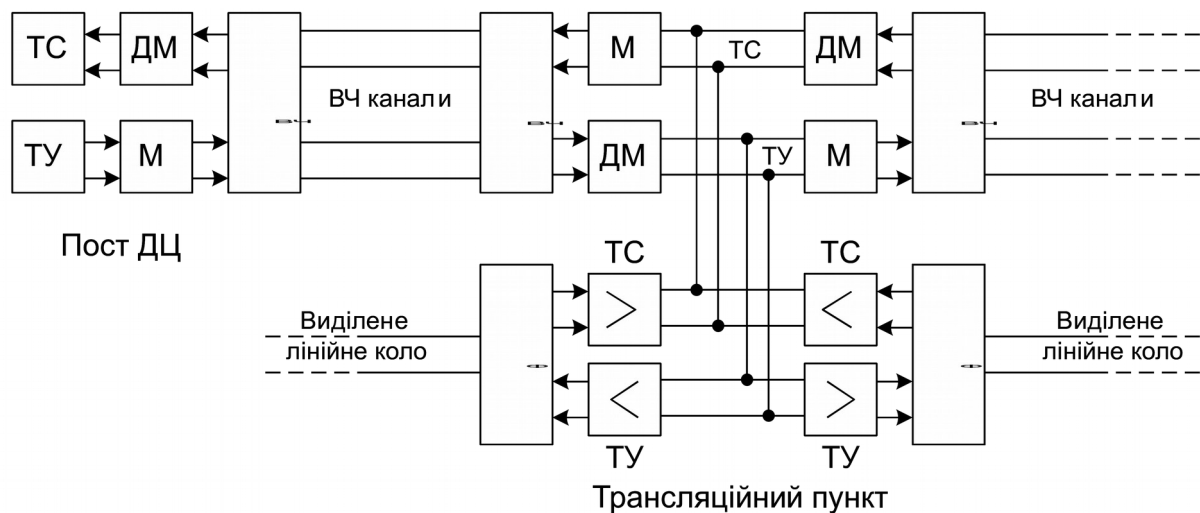


Рис. 4.2. Структура зв'язку поста ДЦ з виділеними лінійними колами по каналах ВЧ

Трансляційні пункти, призначені для підключення до каналів ВЧ лінійних кіл диспетчерської дільниці, можуть розташовуватися як у межах дільниці, так і на межах. Наведена на рис. 4.2 схема зв'язків відповідає розміщенню ТП у межах дільниці. Демодулятори, що входять до складу трансляційних пунктів, здійснюють перетворення ВЧ сигналів ТУ та ТС у низькочастотні, придатні для передавання виділеними фізичними колами; модулятори перетворюють низькочастотні сигнали ТУ та ТС, що циркулюють у виділених колах, у високочастотні для подальшого передавання каналами ВЧ.

У межах однієї диспетчерської дільниці може бути декілька пунктів виділення (трансляційних пунктів). З метою забезпечення надійної роботи пристроїв ДЦ в конкретних умовах найбільш бажаною є така структура зв'язку, при якій фізичні лінійні кола мають найменшу довжину і мають мінімальну кількість підсилювальних пунктів. Як і у випадку безпосереднього зв'язку поста ДЦ з фізичними лінійними колами (рис. 4.1), у лінійних колах, що починаються на трансляційних пунктах, може бути не більше двох підсилювальних пунктів.

Контрольні питання до розділу

1. Що розуміють під фізичним двопровідним лінійним колом? Які технічні засоби застосовують для підключення пристроїв ДЦ до фізичних лінійних кіл?

2. Як організується зв'язок між ЦП системи диспетчерської централізації і лінійними пунктами, якщо диспетчерська дільниця віддалена від центрального поста на значну відстань?

3. Які технічні засоби застосовують для підключення пристроїв ДЦ до виділених лінійних кіл?

4. Що називають трансляційними пунктами? Поясніть їх призначення.

5. За якими ознаками можна порівняти можливі структури підсистеми зв'язку, запропоновані для конкретної диспетчерської дільниці? Яка структура є бажаною?

5. ДИСПЕТЧЕРСЬКА ЦЕНТРАЛІЗАЦІЯ «НЕВА»

5.1. Експлуатаційно-технічна характеристика системи ДЦ «НЕВА»

Диспетчерська централізація «НЕВА» розроблялася як альтернатива більш «раннім» системам ДЦ, таким як ПЧДЦ, ЧДЦ, ЧДЦ-М, ЧДЦ-66, і має порівняно з попередниками ряд переваг [4].

ДЦ «НЕВА» може застосовуватися на диспетчерських дільницях будь-якої конфігурації: поздовжньої, радіальної, змішаної. Максимальна віддаленість диспетчерської дільниці від поста управління – до 300 км. Ємність системи з управління, що характеризується максимальною кількістю позиційних команд (ввімкнути-вимкнути), які можуть бути передані з ЦП на лінійні пункти, – 1120. У типовому виконанні ця ємність розподіляється між двадцятьма станціями, на адресу яких можна передавати до 56 команд. Тобто максимальна кількість керованих лінійних пунктів – 20.

Ємність системи з контролю у двопровідному виконанні лінійного кола (максимальна кількість контрольованих двопозиційних об'єктів) – 1380. Ця ємність складається з ємності трьох паралельних каналів ТС, що працюють одночасно в різних частотних діапазонах. Один канал може контролювати до 460 двопозиційних об'єктів. *(У деяких варіантах виконання системи ДЦ при організації по виділеному лінійному колу чотирьох паралельних каналів ТС ємність системи з контролю збільшувалася до 1840 об'єктів.)* Максимальна кількість об'єктів, що можуть контролюватись одним комплектом пристроїв лінійного пункту, – 120.

Оскільки команди управління формуються і вводяться в систему ДЦ за необхідності (спорадично), такий же спосіб застосований і для передавання сигналів ТУ, що відповідають введеним командам.

Сигнали ТС в ДЦ «НЕВА» передаються циклічно, незалежно від зміни стану контрольованих об'єктів.

Час передавання одного сигналу ТУ складає 1.008 с, максимальна тривалість циклу контролю в каналі ТС – 5.376 с.

Для побудови сигналів ТУ використовується чотиризначна частотна маніпуляція, для побудови сигналів ТС (у кожному каналі) – двозначна.

5.2. Структурна схема системи ДЦ «НЕВА»

Комплекс технічних засобів ДЦ «НЕВА» складається з комплексу апаратури центрального поста, ряду комплектів апаратури лінійних пунктів (за кількістю станцій диспетчерської дільниці) і апаратури зв'язку, що забезпечує доставку командної та контрольної інформації одержувачам [2, 4]. Технічні засоби зв'язку і схеми з'єднань ЦП з лінійними пунктами розглядалися в попередньому підрозділі, тому в даному підрозділі розглянемо тільки структурні схеми ЦП (рис. 5.1) і ЛП (рис. 5.2).

Для введення команд ТУ система має комплект апаратури, що сприймає команди поїзного диспетчера з пульта керування. До її складу входять (рис. 5.1): пульт-маніпулятор; набірний реєстр НР; генератор тактових імпульсів ГТІ; головне реле Г; розподільник ЦШР; шифратор Ш-ТУ, утворений контактами реле набірної реєстрації; модулятор М, що керує роботою центрального генератора ЦГ; фільтр ФА, призначений для розділення каналоутворювальної апаратури сигналів ТУ і ТС. Крім власне сигналів ТУ (команд), по каналу ТУ передається ще й сигнал циклової синхронізації ЦС, за яким на ЛП встановлюється в початковий стан апаратура каналу ТС. У формуванні сигналу ЦС задіяні загально-груповий розподільник ЗГР, вузол синхронізації ВС, модулятор і центральний генератор.

На центральному посту ДЦ також розміщується апаратура приймання, реєстрації та відображення контрольної інформації, переданої по каналу ТС: центральний підсилювач ЦПС; демодулятор ЦДМ, що керує груповим розподільником ГР, центральним дешифратором ЦДШ і реєстром ЦТР активних тактів. Груповий розподільник через ключові схеми 1КС-20КС блоків групового обирання (1ГІ-20ГІ) і контакти контрольних реле впливає на схему порівняння, яка виявляє наявність новизни в сигналі ТС, що приймається.

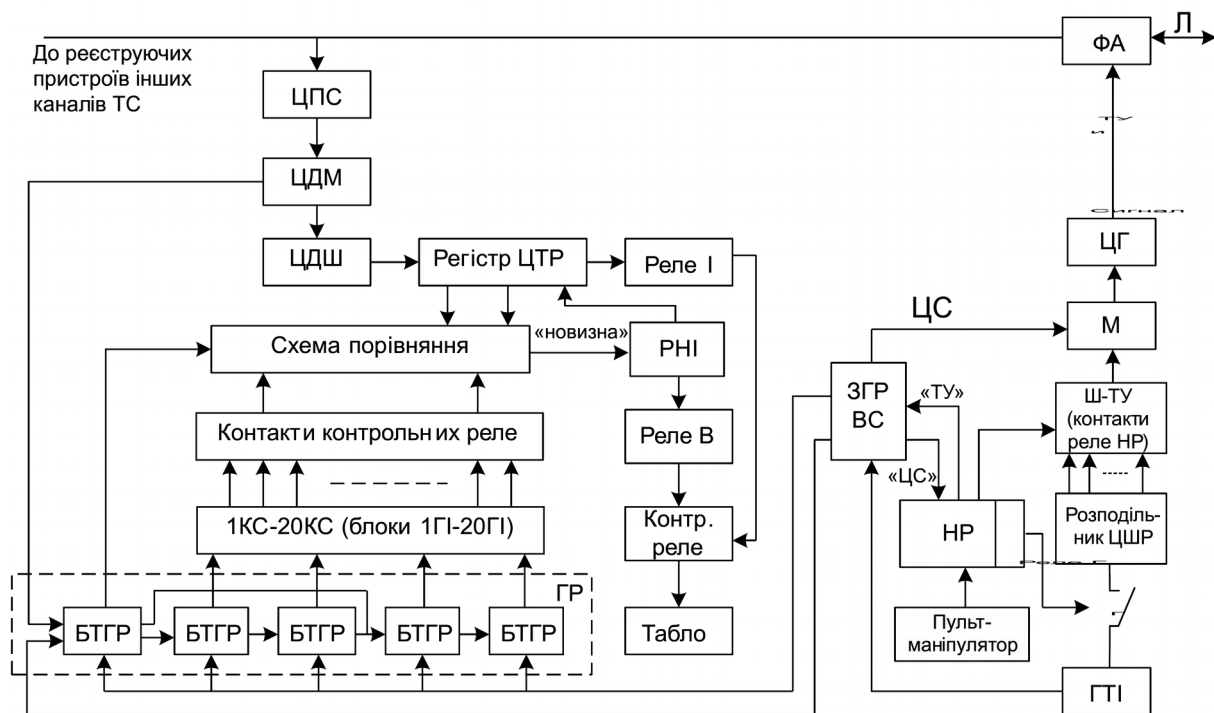


Рис. 5.1. Структурна схема ЦП ДЦ «НЕВА»

У разі виявлення новизни схема порівняння через схему реалізації нової інформації РНІ забезпечує реєстрацію активних тактів у прийнятому сигналі ТС, вмикає групові реле В, які спільно з реле І вмикають або вимикають контрольні реле. Контрольні реле своїми контактами змінюють індикацію на виносному табло поїзного диспетчера, відображаючи поїзну ситуацію диспетчерської дільниці в реальному часі.

Потреба в передаванні сигналів циклової синхронізації по каналу ТУ виникає через кожні 5.376 с (тривалість циклу контролю в каналі ТС). Цілком можливо, що в цей же час вже передається сигнал ТУ. Або під час передавання сигналу ЦС виникає потреба в передачі сигналу ТУ. Арбітраж, що стосується права зайняття каналу ТУ пристроями вузла синхронізації ВС або передавачем команд ТУ, вирішується за допомогою перехресних зв'язків між ЗГР, ВС і передавальними пристроями сигналів ТУ. Якщо потреба в передаванні сигналу ЦС виникла під час передачі сигналу ТУ, формування та передавання сигналу ЦС затримується до закінчення сигналу ТУ і навпаки.

На лінійному пункті (рис. 5.2) сигнал ТУ через трансформатор 1 ЛТ і підсилювач ЛУ надходить на демодулятор ЛДМ. До виходу демодулятора підключено дешифратор команд

керування, що включає в себе релейну схему управління розподільником, власне розподільник, групові реле 1Г-5Г, дешифратор номера групи 1ГУ-7ГУ, реле реєстрації команди 1Р-8Р. Доставлені сигналом ТУ накази реалізують керуючі реле К. Для приймання сигналу циклової синхронізації використовується реле Ц, яке під час передавання з ЦП і приймання на ЛП сигналу ЦС зупиняє генератор тактових імпульсів ГТІ і переводить у початковий стан груповий розподільник ГР і лінійний шифратор ЛШ (тактовий розподільник).

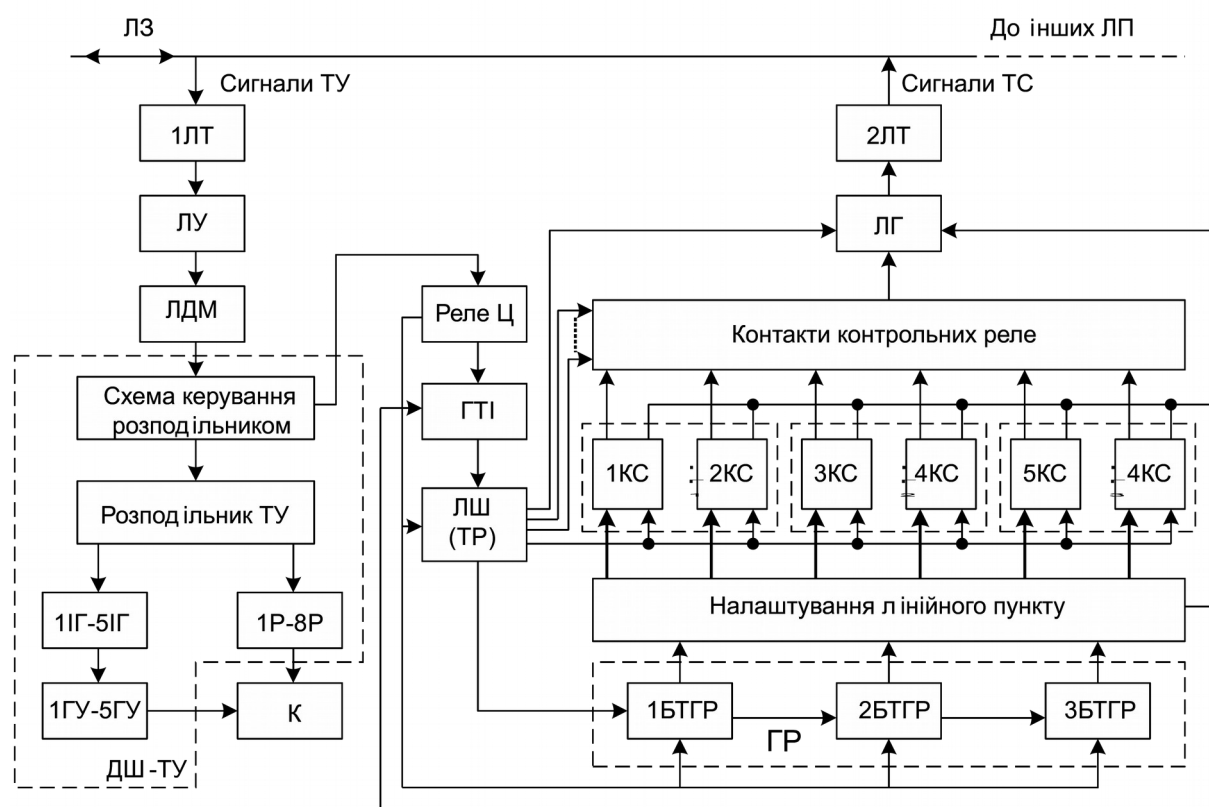


Рис. 5.2. Структурна схема пристроїв ЛП

Сигнали ТС з даного лінійного пункту передаються, якщо позиція групового розподільника ГР відповідає налаштуванню ЛП. У цьому випадку створюються умови для вмикання лінійного генератора ЛГ, а якість переданих частотних імпульсів буде залежати від стану виходів лінійного шифратора ЛШ (тактового розподільника) і контактів реле контрольованих об'єктів.

5.3. Формування, передавання і реалізація команд управління в системі ДЦ «НЕВА»

5.3.1. Структура кодів команд і сигналів телеуправління

Довжина кодів команд телеуправління в ДЦ «НЕВА» – 18, тобто кожна кодова комбінація, що несе командну інформацію, складається з 18 двійкових розрядів (рис. 5.3). Перші шість розрядів призначені для кодування адреси одержувача – лінійного пункту, якому призначена команда. Для формування адресної частини команди використовується код з постійною вагою, у якому обов'язково має бути три «1» і три «0». Наприклад, 111000, 101001 ..., 000111.

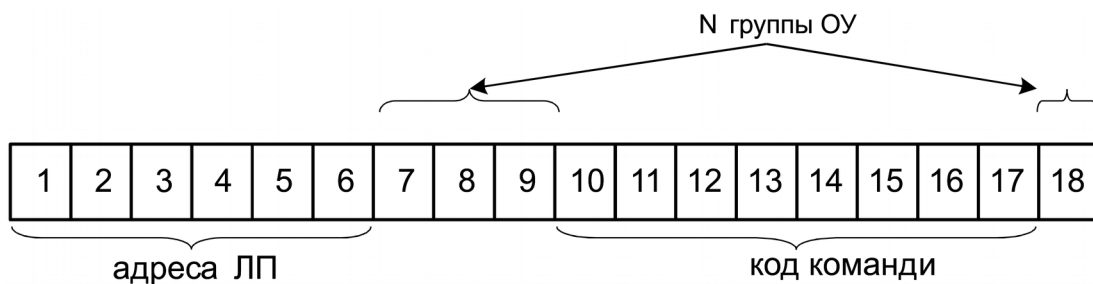


Рис. 5.3. Структура кодів команд ТУ

Максимальна кількість кодових комбінацій N , що задовольняють це правило, визначає максимальну кількість лінійних пунктів (станцій, роз'їздів, блок-постів тощо), якими може керувати система ДЦ:

$$N = C_3^6 = \frac{6!}{3!(6-3)!} = 20.$$

Тобто максимальна кількість керованих роздільних пунктів – 20.

Розряди 7, 8, 9, 18 призначені для кодування номерів груп об'єктів управління. Для побудови цієї частини команди також використовується код з постійною вагою, у якому повинно бути дві «1» і два «0». Крім того, дозволеною є комбінація, у якій всі зазначені розряди приймають значення «1». Максимальна кількість груп об'єктів управління на одній станції – 7. Маршрутні команди включають у 1–4 групи, решта – у групи 5–7.

Виконавчу частину команди складають двійкові розряди коду з 10-го по 17-й. Це так званий позиційний код, у якому

порядковий номер розряду визначає зміст команди. Залежно від типу команди в цій частині коду може бути одна або дві «1», іншим розрядами присвоюється значення «0». Маршрутні команди мають по дві одиниці у виконавчій частині (фактично в цьому випадку формується дві команди: номер маршруту, що задається, і команда на відкриття або закриття світлофора); «прості» команди (дозвіл відправлення в парному/непарному напрямках, управління роз'єднувачами ВЛ СЦБ та ін.) – по одній. Такий восьмирозрядний позиційний код дозволяє сформувати всього вісім команд. (При використанні інших правил побудови кодів з цією розрядністю і з такою самою кодовою відстанню $d = 2$ можна було б сформувати до 128 команд.)

Добуток максимальної кількості керованих ЛП, кількості груп об'єктів управління та кількості команд у групі визначає ємність системи ДЦ з управління: $20 \cdot 7 \cdot 8 = 1120$.

Для побудови сигналів ТУ в ДЦ «НЕВА» використовується чотиризначна частотна маніпуляція. Сигнал ТУ передається імпульсами з частотами $f_1 = 500$ Гц, $f_2 = 600$ Гц, $f_3 = 700$ Гц, $f_4 = 800$ Гц. Частотами f_1 і f_3 передаються логічні «1» (активні імпульси), а f_2 , f_4 – логічні "0" (пасивні імпульси). Частоти f_1 і f_2 використовуються для передавання парних імпульсів, f_3 і f_4 – непарних. Правило перетворення двійкових розрядів кодових комбінацій у сигнал може бути проілюстроване за допомогою рис. 5.4.

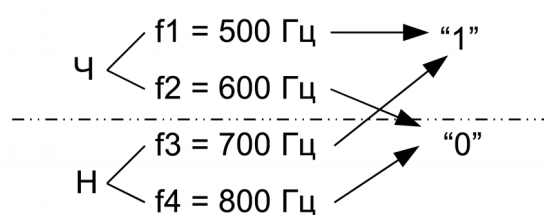


Рис. 5.4. Правило перетворення кодів команд у сигнал ТУ

Тривалість кожного імпульсу сигналу ТУ – 48 мс. За відсутності підготовленого до передавання коду команди з центрального поста в лінію зв'язку безперервно надходить сигнал спокою з частотою f_4 (рис. 5.5, часовий інтервал 0- t_0). Передавання кожного сигналу ТУ починається зі службової (0) послідовності. Її тривалість дорівнює тривалості трьох інформаційних імпульсів, а передавання здійснюється на частоті f_2 : $3 \cdot 48 = 144$ мс.

Потім передаються 18 інформаційних імпульсів (за кількістю розрядів кодової комбінації). Після закінчення передавання інформаційної частини сигналу пристроями ЦП формується розділовий інтервал тривалістю чотири такти по 48 мс, протягом якого неможливе формування наступної команди управління. Під час розділового інтервалу в ЛЗ передається частота f_4 .

Таким чином, тривалість одного сигналу ТУ становить 1.008 с $((3+18) \cdot 0.048 = 1.008)$, а тривалість повного циклу роботи апаратури каналу ТУ під час передавання однієї команди, з урахуванням тривалості розділового інтервалу, складає 1.2 с: $(3+18+4) \cdot 0.048 = 1.2$.

Якщо, наприклад, сформована команда адресована лінійному пункту з кодом 111000 і належить до групи об'єктів управління з кодом 1100, початкова частина сигналу ТУ (послідовність частот) буде мати вигляд, зображений на рис. 5.5.



Рис. 5.5. Структура сигналу ТУ для ЛП з адресою 111000

5.3.2. Формування кодів команд телеуправління

Код кожної команди ТУ формується шифратором (набірним регістром) у результаті впливу оператора на кнопки апарату управління (пульта-маніпулятора). Спочатку диспетчер натисканням станційної кнопки вибирає необхідну станцію, у результаті чого формується адресна частина коду команди. Потім у певній послідовності повинні бути натиснуті маршрутні кнопки, розташовані за планом станції, або необхідна кнопка одиночних наказів. У результаті останніх дій формуються коди номера групи об'єктів управління і виконавчої частини команди. Після перевірки правильності сформованого коду апаратура ЦП каналу ТУ перетворює код команди у відповідну йому послідовність імпульсів змінного струму, частота яких залежить

від порядкового номера імпульсу і якості (1 або 0) двійкового розряду, якому цей імпульс відповідає. Перетворення здійснюється відповідно до правила, наведеного на рис. 5.4.

Вибір схемних і конструкторських рішень, пропонованих і реалізованих розробниками систем диспетчерського управління для побудови тих чи інших пристроїв, зокрема шифраторів, завжди залежав (і залежить) від наявної в їх розпорядженні елементної бази. Так, у традиційному виконанні ДЦ «НЕВА» і «Луч» використовуються переважно релейно-контактні елементи, які (у період розроблення зазначених систем) були найбільш поширеними, а головне – дешевими і надійними, порівняно з мікроелектронними. У сучасних системах диспетчерської централізації застосовуються програмно-апаратні засоби на базі персональних ЕОМ і мікроконтролерів.

У загальному випадку завданням шифрувальних пристроїв систем ДЦ є фіксація впливів оператора на апарат управління і перетворення введеної команди у двійковий код. Як з позицій сучасного етапу, так і з позицій перспектив розвитку систем ДЦ схемні рішення, прийняті і реалізовані в ДЦ «НЕВА» для побудови шифраторів, не мають особливого інтересу, оскільки є досить простими і очевидними. Читач самостійно зможе вивчити роботу цієї частини системи, користуючись спеціальною технічною літературою [4]. Разом з тим принцип дії передавача сигналів ТУ заслуговує більш ретельного вивчення. Перша тому причина – загальноосвітня, завдяки застосованим схемним і алгоритмічним рішенням. Друга – утилітарна: на обладнаних пристроями ДЦ «НЕВА» дільницях, які не мають особливих перспектив розвитку, зазвичай обмежуються частковою модернізацією діючої системи. У результаті такої модернізації відбувається заміна релейно-контактних пристроїв реєстрації, зберігання і відображення інформації каналу ТС та пристроїв введення і шифрування команд каналу ТУ сучасними програмно-апаратними засобами. Канало-утворювальна апаратура залишається штатною.

5.3.3. Перетворення кодів команд у сигнали ТУ

У ДЦ «НЕВА» передавання сигналу починається відразу після закінчення кодування команди і перевірки за певними

критеріями правильності коду. У класичних системах ДЦ, таких як «НЕВА» і «ЛУЧ», код команди на виході шифратора представлений у вигляді станів електромагнітних реле, частина з яких ввімкнена, частина – вимкнена. Сформований код, тобто інформація про стан окремих реле, надходить на входи модулятора і забезпечує зміну параметрів переносника відповідно до прийнятого правила побудови сигналу (рис. 5.4). Структурна схема передавача сигналів ТУ зображена на рис. 5.6. Відразу зазначимо, що ця схема ілюструє лише принцип формування сигналу ТУ, взаємодію основних функціональних вузлів і не претендує на повну ідентичність з апаратною частиною реального передавача. Особливо хотілося б відзначити той факт, що в реальній схемі модулятора відсутні будь-які релейно-контактні елементи, в той час як у наведеній мають місце R_n/n , R_{na} , R_{na} . Вони «знадобляться» для пояснення принципу роботи схеми управління модулятором.

У початковому стані генератор тактових імпульсів передавача (ГТІ 4 кГц) і попередній подільник частоти Д 1/32 працюють безперервно, незалежно від наявності/відсутності коду команди на виході шифратора або сигналу ТУ в лінії. На виході подільника формується послідовність тактових імпульсів з періодом проходження 8 мс. Ключ К, подільник 1/6 і розподільник Р заблоковані сигналом «RESET» з виходу набірного регістра.

Розподільник побудований з використанням тригерів Т1-Т5, з'єднаних за схемою п'ятирозрядного двійкового лічильника, і дешифратора стану лічильника DC. Виходи дешифратора DC є одночасно і виходами розподільника. Тригери Т1-Т5 лічильника примусово утримуються в нульовому стані. На входах «А», «П» і «Н» модулятора М присутні сигнали з рівнями «0», що забезпечує вибір і передавання в лінію зв'язку частоти спокою f_4 . Слід зазначити, що модулятор здійснює керування генератором Г лише на підставі аналізу стану вказаних входів. Залежність робочої частоти центрального генератора каналу ТУ від напруг на входах «А», «П», «Н» (змісту керуючих сигналів) наведена в табл. 5.1

Таблиця 5.1

Залежність між станом входів і виходу модулятора

Стан входів			Робоча частота
«А»	«Н»	«П»	
0	0	xx	f4
0	1	xx	f3
1	xx	0	f2
1	xx	1	f1

Символами «xx» позначені входи, стан яких за певних умов на роботу модулятора не впливає. Так, якщо на вході «А» присутній логічний «0», модулятор реагує тільки на стан входу «Н»; якщо на вході «А» логічна «1» – перевіряється стан входу «П».

Передавання сигналу ТУ можливе при виконанні декількох умов:

- каналом ТУ не передається сигнал циклової синхронізації;
- введення команди диспетчером закінчено, код сформовано правильно.

Якщо на момент закінчення набору канал ТУ виявився зайнятим передаванням сигналу ЦС (протягом 64 мс в лінію зв'язку надходить змінний струм з частотою f3), передавання сигналу ТУ затримується до закінчення сигналу ЦС. У наведеній схемі функції перевірки виконання зазначених умов реалізовані за допомогою ключа К (рис. 5.6). Після закінчення набору набірний регістр відкриває ключ К по нижньому входу; верхній (за схемою) вхід ключа відкритий з виходу вузла синхронізації (сигнал ЦС відсутній). З цього моменту вихід ключа К фактично повторює вихід подільника 1/32.

Одночасно з відкриттям ключа К знімається примусове блокування подільника 1/6 і тригерів Т1-Т5 розподільника (по входу R (RESET) ці тригери були встановлені в «0»). У момент зняття блокування стан тригерів не змінюється, але з цього моменту вони починають реагувати на зміну стану своїх входів. Тригери включені за схемою з загальним (рахунковим) входом, командою на перемикання є зміна напруги на їх входах з «0» в «1».

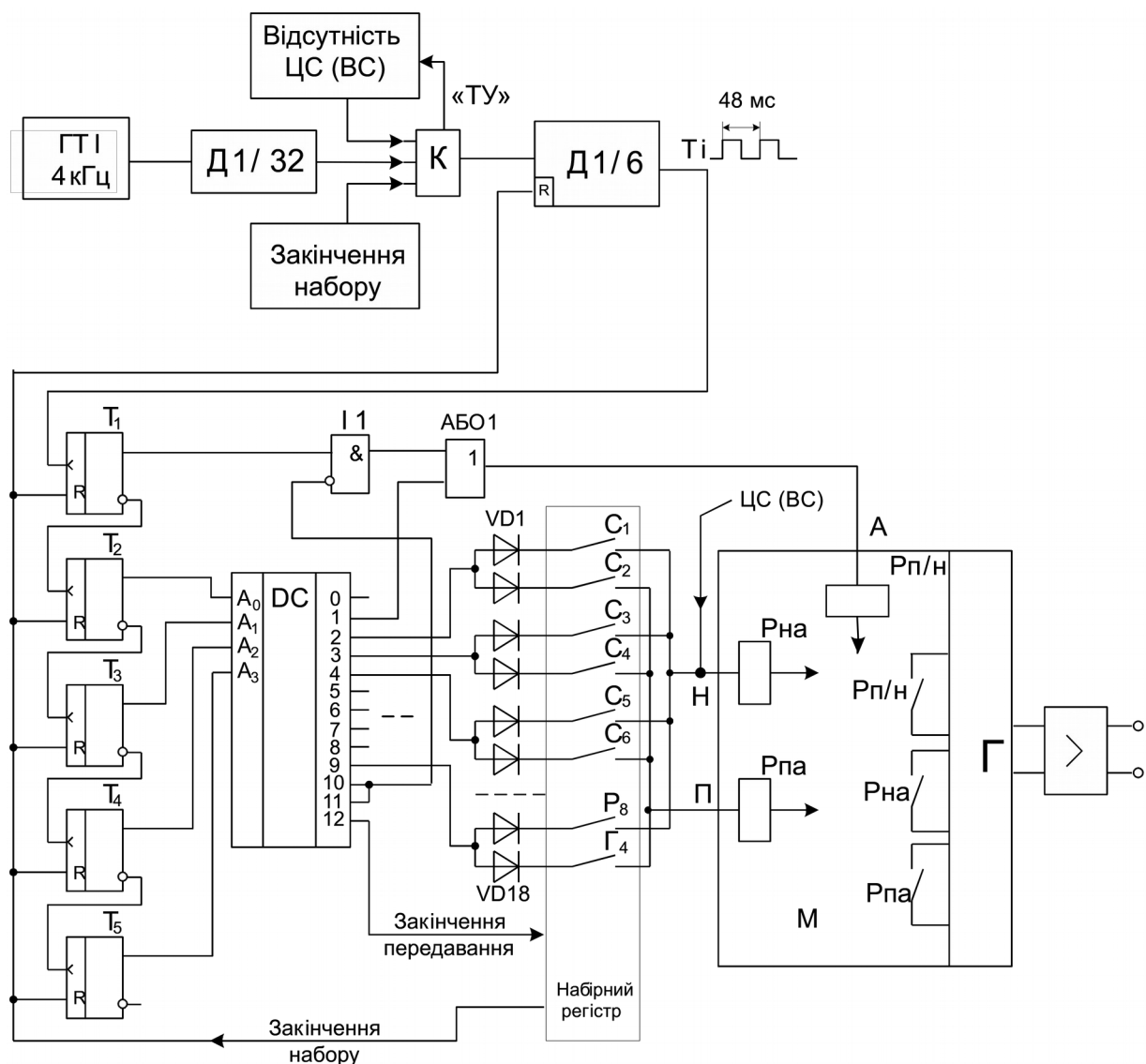


Рис. 5.6. Структурна схема передавача сигналів ТУ

Після відкриття ключа К імпульси з частотою 125 Гц починають надходити на вхід подільника 1/6 (трирозрядний двійковий лічильник зі схемою скорочення лічби до шести), який забезпечує формування тактових імпульсів з періодом проходження 48 мс. Це тривалість одного імпульсу сигналу ТУ. Перший же тактовий імпульс з виходу подільника 1/6 (його передній фронт) встановлює тригер Т1 в «1», стан решти тригерів, а отже, і стан виходів дешифратора не змінюється («1» на виході N0). Наявність логічної одиниці на «прямому» виході тригера Т1 змінює стан логічного елемента І1, відкритого по нижньому входу з виходів N10, N11 розподільника. Елемент І1 встановлює в «1» елемент АБО1, внаслідок чого стан входу «А» модулятора змінюється з «0» в «1».

Поява логічної «1» на вході «А» за наявності на вході «П» «нуля» забезпечує генерування та передавання в лінію зв'язку частоти f_2 (табл. 5.1). Таким чином, формується службовий імпульс сигналу ТУ з порядковим №0 (рис. 5.5). Через 48 мс на виході подільника $1/6$, а отже, і на ході тригера Т1 з'явиться наступний тактовий імпульс. У результаті зміниться стан тригерів Т1 і Т2 ($T_1=0$, $T_2=1$). Оскільки вихід тригера Т2 підключений до входу дешифратора, стан виходів дешифратора зміниться – «1» з'явиться на виході N1. Ця «1» збереже стан елемента АБО1 і стан модулятора – у лінію зв'язку продовжує надходити сигнал з частотою f_2 . Під час третього такту роботи передавача тригери Т1 і Т2 будуть перебувати в стані «1», підтримуючи попередній стан елемента АБО1 і модулятора і забезпечуючи передавання в ЛЗ частоти f_2 .

З моменту закінчення третього тактового імпульсу передавач функціонує відповідно до алгоритму, наведеного на рис. 5.4 (якщо прийняти, що «нульовий» службовий імпульс – парний, а його якість – «0», то і він «вписується» в наведений алгоритм).

Залежно від номера інформаційного такту сигналу ТУ, стану контактів станційних, групових і реєструючих реле в процесі перемикання розподільника по позиціях напруга на входах А, П, Н змінюється, забезпечуючи зміну частот у лінії зв'язку. Під час кожного непарного інформаційного такту сигналу ТУ тригери Т1-Т5, логічні елементи І 1, АБО1, дешифратор ДС підтримують на вході А модулятора логічний «0», а під час парних тактів – «1». Зміна напруги на вході «А» забезпечує так звану тактову модуляцію – вибір пари робочих частот (f_1 - f_2 або f_3 - f_4). Якісна модуляція (f_1 або f_2 , f_3 або f_4) здійснюється залежно від поточного стану входів Н і П.

Так, під час першого інформаційного такту (четвертий з початку роботи передавача) тригер Т3 встановлений в «1», інші знаходяться в «0». На обох входах елемента АБО1, а отже, і на вході «А» модулятора – «0»; на другому виході розподільника – «1». За табл. 5.1, модулятор аналізує стан входу Н. Якщо, наприклад, контакт реле С1 виявиться замкненим, логічна «1» з виходу N2 ДС через діод VD1 надійде на вхід Н, що і забезпечить передавання в лінію зв'язку активної частоти f_3 . Стан контакту реле С2 під час непарного інформаційного такту на роботу

модулятора не впливає (див. табл. 5.1). Через 48 мс подільник 1/6 формує наступний імпульс, внаслідок чого змінюється стан тригера T1 ($T1 = 1$, $T2 = 0$, $T3 = 1$, $T4 = 0$, $T5 = 0$). Оскільки виходи тригера T1 до входів A0-A4 DC не підключені, стан виходів розподільника не змінюється – «1» залишається на виході N2. Проте стан входу «А» модулятора змінюється (з «0» в «1»); модулятор перемикається в режим генерування парних частот $f1$ або $f2$, аналізуючи при цьому стан входу «П». Під час цього такту роботи передавача якість переданого імпульсу сигналу ТУ залежить від стану контакту реле С2 (замкнутий – $f1$, розімкнутий – $f2$).

Напруга на вході «А» схеми управління модулятором змінюється з кожним тактовим імпульсом, що надходять з виходу подільника 1/6 на вхід розподільника, а стан виходів розподільника зберігається протягом двох тактів. Таким чином, у процесі роботи передавача відбувається послідовне опитування стану реле набірної групи. Не зважаючи на те, що одночасно можуть бути замкнені контакти кількох реле (трьох в адресній частині, двох або чотирьох в адресі групи, одного або двох у виконавчій частині команди), у кожен момент часу тільки один контакт впливає на вибір робочої частоти генератора.

Після закінчення передавання інформаційної частини сигналу ТУ на 22-му такті роботи передавача (3+18) логічна «1» з'явиться на 10-му виході розподільника. Оскільки 10-й і 11-й виходи DC підключені до інверсного входу елемента I 1, останній перемикається в «0» і припиняє реагувати на сигнали, які надходять на верхній (за схемою) вхід. У результаті на обох входах, а отже, і на виході елемента АБО1 будуть присутні «0»: модулятор спільно з генератором виробляє і передає в ЛЗ частоту $f4$. Поки розподільник знаходиться в 10-й і 11-й позиціях (22, 23, 24, 25 такти роботи розподільника), стан входів модулятора не зміниться: передавання сигналу ТУ вже закінчилося, але цикл роботи передавача триває – формується розділовий інтервал між суміжними сигналами ТУ. У лінію зв'язку в цей час передається частота спокою $f4$, на лінійних пунктах приймальні пристрої каналу ТУ перемикаються в початковий стан. По передньому фронту 26 тактового імпульсу розподільник перемикається в 12-ту позицію і в набірний регістр надходить інформація про

закінчення циклу роботи. На підставі цієї інформації набірний регістр блокує ключ К, скидає в «0» тригери подільника 1/6 і розподільника – передавач встановлюється в початковий стан.

Раніше вже йшлося про те, що для синхронізації роботи передавальних і приймальних пристроїв каналу ТС по каналу ТУ з ЦП на ЛП періодично надсилається сигнал циклової синхронізації: змінний струм з частотою f_3 (замість f_4) протягом 64 мс. У технічному відношенні посилка сигналу ЦС зводиться до подання на вхід «Н» модулятора сигналу з рівнем логічної одиниці в ті моменти часу, коли вузол синхронізації (ВС) приймає відповідне рішення, а передавач сигналів ТУ вільний. Перевірка відсутності передавання сигналу ТУ здійснюється завдяки зв'язку між ключем К і вузлом синхронізації (ВС – «ТУ») (рис. 5.6)).

5.3.4. Принцип дії модулятора каналу ТУ ДЦ «НЕВА»

Для побудови сигналів ТУ в ДЦ «НЕВА» застосовується **чотиризначна** частотна маніпуляція. Чому розробники системи ДЦ пішли на ускладнення схем передавальних і приймальних пристроїв каналу ТУ? Адже очевидно, що двійкові коди команд можна було б передати, використовуючи лише дві частоти: одну для передавання «1», іншу – для «0». Причин тут декілька.

Відомо, що при передаванні телемеханічних сигналів у результаті дії завад можливе помилкове розпізнавання окремих імпульсів або груп імпульсів, здатне призвести до спотворення змісту команд і їх подальшого виконання. Для зменшення загальної кількості помилок, а іноді і виключення помилок певного типу, застосовують різного роду перевірки.

Будь-яка захисна перевірка на приймальному боці може відбуватися на основі контролю постійних ознак прийнятих сигналів. Такими ознаками можуть бути кількість імпульсів у спорадичному сигналі або циклі; кількість імпульсів з певними імпульсними ознаками; порядковий номер імпульсу з певною ознакою; правило чергування імпульсів з певними властивостями. У каналі ТУ ДЦ «НЕВА» реалізовано всі перераховані перевірки, що дозволило зменшити до прийнятних значень імовірності трансформування команд при, загалом-то, невеликій надмірності кодових комбінацій.

Друга причина застосування чотиризначної частотної маніпуляції – відносна простота синхронізації роботи передавальних і приймальних пристроїв каналу ТУ. Кожен новий імпульс сигналу передається частотою, що відрізняється від частоти попереднього імпульсу. Зміна частоти сигналу на ЛП свідчить про приймання чергового імпульсу і дозволяє практично безпомилково визначати номер комірки приймального регістра, у яку повинна записуватися інформація про якість імпульсу. При використанні двозначної частотної маніпуляції на кожному ЛП необхідно було б мати пристрої відліку часу для визначення меж імпульсів сигналу ТУ.

У схемі, наведеній на рис. 5.6, приймачами інформації про стан входів «А», «Н», «П» є реле Рн/ч, Рна, Рча. Реальної ж схеми модулятора релейно-контактних елементів нема. Така заміна зроблена виключно для пояснення принципу управління генератором. Проілюструвати роботу модулятора можна за допомогою схеми, наведеної на рис. 5.7.

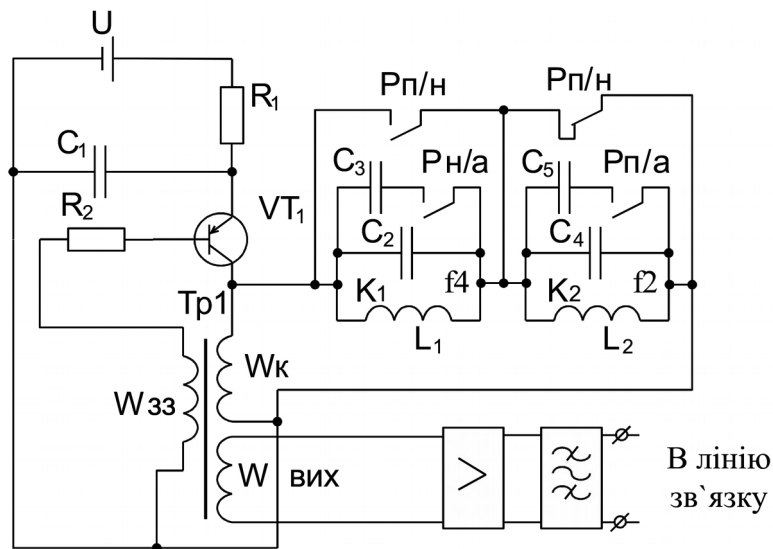


Рис. 5.7. Схема керування центральним генератором

Генератор синусоїдальних коливань побудовано на транзисторі VT1, резисторах R1, R2, конденсаторі C1, трансформаторі TP1. Зворотний зв'язок з необхідним для збудження генератора фазовим зсувом забезпечується взаємодією обмоток трансформатора: колекторної Wк і зворотного зв'язку W33 (докладніше див. підрозділ 2.10). Конденсатори C2, C3, C4,

C5 і індуктивні елементи L1, L2 разом з індуктивністю обмоток трансформатора визначають робочу частоту генератора. Коливальний контур K1, утворений конденсатором C2, дроселем L1 і індуктивністю трансформатора Lтр, налаштований на частоту f4; контур K2 (C4, L2, Lтр) – на частоту f2. Підключення конденсатора C3 паралельно конденсатору C2 дозволяє змінити резонансну частоту контуру K1 з f4 на f3. Враховуючи, що при паралельному з'єднанні конденсаторів їх сумарна ємність збільшується, власна резонансна частота контуру знижується з 800 Гц до 700 Гц ($f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$). Так само зміниться і частота налаштування коливального контуру K2 при підключенні C5 паралельно C4 – з f2 (600 Гц) до f1 (500 Гц). Вибір робочої частоти генератора здійснюється контактами реле Рча, Рна, Рп/н (обмотки реле показані на рис. 5.6). Реле Рп/н фіксує парні і непарні такти роботи розподільника, здійснюючи тактову маніпуляцію; Рча бере участь у формуванні парної активної ознаки сигналу, Рна – непарної активної ознаки. Тобто контактами Рна і Рча здійснюється якісна маніпуляція.

Коли передавач знаходиться в початковому стані (див. п. 5.3.3 (рис. 5.6)), на входах «А», «П», «Н» модулятора присутні сигнали низького рівня («0»), що обумовлює вимкнений стан реле Рп/н, Рна, Рча. У схемі, наведеній на рис. 5.7, коливальний контур K2 виявляється зашунтованим тилловими контактами реле Рп/н. Робочу частоту генератора визначатиме коливальний контур K1. Оскільки фронтові контакти реле Рча розімкнені і конденсатор C3 не підключений до контуру, генератор буде працювати на більш високій частоті – f4. Вмикання реле Рп/н, наприклад під час формування початкового службового імпульсу, призведе до шунтування контуру K1 і зняття шунта з контуру K2. При розімкнених фронткових контактах реле Рча у лінію зв'язку буде передаватися сигнал з частотою f2. Під час передавання інформаційної частини сигналу ТУ стан входу «А», а отже, і стан реле Рп/н змінюється з кожним наступним тактовим імпульсом, що надходить на вхід розподільника. Таким чином, то один, то інший контури генератора виявляються зашунтованими, а той контур, що залишився в роботі, визначатиме пару робочих частот (f1-f2 або f3-f4). Вибір конкретної частоти з пари залежить від

стану реле Р_{ча} або Р_{на}, тобто від стану контактів реле набірної групи, які в поточний момент часу опитуються розподільником.

У реальній схемі передавача для безпосереднього управління модулятором використовують електронні ключі – транзистори і діоди. З метою зменшення небажаного впливу розподільника і набірної групи на роботу генератора електронні ключі підключені до коливальних контурів через елементи гальванічної розв'язки – трансформатори. На рис. 5.8 наведені еквівалентні, з точки зору впливу на коливальний контур, схеми управління.

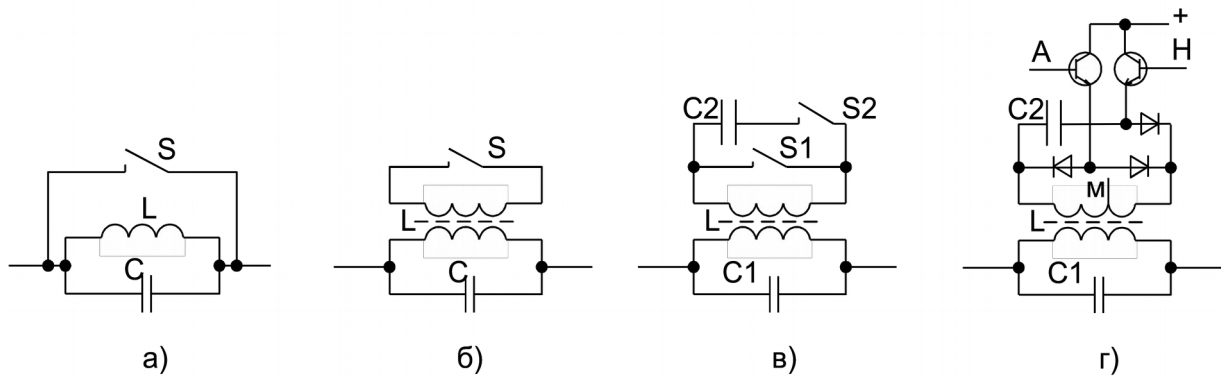


Рис. 5.8. Фрагменти схеми управління модулятором

Так, замикання ключа S у схемах, наведених на рис. 5.8, а, б призведе до повного шунтування відповідного коливального контуру. Надходження логічної одиниці на вхід «А» (рис. 5.8, г) еквівалентне замикаючому ключа S1 (рис. 5.8, в); наявність логічної одиниці на вході «Н» (рис. 5.8, г) еквівалентна замикаючому ключа S2 (рис. 5.8, в). Схема, наведена на рис. 5.8, г, найбільшою мірою відповідає реальній схемі управління генератором.

Шунтування коливального контуру здійснюється поданням на вхід «А» логічної «1» і відкриттям електронного ключа (транзистор VT1 на рис. 5.9, а). За наявності на вході «А» логічного «0» саме цей контур буде визначати робочу частоту генератора. Якісна модуляція здійснюється шляхом відкриття або закриття транзистора VT2 (рис. 5.9, б). Зображені на рис. 5.9, а, б схеми є фрагментами однієї схеми (рис. 5.8, г).

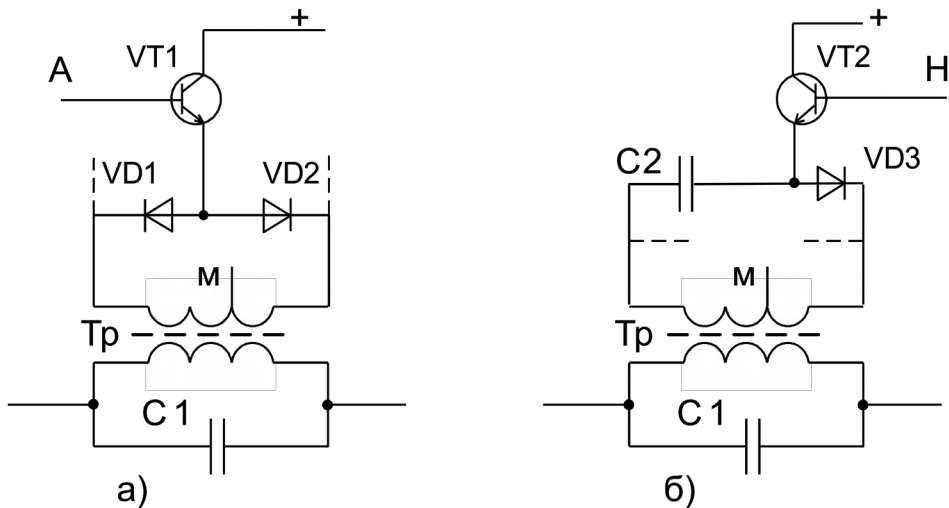


Рис. 5.9. Схеми для здійснення тактової і якісної модуляції

При аналізі роботи пристроїв керування генератором слід звернути увагу на той факт, що відкриття транзисторів VT1, VT2 і протікання постійного струму по обмотках трансформатора не намагнічує осердя і не насичує магнітопровід трансформатора. Шунтування контуру або підключення конденсатора C2 для зміни робочої частоти генератора з пасивної на активну здійснюється за рахунок подання позитивного зсуву на діоди VD1, VD2 в першому випадку і VD3 – у другому. Фактично наявність зазначеного зсуву відкриває діоди для пропускання струму в обох напрямках, що еквівалентно замиканню ключів S1, S2 (рис. 5.8, в). *Визначальною у характері впливу розглянутих схем на роботу генератора є можливість (або неможливість) протікання індукованого змінного струму у вторинній обмотці трансформатора Tr.* При закритому транзисторі VT1 (на вході «А» – «0») (рис. 5.9, а) для будь-якої миттєвої полярності індукованої напруги один з діодів VD1 або VD2 виявиться включений у неспроможному (запріжному) напрямку, тому індукований струм у вторинній обмотці трансформатора не протікає, контур не зашунтований.

При появі на вході «А» логічної «1» транзистор VT1 відкривається, через обидва діоди протікає постійний струм. Само по собі протікання постійного струму по напівобмотках трансформатора не впливає на його роботу. Це пояснюється, поперше, тим, що створювані цими струмами магнітні потоки

спрямовані зустрічно і значною мірою компенсують один одного; по-друге, постійний струм «не трансформується» в первинне коло і впливати на роботу генератора не може. Суть впливу зсуву діодів полягає в наступному. При протіканні струму в первинній обмотці трансформатора вторинна обмотка створює ЕРС, амплітуда і полярність якої весь час змінюються. Розглянемо два окремих випадки. Якщо індукована напруга має миттєву полярність, як це показано на рис. 5.10, а, виявляється, що завдяки зустрічному включенню зовнішнього джерела живлення (П-М) і напруги U_1 , створеної першою напівобмоткою вторинної обмотки трансформатора, струм через діод, а отже, і через напівобмотку зменшиться. У той же час зовнішнє джерело виявляється включеним послідовно з напругою U_2 , створеною другою напівобмоткою. У результаті струм через VD_2 зростає, виникає нескомпенсований магнітний потік. При зміні миттєвої полярності індукованої напруги еквівалентна схема трансформатора буде мати вигляд як на рис. 5.10, б. У цій фазі роботи струм через діод VD_2 зменшиться, а через діод VD_1 збільшиться. Результуючий магнітний потік, що пронизує витки і вторинної, і первинної обмоток, змінить напрямок. Таким чином, при відкритому транзисторі VT_1 у вторинній обмотці трансформатора Tr протікає змінний струм, як і у випадку з замиканням ключа S_1 (рис. 5.8, в): контур виявляється зашунтованим.

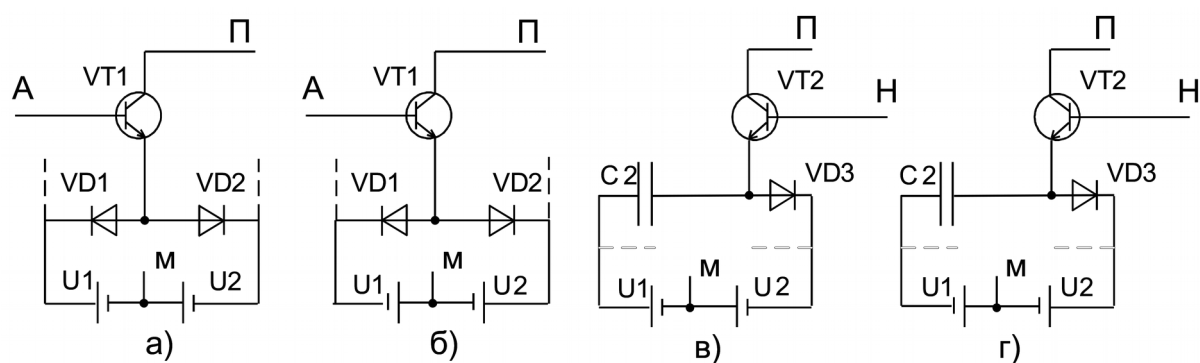


Рис. 5.10. Фази роботи схеми керування генератором

Якісна модуляція здійснюється при закритому транзисторі VT_1 шляхом зміни стану транзистора VT_2 . При закритому транзисторі VT_2 (рис. 5.9, б, 5.10, в, г) змінний струм у вторинній обмотці трансформатора не протікає. При миттєвій полярності

індукованої напруги, як це показано на рис. 5.10, г, протіканню струму перешкоджає діод VD3, при зміні полярності (рис. 5.10, в) – заряджений до $U=U_1+U_2$ конденсатор С2. Таким чином, конденсатор С2 не впливає на роботу коливального контуру, а робочу частоту генератора визначають конденсатор С1 і індуктивність первинної обмотки трансформатора Тр (рис. 5.9, б).

Якщо на вході «Н» присутня логічна «1», транзистор VT2 відкривається, створюючи умови для протікання постійного струму через діод VD3 і, як наслідок, змінного струму через конденсатор С2 і вторинну обмотку трансформатора Тр. Конденсатор фактично виявляється підключеним до вторинної обмотки трансформатора, а отже, і до коливального контуру. Власна резонансна частота контуру знижується до активної (з f_2 до f_1 або з f_3 до f_4).

Слід лише додати, що для конкретної схемної реалізації подібних пристроїв тип модулюючих транзисторів прийняті в якості «1» і «0» напруги не є принциповими. Так, у ДЦ «НЕВА», на відміну від розглянутих, як ключові застосовуються транзистори р-п-р типу, логічній одиниці відповідає низька напруга, а логічному нулю – висока.

5.3.5. Приймання і реалізація сигналів ТУ на лінійних пунктах

Структурна схема пристроїв, які здійснюють приймання сигналів ТУ, наведена на рис. 5.11. У прийманні бере участь підсилювач П; демодулятор ДМ; розподільник Р-18; пристрої ЦН, за допомогою яких розподільник налаштовується на приймання сигналів ТУ, адресованих даному лінійному пункту; групові реєструючі реле 1-5 ГІ, що фіксують значення імпульсів, призначених для вибору групи; реєструючі реле 1-8 Р, призначені для фіксації активних імпульсів виконавчої частини сигналу; групові керуючі реле 1-7 ГУ для дешифрування номера групи об'єктів управління; керуючі реле КР для визначення змісту команди і комутації кіл управління виконавчими пристроями ЕЦ.

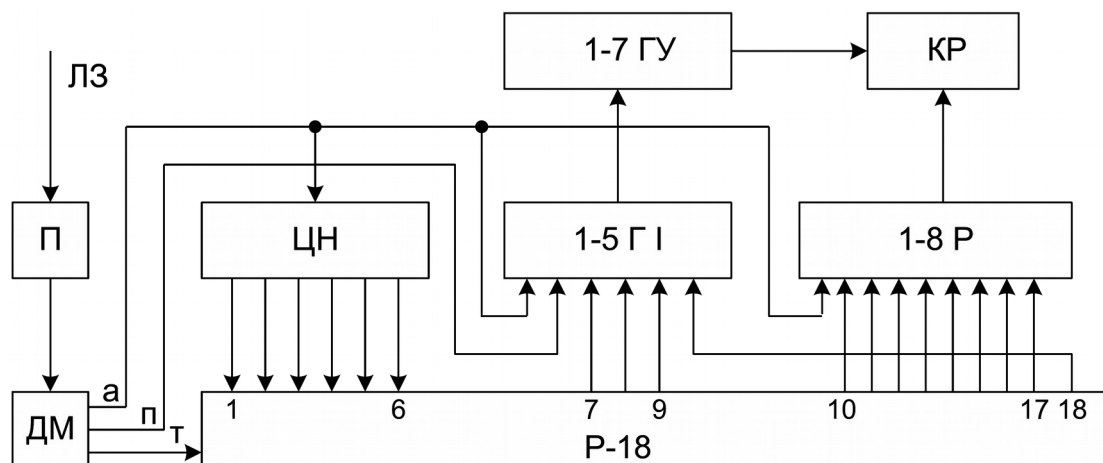


Рис. 5.11. Структурна схема приймача сигналів ТУ

При прийманні сигналу ТУ частотні імпульси сигналу через підсилювач П надходять у демодулятор ДМ, де перетворюються в імпульси постійного струму. Одночасно ДМ виділяє активні *а*, пасивні *п* і тактові *т* імпульси. Тактові імпульси приводять в дію релейний розподільник Р-18. Перші шість елементів розподільника налаштовуються колами налаштувань ЦН (встановленням перемичок) на імпульсну комбінацію, визначену проектною документацією для даного лінійного пункту. У випадку якщо комбінація перших шести активних і пасивних імпульсів сигналу ТУ відповідає налаштуванню – сигнал приймається, при розбіжності – подальше приймання сигналу на даному ЛП припиняється.

Фактично адресна частина сигналу ТУ дешифрується в процесі приймання, причому не цілком, а з прийманням окремих імпульсів. У ДЦ «НЕВА» для реєстрації окремих елементів кодових комбінацій, що приймаються на ЛП, використовуються електромагнітні реле. Тому такий підхід до процедури приймання виявляється цілком виправданим, оскільки дозволяє зберегти технічний ресурс приймальних і реєструючих пристроїв. Відразу ж після виявлення колами налаштування невідповідності адреси ЛП, «прописаного» в прийнятому сигналі і своєму власному (це може відбутися і під час першого імпульсу), подальше приймання сигналу ТУ припиняється, реєструючі, групові реле і частина станційних не вмикаються.

Якщо збіг є, то при надходженні 7, 8, 9 і 18 імпульсів збуджуються групові виборчі реле 1-5 ГІ (4ГІ і 5ГІ для реєстрації

активної і пасивної якості вісімнадцятого імпульсу відповідно), а при прийманні імпульсів 10-17, що мають активне значення, збуджуються реєструючі реле 1-8 Р. Реле 1-5 ПІ своїми контактами вибирають одне з семи групових реле ГУ, яке спільно з реле 1-8 Р вмикає відповідні керуючі реле КР. Останні безпосередньо впливають на місцеву схему централізації.

Електричні схеми і робота пристроїв, зображених на рис. 5.11, вичерпно описані в роботі [4], тому в цьому посібнику не розглядаються.

5.4. Пристрої каналу ТС ДЦ «НЕВА»

5.4.1. Принцип дії апаратури каналу ТС систем ДЦ з жорсткою логікою функціонування

Апаратура каналу ТС у складі систем диспетчерського управління призначена для збору та передавання з лінійних пунктів, приймання, реєстрації та відображення на центральному посту інформації про стан колійних ділянок, положення стрілок, показання світлофорів на керованих і контрольованих станціях, місцезнаходження рухомих одиниць як у межах станцій, так і в межах диспетчерської дільниці. Оскільки контрольовані об'єкти здебільшого двопозиційні, у загальному випадку для відображення стану N об'єктів необхідно мати можливість передавати $2N$ сигналів, на підставі яких можна визначити і сам об'єкт, і його стан (0 або 1). Складність цього завдання полягає в тому, що, по-перше, кількість об'єктів у межах диспетчерської дільниці сягає тисяч, а по-друге, ці об'єкти розосереджені на десятках роздільних пунктів. Крім того, максимальна затримка в доставці і відображенні контрольної інформації з моменту, коли об'єкт змінив свій стан, не повинна перевищувати одиниць секунд. Ці особливості роботи апаратури каналу ТС систем диспетчерської централізації і наявна в розпорядженні розробників системи «НЕВА» елементна база зумовили використання для передавання інформації про стан контрольованих об'єктів часового розділення сигналів.

Для кодування контрольної інформації використовується ненадлишковий позиційний код, який не має адресної частини.

Елементарне «слово» коду (надалі – група) має довжину у 20 двійкових розрядів і містить інформацію про стан двадцяти об'єктів. Максимальна кількість груп в одному каналі ТС – 23, тому один канал ТС дозволяє контролювати до 460 об'єктів. Кожен контрольований об'єкт має жорстку прив'язку до номера групи і до певного розряду в межах групи. Оскільки групи не мають адресної частини, їх передавання повинно здійснюватися в певній (незмінній від циклу до циклу) послідовності. Прийняте правило побудови коду визначило і спосіб передавання відповідного йому сигналу: у заздалегідь встановленій послідовності з лінійних пунктів циклічно передається, а на ЦП реєструється інформація про стан об'єктів. Максимальна тривалість циклу приблизно 5.4 с. Якщо загальна кількість контрольованих об'єктів диспетчерської дільниці перевищує ємність одного каналу, для передавання інформації про їх стан може бути організовано декілька паралельних каналів ТС (у ДЦ «НЕВА» – до трьох ($3 \cdot 460 = 1380$), у ДЦ «ЛУЧ» – до чотирьох ($4 \cdot 460 = 1840$)). Кожному каналу виділяється певний частотний діапазон, інформація про стан об'єктів усіх каналів передається одночасно.

Часовий інтервал, відведений на передавання інформації про стан об'єктів однієї групи, має тривалість 224 мс (28 тактів по 8 мс (рис. 5.12, в)). Груповий сигнал (службові + інформаційні імпульси) передається протягом перших 22-х тактів, з 23-го по 28-й такти формується розділовий синхронізуючий інтервал. Для побудови сигналу використовується двозначна частотна маніпуляція: імпульси, що мають значення «1», передаються «активною» частотою (f_a), «0» – «пасивною» (f_p). 1-й і 22-й імпульси кожного групового сигналу ТС є службовими і завжди передаються активною частотою, імпульси 2-21 – інформаційні. Якщо об'єкт перебуває в нормальному положенні (стрілка в «+», колійна ділянка вільна, на світлофорі ввімкнено заборонний сигнал), його стан у позиційному коді кодується «0», а відповідний імпульс сигналу передається пасивною частотою, в іншому випадку – «1» і активною. Під час розділового інтервалу змінний струм з частотами f_a , f_p в лінію зв'язку не надходить.

Передавання інформації починається в момент закінчення сигналу циклової синхронізації ЦС (рис. 5.12, а). Цей сигнал

формується вузлом синхронізації ЦП протягом останніх 64 мс 24-го групового інтервалу попереднього сигналу ТС і передається на лінійні пункти по каналу ТУ.

Повний сигнал ТС про стан об'єктів одного каналу складається з 23-х інформаційних групових сигналів і одного (24-го) службового (рис. 5.12, б). Під час службового інтервалу передавання інформації з ЛП не відбувається.

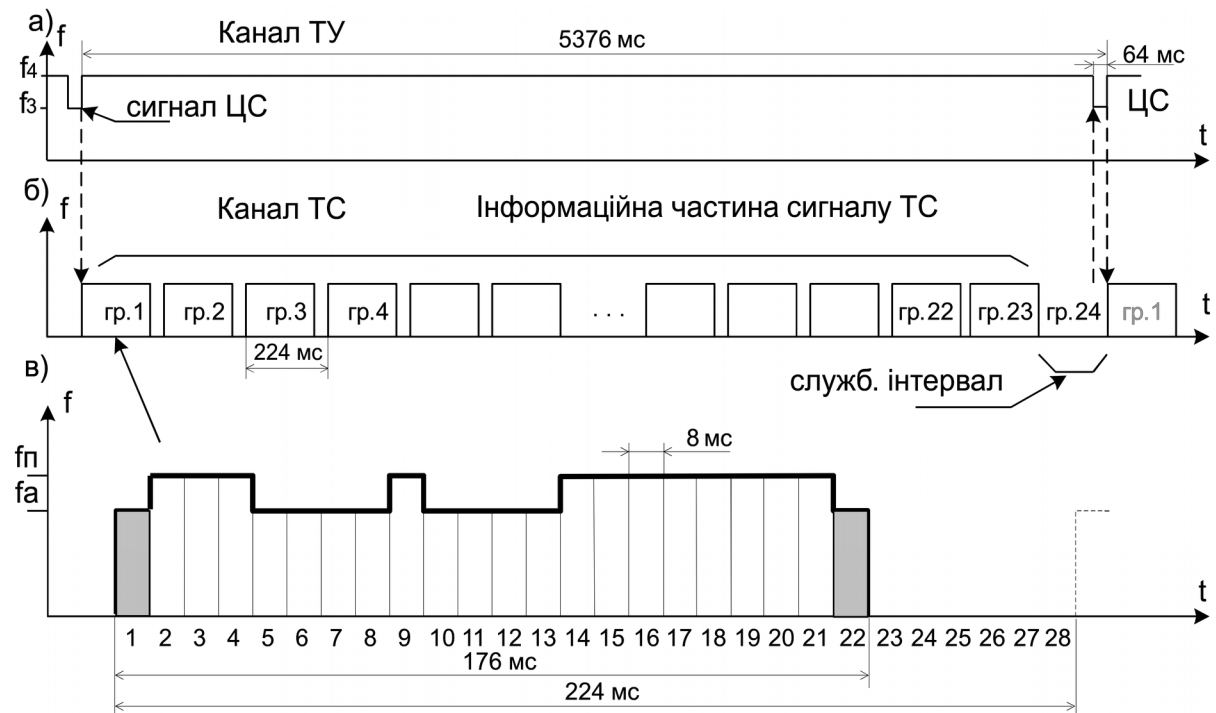


Рис. 5.12. Структура сигналу ТС

Тривалість повного циклу роботи пристроїв каналу ТС становить $24 \text{ гр} \cdot 224 \text{ мс} = 5376 \text{ мс}$.

Принцип дії апаратури каналу ТС систем ДЦ з циклічним контролем можна пояснити за допомогою схеми, наведеної на рис. 5.13. Як і більшість схем цього навчального посібника, вона лише в першому наближенні ілюструє взаємодію основних функціональних вузлів ДЦ «НЕВА», задіяних у передаванні, реєстрації та відображенні контрольної інформації.

До складу апаратури каналу ТС лінійних пунктів входять лінійні генератори ЛГ, розподільники РЛП, генератори тактових імпульсів ГТІ, пристрої (схеми) управління розподільниками СУР, фільтруючі пристрої ФТУ/ФТС. На центральному посту знаходяться центральний демодулятор ЦДМ, розподільник РЦП,

схема управління розподільником СУР-ЦП, елементи пам'яті ЕП1-ЕП460, пристрої індикації (лампи, підключені до виходів ЕП), вузол синхронізації ВС, фільтри ФТУ/ФТС.

У схемі, наведеній на рис. 5.13, розподільники представлені у вигляді багатопозиційних електромеханічних перемикачів, керованих відповідною СУР. Розподільники мають один вхід і N виходів.

Для синхронізації роботи розподільників лінійних пунктів і центрального поста (створення однакових стартових умов на початку чергового циклу контролю) у кінці попереднього циклу з ЦП на всі ЛП, а також на СУР-ЦП одночасно надсилається сигнал циклової синхронізації ЦС. За сигналом ЦС примусово встановлюються в «нульову» позицію розподільники центрального поста і лінійних пунктів Рцп і Рлп і утримуються в цій позиції до закінчення цього сигналу.

Оскільки сигнал ЦС фактично є командою, його безпосереднє передавання і приймання здійснюється пристроями каналу ТУ: передавачем ПРД-ТУ на ЦП і приймачами ПРМ-ТУ на лінійних пунктах. Для введення прийнятої команди «циклова синхронізація» в пристрої каналу ТС на ЛП приймач ТУ має окремий вихід, з'єднаний з входами керування ГТІ і схемою управління розподільником. Момент передавання сигналу ЦС на центральному посту визначає вузол синхронізації ВС. Оскільки ВС формує сигнал синхронізації і «знає» момент його закінчення, він же, відрахувавши 5312 мс з моменту закінчення попереднього сигналу ЦС, формує наступний. Тактові імпульси для керування роботою ВС формує ГТІ1. Ці самі тактові імпульси використовуються і для відліку тривалості імпульсів сигналу ТУ.

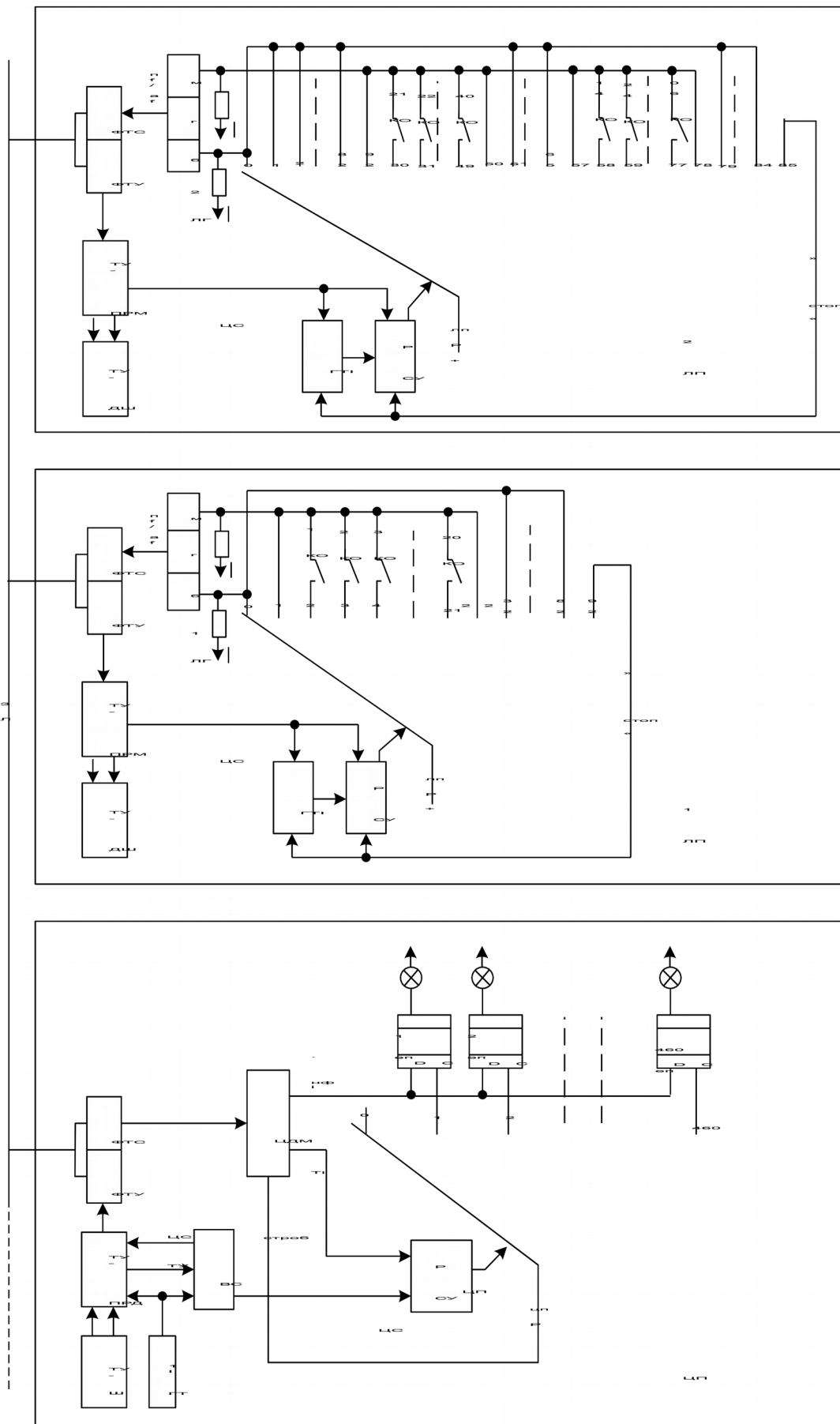


Рис. 5.13. Спрощена структурна схема пристроїв каналу ТС

Лінійні генератори ЛГ мають два входи управління: блокування (Б) і модуляції (М). Залежно від стану цих входів (напруги на них) ЛГ можуть перебувати в трьох станах:

- вимкненому;
- генерувати активну частоту f_a ;
- генерувати пасивну частоту f_p .

Залежність між станом входів ЛГ і режимами його роботи наведена в табл. 5.2 (відповідно до рис. 5.13).

Таблиця 5.2

Алгоритм роботи лінійного генератора

Напруга на вході Б	Напруга на вході М	Режим роботи ЛГ
Висока (позитивний полюс джерела живлення), "1"	Не має значення	Вимкнений
Низька (негативний полюс джерела живлення), "0"	Висока (позитивний полюс джерела живлення), "1"	Генерування активної частоти f_a
Низька (негативний полюс джерела живлення), "0"	Низька (негативний полюс джерела живлення), "0"	Генерування пасивної частоти f_p

У наведеному прикладі логічній «1» відповідає висока позитивна напруга, логічному «0» – низька.

Оскільки всім ЛП одного каналу ТС виділено для роботи одні й ті самі частоти (f_a , f_p), одночасна робота лінійних генераторів більш, ніж одного ЛП неприпустима. В іншому випадку приймальні пристрої ЦП не зможуть визначити ні якість окремих імпульсів (у разі присутності в ЛЗ сигналів з f_a і f_p одночасно), ні ідентифікувати передавач. *Передавання інформації з різних ЛП повинно здійснюватися в заздалегідь встановленій послідовності, передбаченій проектом. Причому групові сигнали ТС не повинні перетинатися.*

Цикл роботи апаратури каналу ТС починається з моменту закінчення сигналу ЦС. До цього часу всі розподільники ЛП і

розподільник ЦП знаходяться в початковому стані (у «нульових» позиціях). Через «нульові» виходи розподільників РЛП висока напруга від джерела живлення («1») надходить на входи «Б» лінійних генераторів на всіх лінійних пунктах і утримує ЛГ у вимкненому стані (див. табл. 5.2). З жодного ЛП сигнал ТС не передається. Закінчення сигналу ЦС знімає блокування з усіх схем управління розподільниками та генераторів тактових імпульсів на лінійних пунктах: з цього моменту тактові імпульси з ГТІ надходять на СУР, починаючи відлік часу.

Через 4 мс (якщо зміна стану тригерів лічильників відбувається по передньому фронту тактових імпульсів і 8 мс – якщо по задньому) розподільники РЛП всіх лінійних пунктів диспетчерської ділянки перемикаються в першу позицію. На першому лінійному пункті з входу «Б» лінійного генератора висока напруга знімається, що призводить до запуску ЛГ1. На ЛП2 та інших лінійних пунктах генератори залишаються у вимкненому стані, оскільки на цих ЛП виходи №1 розподільників підключені до входу «Б». На ЛП1 відповідно до структури групового сигналу ТС через перший вихід розподільника на вхід «М» ЛГ1 подається «1», забезпечуючи формування та передавання в ЛЗ змінного струму з частотою f_a – перший службовий імпульс першого групового сигналу ТС.

Приймання службового імпульсу центральним демодулятором ЦП розгальмовує генератор тактових імпульсів, що входить до складу ЦДМ. Схема управління цим генератором і схема управління розподільником ЦП (відповідно до наведеної на рис. 5.13 схеми) побудовані таким чином, що РЦП перемикається по позиціях тільки під час інформаційних тактів групового сигналу ТС. Під час розділового інтервалу, коли з лінійних пунктів змінний струм з частотами f_a і f_p не передається, ЦДМ припиняє формування тактових імпульсів, а схема управління розподільником ЦП загальмовується в поточному стані до початку приймання наступного групового сигналу ТС. Таким чином, під час першого службового імпульсу РЦП все ще перебуває в «нульовій» позиції. Ще через 8 мс розподільники лінійних пунктів перемикаються в другу позицію, а розподільник ЦП – у першу. Стан контактів контрольних реле КО1, КО2, ... КОі ... на лінійних пунктах залежить від стану контрольованих

об'єктів (КО). Якщо контакти контрольного реле КО1 в момент опитування виявилися розімкненими (як це показано на рис. 5.13), на вході «М» лінійного генератора напруга буде низькою: ЛГ1 генерує і передає в ЛЗ пасивну частоту f_p . При замкнених контактах КО1 в лінію зв'язку буде надходити активна частота. У цей час РЦП, перебуваючи в першій позиції, створює передумови для запису інформації в елемент пам'яті ЕП1: приймання центральним демодулятором змінного струму з частотами f_a або f_p призводить до появи на його інформаційному виході («інф.») сигналу з рівнем «1» або «0» відповідно. Сигнал з інформаційного виходу ЦДМ надходить одночасно на входи всіх елементів пам'яті, але запишеться в той елемент, який «обрано» положенням (станом) розподільника РЦП. Запис інформації в ЕП1 відбудеться в момент формування центральним демодулятором імпульсу стробування (вихід «строб»).

Примітка. У ДЦ «НЕВА» інформація, що приймається, записується в проміжний буфер, з якого після перевірки коректності приймання та наявності новизни здійснюється її перезапис у пристрої довготривалого зберігання. У цьому відношенні алгоритм роботи схеми, наведеної на рис. 5.13, відрізняється від принципу роботи пристроїв каналу ТС ДЦ «НЕВА».

У якості елементів пам'яті в наведеній схемі використовуються D-тригери [14, 15]. Зміна стану тригерів цього типу можлива лише в момент формування керуючого імпульсу на його синхронізуючому вході «с» (залежно від схеми тригера або переднього фронту імпульсу, або заднього). Якість записуваної інформації (0 чи 1) залежить від стану входу D: якщо на вході D – «1», у момент формування синхроімпульсу тригер встановиться в «1», якщо на вході D – «0», тригер встановиться в «0».

Через 8 мс всі РЛП перемикаються в третю позицію, а РЦП – у другу. Під час цього такту з ЛП1 передається, а на ЦП реєструється інформація про стан другого контрольованого об'єкта (КО2). На ЛП2 після перемикання РЛП в третю позицію стан ЛГ2 не змінюється: генератор утримується у вимкненому стані високою напругою на вході «Б» з третього виходу РЛП. Протягом наступних вісімнадцяти тактів роботи розподільників (до 21-го такту на ЛП і 20-го на ЦП) контролюються об'єкти

першого лінійного пункту. У 22-й позиції РЛП першого лінійного пункту на вхід «Б» модулятора буде подано сигнал високого рівня для формування службового імпульсу з активною частотою, що завершує перший груповий сигнал ТС. У ДЦ «НЕВА» цей імпульс виконує контрольні та допоміжні функції, пов'язані з перевіркою правильності побудови групового сигналу ТС. У схемі, наведеній на рис. 5.13, під час завершального службового імпульсу СУР-ЦП в чергову позицію не переходить, зупиняючись в останній інформаційній позиції прийнятого сигналу ТС.

Протягом наступних шести тактів тривалістю по 8 мс РЛП першого ЛП (до речі, як і решти лінійних пунктів) продовжує перемикається, однак ЛГ1 в цей час вже відключений: у позиціях 23-28 РЛП подає на вхід «Б» цього генератора сигнал з рівнем «1». За відсутності приймання сигналів з f_a і f_p центральний демодулятор блокує роботу власного ГТІ, що виключає перемикавання по позиціях РЦП; на інформаційному і стробуючому виходах ЦДМ - «0».

Після перемикавання всіх РЛП в 29-ту позицію відбувається таке:

- на першому лінійному пункті ГТІ і СУР блокуються сигналом «стоп» з 29-го виходу розподільника до закінчення циклу контролю (до приймання сигналу ЦС);

- на другому лінійному пункті сигнал блокування знімається з входу «Б» ЛГ2 і генератор запускається. З 29-го виходу розподільника на вхід «М» подається сигнал з рівнем «1», що змушує ЛГ2 працювати на частоті f_a . З ЛП2 починається передавання початкового службового імпульсу другого групового сигналу ТС;

- на ЦП прийнятий сигнал з активною частотою розгальмовує ГТІ, що знаходиться у складі ЦДМ. Перший імпульс на виході ГТІ з'явиться через 4 мс (8 мс) з початку приймання службового імпульсу – саме в цей момент РЛП другого лінійного пункту перемикається в 30-ту позицію, забезпечуючи передавання інформації про стан КО21. На ЦП по передньому фронту цього ж тактового імпульсу СУР-ЦП перемкне РЦП в 21-шу позицію, вибираючи 21-й елемент пам'яті для запису інформації;

- у 29-й, 30-й і наступних позиціях розподільників ЛПЗ, ЛП4 ... (на схемі не показано) лінійні генератори залишаються у вимкненому стані сигналами високого рівня на входах «Б».

Робота пристроїв каналу ТС під час передавання та реєстрації інформації про стан об'єктів подальших груп відбувається аналогічно першій групі.

Відлік часу повного циклу контролю ведеться технічними засобами вузла синхронізації. Через 5312 мс з моменту закінчення попереднього сигналу ЦС ВС сформує наступний (64 мс). Як уже зазначалося раніше, загальна тривалість циклу контролю становить 5376 мс (5312 + 64).

5.4.2. Структурна схема пристроїв каналу ТС ЛП

Більш наближеною до діючих систем ДЦ є структурна схема пристроїв каналу ТС лінійних пунктів, наведена на рис. 5.14. Принцип роботи цієї схеми розглянемо починаючи з вихідного стану – приймання сигналу ЦС.

Під час приймання сигналу циклової синхронізації на виході демодулятора ДМ і вузла Ц з'являється сигнал з рівнем логічної «1», який встановлює тактовий (Тр) і груповий (Гр) розподільники в початковий стан. Одночасно блокується надходження тактових імпульсів з частотою 4 кГц на вхід подільника 1/32.

Тактовий розподільник (п'ятирозрядний двійковий лічильник зі схемою скорочення лічби + дешифратор стану лічильника) побудований таким чином, що він переповнюється через кожні 28 імпульсів, які надходять з виходу подільника 1/32; тривалість циклу – 224 мс. За один цикл роботи тактового розподільника формується один груповий сигнал ТС. У момент переповнення ТР на його виході І-4 формується імпульс, що перемикає груповий розподільник у наступну позицію. Власне, під «імпульсом» у даному випадку слід розуміти один з фронтів імпульсу. На виході І-2 сигнал з рівнем логічної одиниці з'являється на 1-му і 22-му тактах роботи розподільника, забезпечуючи формування службових імпульсів сигналу ТС; на виході І-1 «1» підтримується з першого по двадцять другий такти

роботи ТР; на виходах 1, 2, ... 20 «1» з'являється на 2-му, 3-му, ... 21-му тактах роботи розподільника відповідно.

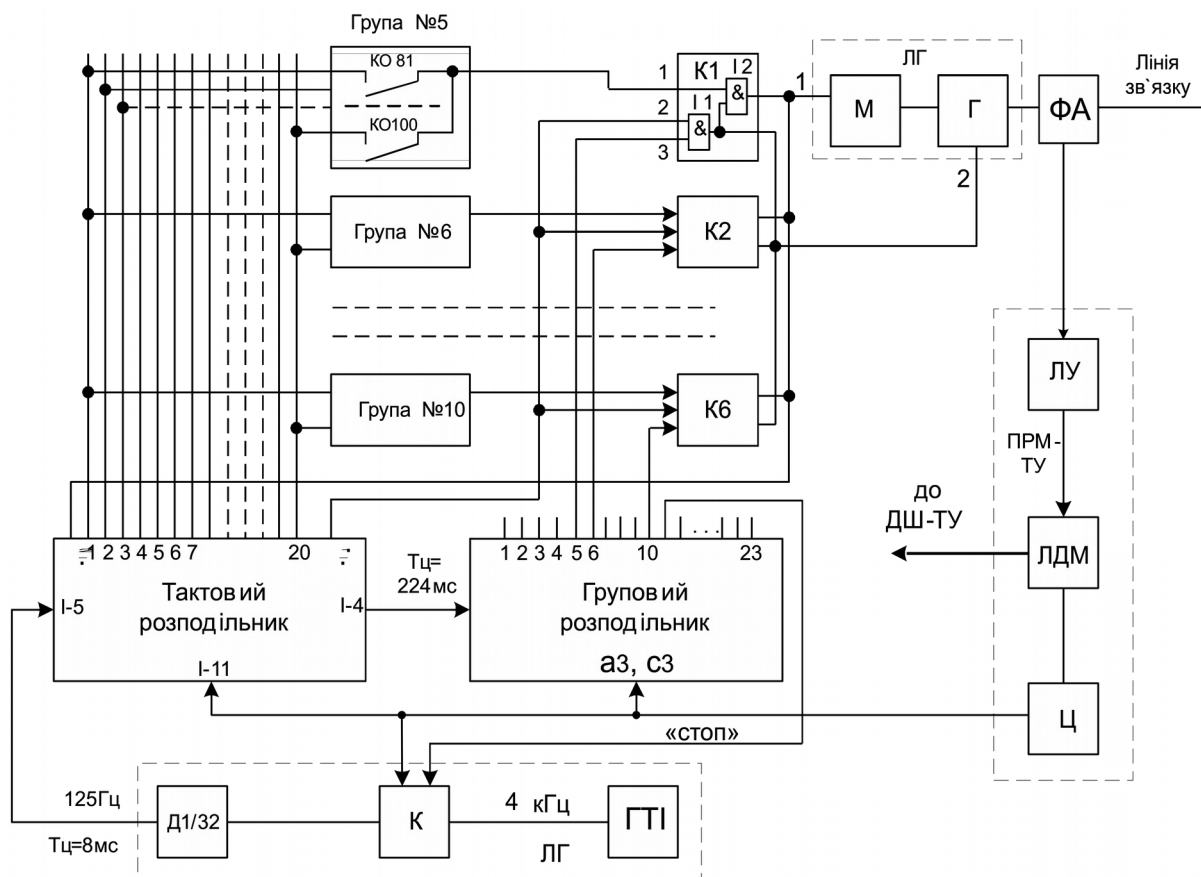


Рис. 5.14. Структурна схема пристроїв каналу ТС лінійного пункту

Стан виходів групового розподільника (наявність чи відсутність «1») залежить від кількості тактових імпульсів, що надійшли на вхід ГР з виходу I-4 тактового розподільника, з моменту закінчення сигналу ЦС. Період проходження цих імпульсів – 224 мс. Так, після першого імпульсу «1» з'являється на 1-му виході ГР, після другого – на 2-му і т. д. до 23-ї групи.

Сигналом циклової синхронізації, що надходить з виходу вузла Ц на входи управління тригерами лічильників і ключ К, тактовий розподільник встановлюється в 27-му позицію (всі тригери в «1»), а груповий у нульову; ключ К блокує надходження тактових імпульсів 4 кГц на вхід подільника Д1/32. У момент закінчення сигналу ЦС знімається блокування тактових імпульсів, а розподільники розгальмовуються і починають реагувати на вхідні сигнали. Оскільки ТР в цей момент

знаходиться в 27-й позиції, перший же імпульс з виходу подільника Д1/32 переповнює лічильник ТР: тактовий розподільник перемикається в 28-му позицію, а на його виході І-4 формується фронт імпульсу, що перемикає ГР з нульової позиції в першу. Таким чином, створюються умови для контролю об'єктів першої групи. Наступний імпульс з виходу подільника Д1/32 перемикає ТР в першу позицію: «1» з'являється на виходах І-1 і І-2.

Лінійний генератор ЛГ вмикається і починає генерувати активну або пасивну частоту за наявності на вході 2 (аналог входу «Б» схеми рис. 5.13) логічної «1», якщо на цьому вході присутній «0» - генератор вимкнений. Вибір конкретної робочої частоти залежить від стану входу «1» (вхід «М») генератора: якщо на цьому вході «1» - робочою буде активна частота, якщо «0» - пасивна.

Будь-який з ключів К1-К6 при відповідному налаштуванні може створити умови для запуску генератора. Для цього на входах 2 і 3 ключа необхідна наявність сигналів з рівнем «1». Так, у схемі, наведеній на рис. 5.14, ЛГ в кожному циклі переходить у режим генерування в той час, коли тактовий розподільник знаходиться в позиціях з 1-ї по 22-гу («1» на виході І-1 ТР), а груповий розподільник – з 5-ї по 10-ту («1» на виходах 5-10 ГР). Таким чином, вибір відповідного групового інтервалу для передавання сигналу ТС забезпечується груповим розподільником, а часового інтервалу в межах групи – тактовим.

Розглянемо роботу пристроїв каналу ТС лінійного пункту під час передавання інформації про стан об'єктів 5-ї групи. Перемикання групового розподільника в 5-ту позицію сталося на 28-му такті роботи тактового розподільника в кінці 4-го групового інтервалу. (Якщо виходити з того, що цикл роботи ТР починається з нульової позиції, а не з першої: 0, 1, 2, 27, двадцять сьома позиція (з порядковим номером 28, коли всі тригери розподільника встановлені в «1») буде останньою в циклі. Тоді можна вважати, що перемикання групового розподільника в 5-ту позицію станеться по передньому фронту «нульового» тактового імпульсу п'ятого групового інтервалу. У будь-якому разі, у 28-й позиції ТР (або нульовій) на всіх виходах тактового розподільника будуть присутні «0»; на п'ятому

виході ГР – «1».) По передньому фронту першого тактового імпульсу 5-ї групи ТР перемикається в 1-шу позицію. При цьому «1» з'являється на виходах І-1 і І-2 тактового розподільника. Логічний елемент І1 ключа К1 відкривається за двома входами і забезпечує формування «1» на вході 2 ЛГ. Лінійний генератор вмикається. Оскільки з виходу І-2 ТР в обхід ключів К1-К6 на вхід 1 модулятора М надходить сигнал «одиничного» рівня, у лінію зв'язку передається активна частота (перший службовий імпульс 5-го групового сигналу ТС). Через 8 мс наступним тактовим імпульсом ТР перемикається в другу позицію (першу інформаційну). Логічна одиниця зникає з виходу І-2 і з'являється на виході 1, стан виходу І-1 не змінюється («1»). Якщо контакти першого в п'ятій групі контрольованого об'єкта (КО81) замкнені, «1» з виходу 1 ТР надходить на верхній вхід елемента І2 (ключ К1). По нижньому входу І2 відкритий сигналом з виходу елемента І1, тому «1» з'являється на вході модулятора. Генератор і в цьому такті (попередній був службовий) передає в лінію зв'язку сигнал з активною частотою. Якщо ж контакт КО1 виявився розімкненим, протягом першого інформаційного такту на вході М буде присутній «0», а в лінію зв'язку надійде пасивна частота. Протягом наступних дев'ятнадцяти тактів роботи ТР (до 21-го включно) «1» по черзі буде з'являтися на виходах 2, 3, 4, ... 20 розподільника, що забезпечить передавання з ЛП інформації про стан контрольованих об'єктів КО82-КО100. Під час 22-го такту роботи ТР «1» зникне з виходів 1-20 і з'явиться на виході І-2, створюючи умови для передавання в лінію зв'язку активної частоти – останнього (службового) імпульсу 5-го групового сигналу ТС. З надходженням 23-го тактового імпульсу на вхід ТР сигнали з рівнями «1» зникають з усіх виходів тактового розподільника, що призводить до появи на вході 2 ЛГ «0» і вимикання генератора. Під час 23-го та наступних п'яти тактових імпульсів формується розділовий інтервал – ні з даного ЛП, ні з будь-якого іншого сигнали з частотами f_a і f_p не передаються.

Контроль стану об'єктів інших груп здійснюється аналогічно.

5.4.3. Особливості роботи приймальних пристроїв каналу ТС

У прийманні, реєстрації та відображенні контрольної інформації на центральному посту системи ДЦ «НЕВА» (у її штатному виконанні) задіяна значна кількість пристроїв, побудованих з використанням напівпровідникових і релейно-контактних елементів. З їх електричними схемами та описом роботи можна ознайомитись у спеціальній літературі [4]. Разом з тим ряд схемних і алгоритмічних рішень, використаних при розробленні передавальних і приймальних пристроїв каналу ТС, у першу чергу пов'язаних із синхронізацією їх роботи, становить інтерес для розуміння принципу роботи систем керування і контролю, що використовують послідовний канал зв'язку. Ці питання залишаються актуальними і у зв'язку можливої заміни існуючої апаратури постів ДЦ електронними пристроями.

Розглянемо завдання, що вирішуються приймальними пристроями апаратури каналу ТС, на прикладі роботи центрального демодулятора (ЦДМ, рис. 5.1, 5.13). Як відомо, у ДЦ «НЕВА» і «ЛУЧ» інформація про стан контрольованих об'єктів передається по декількох паралельних каналах телесигналізації одночасно. Для кожного каналу ТС передбачена окрема приймальна апаратура і ЦДМ, налаштований на «свої» робочі частоти. Сигнали ТС з лінійного кола після фільтрації і попереднього підсилення надходять на вхід ЦДМ.

Блок центрального демодулятора містить декілька пристроїв, що виконують такі функції:

- визначення якості частотних імпульсів (f_a і f_n) і перетворення їх в імпульси постійного струму;
- генерування тактових імпульсів для керування роботою розподільника ЦП;
- формування стробуючих імпульсів для управління процесом запису інформації в комірки пам'яті;
- контроль неперервності надходження сигналу ТС і групова синхронізація розподільників лінійних пунктів та центрального поста;
- виявлення і фіксація нової інформації.

Схеми і робота пристроїв, що входять до складу ЦДМ, у сучасних умовах цікаві лише як один з можливих варіантів вирішення перерахованих вище завдань, актуальних для будь-якої

системи керування. Набагато цікавіші самі завдання. Іншими словами: для вирішення яких проблем, пов'язаних з доставкою і реєстрацією інформації, центральний демодулятор «навантажили» виконанням перелічених вище функцій?

5.4.3.1. Визначення якості частотних імпульсів і перетворення їх в імпульси постійного струму

Це традиційне для будь-якого частотного детектора завдання: з прийманням елементів сигналу ТС визначити частоту прийнятого імпульсу змінного струму і за прийнятим для певної системи правилом побудови сигналу поставити йому у відповідність імпульс постійного струму з рівнем логічного «0» або «1». Схема частотного детектора наведена на рис. 5.15.

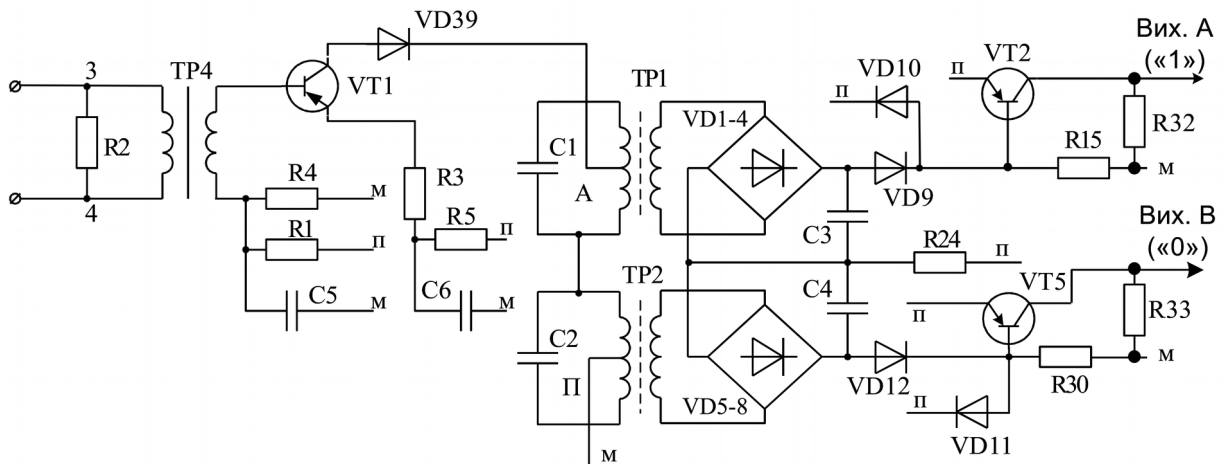


Рис. 5.15. Схема частотного детектора у складі ЦДМ

Частотний детектор ЦДМ містить трансформатор TP4; підсилювач, побудований на транзисторі VT1; два резонансних контури, які налаштовані на частоти f_a , f_p і є колекторним навантаженням підсилювача; два випрямних мости VD1-4, VD5-8; два підсилювачі імпульсів постійного струму на транзисторах VT2 і VT5.

Трансформатор TP4 виконує функції узгодження вихідного опору лінійного кола з вхідним опором підсилювача і гальванічно роз'єднує лінію зв'язку та ЦДМ. Транзистор VT1 резисторами R5, R3 і подільником напруги, утвореним резисторами R1 і R4, виведено в активний режим, що дозволяє ефективно посилювати обидві півхвилі вхідного сигналу. Конденсатори C5, C6 шунтують

резистори R5, R4, R1 по змінному струму, створюючи більш сприятливі умови для протікання сигнального струму і його посилення. Резонансний контур А утворений конденсатором С1 і індуктивністю обмотки трансформатора ТР1 (для виділення активної частоти); контур П – конденсатором С2 і обмоткою ТР2 (для виділення пасивної частоти).

Сигнал змінного струму, що з'явився на вході демодулятора, посилюється транзистором VT1 і надходить у два детекторних канали, утворені коливальними контурами А, П. У кожному каналі сигнал детектується випрямлячами VD1-4, VD5-8, а потім надходить на підсилювачі постійного струму (VT2, VT5). До колекторів зазначених транзисторів (Вих. А, Вих. В) підключено зовнішні кола, що здійснюють реєстрацію і дешифрування прийнятої інформації.

З появою в лінії зв'язку сигналу з активною частотою напруга на зовнішніх виводах коливального контуру А і струми в його паралельних гілках стрімко зростають. Внаслідок цього зростає напруга на вторинній обмотці трансформатора ТР1, а після випрямлення мостом VD1-4 – і на базі транзистора VT2. Транзистор (нормально відкритий) закривається, формуючи сигнал з рівнем логічної «1» на виході «А» демодулятора. Так само, але тільки за участю коливального контуру П, випрямляча VD5-8 і транзистора VT5, демодулятор відпрацює при прийманні з лінії зв'язку пасивної частоти – «1» з'явиться на виході «В». (У ДЦ «НЕВА» рівню логічної 1 відповідає низька напруга, логічному 0 – висока.)

Принцип роботи демодулятора, побудованого за такою схемою, досить простий. Більш складною виявляється його технічна реалізація. Щоб здійснити порівняння частот сигналів, що приймаються з лінії зв'язку, з частотами налаштування коливальних контурів (співпадає з налаштуванням одного контуру – «1» на одному виході, співпадає з налаштуванням іншого контуру – «1» на іншому виході), необхідно порівнювати в решті-решт напруги на виході детекторів з пороговою напругою закриття транзисторів VT2 і VT5. Проблема полягає в тому, що вихідні напруги детекторів залежать не тільки від частоти сигнального струму, але і від амплітуди сигналу (рис. 5.16).

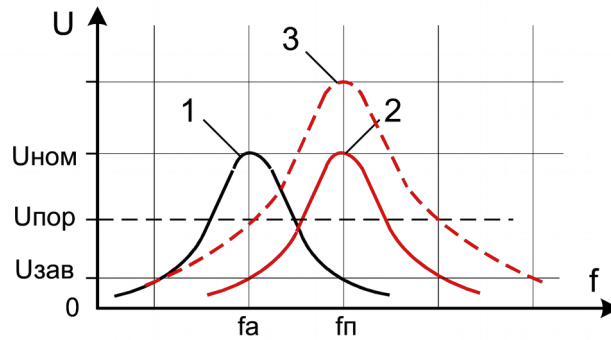


Рис. 5.16. Амплітудно-частотні характеристики контурів

Криві 1, 2 характеризують залежність вихідної напруги детекторів А і П від частоти сигнального струму при однаковій, номінальній амплітуді вхідного сигналу. Змінний струм з частотою f_a викликає появу на виході детектора першого каналу напруги з амплітудою $U_{ном}$ (крива 1), що дозволяє впевнено зафіксувати факт прийняття імпульсу і визначити його частоту (активну), оскільки ця напруга перевищує порогове значення ($U_{пор}$), необхідне для закриття підсилювального транзистора VT2. (Будемо вважати, що порогові напруги для закриття транзисторів VT2 і VT5 однакові.) Однак цей же змінний струм викликає появу напруги і на виході контуру П - сигналу завади з амплітудою $U_{зав}$. Аналогічні процеси протікають і при прийманні з лінії зв'язку сигналу з частотою f_p з тією лише різницею, що тепер заваду створює сигнал з пасивною частотою для контуру А. Оскільки рівень напруги завад істотно менший порівняно з $U_{пор}$, на роботі детекторів їх наявність позначатися не буде.

Однак якщо з якої-небудь причини зростає амплітуда вхідного сигналу на «сусідній» частоті (рис. 5.16, крива 3) або на лінію зв'язку впливає досить потужна широкопasmово завада, рівень напруги завад може виявитися вищим від $U_{пор}$, що призведе до помилкової фіксації імпульсу на «чужому» виході.

Зазначена проблема досить ефективно вирішується обмеженням амплітуди вхідного сигналу. Функції обмеження в ЦДМ виконує транзистор VT1, режим живлення якого підбирається з таким розрахунком, щоб струм у колі колектора, а отже, і напруги на коливальних контурах не могли перевищити деяких заданих величин. У схемі, наведеній на рис. 5.15,

необхідні режими посилення-обмеження забезпечуються вибором напруги живлення і опорів резисторів R1, R3, R4, R5.

При прийманні з лінії зв'язку сигналів з високими амплітудами, що примушують VT1 працювати в режимі обмеження струму колектора, напруги на коливальних контурах А (при прийманні f_a) і П (при прийманні f_p) повинні бути однакові. Для того щоб це вимога виконувалося, контури повинні мати однакові резонансні опори:

$$R = Q_a \cdot \omega_a \cdot L_a = Q_n \cdot \omega_n \cdot L_n, \quad (5.1)$$

де Q_a, Q_n – добротності контурів А і П;

ω_a, ω_n – резонансні частоти;

L_a, L_n – індуктивні елементи контурів, по яких протікає струм колектора.

Крім того, вибір параметрів контурів повинен бути зроблений з урахуванням забезпечення однакової швидкості наростання напруги на контурі при появі в колі колектора імпульсу струму резонансної частоти з прямокутною обвідною.

Напруга в цьому випадку зростає за законом, близьким до $U = RI(1 - e^{-\frac{t}{\tau}})$.

$$\tau_i = 2Q_i/\omega_i, \quad (5.2)$$

де τ_i – стала часу i -го контуру.

Оскільки швидкість наростання сигналу визначається виключно значенням сталої часу, τ_a має дорівнювати τ_n або

$$2Q_a/\omega_a = 2Q_n/\omega_n.$$

Знаючи величини R і τ , неважко визначити для кожного контуру значення Q і L . З виразу (5.2) отримаємо $Q_i = \tau_i \cdot \omega_i / 2$, а підставивши це значення добротності у вираз (5.1), знайдемо і розрахункову формулу для визначення індуктивності:

$$L_i = \frac{2R}{\tau_i \omega_i^2}.$$

Чутливість демодулятора визначається чутливістю підсилювача постійного струму (транзистори VT2, VT5). За відсутності сигналу транзистори відкриті струмами, що протікають через переходи емітер-база і резистори R15 для VT2 і R30 для VT5. Транзистори знаходяться в стані глибокого насичення, тому підвищення напруги на вході демодулятора до деякої величини $U_{нз}$ (напруга закриття), при якій починається їх закриття, не змінює стан транзисторів, а змінює лише ступінь їх насичення. Коли напруга на вході досягає значення $U_{пз}$ (поріг закриття), транзистори повністю закриваються; величина цієї напруги визначає чутливість демодулятора. Відношення $k_{вд} = U_{нз} / U_{пз}$ зазвичай називають «коефіцієнтом повернення» демодулятора.

При подальшому підвищенні напруги входу остання досягає $U_{обм}$; вхідний підсилювач змінного струму входить у режим обмеження. Як наслідок, подальше підвищення напруги на контурах припиняється. Природно, що $U_{обм} > U_{пз}$. Чим нижче $U_{обм}$, тим краще демодулятор захищений від імпульсних завад, у спектрі яких присутні частоти, на які налаштовані коливальні контури демодулятора. Однак не можна занадто наближати $U_{обм}$ до $U_{пз}$, оскільки це знижує надійність прийому корисного сигналу. На практиці підтримують таке співвідношення між $U_{обм}$ і $U_{пз}$:

$$U_{обм} = (1.6 - 1.8) U_{пз}.$$

5.4.3.2. Генерування тактових і стробувальних імпульсів

Тактові імпульси пристроями ЦДМ формуються з метою управління розподільником ЦП, а саме для вибору комірок оперативної пам'яті, у які повинна записуватися інформація, що надходить з лінійних пунктів. Стробувальні імпульси керують процесом запису інформації в ці самі комірки, визначаючи оптимальний момент часу для цієї операції. Функції тактування роботи розподільника і стробування запису інформації переслідують спільну мету, а пристрої, що формують тактові і стробувальні імпульси, є складовими частинами однієї схеми.

Схема генератора тактових імпульсів, що керують роботою блока ЦДШ (розподільника), складається з генератора частоти 1000 Гц; транзистора VT22 (ключа); подільника частоти Д 1:8, що являє собою трирозрядний двійковий лічильник на тригерах 1Тг-3Тг (рис. 5.17). Лічильник і ключ мають спільний вхід управління «С»: за наявності на цьому вході «1» (у ДЦ «НЕВА» «одиниці» відповідає низький потенціал) тригери встановлені в «0» і утримуються в цьому стані; ключ закритий. Ключова схема, побудована на транзисторі VT22, являє собою двовходовий елемент АБО-НЕ. Логічною 1 з входу «С» транзистор VT22 відкритий і, незалежно від того, сигнал якого рівня (0 або 1) надходить з виходу генератора 1000 Гц на інший вхід ключа, стан транзистора не змінюється – імпульси з періодом слідування 1 мс на вхід 1Тг не надходять. За наявності на вході «С» сигналу з рівнем «0» транзистор VT22 повторює стан виходу генератора 1кГц, а блокування з тригерів лічильника знімається – подільник починає формування тактових імпульсів для керування роботою розподільника.

Схеми та принцип роботи розподільників досить детально розглянуті в підрозділі 2.8 цього навчального посібника. Зараз лише зазначимо, що розподільник ЦП каналу ТС включений за схемою, що підключає загальний канал до одного з N індивідуальних виходів (див. рис. 2.27). Взаємодія пристроїв ЦП під час тактування роботи РЦП і вибору елементів пам'яті розглянута в п. 5.4.1.

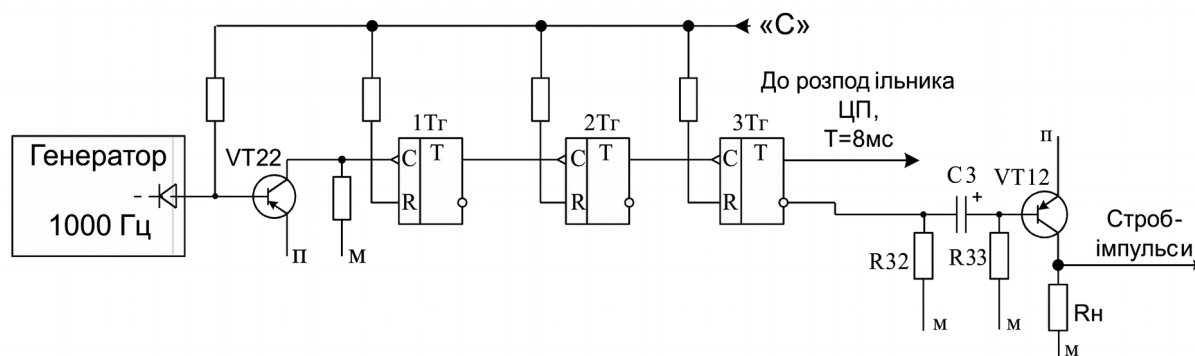


Рис. 5.17. Схема формувача тактових і стробувальних імпульсів у складі ЦДМ

Примітка. У літературі, виданій за участю розробників системи ДЦ «НЕВА», розподільник центрального поста як окремий функціональний вузол не фігурує. Зазвичай кажуть про

центральний дешифратор (ЦДШ), до складу якого і входить розподільник.

З якою ж метою здійснюється стробування запису інформації в комірки пам'яті? Розглянемо роботу передавальних і приймальних пристроїв деякої системи, схема якої наведена на рис. 5.18. Нехай від схеми, наведеної на рис. 5.12, вона відрізняється тим, що запис інформації в елементи пам'яті дозволений (і здійснюється) протягом усього часового інтервалу, доки на вході дозволу запису («с») і-го елемента пам'яті (ЕПі) присутній сигнал з рівнем «1». Тобто протягом тривалості такту (8 мс), поки розподільник РЦП знаходиться в і-й позиції. Стосовно рис. 5.18, це перша позиція РЦП і друга позиція РЛП. (З надходженням тактових імпульсів на входи СУР-ЦП і СУР-ЛП аналогічна ситуація буде спостерігатись при знаходженні РЛП у третій, а РЦП у другій позиції; РЛП – у четвертій, а РЦП – у третій позиції і т. д.)

Як відомо, для коректного запису інформації, переданої з ЛП на ЦП, розподільники лінійних пунктів і центрального поста повинні перемикатися по позиціях синхронно і синфазно. РЛП з перемиканням підключає до входу управління модулятором лінійного генератора контакти контрольних реле контрольованих об'єктів, а РЦП в цей же час повинен підключати до інформаційного виходу ЦДМ відповідні контрольованим об'єктам комірки пам'яті. Так, на схемі (рис. 5.18) розподільники РЛП і РЦП показані в момент передавання та реєстрації інформації про стан 1-го контрольованого об'єкта – КО1.

Однак на практиці забезпечити повністю синхронне перемикання розподільників по позиціях, нехай навіть посиленням тактових імпульсів від зовнішнього (спільного для ЦП і всіх ЛП) джерела, практично неможливо, а при тактуванні РЛП і РЦП від місцевих ГТІ ця проблема лише загострюється. Використання кварцових стабілізаторів частоти у схемах генераторів тактових імпульсів, однотипних схем ГТІ і СУР також не дозволяє досягти бажаного результату – існують об'єктивні передумови для розсинхронізації розподільників.

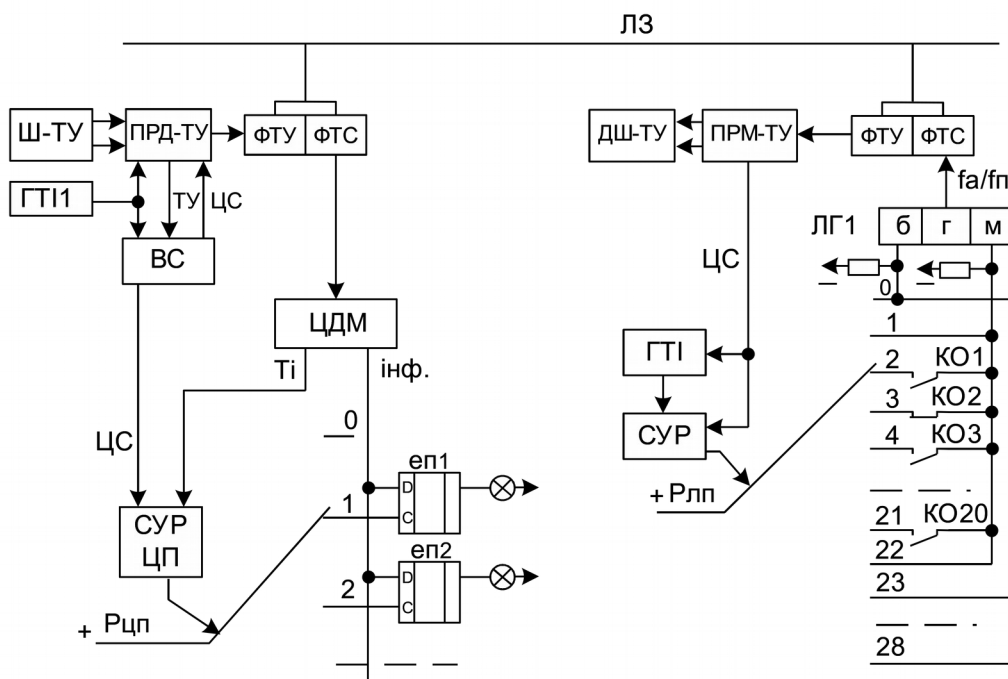


Рис. 5.18. Схема реєстрації контрольної інформації (без стробування)

Це і коливання напруги живлення генераторів тактових імпульсів, і різна температура в місцях їх розташування, старіння і деградація елементів, нарешті неоднчасне закінчення сигналу ЦС на лінійних пунктах і ЦП (особливо з урахуванням того, що приймачами сигналу циклової синхронізації на ЛП є електромагнітні реле). Всі ці фактори здатні впливати або на часові параметри тактових імпульсів, або на момент запуску розподільників по закінченні сигналу ЦС, а отже, і на ступінь асинхронізму в їх роботі.

Припустимо, що РЛП дещо випереджає розподільник РЦП. Часова діаграма роботи пристроїв каналу ТС для цієї ситуації наведена на рис. 5.19. У момент часу t_0 по передньому фронту тактового імпульсу, сформованого ГТІ ЛП, розподільник лінійного пункту перемикається в другу позицію (підключає перший контрольований об'єкт до ЛГ) і знаходиться в цій позиції до моменту t_4 . Оскільки контакт КО1 (рис. 5.18) розімкнений, в ЛЗ передається пасивна частота. На ЦП приймання сигналу ТС з пасивною частотою призводить до появи «0» на інформаційному виході ЦДМ. У момент t_1 перемикається в першу позицію розподільник ЦП, відкриваючи по входу «с» елемент пам'яті № 1

для запису інформації: ЕП1 встановлюється в «0» і вимикає відповідний індикатор.

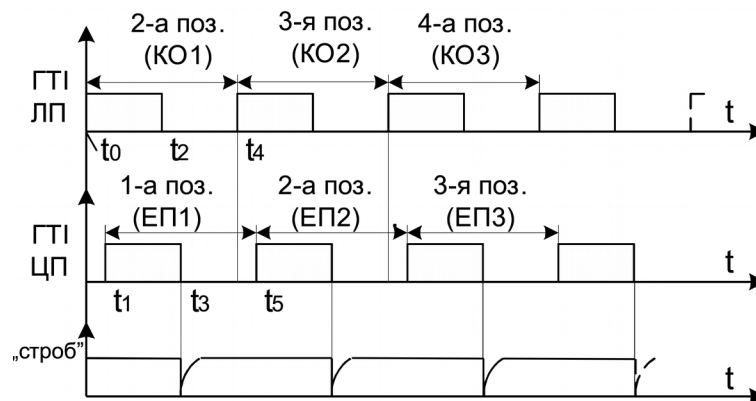


Рис. 5.19. Часові діаграми роботи розподільників

У момент часу t_4 РЛП перемикається в третю позицію, створюючи умови для передавання інформації про стан КО2. Оскільки контакти контрольного реле КО2 виявилися замкнутими, в ЛЗ починає надходити активна частота. У результаті демодуляції цього імпульсу на інформаційному виході ЦДМ з'являється «1». РЦП, все ще знаходячись у першій позиції, зберігає відкритою першу комірку пам'яті і дозволяє запис в неї тієї інформації, яка присутня на вході D - ЕП1 встановлюється в «1». У момент часу t_5 РЦП перемикається в другу позицію. З входу «с» ЕП1 знімається сигнал дозволу запису і в першій комірці пам'яті залишається записаною інформація про другий контрольований об'єкт. Природно, такі помилки в прийманні та реєстрації інформації неприпустимими.

У загальному випадку запис інформації в комірки пам'яті без стробування (тобто протягом усього такту) при запізнюванні РПЦ відносно РЛП завжди буде створювати передумови для запису в i -ту комірку інформації про стан $i+1$ -го об'єкта.

Як же можна забезпечити коректний запис інформації в ЕПі при асинхронізмі в роботі розподільників?

З аналізу часових діаграм роботи розподільників (рис. 5.19) випливає, що навіть за наявності деякого асинхронізму вони значну частину такту знаходяться в однойменних позиціях: часовий інтервал t_1-t_4 . Якщо запис інформації здійснювати в цьому інтервалі, активна (обрана) комірка пам'яті буде

відповідати контролюваному об'єкту. Причому чим ближче момент запису до середини такту, тим вища ймовірність коректної реєстрації. Тому в ДЦ «НЕВА», «ЛУЧ» запис інформації в комірки пам'яті відбувається саме в середині такту роботи розподільника РЦП – через 4 мс після перемикавання розподільника в чергову позицію. Для технічної реалізації цього процесу центральним демодулятором формуються спеціальні імпульси дозволу запису – *строби*. У формуванні стробувальних імпульсів беруть участь тригер старшого розряду подільника Д 1/8 ЗТг, транзистор VT12, конденсатор С3, резистори R32, R33, Rн (рис. 5.17).

Жорстка прив'язка моменту формування стробу до моменту перемикавання розподільника досягається за рахунок використання тригера ЗТг в якості керуючого пристрою схеми формування строб-імпульсів: прямий вихід цього тригера (Q) формує команди на перемикавання розподільника РЦП, а інверсний – стробувальних імпульсів. Перемикавання ЗТг в процесі роботи подільника Д 1/8 відбувається через кожні 4 мс. Причому протягом 4 мс «1» присутня на прямому виході тригера, протягом 4 мс – на інверсному. У схемі формування тактових і стробувальних імпульсів, наведеній на рис. 5.17 (а вона в точності відповідає схемі ЦДМ «НЕВА»), перемикавання розподільника РЦП відбувається в момент формування сигналу високого рівня на прямому виході ЗТг, а стробувального імпульсу – у момент формування сигналу високого рівня на інверсному виході цього тригера.

Нехай тригер ЗТг в момент часу t_1 (рис. 5.19) змінив свій стан таким чином, що на його прямому виході з'явився сигнал високого рівня. По передньому фронту цього імпульсу РЦП перемкнувся в чергову позицію, а на інверсному виході тригера встановився сигнал низького рівня. Внаслідок зниження напруги на інверсному виході створюються умови для заряджання конденсатора С3 (рис. 5.17) по колу позитивний полюс джерела живлення (П) - перехід емітер-база VT12 - С3 - R32 - полюс «М». Транзистор VT2 відкритий, на стробуючому виході схеми присутній сигнал високого рівня («0»). Слід зазначити, що VT2 відкритий як під час заряджання конденсатора С3, так і після його

закінчення струмом, що протікає по колу позитивний полюс джерела живлення (П) - перехід емітер-база VT12 - R33 - полюс «М».

У момент часу t_3 (через 4 мс) тригер змінює свій стан на протилежний (стан тригерів лічильника див. на рис. 2.16): на прямому виході з'явиться сигнал низького рівня, а на інверсному – високого. За цим фронтом тактового імпульсу розподільник залишається в попередній позиції, а на інверсному виході $3Tg$ напруга підвищується практично до $+U_{дж.}$, створюючи умови для формування стробувального імпульсу. Оскільки конденсатор C3 заряджений, напруга на базі VT2 підвищується майже вдвічі ($U_{дж.}+U_{с3}$). І оскільки потенціал бази стає вищим порівняно з потенціалом емітера, транзистор закривається. На виході схеми формується стробувальний імпульс – «одиниця», що дозволяє запис інформації в комірку пам'яті. Тривалість стробу визначається часом закритого стану VT2, тобто часом розряджання конденсатора C3. Цей час складає приблизно 1 мс і залежить від ємності конденсатора C3 та опорів резисторів R32, R33. Розряджання конденсатора відбувається по колу права, позитивно заряджена обкладка - R33 - R32 - ліва, негативно заряджена обкладка. Після розряджання конденсатора транзистор VT12 знову відкривається, формуючи задній фронт стробувального імпульсу.

Таким чином, по одному фронту тактових імпульсів, які формуються подільником Д 1/8 і мають тривалість 8 мс (4 мс імпульс + 4 мс інтервал), відбувається перемикання розподільника в наступну позицію, а по іншому, що відстає за часом на 4 мс, формується стробувальний імпульс. Тому інформація в комірки пам'яті буде записуватися в середині кожного такту роботи РЦП. Можна вважати, що при розсинхронізації розподільників лінійних пунктів і центрального поста до 4-х мс запис інформації буде відбуватися коректно з мінімальною ймовірністю помилки.

5.4.3.3. Контроль неперервності надходження сигналу ТС і групова синхронізація розподільників

Оскільки в каналі ТС в кодових словах станів об'єктів (групах) відсутня інформаційна надмірність, на приймальному

боці проблематична перевірка їх правильності за парністю, контрольною сумою тощо. Тому для підвищення вірогідності контрольної інформації пристроями центрального поста здійснюється кілька додаткових перевірок на основі контролю *постійних ознак* одержуваних сигналів. Стосовно каналу ТС такими є загальна кількість імпульсів групового сигналу (числовий захист); часові параметри сигналу (контроль неперервності сигналу).

Пристрої, що виконують цей контроль, виключають можливість реалізації спотворених повідомлень.

Здебільшого зазначений захист реалізується так. Демодулятор містить елементи, що визначають тривалість імпульсів. При перерві в надходженні імпульсів контрольна схема припиняє подальше приймання сигналу і переводить приймальні пристрої (найчастіше приймальний регістр і розподільник) у початковий стан.

Розподільник веде підрахунок числа імпульсів сигналу, що надійшли, і якщо їх кількість відрізняється від встановленої, блокує кола перенесення інформації з приймального регістра в дешифратор або кола реалізації. Крім того, у підсистемах ДЦ, що використовують циклічний спосіб передавання інформації (канал ТС), час існування помилки обмежений тривалістю циклу, тому навіть за відсутності захисних перевірок наслідки від помилок значно менші, ніж у спорадичних системах.

Звичайними для циклічних систем є перевірки синфазного закінчення циклу і тривалості циклу.

У системах ДЦ «НЕВА» і «ЛУЧ» використовуються стартові і стопові службові імпульси для групових сигналів, які передаються циклічно. Це дозволяє контролювати в демодуляторі неперервність групового сигналу ТС.

Очевидно, що для реалізації тільки тих повідомлень, які задовольняють вимоги перевірок, необхідно, як мінімум, записати груповий сигнал у приймальний регістр, перевірити правильність побудови і тільки потім створити умови для його реалізації. Якщо результати перевірки негативні - заборонити реалізацію і очистити регістр. Саме так працюють приймальні пристрої каналу ТС в ДЦ «НЕВА». У цьому відношенні, описаний у п.

5.4.1 алгоритм роботи приймальних пристроїв систем ДЦ з циклічним контролем (рис. 5.13), відрізняється від діючих систем.

Групова синхронізація розподільників центрального поста і лінійних пунктів

У п. 5.4.2 були названі можливі причини виникнення асинхронізму в роботі розподільників ЛП і ЦП і стробування запису інформації, як метод боротьби з його наслідками. Однак стробування дозволяє забезпечити більш-менш коректну роботу пристроїв каналу ТС при асинхронізмі, що не перевищує 4 мс. Виникає питання, чи може розсинхронізація в роботі РЛП і РЦП досягати більших значень? Якщо так, то яких? І які методи зменшення асинхронізму застосовуються на практиці, зокрема в системах ДЦ?

Міра розсинхронізації розподільників, тобто час випередження одного відносно іншого, залежить від причин, що її викликали. Так, якщо це запізнювання або випередження викликано неодноточасним закінченням сигналу ЦС (точніше неодноточасним зняттям блокування ГТІ і СУР після закінчення сигналу ЦС і відповідно неодноточасним стартом розподільників), при однакових часових параметрах тактових імпульсів величина розсинхронізації залишиться незмінною до кінця циклу. Якщо ж відрізняються часові параметри тактових імпульсів, що формуються ГТІ, розсинхронізація протягом циклу змінюватиметься. Причому очевидно: чим довше знаходяться в роботі розподільники (у межах циклу контролю), тим більшою виявиться їх розсинхронізація. Як показує практика, і перша, і друга причини здатні викликати асинхронізм у роботі розподільників, що досягає 12-15 мс. Зрозуміло, що стробування запису інформації в такому разі не зможе усунути помилки приймання.

Розглянемо такий приклад. Припустимо, що диспетчерська дільниця має у своєму складі 10 малих станцій, а контрольовані об'єкти на кожній з них «уміщаються» в 1-2 групи (рис. 5.20). Нехай схеми управління розподільниками лінійних пунктів і центрального поста тактуються від незалежних власних ГТІ. Передбачимо також, що ГТІ ЦП формує тактові імпульси з ідеальними часовими параметрами ($T=8$ мс); старт РЦП і РЛП після закінчення сигналу ЦС на всіх лінійних пунктах відбувся

одночасно. ГТІ всіх лінійних пунктів, за винятком ЛП9, формують тактові імпульси з розрахунковими параметрами, тому часові інтервали, протягом яких з цих лінійних пунктів відбувається передавання інформації, точно збігаються з інтервалами, коли на ЦП створюються коректні умови для її запису.

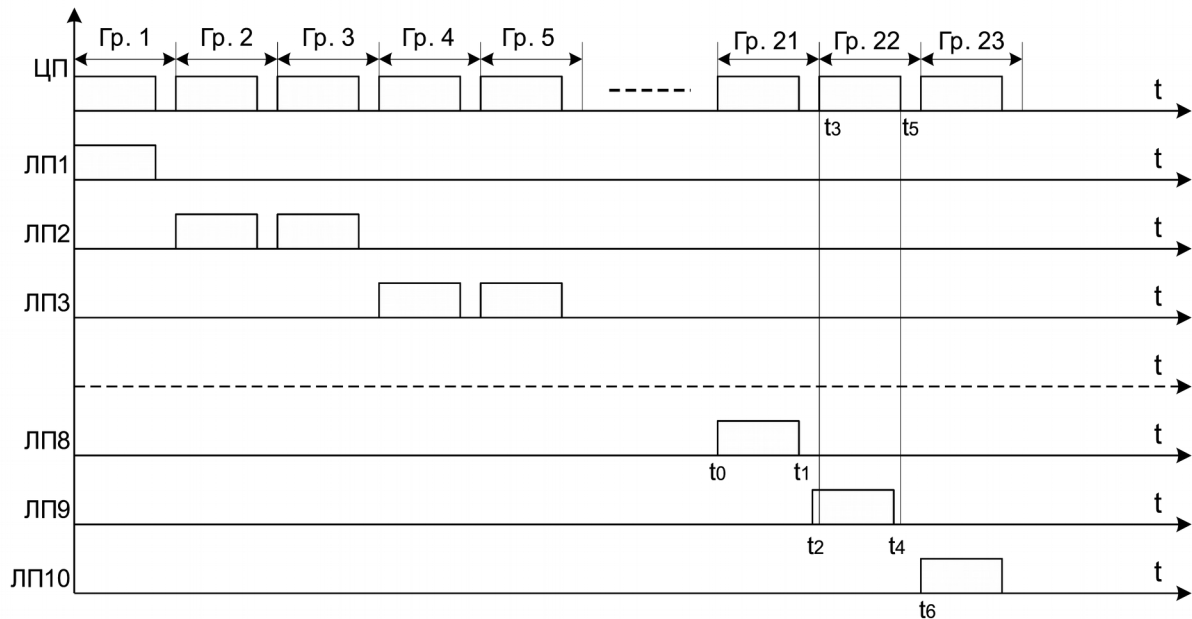


Рис. 5.20. Часова діаграма роботи пристроїв каналу ТС

На ЛП9 генератор тактових імпульсів формує ТІ зі зменшеною відносно сусідів тривалістю, внаслідок чого розподільник ЛП9 вмикає лінійний генератор цього ЛП на передавання раніше розрахункового часу – у момент t_2 (замість t_3). Таке випередження (як і запізнювання) може призвести до запису інформації про стан об'єктів 22-ї групи з помилками.

Якби групові сигнали ТС не мали розділових інтервалів, то спотворення могла б зазнати і інформація, записана в останні елементи пам'яті 21-ї групи. Розділовий інтервал між суміжними груповими сигналами ТС виконує роль часового демпфера. Завдяки його наявності ЛП8 встигне закінчити передавання інформації, а ЦП її реєстрацію (t_0-t_1) ще до вмикання ЛГ ЛП9 (t_2-t_4).

Якщо розподільник ЛП9 запізнюється з початком передавання групового сигналу ТС (ЛГ9 вмикається пізніше моменту часу t_3), спотворюється інформація, записана в елементи

пам'яті 22-ї групи, і з'являється ймовірність спотворення даних, записаних у перші комірочки 23-ї групи. Це можливо, якщо передавач ЛП9 вимкнеться пізніше, ніж почнеться передавання інформації з ЛП10. Завдяки наявності розділового інтервалу тривалістю 48 мс у 22-му груповому сигналі ТС ризик виникнення такої ситуації є мінімальним.

Проте, незалежно від того, раніше або пізніше розрахункового часу ввімкнеться передавач, запис інформації в елементи пам'яті «своїх» групи (у наведеному прикладі 22-ї) без вживання додаткових заходів щодо синхронізації роботи розподільників ЛП і ЦП відбуватиметься з помилками.

Слід зазначити, що у випадку тактування РЦП і РЛП від незалежних ГТІ, проблема не має рішення. Якщо ж схему формування тактових імпульсів на ЦП зробити адаптивною, здатною підлаштуватися під груповий сигнал ТС, що приймається, ситуація істотно полегшується. Суть адаптації полягає в наступному. За відсутності в ЛЗ сигналу ТС з активною або пасивною частотами схема формування тактових імпульсів заблокована, тактові імпульси в СУР-ЦП не надходять, розподільник ЦП по позиціях не перемикається. Приймання сигналу з будь-якою з частот, виділених даному каналу ТС (наприклад, після закінчення сигналу ЦС), знімає блокування з ГТІ і СУР-ЦП; ГТІ за допомогою СУР-ЦП починає відлік часу і послідовно перемикає розподільник, здійснюючи вибір елементів пам'яті і запис інформації, що надходить. На початку розділового інтервалу РЦП знову блокується (оскільки в цей час припиняється робота генератора ЛП) і продовжить перемикання лише з прийманням з лінії зв'язку сигналу ТС наступної групи. Причому, незалежно від того, «раніше або пізніше» розрахункового часу надійде сигнал ТС, запуск схеми управління розподільником і власне розподільника відбуватиметься з фіксованим (а отже, таким, що усувається) запізненням відносно початку прийняття чергового групового сигналу ТС. Це запізнення (затримка) обумовлене часом реакції демодулятора на появу сигналу. Це так званий **старт-стопний** режим роботи передавальних і приймальних пристроїв систем керування, найбільш поширений як у системах з жорсткою логікою функціонування, так і в сучасних системах ДЦ.

Робота пристроїв, що забезпечують старт-стопний режим управління розподільником ЦП, може бути проілюстрована за допомогою схеми, наведеної на рис. 5.21.

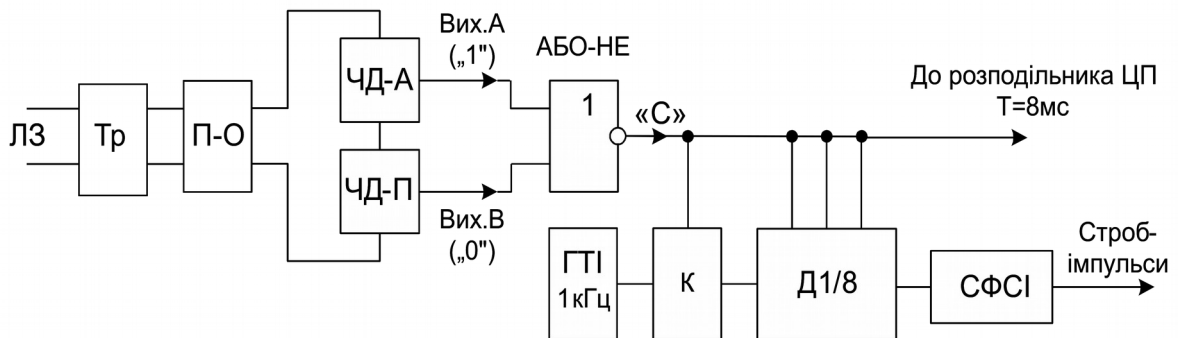


Рис. 5.21. Схема пристроїв старт-стопного управління РЦП

Зазначимо, що вхідний трансформатор Тр, підсилювач-обмежувач П-О, частотні детектори ЧД-А і ЧД-П активної і пасивної частот – це пристрої схеми демодулятора (рис. 5.15). Генератор тактових імпульсів 1 кГц, ключ К, подільник Д 1/8, схема формування стробувань імпульсів СФСІ входять до складу вузла формування тактових і стробувань імпульсів (рис. 5.17).

Логіку старт-стопного управління реалізує елемент АБО-НЕ, входи якого підключені до виходів частотних детекторів, а вихід – до входу управління ключем К і входам «RESET» тригерів подільника Д 1/8. За відсутності в лінії зв'язку сигналів з активною або пасивною частотами на обох входах елемента АБО-НЕ присутні «0», а на виході – «1», яка закриває ключ К і встановлює в нульовий стан тригери подільника. Тактові і стробуючі імпульси не формуються. Наявність «1» на одному з входів елемента АБО-НЕ (результат приймання f_a або f_p) формує на виході «С» сигнал дозволу роботи подільника і розподільника ЦП - «0».

Прийнята в ДЦ «НЕВА», «ЛУЧ» структура групових сигналів ТС (рис. 5.12) передбачала саме таке вирішення проблеми синхронізації. Або (що те ж саме): сигнал ТС має таку структуру для забезпечення можливості старт-стопного механізму синхронізації передавальних пристроїв ЛП і приймальних пристроїв ЦП.

5.4.3.4. Виявлення і фіксація нової інформації

У ДЦ «НЕВА» (її класичному виконанні) реєстрація і зберігання контрольної інформації здійснюється за допомогою поляризованих електромагнітних реле. Циклічний режим роботи передавальних і приймальних пристроїв передбачає багаторазові періодичні вмикання і вимикання ряду реле, що виконують функції тимчасового зберігання інформації, і її подальшої реалізації [4]. Для того щоб на ЦП групі (1В1-23В1) і виконавчі (1І-20І) реле надмірно механічно не зношувалися, у схемі приймальних пристроїв ЦП передбачено вузол управління схемою реалізації. Суть його роботи полягає в тому, що прийнята інформація в сигналах ТС реалізується лише тоді, коли вона містить новизну порівняно з інформацією, зафіксованою контрольними реле центрального поста в попередньому циклі контролю (під час приймання попереднього сигналу ТС).

Дозвіл на реалізацію прийнятої інформації видає схема порівняння блока ЦДМ. Принцип роботи схеми порівняння можна пояснити, користуючись рис. 5.22.



Рис. 5.22. Схема порівняння блоку ЦДМ

Рішення про наявність новизни схема порівняння приймає у двох випадках:

- імпульс, що приймається, має активну якість (fa), а контакти відповідного контрольованому об'єкту контрольного реле (КР) розімкнені;

- імпульс, що приймається, має пасивну якість (fп), а контакти відповідного контрольного реле замкнені.

На входи схеми порівняння надходить інформація з виходів «А» і «В» частотних детекторів демодулятора про якість поточного імпульсу сигналу ТС, інформація про стан контактів контрольних реле (КРi), стробувальні імпульси.

При виконанні будь-якої з перерахованих вище умов у момент формування стробувального імпульсу в одиничний стан буде встановлено тригер Т1, який сигналом з прямого виходу дозволить реалізацію інформації, записаної в приймальний регістр. Скидання тригера в «0» відбудеться під час розділового інтервалу (після закінчення приймання інформаційної частини групового сигналу ТС).

Контрольні питання до розділу

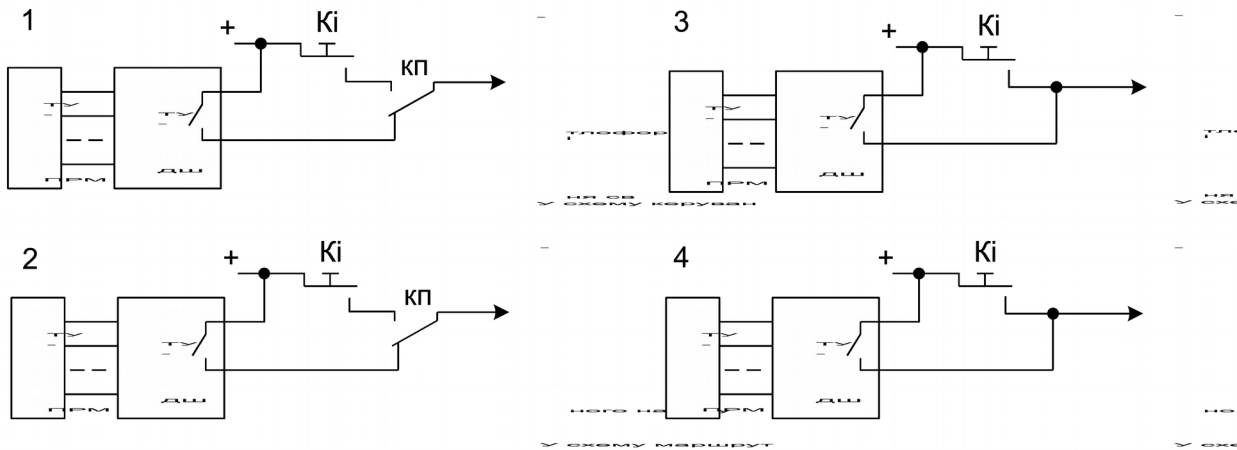
1. Дайте експлуатаційно-технічну характеристику ДЦ «НЕВА».

2. Для чого призначена апаратура каналу ТУ систем ДЦ? Яку структуру мають коди команд телеуправління в ДЦ «НЕВА» і сигнали, що їм відповідають?

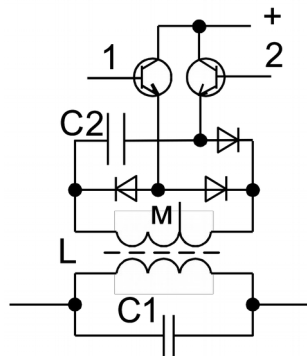
3. Які переваги має чотиризначна частотна маніпуляція, що застосовується для побудови сигналів ТУ в ДЦ «НЕВА», порівняно з двозначною?

4. Поясніть, як здійснюється керування центральним генератором каналу ТУ для побудови відповідних сигналів.

5. Яка з наведених схем застосовується для узгодження пристроїв ДЦ з пристроями ЕЦ на лінійних пунктах для керування світлофорами?



6. Наведена на рисунку схема призначена для вмикання/вимикання генератора, а також задає його робочі частоти (f_1, f_2 ; $f_1 < f_2$). Напруга якого рівня (1 – висока, 0 – низька) повинна надходити на входи 1, 2, щоб генератор був ввімкнений і працював на частоті f_2 ?



7. Частина станцій диспетчерської дільниці обладнана пристроями ЕЦ маршрутного типу, частина – з роздільним керуванням стрілками. Як вказані відмінності впливають на перелік і послідовність дій диспетчера при введенні маршрутних команд?

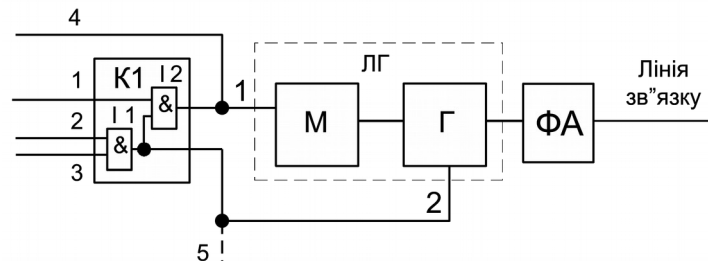
8. Поясніть призначення апаратури каналу ТС систем ДЦ. Яку структуру мають коди контрольних повідомлень у системах ДЦ з жорсткою логікою функціонування і сигнали, що їм відповідають?

9. Поясніть принцип дії апаратури каналу ТС систем ДЦ «НЕВА», «ЛУЧ».

10. Як пристрої каналу ТС лінійних пунктів визначають момент вмикання передавачів (лінійних генераторів)?

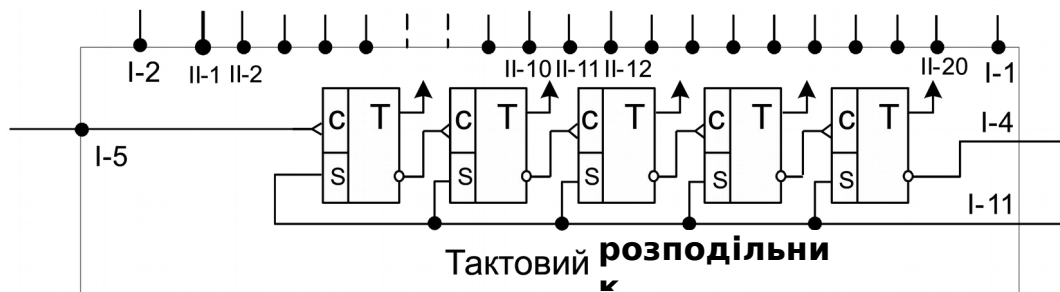
11. Які вимоги висуваються до роботи розподільників ЛП і ЦП, що працюють у складі пристроїв каналу ТС? Чому?

12. У якому стані повинні знаходитись входи 1 і 2 лінійного генератора для його вмикання і передавання контрольної інформації?



13. Які пристрої є безпосередніми джерелами інформації для підсистеми ТС диспетчерської централізації про стан контрольованих об'єктів на лінійних пунктах?

14. На рисунку наведена схема тактового розподільника (ТР) лінійного пункту апаратури каналу ТС системи ДЦ «НЕВА». Для чого призначені виходи розподільника I-2, I-1, I-4?



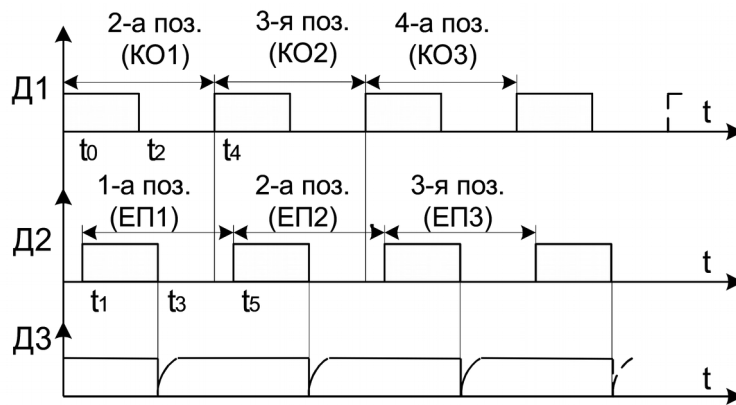
15. Поясніть призначення сигналу циклової синхронізації.

16. Які функції виконує центральний демодулятор каналу ТС? Поясніть призначення вказаних функцій (тобто з якою метою ЦДМ «навантажили» виконанням вказаних функцій)?

17. При якому асинхронізмі в роботі розподільників ЦП і ЛП стробування забезпечує коректний запис інформації в комірки пам'яті?

18. З якою метою застосовується старт-стопний механізм керування роботою розподільника ЦП?

19. Які процеси ілюструють діаграми Д1, Д2, Д3, наведені на рисунку?



20. Поясніть призначення частотного детектора, що входить до складу ЦДМ, і принцип його роботи.

6. ДИСПЕТЧЕРСЬКА ЦЕНТРАЛІЗАЦІЯ «ЛУЧ»

6.1. Характеристика системи

Диспетчерська централізація «ЛУЧ» розроблена з урахуванням досвіду експлуатації ДЦ «НЕВА» і має порівняно з цією системою покращені характеристики [5]. У найбільш поширеному двопровідному варіанті виконання системи ємність ДЦ «ЛУЧ» становить 1840 двопозиційних об'єктів за рахунок використання ще одного (четвертого) паралельного каналу ТС (у «НЕВА» – 1380). Така можливість з'явилася в результаті звуження смуги частот, виділеної для роботи апаратури каналу ТУ. Для побудови сигналів ТУ використовується тільки одна робоча частота 500 Гц із застосуванням відносно-фазової маніпуляції (ВФМ).

Принцип дії апаратури каналів ТС ДЦ «ЛУЧ» аналогічний ДЦ «НЕВА».

Таким чином, у ДЦ «ЛУЧ» для передавання командної і контрольної інформації організовані п'ять частотних каналів (рис. 6.1).

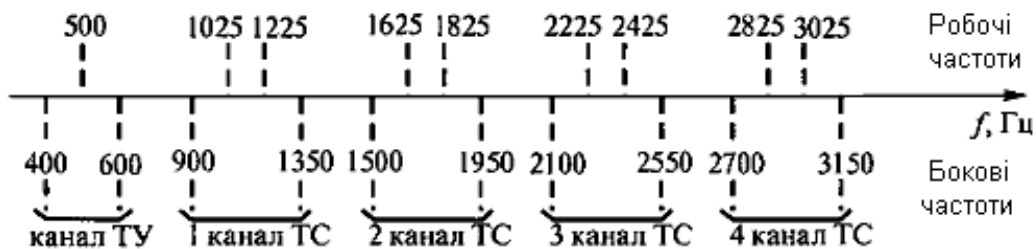


Рис. 6.1. Робочі частоти каналів ТУ і ТС

Час передавання сигналу ТУ становить близько 0.5 с.

У ДЦ «ЛУЧ» команди можуть вводитися з чотирьох різних робочих місць: двох робочих місць поїзних диспетчерів, енергодиспетчера, диспетчера дистанції сигналізації та зв'язку.

У процесі експлуатації ДЦ «НЕВА» виявилася необхідність істотного збільшення ємності каналу ТУ, головним чином кількості керованих пристроїв різного призначення на станції, а в ряді випадків і кількості керованих станцій. Основною причиною

цього стало прагнення до диспетчерського управління не тільки поїзними, а й маневровими пересуваннями. З цією метою в ДЦ «ЛУЧ» виділено спеціальні сигнали ТУ для керування маневровими світлофорами, а кількість груп керованих об'єктів збільшено з 7 (у «НЕВА») до 20. Максимальна кількість керованих роздільних пунктів складає 32. Порівняльна характеристика систем ДЦ «НЕВА» і «ЛУЧ» наведена в табл. 6.1.

Таблиця 6.1

Порівняльна характеристика систем ДЦ «НЕВА» і «ЛУЧ»

Характеристика	Тип системи ДЦ	
	«НЕВА»	«ЛУЧ»
Кількість каналів ТУ	1	1
Робочі частоти каналу ТУ, Гц	500, 600 700, 800	500
Спосіб маніпуляції в каналі ТУ	ЧМ	ВФМ
Швидкість передавання, бод	20.8	62.5
Максимальна кількість роздільних пунктів	20	32
Кількість груп різнотипних команд для одного роздільного пункту	7	20
Кількість команд для однієї групи	8	10
Кількість каналів ТС у двопровідному варіанті	3	4
Кількість груп пристроїв, що контролюються одним каналом ТС	23	23
Кількість двопозиційних об'єктів у групі	20	20
Ємність каналу ТС (двопозиційних об'єктів)	460	460
Загальна ємність з контролю одного комплексу системи (двопозиційних об'єктів)	1380	1840

У системі ДЦ «ЛУЧ» реалізовано передавання відповідальної команди «Допоміжна зміна напрямку руху». Оскільки ця команда (як і інші відповідальні) повинна виконуватися пристроями роздільних пунктів без перевірки на місці виконання всіх умов, необхідних для безпечного руху поїздів, найважливішою передумовою для вирішення цього завдання стало забезпечення високої вірогідності та захищеності від небезпечних спотворень сигналів у каналі ТУ. З цією метою в ДЦ «ЛУЧ» суттєво ускладнена побудова кодів команд і вжиті

заходи з контролю якості приймання сигналів ТУ на роздільних пунктах.

З метою підвищення безвідмовності системи зменшено кількість електромагнітних реле, у першу чергу тих, що працюють в імпульсному режимі і схильні до інтенсивного механічного зносу. Зі складу апаратури ЛП такі реле виключено повністю.

6.2. Принцип відносної фазової маніпуляції

Відомо, що сигнали, побудовані з використанням фазової імпульсної ознаки змінного струму, є досить стійкими до впливу завад (див. підрозділ 3.7) [7]. Тому фазова модуляція, що дозволяє використовувати цю ознаку для побудови сигналів, широко застосовується в системах передавання інформації і самостійно, і в комплексі з іншими ознаками. Однак для технічної реалізації систем, що використовують «класичну» фазову модуляцію, на приймальному боці необхідно мати джерело опорної напруги, що має стабільну фазу і частоту, що дорівнює частоті корисного сигналу. Справа в тому, що визначити величину фазового зсуву ($\Delta\varphi \cdot f(t)$) можна лише в результаті безперервного порівняння інформаційного сигналу і деякого зразкового – опорного.

Слід зазначити, що порівняння прийнятого сигналу зі зразками, прийнятими за «1» і «0», характерне для визначення якості імпульсу при використанні будь-якого виду модуляції. При амплітудній модуляції такими зразками є порогові напруги (або елементи з заданою напругою спрацьовування); при частотній модуляції – коливання, збуджені інформаційним сигналом у контурах, налаштованих на відповідні частоти. Коливальні контури при цьому саме і є «сховищами» зразкових сигналів.

При фазовій модуляції таких «сховищ» немає. Незалежні генератори ЦП і ЛП завжди будуть генерувати сигнали, що відрізняються і за частотою, і за фазою. Передати опорну напругу тією самою лінією, якою передається інформаційний сигнал, не можна, оскільки ці сигнали мають однакові частоти і в результаті накладення (додавання) у пункті передачі буде формуватись амплітудно-маніпульований сигнал замість фазо-маніпульованого. Можливе передавання опорної напруги по

окремій лінії зв'язку, проте в цьому випадку лінійне коло стає чотирипровідним, а вартість підсистеми зв'язку значно зростає. Тому часто застосовують так звану відносну фазову модуляцію (ВФМ).

Стосовно ДЦ «ЛУЧ», суть ВФМ зводиться до наступного. Для побудови сигналів ТУ використовується змінний струм з частотою 500 Гц, фаза якого може приймати 3 значення, що відрізняються на 120° (1/3 періоду): $\varphi_1 = 0$, $\varphi_2 = +120^\circ$, $\varphi_3 = -120^\circ$. Тобто

$$\begin{aligned} u_1 &= U_m \sin(2\pi 500 t), \\ u_2 &= U_m \sin(2\pi 500 t + 2\pi/3), \\ u_3 &= U_m \sin(2\pi 500 t - 2\pi/3). \end{aligned} \quad (6.1)$$

Для позначення «0» і «1» кодових комбінацій у процесі побудови сигналів (модуляції) вирішальним є не абсолютне значення фази переданого в лінію зв'язку змінного струму, а знак зміни фази (напрямок фазового зсуву) порівняно зі значенням, зафіксованим у попередньому такті. Тобто жодна з напруг u_1 - u_3 (рис. 6.2) сама по собі не може вважатися «призначеною» для передавання «1» або «0». А ось їх чергування в певній послідовності саме і буде нести смислове навантаження.

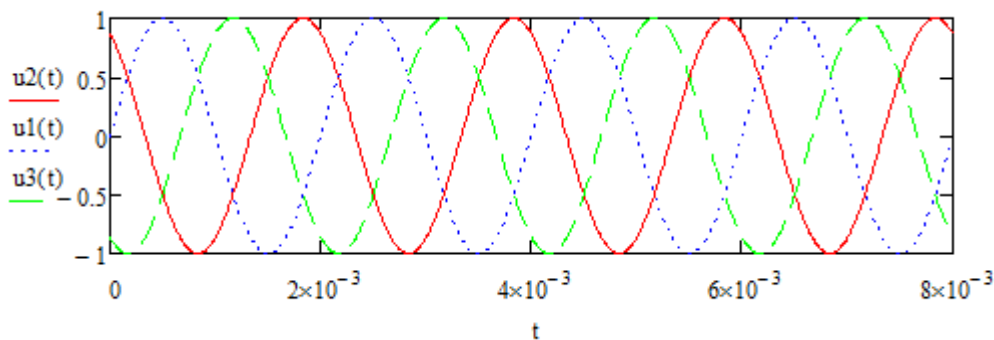


Рис. 6.2. Епюри напруг u_1 , u_2 , u_3

Зміна фази сигналу в послідовності φ_1 , φ_2 , φ_3 , φ_1 , φ_2 ... і т. д. вважається позитивною, а в напрямку φ_1 , φ_3 , φ_2 , φ_1 , φ_3 ... – негативною. Для передавання двійкового логічного символу 1 використовується позитивна, а двійкового логічного символу 0 – негативна зміна фази.

Таким чином, кожен символ має три реалізації:

«1» = $\varphi_1 \rightarrow \varphi_2, \varphi_2 \rightarrow \varphi_3, \varphi_3 \rightarrow \varphi_1$ ($u_1 \rightarrow u_2, u_2 \rightarrow u_3, u_3 \rightarrow u_1$);
 «0» = $\varphi_1 \rightarrow \varphi_3, \varphi_3 \rightarrow \varphi_2, \varphi_2 \rightarrow \varphi_1$ ($u_1 \rightarrow u_3, u_3 \rightarrow u_2, u_2 \rightarrow u_1$).

Кожний робочий такт сигналу (імпульс) має тривалість 16 мс. Йому може бути «приписано» значення 1 або 0 залежно від характеру зміни фази на початку такту. Останній такт сигналу не має межі у вигляді фази, що змінюється. Рішення про закінчення сигналу ТУ приймається, якщо протягом певного заданого інтервалу часу фаза сигналу в лінії зв'язку не змінюється.

Змінний струм з частотою 500 Гц і фазою, що відповідає фазі останнього робочого такту попереднього сигналу ТУ, присутній у лінії зв'язку безперервно. Причому навіть у ті періоди часу, коли з ЦП на ЛП жоден сигнал не передається. Наявність цього струму синхронізує передавальні і приймальні пристрої каналу ТУ.

На рис. 6.3 наведено фрагмент осцилограми модульованого по фазі сигналу з частотою носія 500 Гц і тривалістю імпульсів 8 мс. Межами імпульсів є часові інтервали t_1 - t_2 (першого), t_2 - t_3 (другого), t_3 - ... (третього імпульсів). У момент часу t_1 фаза сигналу змінилася на $+120^\circ$; в момент часу t_2 - на -120° , в момент часу t_3 - на $+120^\circ$. Якщо прийняти, що правило побудови наведеного на рис. 6.3 сигналу аналогічне ДЦ «ЛУЧ» (за винятком того, що тривалість імпульсів становить 8 мс, а не 16 мс), цей фрагмент сигналу відповідає кодовій комбінації ...101... .

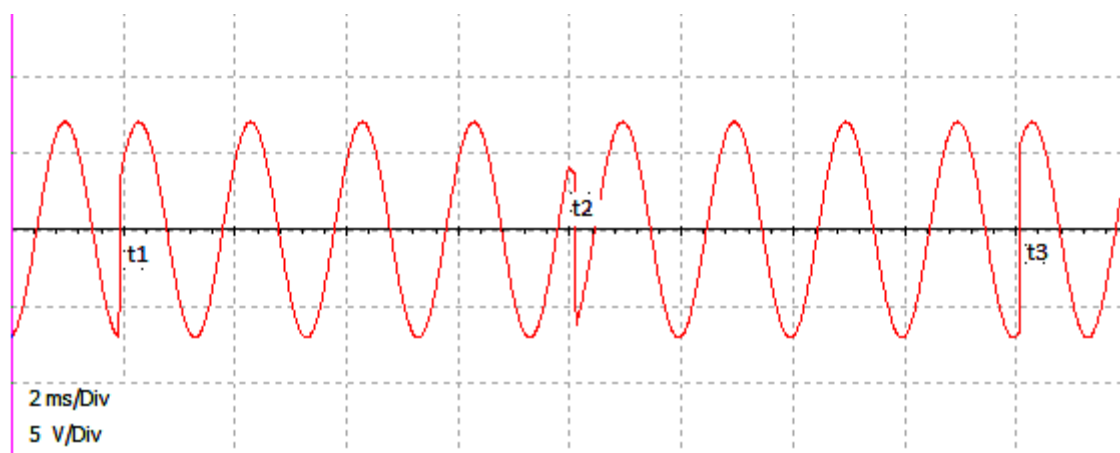


Рис. 6.3. Осцилограма фазо-маніпульованого сигналу

Показовим є те, що визначення якості імпульсів було зроблено без знання фактичної фази сигналу до моменту часу t_1 ,

а тільки лише на підставі аналізу зсуву фази імпульсів у моменти часу t_1 , t_2 , t_3 .

6.3. Структура кодів і сигналів ТУ в ДЦ «ЛУЧ»

Довжина кодів команд ТУ в ДЦ «ЛУЧ» - 30 розрядів. Розряди кодових комбінацій мають таке призначення: 1-12 - адреса роздільного пункту; 13-18 - номер групи об'єктів управління; 19-26 - значення команди; 27-30 - ознака команди [5]. Всі структурні складові коду команди ТУ мають постійну вагу. Так, в адресній частині роздільних пунктів має бути шість 0 і шість 1; у номері групи об'єктів управління - три 0 і три 1; у значенні команди - чотири 0 і чотири 1; в ознаці команди - два 0 і дві 1.

Виділення 12 розрядів для кодування адрес роздільних пунктів дозволяє зашифрувати 32 адреси ЛП, причому кодові комбінації мають кодову відстань $d = 4$. Коди адрес ЛП захищені від трансформації при будь-якій непарній кількості помилок, а також від одно-, дво- і триразових помилок. Імовірність чотирикратних помилок у процесі передавання (при ймовірності спотворення одного розряду $p = 1 \cdot 10^{-4}$, нормальній для ОФМ) становить $0.5 \cdot 10^{-13}$.

Шість розрядів, виділених для кодування номеру групи керованих об'єктів, дають можливість побудувати коди адрес 20-ти груп з кодовою відстанню $d = 2$. Імовірність трансформації номера групи не перевищує $1 \cdot 10^{-7}$.

Використання чотирьох розрядів для кодування ознаки команди, з яких дві 1 і два 0, дозволяє сформувати 6 кодових комбінацій з кодовою відстанню $d = 2$. Імовірність трансформації ознаки команди також не перевищує $1 \cdot 10^{-7}$.

Вісім двійкових розрядів для кодування смислового значення команди (при правилі побудови – 4 одиниці і 4 нулі), дозволяють сформувати 10 команд з кодовою відстанню $d = 4$.

Структура сигналів ТУ відповідає структурі кодів команд з тією відмінністю, що передаванню інформаційної частини сигналу передують службовий початковий імпульс з якістю «0» і стандартною тривалістю 16 мс. Таким чином, сигнал ТУ складається з 31-го імпульсу (1 службовий + 30 інформаційних) і

має тривалість 0.496 с. Ознака початку сигналу ТУ необхідна у зв'язку з тим, що по каналу ТУ, окрім сигналів ТУ, періодично передається сигнал циклової синхронізації (ЦС). Сигнал ЦС має тривалість 64 мс (4 імпульси) і структуру 1111. Завдяки початковому службовому імпульсу в структурі сигналів ТУ приймальні пристрої лінійних пунктів безпомилково відрізняють початок приймання власне сигналів телеуправління і сигналів циклової синхронізації.

Характер впливу сигналу ЦС на пристрої каналу ТС лінійних пунктів у ДЦ «ЛУЧ» аналогічний ДЦ «НЕВА».

6.4. Принцип дії передавальних пристроїв каналу ТУ

Апаратура каналу ТУ центрального диспетчерського поста виконує такі функції:

- формування команд, перетворення їх у сигнали і передавання сигналів ТУ;
- забезпечення заданої послідовності передавання сигналів ТУ від декількох (до чотирьох) робочих місць;
- формування та передавання по каналу ТУ сигналів циклової синхронізації;
- формування місцевих сигналів синхронізації, що забезпечують необхідну координацію між посилкою сигналу ЦС і роботою апаратури, що забезпечує приймання сигналів ТС.

Команди в систему ДЦ вводяться шляхом натискання і відпускання в певній послідовності кнопок на одному з чотирьох пультів: поїзного диспетчера, маневрового диспетчера, енергодиспетчера або чергового інженера поста ДЦ (рис. 6.4). Натискання кнопок фіксують реле набірної реєстрації і шифратора. Сформований код команди містить всі структурні складові частини за підрозділом 6.3. Кожному розряду коду поставлено у відповідність певне набірне реле. У ДЦ «ЛУЧ» складові частини коду (адреса ЛП, номер групи, значення і ознака команди) мають однакову кількість 0 і 1, тому в результаті роботи шифратора з 30 набірних реле при будь-якій команді завжди 15 будуть під струмом, а 15 – знеструмленими.

Після введення команди і перевірки правильності спрацювання набірної реєстрації та шифратора вмикаються

передавальні реле РП1 - РП4. Своїми контактами вони замикають кола збудження головних реле Г1-Г4 та ініціюють процес формування і передавання сигналу ТУ.

Припустимо, команда введена з робочого місця поїзного диспетчера (пульт 1). У цьому випадку збуджується реле Г1 і своїм тилковим контактом, що розімкнувся, зупиняє комутатор робочих місць КРМ в позиції 1, підключаючи контакти набірних реле першого регістра КНР РГ1 до передавальної апаратури. Якби керуючий наказ вводився з інших пультів, головне реле, що відповідає номеру пульта, зупинило б КРМ в іншій позиції, підключаючи до передавача контакти набірних реле «свого» регістра.

Контакти реле набірних регістра утворюють паралельний код команди телеуправління. Для передавання його лінією зв'язку необхідно, по-перше, розгорнути цей код у часі (тобто перетворити в послідовний); по-друге, вже послідовний код перетворити на сигнал – змінний струм частотою 500 Гц, поділений за допомогою ОФМ на такти (імпульси) тривалістю по 16 мс. Перше з зазначених завдань вирішується розподільником* Р-ТУ, друге – модулятором М-ТУ, роздільником фаз РФ і генератором ЦГЛ.

Примітка.* У деяких літературних джерелах [5, 6] розподільник Р-ТУ названо «шифратором» – Ш-ТУ (або Р-ШТУ), але і за своєю структурою, і за виконуваними функціями цей пристрій все ж таки є розподільником, який має 31 індивідуальний вхід і один загальний вихід.

Розподільник Р-ТУ має 32 позиції: 31 робочу (1-31), і вихідну (0). Якщо сигнал ТУ не передається, розподільник утримується в позиції 0 високим потенціалом, що надходить по шині 14 від вузла вмикання передачі ВТУ.

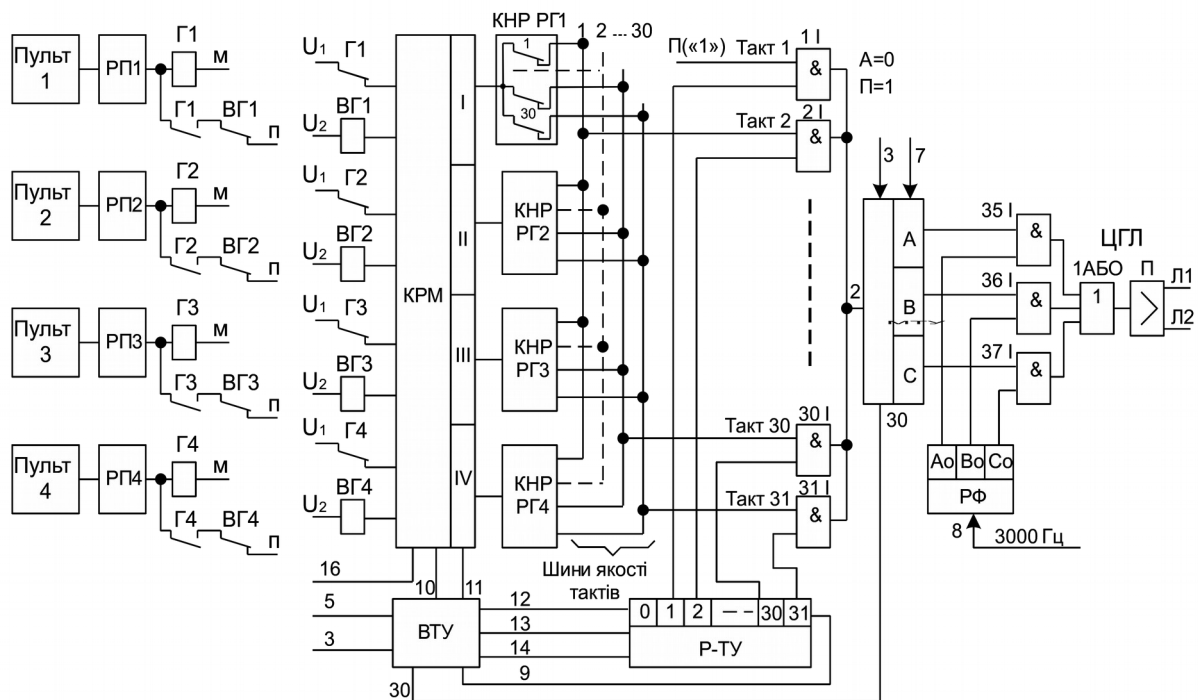


Рис. 6.4. Структурна схема пристроїв формування сигналів телеуправління ДЦ «ЛУЧ»

Особливістю роботи модулятора є те, що для формування активної якості такту на вході 2 МТУ повинен бути присутнім «0», а для пасивної якості - «1». Тому, якщо i -й імпульс сигналу ТУ (з урахуванням службового) повинен бути активним, на $(i-1)$ виході КНР-РГ має бути присутнім сигнал «0» рівня. Для формування пасивної якості імпульсу відповідний вихід набірного регістра повинен знаходитися в стані «1».

При вмиканні реле Γ і зупинці КРМ на будь-якій позиції розподільник розгальмовується сигналом по шині 10 або 11, що надходять від КРМ до ВТУ. Під дією тактових імпульсів, що надходять від ВТУ по провіднику 13, розподільник через кожні 16 мс послідовно перемикається в позиції 1, 2, 3, ... 31. У позиції 1 розподільника формується «нульовий» (стартовий) такт сигналу ТУ, який завжди передається пасивною якістю (0), тому верхній вивід логічного елемента 1 I не має зв'язку з контактами набірних реле (на цьому вході постійно присутня «1»). У цій позиції розподільника в шині управління модулятором на вході 2 МТУ присутній сигнал високого рівня («1»), який для модулятора є командою на формування пасивної якості такту.

У позиції 2 розподільника формується перший інформаційний такт сигналу ТУ, тому стан виходу елемента 2 І залежить від стану першого контакту реле набірної реєстри.

З формуванням тактових імпульсів і перемикання розподільника відбувається почергове підключення входу 2 модулятора до виходів 1...30 набірної реєстри-шифратора: впродовж (i+1)-го такту контакти i-го реле набірної реєстри впливають на модулятор і змушують його змінювати фазу сигналу ТУ.

У позиції 31 розподільника формується останній інформаційний (30) такт сигналу ТУ і по шині 16 у схему КРМ надходить повідомлення про закінчення передачі сигналу телеуправління. Внаслідок цього вмикається реле ВГ1, яке вимикає головне реле Г1, а по шині 9 у схему ВТУ надходить команда на припинення формування тактових імпульсів. По провіднику 10 або 11 загальмовується ВТУ, після чого шиною 14 розподільник встановлюється в початковий стан.

Модулятор МТУ являє собою трипозиційний реверсивний лічильник, що має два входи (2 і 30) і три виходи (А, В, С). Правильніше було б назвати його розподільником на три виходи, керованим реверсивним лічильником (див. п. 2.5.3, підрозділи 2.7, 2.8). По входу 2 здійснюється управління режимом роботи лічильника (підсумовування або віднімання), на вхід 30 надходять тактові імпульси, що змінюють стан тригерів лічильника. Перемикання тригерів МТУ відбувається через 8 мс після перемикання розподільника Р-ТУ в чергову позицію, тобто в середині такту. Тактові імпульси з періодом проходження 16 мс (8 мс імпульс, 8 мс інтервал) генеруються схемою ВТУ: по одному з фронтів відбувається перемикання розподільника Р-ТУ, по іншому – тригерів лічильника в складі МТУ.

Якщо лічильник знаходиться в режимі підсумовування, з надходженням тактових імпульсів стан тригерів змінюється в бік збільшення «вмісту» лічильника. Дешифратор стану лічильника в цьому випадку забезпечить просування «1» у бік виходу з більшим порядковим номером (стандартний режим роботи розподільників), наприклад 1, 2, 3... . Після переповнення лічильника цикл роботи розподільника повторюється. Тобто в режимі підсумовування лічильника при безперервному

надходженні тактових імпульсів положення «1» на виходах буде змінюватися так: 1, 2, 3, 1, 2, 3, 1... .

Після перемикання лічильника в режим віднімання напрямок просування одиниці зміниться на протилежний: 1, 3, 2, 1, 3, 2, 1... .

У процесі роботи передавача сигналів ТУ режим роботи реверсивного лічильника (+/-) може змінюватися залежно від стану входу 2 МТУ аж до кожного такту роботи Р-ТУ, змінюючи напрямок просування одиниці на виходах модулятора в бік виходу то з більшим номером, то з меншим.

Якщо сигнал ТУ або ЦС не передається, на одному з виходів А, В або С-модулятора (на будь-якому) присутній сигнал з рівнем логічної «1», а на двох інших – з рівнем «0». Для передавання активного такту сигналу ТУ «1» переходить з одного виходу на інший у напрямку: $A \rightarrow B$, $B \rightarrow C$, $C \rightarrow A$. Передаванню пасивного такту відповідають переходи $A \rightarrow C$, $C \rightarrow B$ або $B \rightarrow A$.

Напруга з рівнем логічної «1», що присутня на одному з трьох виходів модулятора, служить для вибору тієї чи іншої зразкової послідовності прямокутних імпульсів з частотою 500 Гц, створюваних роздільником фаз (РФ). На вхід 8 РФ надходить безперервна послідовність імпульсів частотою 3000 Гц, яка перетворюється в три зразкові послідовності A_0 , B_0 , C_0 , відмінні одна від одної початковою фазою. Послідовність A_0 має нульовий фазовий зсув (тобто довільну фазу), B_0 зсунута відносно A_0 на фазовий кут $+120^\circ$, C_0 – на -120° . Обрана логічними елементами 35 І...37 І, 1АБО послідовність передається на вхід генератора фазоманіпульованих коливань ЦГЛ.

Припустимо, що передавання сигналів ТУ та ЦС не відбувається (напруга на входах 2 і 30 МТУ незмінна). На виході А модулятора присутня «1», на виходах В і С - «0». (Початковий стан виходів МТУ в наведеному прикладі вибрано довільно. З однаковим успіхом як вихідний можна було б розглядати $A=0$, $B=1$, $C=0$ або $A=0$, $B=0$, $C=1$.) Логічний елемент 35 І виявляється відкритим по верхньому входу: його вихід повторює сигнал, що надходить на нижній вхід. Оскільки цей вхід підключений до виходу A_0 роздільника фаз, на вхід логічного елемента 1АБО, а

потім і на генератор ЦГЛ надходить зразкова послідовність імпульсів з нульовим початковим фазовим зсувом. При зміні стану виходів МТУ відкритим виявиться інший логічний елемент (36 І або 37 І), забезпечуючи вибір і врешті-решт передавання в лінію зв'язку сигналу ТУ з початковою фазою φ_v (+120) або φ_c (-120).

ЦГЛ являє собою генератор з контуром ударного збудження. Частота і фаза синусоїдальних коливань, що виникають на виході такого генератора, залежать від частоти і фази прямокутних імпульсів, поданих на його вхід. Таким чином, змінюючи через кожні 16 мс зразкові послідовності імпульсів на вході генератора, отримуємо в лінійному колі фазоманіпульований змінний струм з частотою 500 Гц – сигнал ТУ або ЦС.

Під час передавання сигналу ЦС керування роботою модулятора здійснює вузол синхронізації (на схемі не показаний) колами 3 і 7. Сигналом, переданим по провіднику 3, блокується одночасне передавання сигналу ТУ.

6.5. Приймання сигналів ТУ на лінійних пунктах

Апаратура каналу ТУ лінійного пункту призначена для приймання, дешифрування та реалізації сигналів телеуправління і циклової синхронізації (рис. 6.5). Вона складається з лінійного підсилювача (ЛУЛ); роздільника фаз (РФ); демодулятора (ДМУ); схеми вимірювання тривалості тактів і дешифратора сигналів ЦС, розташованого у вузлі синхронізації (ВС); дешифратора сигналів ТУ (ДШ-ТУ), утвореного тактовим розподільником Р-ТУ, схемою контролю лічби тактів (СКСТ) і перемичками налаштування адреси станції (на рис. 6.5 не показані); реєстра сигналів ТУ; вихідних реле Г1-Г6, Р1-Р12.

Підсилювач ЛУЛ призначений для виділення сигналів ТУ із сукупності частотних сигналів, присутніх у лінії зв'язку, їх посилення і детектування. Крім того, у блоці ЛУЛ встановлений генератор опорної напруги з робочою частотою 1500 ± 30 Гц, який використовується для формування зразкових сигналів, необхідних для детектування.

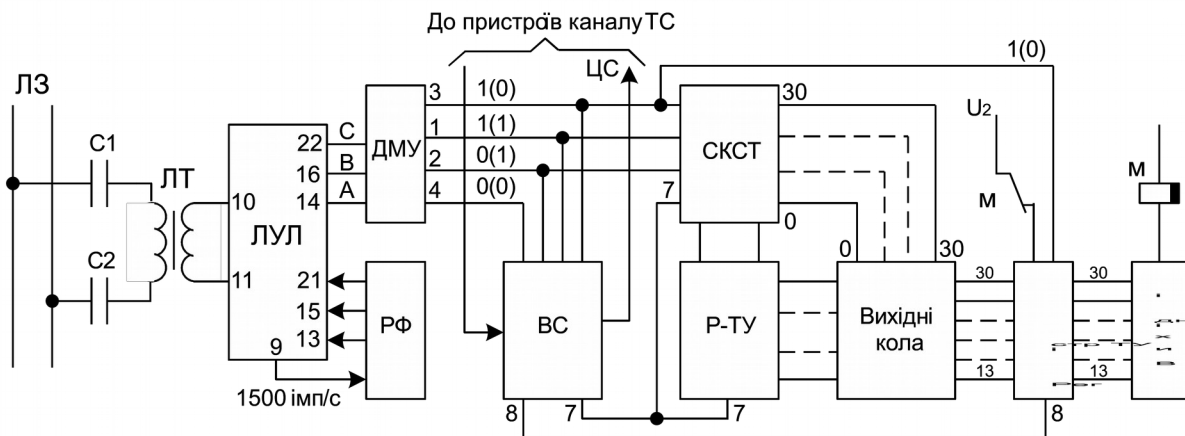


Рис. 6.5. Структурна схема пристроїв каналу ТУ лінійного пункту

Імпульси прямокутної форми частотою 1500 Гц через вихід 9 блока ЛУЛ надходять на вхід роздільника фаз РФ, який формує зразкові послідовності прямокутних імпульсів А₀, В₀, С₀ з частотами 500 Гц, зсунутими по фазі на 120°, тобто на 1/3 періоду. Зазначені зразки сигналів через клеми 13, 15 і 21 блока ЛУЛ надходять на входи трьох фазових детекторів (у складі ЛУЛ), у яких порівнюється фаза сигналу, що надійшов з лінії зв'язку, і зразкового. Сигнал з рівнем логічної «1» виникає на виході того детектора, у якому зафіксовано збіг фаз. У цей же час на виходах двох інших детекторів присутні сигнали з рівнями «0». Всі ці сигнали з виходів 14, 16 і 22 ЛУЛ по шинах А, В, С надходять у демодулятор ДМУ.

У попередніх підрозділах неодноразово йшлося про те, що з центрального поста змінний струм з частотою 500 Гц надходить у лінію зв'язку як під час передавання сигналів ТУ або ЦС (у вигляді послідовності імпульсів з початковими фазами фа, фв, фс), так і за їх відсутності (у цьому випадку фаза змінного струму відповідає фазі останнього імпульсу попереднього сигналу ТУ/ЦС). Тому, якщо в лінійне коло сигнали ТУ або ЦС не надходять, на входах 10-11 ЛУЛ присутній змінний струм з частотою 500 Гц, фаза якого не змінюється. У результаті детектування цього сигналу «1» постійно знаходиться на одній з шин А, В або С, а на двох інших – «0». Схема ДМУ побудована так, що на статичний стан своїх входів демодулятор не реагує; на

його виходах 1, 2 підтримуються сигнали «0» рівня, а на виходах 3 і 4 - «1».

Під час приймання сигналів ТУ та ЦС через кожні 16 мс відбувається зміна фази інформаційного сигналу, тому в шинах А В і С через такі самі проміжки часу сигнал з рівнем «1» зсувається по виходах так само, як і на виходах модулятора МТУ ЦП: при прийманні активного такту положення «1» на виходах ЛУЛ буде зміщуватися в напрямку $A \rightarrow B$, $B \rightarrow C$, $C \rightarrow A$; при прийманні пасивного такту – у напрямку $A \rightarrow C$, $C \rightarrow B$, $B \rightarrow A$.

На виходах ДМУ залежно від якості тактів відбувається короткочасна (близько 2 мс) зміна рівня логічних сигналів. При прийманні активного такту на виході 1 ДМУ сигнал логічного «0» змінюється на сигнал логічної «1», а на виході 3 – логічна «1» змінюється на «0». Якщо приймається імпульс з пасивною якістю, аналогічна зміна спостерігається на виходах 2 і 4.

При прийманні сигналів ТУ або ЦС в момент надходження кожного імпульсу відбувається запуск схеми вимірювання тривалості тактів (ВТТ), що входить до складу ВС. Якщо час між суміжними змінами фази перевищує 34 мс, ВТТ по провідниках 7 і 8 встановлює в початковий стан всі приймальні пристрої. Це дозволяє контролювати безперервність надходження відповідного сигналу, а також фіксувати його закінчення.

Окрім ВТТ, у вузлі синхронізації розташовано дешифратор сигналів ЦС. Він призначений для виділення сигналу циклової синхронізації (1111 – чотири активних зміни фази). У випадку якщо дешифратор фіксує таку послідовність імпульсів, на його виході протягом 2 мс з'являється сигнал логічної «1», що для передавальних пристроїв каналу ТС є командою на встановлення в початковий стан тактових і групових розподільників. Схема дешифратора захищена від «недорахування» та «перерахування» активних тактів у сигналі ЦС, а також від появи пасивних тактів серед активних.

Приймання сигналу ТУ починається з пасивного такту (на відміну від сигналу ЦС), що дозволяє пристроям ЛП ввімкнути відповідний комплект апаратури. Під час приймання сигналу ТУ працюють розподільник Р-ТУ, вихідні кола, реєстр сигналів ТУ і схема вихідних реле. Схема контролю лічби тактів перевіряє в кожному новому такті сигналу ТУ фактичне перемикання

розподільника в нову позицію і утворення нового вихідного кола. Якщо ці операції не виконуються, то затримується перемикання схеми ДШУ в нові позиції і приймання сигналу припиняється.

6.5.1. Фазовий детектор

Ключовим моментом у роботі приймальних пристроїв каналу ТУ ДЦ «ЛУЧ» є детектування сигналів телеуправління на лінійних пунктах. Слід зазначити, що в ДЦ «ЛУЧ» у процесі детектування якість окремих імпульсів сигналу не визначається – це завдання вирішує демодулятор ДМУ, аналізуючи напрям зсуву «1» на входах А, В, С (тобто характер зміни комбінацій сигналів постійного струму). Однак саме ці комбінації і формує з прийманням сигналів ТУ фазовий детектор (ФД). ФД входить до складу блока лінійного підсилювача ЛУЛ. Від якості його роботи залежить безвідмовність каналу телеуправління, а з урахуванням того, що по каналу ТУ можуть передаватися відповідальні команди, і безпечність.

Крім ЛУЛ, з наявними у його складі пристроями в детектуванні сигналів ТУ задіяний роздільник фаз (рис. 6.5). Раніше ми вже говорили про те, що визначити наявність і величину фазового зсуву можна лише порівнюючи інформаційний і зразковий сигнали (див. підрозділ 6.1). Враховуючи, що інформаційний сигнал може мати три реалізації, РФ формує три зразкових сигнали з фазовим зсувом $1/3$ періоду: A_0 , B_0 , C_0 . Принцип роботи роздільника фаз буде розглянуто пізніше.

Структурна схема пристроїв, що здійснюють детектування фазоманіпульованих сигналів ТУ, наведена на рис. 6.6. ЛУЛ містить підсилювальний вузол; генератор тактової частоти ГТЧ з вузлом фазового автопідстроювання ФАП і підсилювачем потужності УМ; підсилювачі-формуваці прямокутних імпульсів УФ1, УФ2; фазові детектори ФД-А, ФД-В і ФД-С для трьох значень фази; пристрої електроживлення (на схемі не показані).

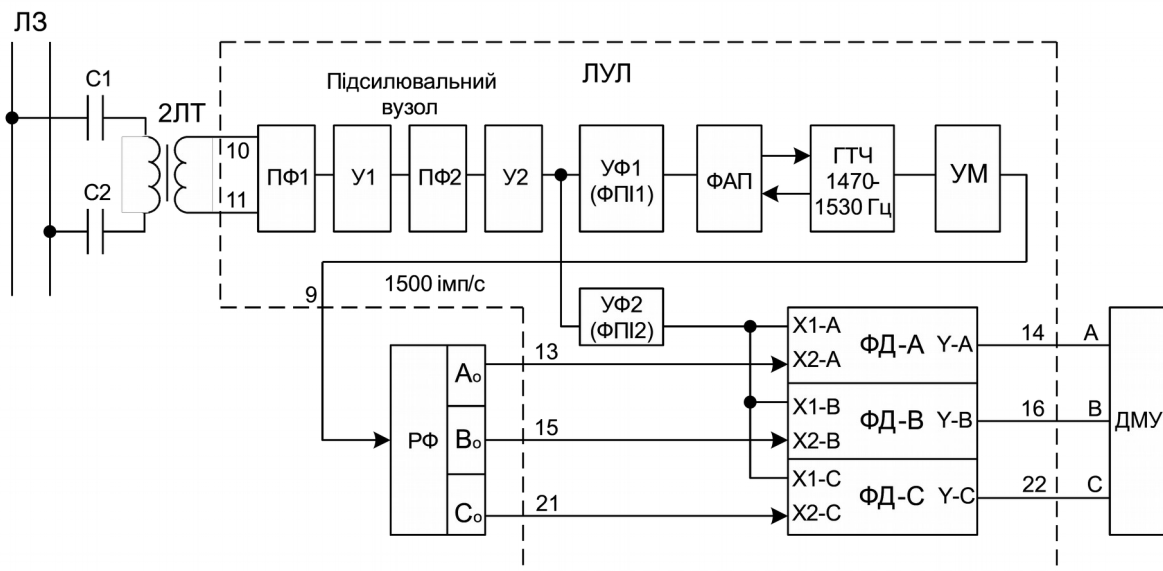


Рис. 6.6. Структурна схема пристроїв детектування ФМ сигналу

Підсилювальний вузол містить два підсилювачі У1 і У2, вхідний фільтр ПФ1 і міжкаскадний фільтр ПФ2. Операційні підсилювачі У1 і У2 мають однакові схеми з глибоким негативним зворотним зв'язком, що знижує ймовірність їх самозбудження. Фільтри ПФ1 і ПФ2 забезпечують послаблення сигналів ТС на частотах всіх паралельних каналів (див. рис. 6.1) не менше 50 дБ, при цьому загасання сигналу ТУ на частоті 500 Гц не перевищує 18 дБ.

Розрахунковий робочий рівень сигналу на вході підсилювального вузла мінус 35 дБ (14 мВ), у той час як його чутливість (мінімальний рівень, при якому стійко працюють формувачі УФ1 і УФ2) становить мінус 41 дБ (7 мВ). Таким чином, забезпечується необхідний запас чутливості схеми [5].

Робота фазового детектора

Вузли УФ1, УФ2 формують змінну напругу з частотою і фазою інформаційного сигналу, проте форма цієї напруги – прямокутна. Тим не менш, для пояснення принципу дії фазового детектора скористаємося припущенням, що сигнали на виході цих пристроїв, тобто на входах детектора, є послідовностями однополярних імпульсів.

Загальна схема фазового детектора включає в себе три індивідуальних (спеціалізованих): ФД-А, ФД-В, ФД-С. Кожен такий детектор має інформаційний вхід, вхід опорного сигналу і один вихід. Інформаційні входи фазових детекторів об'єднані і

підключені до виходу формувача прямокутних імпульсів ФПІ2, а входи опорних сигналів – до виходів роздільника фаз.

Індивідуальні фазові детектори (ІФД) здійснюють порівняння прийнятого сигналу зі «своїм» зразковим. Наприклад, для ФД-А як зразкова використовується опорна напруга з «нульовим» фазовим зсувом (вихід A_0 РФ). У разі повного збігу фаз інформаційного і опорного сигналів на виході детектора має з'явитися постійна напруга з рівнем логічної «1» (рис. 6.7), за наявності зсуву - «0».

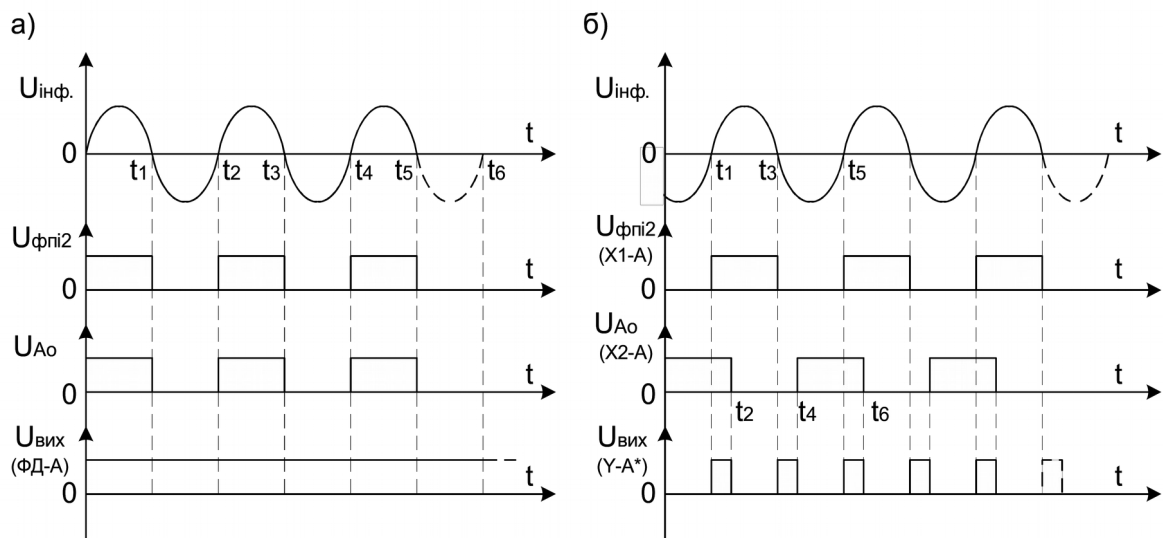


Рис. 6.7. Діаграми синфазних (а) і несинфазних (б) сигналів на вході індивідуального фазового детектора і відповідні сигнали на його виході

Формувачем ФПІ2 і роздільником фаз вхідні, а самим ІФД – його вихідний сигнал, приведені до вигляду логічних змінних. Тобто ці сигнали можуть приймати тільки два значення: напруга високого рівня («1»); напруга низького рівня («0»). Кожен ФД повинен формувати на виході напругу з рівнем «1», якщо сигнали на його входах однакові ($X1=X2=1$ або $X1=X2=0$ (рис. 6.7, а)); в усіх інших випадках – «0». Вирішення такого завдання було розглянуто в розділі 2. Тому наведемо лише таблицю істинності і структурно-логічну схему пристрою, здатного виконувати функції індивідуального фазового детектора (див. рис. 6.8). На вхід $X1$ -і з ФПІ2 подається інформаційний сигнал, на вхід $X2$ -і – один із зразкових (або навпаки); « i » – номер ІФД.

За відсутності фазового зсуву між вхідними сигналами (рис. 6.7, а) протягом відрізка часу $0-t_1$ на обох входах фазового

детектора присутні напруги з рівнями логічної «1». У результаті «1» з'являється на виході логічного елемента І1 (рис. 6.8, б), а потім і на виході елемента АБО1.

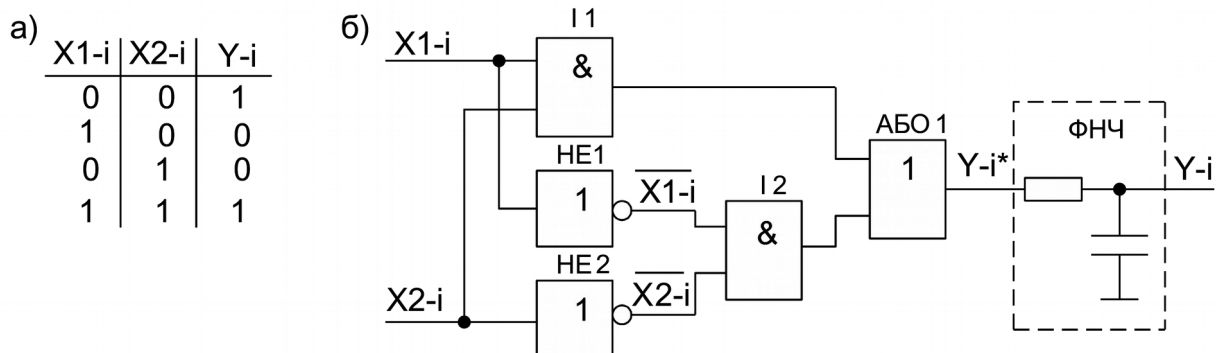


Рис. 6.8. Таблиця істинності (а) і структурно-логічна схема (б) індивідуального фазового детектора

На відрізку часу t_1-t_2 на обох входах (X_{1-i} , X_{2-i}) присутні сигнали з рівнями логічного «0». Такий стан входів відстежать інвертори HE1, HE2, I2 та по нижньому входу елемент АБО1, підтримуючи на виході $Y-i^*$ сигнал з рівнем «1». В інтервалах t_2-t_3 , t_3-t_4 і т. д. схема працює аналогічно.

Якщо на входах фазового детектора, побудованого за схемою рис. 6.8, б, присутні несинфазні сигнали (рис. 6.7, б), на його виході формується безперервна імпульсна послідовність. У ті моменти часу, коли вхідні сигнали мають протилежні значення ($0-t_1$, t_2-t_3 , t_4-t_5 , ...) вихідний сигнал має низький рівень («0»), в інтервалах t_1-t_2 , t_3-t_4 , t_5-t_6 і т. д. при однакових значеннях вхідних змінних вихідна напруга відповідає рівню логічної «1».

Таким чином, якби індивідуальні фазові детектори будувалися за схемою, наведеною на рис. 6.8, б, при прийманні з лінії зв'язку сигналу з частотою 500 Гц і якою-небудь фазою (наприклад А) на одному виході фазового детектора (ФД-А) була б присутня постійна напруга з рівнем логічної «1», на двох інших спостерігалися б безперервні імпульсні послідовності (рис. 6.7, б). Демодуляція таких сигналів була б неможливою. Тому до складу індивідуальних фазових детекторів введено фільтри нижніх частот (ФНЧ), що зменшують зазначені пульсації напруги до прийнятних значень. У наведеній на рис. 6.7, б діаграмі ($U_{вих}$, $Y-A^*$) ці пульсації виглядають як послідовність однополярних імпульсів, але в реальних детекторах, що оперують з

різнополярними вхідними сигналами, вихідний – також різнополярний. Оскільки в такому сигналі відсутня постійна складова, після фільтрації ФНЧ залишкова напруга пульсацій виявляється гарантовано нижчою рівня «0».

Примітка. У реальних ФД фільтри нижніх частот побудовані за схемою, що відрізняється від наведеної на рис. 6.8, б.

6.5.2. Роздільник фаз

Роздільник фаз призначений для формування зразкових послідовностей імпульсів з частотами 500 Гц, зсунутих по фазі один відносно одного на $1/3$ періоду. Керує роботою РФ генератор тактової частоти, від якого на вхід РФ надходить безперервна послідовність імпульсів з частотою 1500 імпульс/с (у середньому).

Алгоритм роботи РФ можна пояснити за допомогою діаграми, наведеної на рис. 6.9. Частота надходження тактових імпульсів, що керують роботою роздільника фаз, у три рази вища від частоти вихідних зразкових сигналів, а їх період, природно, у три рази менший (тобто становить $1/3$ періоду вхідної послідовності). Тому вихідні сигнали повинні бути зсунуті один відносно одного на 1 період (імпульс + інтервал) вхідної послідовності імпульсів. За тривалістю цикл роботи РФ дорівнює трьом періодам (шести тактам) роботи ГТЧ. Причому на виході Ао сигнал з рівнем «1» повинен підтримуватися протягом 1-го, 2-го і 3-го тактів (4, 5, 6 - «0»); на виході Во логічна «1» має бути присутня під час 1-го, 5-го і 6-го тактів; на виході Со – на 3-му, 4-му і 5-му.

Це завдання може бути вирішено за допомогою схеми, наведеної на рис. 6.10. За своєю суттю РФ є дещо зміненим класичним розподільником на шість виходів, до яких підключені три логічних елементи АБО. За їх допомогою «відстежуються» ті такти в межах циклу, під час яких (згідно з наведеною на рис. 6.9 діаграмою) роздільник фаз повинен формувати на відповідних виходах сигнали з рівнем «1».

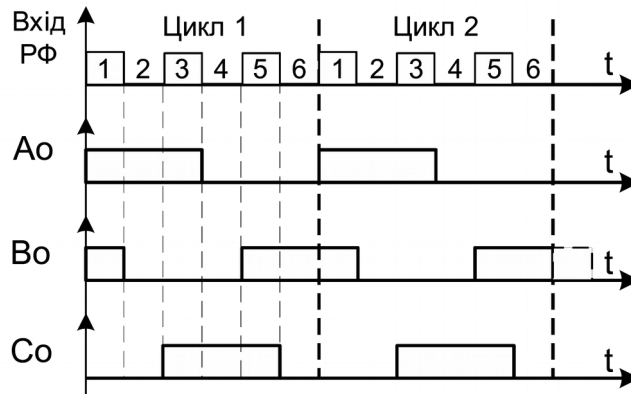


Рис. 6.9. Часова діаграма роботи роздільника фаз

Лічильник і дешифратор стану лічильника утворюють розподільник. Лічильник має три тригери, причому тригер молодшого розряду включений як повторювач входних імпульсів, два інших – за схемою з загальним входом. Схема скорочення лічби обмежує тривалість циклу роботи РФ до шести тактів.

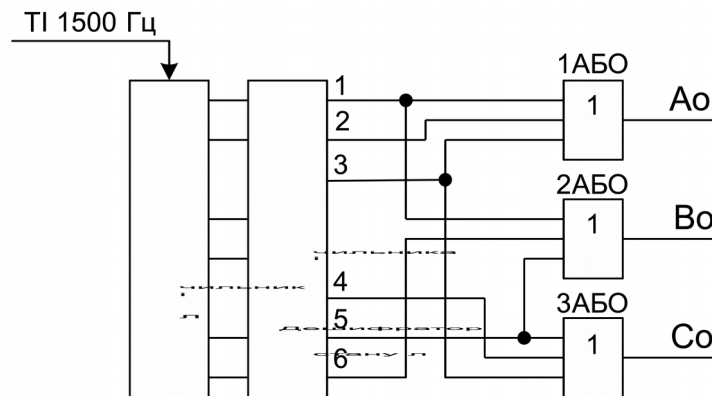


Рис. 6.10. Структурна схема роздільника фаз

Дешифратор стану лічильника являє собою шість логічних елементів І, кожен з яких фіксує певний такт роботи лічильника. Виходи цих логічних елементів є виходами дешифратора (1–6). З надходженням тактових імпульсів на вхід лічильника одиниця на виході дешифратора циклічно зсувається в напрямку $1 \rightarrow 2 \rightarrow 3 \rightarrow 4 \rightarrow 5 \rightarrow 6 \rightarrow 1 \rightarrow 2 \rightarrow 3 \rightarrow 4 \rightarrow 5 \rightarrow 6 \rightarrow 1 \dots$ і т. д. Входи логічного елемента 1АБО підключені до 1-го, 2-го, і 3-го виходів розподільника, завдяки чому в кожному циклі роботи РФ на виході A_0 «одиниця» присутня протягом 1–3 тактів, логічний «0» – протягом 4–6 тактів. Підключення елементів 2АБО і 3АБО

дозволяє отримати на виходах $В_0$ і $С_0$ зразкові послідовності імпульсів відповідно до діаграми, наведеної на рис. 6.9.

6.5.3. Вузол фазового автопідстроювання

Для коректної роботи фазового детектора сигнал, що приймається з лінії зв'язку, повинен співпадати за фазою з одним із зразкових. Однак зразкові сигнали для роботи передавача сигналів ТУ на ЦП і приймальних пристроїв лінійних пунктів формуються роздільниками фаз, що отримують тактові імпульси від різних ГТІ. (Один знаходиться на ЦП, інші – на ЛП.) Природно, що в цій ситуації в послідовностей імпульсів на виходах РФ-ЦП і РФ-ЛП може спостерігатися відмінність і за частотою, і за фазою. Тому без прийняття спеціальних заходів щодо синхронізації роботи роздільників фаз ЦП і ЛП стійке приймання сигналів ТУ неможливе (див. п. 6.5.1).

У ДЦ «ЛУЧ» прийнято такий принцип синхронізації: передавальні пристрої центрального поста (зокрема РФ) є «ведучими» і працюють незалежно від пристроїв лінійних пунктів; пристрої ЛП – «ведені», у процесі роботи підлаштовуються під сигнал, що приймається з лінії зв'язку.

Завдання синхронізації на ЛП вирішує вузол фазового автопідстроювання (ФАП) і керований цим вузлом генератор тактової частоти ГТЧ (рис. 6.6). В ідеалі інформаційний сигнал на виході ФП2 повинен співпадати за фазою з одним із опорних сигналів на виході РФ (рис. 6.11, а). Припустимо, що ця вимога в якийсь момент не виконується (рис. 6.11, б).

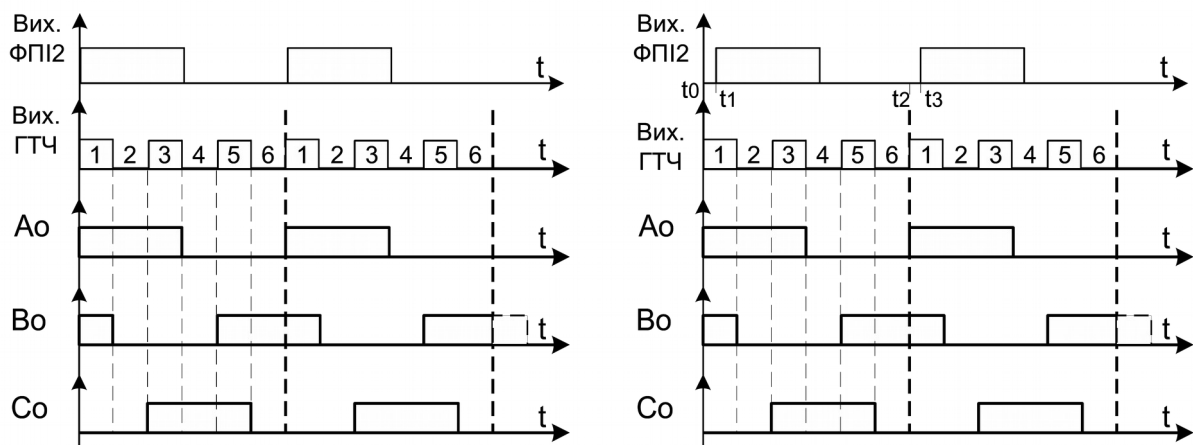


Рис. 6.11. Часові діаграми роботи вузла ФПІ2 і РФ

Фронти імпульсів зразкових сигналів жорстко «прив'язані» до фронтів тактових імпульсів, формованих ГТЧ. Якщо передній фронт імпульсу на виході ФПІ2 не збігається з переднім фронтом тактового імпульсу, то несинфазними виявляться і сигнали на входах фазового детектора (інформаційний і зразковий). У наведеному на рис. 6.11, б прикладі інформаційний імпульс запізнюється відносно тактового імпульсу, а отже, і зразкового сигналу A_o на час $\Delta t_1 = t_1 - t_0$. (Або, що те саме, тактовий імпульс випереджає інформаційний на час Δt_1 .)

Примітка. Під «послідовністю інформаційних імпульсів» або «інформаційними імпульсами» слід розуміти змінний струм, фазу якого слід визначити. В імпульси прямокутної форми цей змінний струм був перетворений ФПІ2 виключно для полегшення детектування..

Якщо частота надходження тактових імпульсів на виході ГТЧ залишиться незмінною, під час наступного інформаційного імпульсу запізнювання ($\Delta t_2 = t_3 - t_2$) виявиться таким же, як і на відрізку $t_1 - t_0$, що врешті-решт може ускладнити детектування сигналу. Вузол ФАП і ГТЧ в процесі роботи визначають характер запізнювання і прагнуть його мінімізувати. Вплинути на значення Δt_i можна, лише змінивши робочу частоту ГТЧ. У випадку, коли характер асинхронізму відповідає діаграмі, наведеній на рис. 6.11, б, для зменшення Δt_2 необхідно збільшити період слідування тактових імпульсів, формованих ГТЧ (тобто знизити його робочу частоту). Генератори тактових імпульсів у складі ЛУЛ побудовані таким чином, що можуть працювати на двох частотах: 1530 Гц і 1470 Гц. Якщо керуючий вплив з боку вузла ФАП відсутній –

ГТЧ працює на частоті 1530 Гц. Щоб знизити тактову частоту, до кіл керування генератором підключається додатковий конденсатор. Вузол ФАП аналізує характер асинхронізму, визначаючи, який з імпульсів є випереджальним, а який – запізнюється, і за результатами аналізу впливає на схему управління ГТЧ. Схема фазового автопідстроювання містить елемент пам'яті, що запам'ятовує в кожній контрольній точці необхідний характер впливу на ГТЧ і здійснює його. Проілюструємо роботу вузла ФАП за допомогою схеми, наведеної на рис. 6.12.

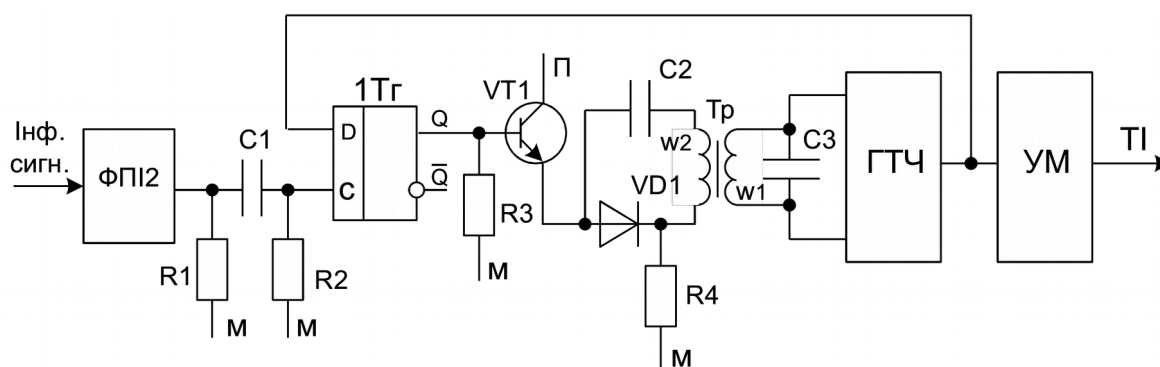


Рис. 6.12. Структурна схема вузла фазового автопідстроювання

Робоча частота генератора ГТЧ визначається власною резонансною частотою коливального контуру, утвореного конденсатором $C3$ та індуктивністю первинної обмотки трансформатора Tr , і складає 1530 Гц. Для зниження частоти до коливального контуру підключається конденсатор $C2$. Завдяки наявності індуктивного зв'язку між первинною і вторинною обмотками трансформатора підключення конденсатора $C2$ до вторинної обмотки еквівалентне підключенню до первинної, причому паралельно конденсатору $C3$. У результаті збільшення сумарної ємності конденсаторів, підключених до коливального контуру, його власна резонансна частота знижується.

Підключення конденсатора $C2$ до контуру здійснюється поданням позитивного зсуву на діод $VD1$. При закритому транзисторі $VT1$ струм у вторинній обмотці трансформатора не протікає, оскільки для однієї напівхвилі індукованої у вторинну обмотку напруги в неспровідному напрямку включений діод $VD1$, а для іншого - перешкодою є заряджений конденсатор $C2$. При такому стані схеми робоча частота ГТЧ становить 1530 Гц. При

відкритті VT1 на діод подається позитивний зсув, внаслідок чого діод починає пропускати струм в обох напрямках, фактично підключаючи конденсатор C2 до вторинної обмотки, а отже, і до кола керування ГТЧ. Робоча частота генератора знижується.

Транзистором VT1 керує тригер 1Тг. Якщо тригер знаходиться в «нульовому» стані, низька напруга на виході Q створює умови для закриття транзистора VT1 і забезпечує роботу генератора на частоті 1530 Гц. У випадку, коли тригер встановлений в «1», VT1 відкритий високою напругою з «прямого» виходу тригера, а ГТЧ працює на частоті 1470 Гц.

Зміна стану тригера можлива лише в моменти надходження синхроімпульсів на його вхід С залежно від стану входу даних D. У схемі, наведеній на рис. 6.12, на вхід D подається сигнал з виходу ГТЧ, тобто тактові імпульси. Якщо в момент формування синхронізуючого імпульсу («1» на вході С) на вході D присутній сигнал з рівнем логічної «1», тригер встановиться в «1», якщо на вході D - «0», тригер встановиться в «0». Формування синхроімпульсів здійснює вузол, що включає в себе формувач прямокутних імпульсів ФП2, резистори R1, R2 і конденсатор C1. По передньому фронту кожного інформаційного імпульсу, що приймається з лінії зв'язку, ці елементи формують короткий синхроімпульс, тривалість якого залежить від сталої кола заряджання конденсатора C1. Розряджання конденсатора C1 відбувається в інтервалах між інформаційними імпульсами.

Часова діаграма роботи вузла ФАП наведена на рис. 6.13.

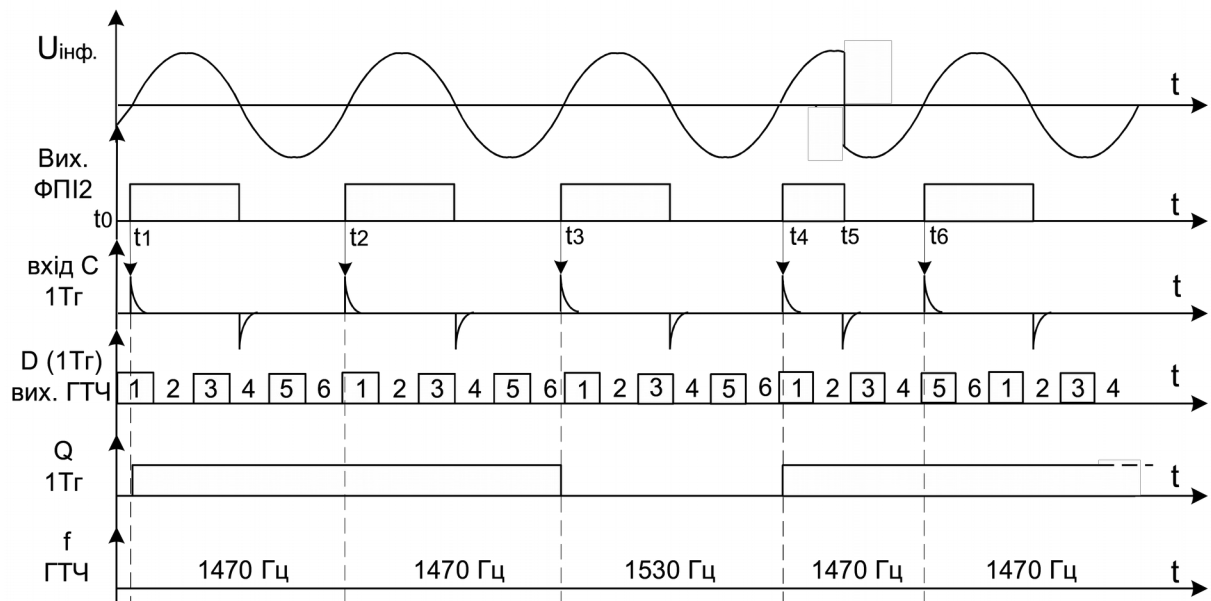


Рис. 6.13. Часова діаграма роботи вузла ФАП и ГТЧ

У момент часу t_0 ГТЧ формує передній фронт тактового імпульсу – одного з безперервної послідовності, що керує роботою роздільника фаз. З виходу ГТЧ ці імпульси колом зворотного зв'язку подаються на вхід «D» тригера 1Тг (рис. 6.12). Нехай з деяким запізненням ($\Delta t_1 = t_1 - t_0$) на виході ФП2 формується передній фронт інформаційного імпульсу. Саме в цей момент у результаті заряджання конденсатора С1 на вході «С» тригера 1Тг формується короткий синхроімпульс, що дозволяє запис інформації в тригер. Оскільки в цей час (t_1) на вході D присутня «1», тригер встановлюється в одиничній стан – на його виході Q з'являється напруга високого рівня, що відкриває транзистор VT1 і підключає конденсатор С2 до коливального контуру. Частота формування тактових імпульсів на виході ГТЧ знижується до 1470 Гц. Після закінчення синхроімпульсу (незалежно від стану входу D) стан тригера змінитися вже не може, тому характер впливу на схему управління генератором, а отже, і його робоча частота зберігаються до наступної «контрольної точки».

У результаті зниження частоти і збільшення періоду слідування тактових імпульсів за час $t_1 - t_2$ запізнювання фронту інформаційного імпульсу відносно тактового зменшиться. Однак характер асинхронізму залишається тим самим: тактовий імпульс випереджає інформаційний.

У момент часу t_2 по передньому фронту чергового інформаційного імпульсу на вході «С» тригера 1Тг знову формується синхроімпульс. Оскільки і в цьому випадку на вході D вже присутня «1» з виходу ГТЧ, тригер свій стан не змінює, робоча частота ГТЧ залишається колишньою – 1470 Гц. (У момент t_2 зміна стану 1ТГ не відбулася, тому що тригер вже знаходився в «1».)

Протягом інтервалу $t_2 - t_3$ характер асинхронізму змінюється – тепер вже інформаційний імпульс випереджає тактовий. Синхроімпульс формується в той час, коли на вході D присутня напруга низького рівня («0»). У результаті тригер 1Тг встановлюється в «0», транзистор VT1 закривається, а робоча частота ГТЧ підвищується до 1530 Гц, зменшуючи період надходження тактових імпульсів і прагнучи змінити знак запізнювання.

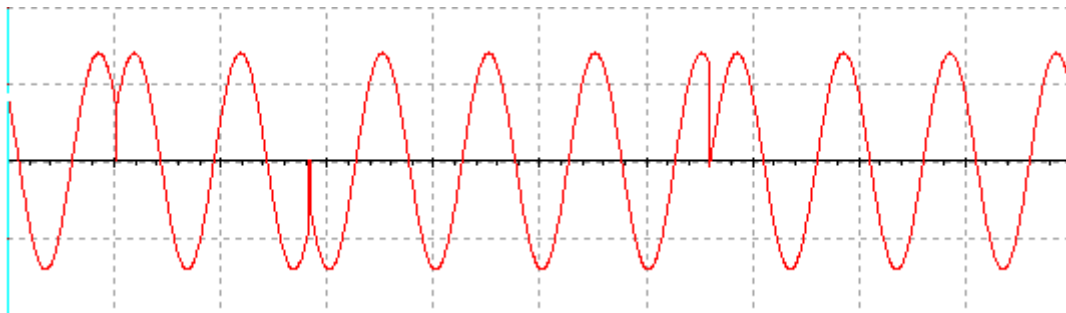
Надалі вузли ФАП і ГТЧ працюють аналогічно, забезпечуючи мінімальний (прийнятний) фазовий зсув між інформаційним сигналом і зразковими то з одним знаком, то з іншим.

Зміна фази інформаційного сигналу в процесі приймання сигналу ТУ не призведе до розсинхронізації передавальних і приймальних пристроїв і не порушить роботу вузла ФАП. Нехай у момент часу t_5 фаза інформаційного сигналу змінилася на $+120^\circ$ (рис. 6.13). Завдяки тому, що $1/3$ періоду інформаційного сигналу дорівнює одному періоду тактових імпульсів, інформаційні імпульси, що приймаються з лінії зв'язку (їх передні фронти), все одно будуть співпадати з фронтами одного з тактових імпульсів. У розглянутому прикладі починаючи з моменту часу t_6 передні фронти інформаційних імпульсів збігаються з тактовими імпульсами N 3 (такт № 5) (до цього моменту – з імпульсами N 1, такт № 1). Саме в ці моменти і здійснюватиметься фазове автопідстроювання. В іншому робота вузла ФАП і ГТЧ протікає без змін.

Більш детально ознайомитись з диспетчерською централізацією «ЛУЧ» можна, користуючись проектною документацією на систему або рекомендованою літературою [5].

Контрольні питання до розділу

1. Дайте експлуатаційно-технічну характеристику ДЦ «ЛУЧ».
2. За якими показниками диспетчерська централізація «ЛУЧ» переважає ДЦ «НЕВА»?
3. Яку кодову відстань має код адреси ЛП в ДЦ «ЛУЧ» і помилки якої кратності здатен виявляти?
4. Яка кількість двійкових розрядів використовується в ДЦ «ЛУЧ» для кодування адреси ЛП і яка максимальна кількість керованих лінійних пунктів?
5. Який з видів модуляції застосовується для побудови сигналів ТУ в ДЦ «ЛУЧ»? Що він собою являє?
6. Якій кодовій комбінації відповідає наведена нижче еюра фазоманіпульованого сигналу?



7. Користуючись схемою, наведеною на рис. 6.4, поясніть, яким чином здійснюється формування сигналів ТУ.
8. За схемою, наведеною на рис. 6.5, поясніть, як взаємодіють пристрої ЛП під час приймання сигналів ТУ.
9. Поясніть призначення і принцип дії фазового детектора.
10. Виконання яких функцій покладено на роздільники фаз передавача і приймача сигналів ТУ в ДЦ «ЛУЧ»?
11. Як здійснюється синхронізація передавальних і приймальних пристроїв каналу ТУ?
12. У якому стані повинні знаходитись входи D і C тригера 1Тг (рис. 6.12), щоб робоча частота генератора тактових імпульсів дорівнювала 1530 Гц ?
13. На яких виходах роздільника фаз (рис. 6.10) буде присутній сигнал з рівнем логічної «1» упродовж 5-го (або будь-якого іншого) такту роботи роздільника?
14. Який пристрій у складі приймача сигналів ТУ визначає якість окремих імпульсів сигналу? Як саме?

7. МІКРОПРОЦЕСОРНІ СИСТЕМИ ДИСПЕТЧЕРСЬКОЇ ЦЕНТРАЛІЗАЦІЇ

7.1. Автоматизація інформаційного забезпечення поїзних диспетчерів

Поїзні диспетчери дільниць і вузлів (ДНЦ, ДНЦУ) є безпосередніми організаторами виконання завдань змінно-добового плану поїзної і вантажної роботи на дільниці або у вузлі. Кінцевою метою їх діяльності є забезпечення безперешкодного пропускання поїздів всіх категорій по перегонах і станціях; своєчасне розвезення завантажених і порожніх вагонів по станціях навантаження – вивантаження та їх вивезення з дільниці, вузла; організація вантаження маршрутів і здачі порожніх вагонів у регулювання; ефективне використання перевізних засобів, пропускної та переробної здатностей дільниць і станцій з безумовним забезпеченням безпеки руху.

У процесі керування по кожному напрямку діяльності диспетчер виконує операції 20-22 видів. При цьому відмінність у складі операцій, у першу чергу, пов'язана з видом діючих на дільниці засобів СЦБ: електричної централізації, автоблокування, напівавтоматичного блокування, пристроїв диспетчерської централізації або диспетчерського контролю. Істотну специфіку в роботу ДНЦ вносить належність диспетчерського кола до вузла. У таких випадках ДНЦ, крім традиційних функцій, повинен здійснювати управління парком передавальних локомотивів в ув'язці з процесом формування поїздів на сортувальних і вантажних станціях; організацію просування місцевого вагонопотоку з урахуванням ходу вантажної роботи на станціях вузла та інші. Для підвищення продуктивності праці поїзного диспетчера, якості його діяльності з управління рухом поїздів, звільнення диспетчера від рутинних операцій і переходу до безпаперової технології керівництва роботою дільниці доцільно автоматизувати операції, на виконання яких витрачається найбільша кількість робочого часу:

- ведення графіка виконаного руху поїздів;
- ведення додатка до графіка (одержання і запис даних про склади поїздів);

- вибір варіантів диспетчерського регулювання – розроблення планів-графіків руху поїздів і його поточних коригувань (прогнозного графіка);

- складання плану пропускання поїздів по дільниці на початку зміни;

- складання, передавання і реєстрація диспетчерських наказів;

- приготування маршрутів поїздам на станціях ділянок з ДЦ;

- отримання та передавання інформації про підходи поїздів.

Так, наприклад, при автоматизації процесів ведення графіка виконаного руху та додатка до нього, видачі та реєстрації диспетчерських наказів автоматизується формування звітно-облікових документів: графіка виконаного руху; додатка до графіка (даних про склади поїздів); журналу диспетчерських наказів. Основними функціями диспетчера в умовах такого рівня автоматизації стають введення-виведення інформації, оцінка ходу перевізного процесу на дільниці, прийняття рішень з раціоналізації поточних планів і регулювальних заходів у діалозі з ЕОМ, зв'язок з учасниками перевізного процесу. З прийнятною похибкою загальне зниження завантаження диспетчера в цьому випадку можна прийняти рівним 30-40 % тривалості 12-годинної зміни, що рівноцінно підвищенню продуктивності диспетчерської праці в 1,4-1,8 разу [3, 6].

На мікропроцесорні системи диспетчерської централізації покладається завдання не тільки автоматизувати виконання ряду функцій управління, а й забезпечити диспетчера в реальному масштабі часу своєчасною, повною та достовірною інформацією про стан кожного об'єкта управління (поїзд, вагон, локомотив, станція, перегін, локомотивна бригада тощо). Інформація повинна бути детальною або інтегрованою, зведеною або вибірковою, підготовленою до зручного її використання при вирішенні того чи іншого завдання. Крім того, у процесі своєї роботи диспетчер має потребу в аналітичній інформації про кількісні і якісні показники роботи дільниці. Інформаційне забезпечення систем ДЦ або ДК має розроблятися цілеспрямовано для кожного конкретного завдання управління, що вирішується диспетчером. У першу чергу необхідно забезпечити автоматизацію представлення найбільш важливої, трудомісткої в отриманні інформації.

Під час виконання функцій керування диспетчер найчастіше має справу з поїзним становищем на перегонах і станціях; нормативним графіком руху поїздів; графіком виконаного руху (ГІД); прогнозним графіком пропускання поїздів; даними про склади поїздів; наявністю обмежень у пропускання поїздів по перегонах і станціях; диспетчерськими наказами; планами відправлення поїздів зі станцій формування; планом експлуатаційної роботи дільниці (вузла); даними про локомотиви і локомотивні бригади; запізненнями поїздів (відхиленнями від графіка); даними про хід вантажної роботи на станціях дільниці (вузла); наявністю і станом вагонного парку. Диспетчер систематично використовує характеристики станцій і перегонів; зіставляє ГІД з нормативним графіком, контролює виконання графіка з відправлення та проходження поїздів кожної категорії: вантажних, пасажирських, приміських, господарських; контролює приймання-здавання поїздів і вагонів по стикових пунктах, приймання, розформування і відправлення поїздів технічними станціями та виконання інших планових завдань. Перспективним і ефективним завданням (з точки зору впливу на перевізний процес) є автоматизація розроблення оптимальних графіків руху з можливістю зміни критеріїв оптимізації.

7.2. Функції мікропроцесорних систем ДЦ

Очевидно, що можливості систем ДЦ і ДК з жорсткою логікою функціонування не дозволяють повною мірою вирішити той перелік завдань, який сформульовано у попередньому підрозділі. Разом з тим сучасний рівень розвитку засобів обчислювальної техніки, що характеризується їх високою швидкістю, наявністю пристроїв довготривалого зберігання інформації, що не мають механічних вузлів, високою безвідмовністю навіть у побутових або офісних варіантах виконання, широким вибором засобів відображення інформації, створює передумови для побудови систем управління та контролю нового типу, здатних задовольнити вимоги сучасного етапу розвитку ЗТ.

Використання засобів обчислювальної техніки в комплексі з пристроями систем залізничної автоматики, телемеханіки та

зв'язку дозволяє автоматизувати переважну більшість функцій управління і контролю технологічного процесу – руху поїздів, і забезпечити можливість обміну інформацією з уже діючими та перспективними АСУ залізничного транспорту.

Мікропроцесорні системи диспетчерської централізації призначені для реалізації сучасних принципів управління експлуатаційною роботою [6]:

- організація диспетчерського управління рухом поїздів на дільницях і напрямках залізничних ліній;

- організація управління рухом у вузлах з регіональних і дорожніх центрів;

- автоматизація ряду типових операцій: ведення графіка виконаного руху поїздів; ведення додатка до графіка (отримання і запис даних про склади поїздів); вибір варіантів диспетчерського регулювання – оперативне розроблення плану-графіка руху поїздів і його поточні коригування (розроблення прогностичного графіка); складання плану пропускання поїздів по дільниці на початку зміни; складання, передавання та реєстрація диспетчерських наказів; приготування маршрутів поїздам на станціях ділянок з ДЦ;

- управління з великих станцій рухом поїздів по прилеглих станціях і пересуваннями у віддалених парках, обладнаних ЕЦ;

- ведення архіву поїзної ситуації, стану пристроїв ЖАТ і дій оперативного персоналу всіх рівнів управління: ДНЦ, ДСП, чергових по переїздах та ін.

Створення мікропроцесорних систем ДЦ передбачає досягнення таких цілей:

- виробничо-економічні, включаючи скорочення чисельності чергових по станціях, покращення організації керівництва рухом поїздів, скорочення втрат у перевізному процесі та інтенсифікацію використання технічних засобів ЗАТ, рухомого складу, підвищення продуктивності праці, покращення експлуатаційних показників роботи дільниць;

- соціальних, які передбачають покращення умов і культури праці, зниження завантаження диспетчерського персоналу;

- зменшення капітальних вкладень (наприклад, за рахунок зменшення займаної апаратурою ДЦ площі), скорочення обсягів і

строків проведення проектних, будівельно-монтажних і пуско-налагоджувальних робіт;

- скорочення чисельності оперативного та обслуговуючого персоналу;

- зниження завантаження персоналу і відповідне цьому розширення зони управління;

- покращення показників виконання графіка руху поїздів і вантажної роботи;

- скорочення необхідного парку вагонів і локомотивів для забезпечення перевезень;

- зниження матеріало- та енергоємності обладнання.

Характеристика об'єктів автоматизації

Для впровадження на полігоні залізниць мікропроцесорних систем диспетчерського управління необхідно, щоб станції та перегони дільниці були обладнані системами інтервального регулювання руху поїздів, оснащені пристроями зв'язку. У якості систем ІРРП перегонів повинні застосовуватися системи автоматичного блокування (або напівавтоматичного блокування, доповненого пристроями контролю прибуття поїзда в повному складі). Остання вимога обумовлена необхідністю автоматичного контролю цілісності поїздів. До впровадження ДЦ цю функцію виконували чергові по станціях візуальною перевіркою наявності хвостового вагона. При автоблокуванні контроль вільності перегонів забезпечується рейковими колами.

Станції, обгінні пункти, роз'їзди диспетчерської дільниці повинні бути обладнані системами електричної (релейної, релейно-процесорної або мікропроцесорної) централізації стрілок і сигналів.

Системи ДЦ повинні розроблятися з урахуванням можливості використання ліній, систем та інших типових засобів залізничного зв'язку.

Вид управління кожним роздільним пунктом (диспетчерське (ДУ) або автономне (АУ)) і протяжність дільниці визначаються виходячи з завантаження чергових по станціях і поїзного диспетчера.

Обсяг і зміст інформації, що передається каналами ТУ та ТС, визначаються в процесі проектування і прив'язки до конкретної дільниці залізниці і повинні забезпечувати виконання

функцій системи ДЦ. До числа контрольованих об'єктів обов'язково включаються ділянки наближення і віддалення на прилеглих до станцій перегонах, бажаним є контроль блоку-ділянок на перегонах. У повному обсязі повинен забезпечуватися контроль колійних об'єктів (стрілок, світлофорів, рейкових кіл) на станціях як з диспетчерським, так і з автономним управлінням. Це надасть диспетчеру повну інформацію про поїзну технологічну обстановку.

На дільницях з ДЦ, разом з іншими видами оперативно-технологічного зв'язку, повинен бути передбачений поїзний радіозв'язок, що підключається до кіл поїзного диспетчерського зв'язку. На станціях з АУ поїзний радіозв'язок повинен бути орієнтований на ДСП, який за необхідності підключає диспетчера.

Вимоги до мікропроцесорних систем ДЦ

Формально вимоги до мікропроцесорних систем ДЦ та вимоги до систем диспетчерської централізації з жорсткою логікою функціонування визначені правилами технічної експлуатації залізниць (див. підрозділ 1.4 [12, 13]). Однак до мікропроцесорних систем висувається ряд додаткових, специфічних вимог.

Об'єктами управління і контролю систем ДЦ на полігоні залізниці (дільниці, станції, вузлі) є системи залізничної автоматики та їх елементи, а саме стрілки, світлофори, рейкові кола, шлагбауми, пристрої спеціальних видів сигналізації (тунельної, обвальної, сейсмічної і т. п.); поїзди, вагони, локомотиви.

Структурно система ДЦ повинна включати в себе пристрої пункту управління ПУ, контрольованих пунктів КП, канали зв'язку між КП і ПУ, канали зв'язку для об'єднання ДЦ з іншими автоматизованими системами ЗТ, у тому числі з ДЦ сусідніх диспетчерських дільниць. Апаратура ПУ повинна встановлюватися в безпосередній близькості від робочого місця диспетчера у відділенні залізниці, у регіональному або дорожньому центрі; пристрої КП повинні встановлюватися на постах ЕЦ станцій, що включаються в диспетчерську централізацію.

Ємність системи ДЦ з управління та контролю повинна бути достатньою для застосування на дільниці будь-якої довжини і конфігурації. Це не означає, що ємність системи не повинна мати технічних обмежень. Просто максимальна кількість об'єктів, якими може керувати і контролювати система ДЦ, повинна бути гарантовано більшою від граничного завантаження диспетчера.

Структура ДЦ повинна забезпечувати автономне функціонування кожної системи на «своїй» диспетчерській дільниці при відмовах будь-яких елементів із заданою ймовірністю безвідмовної роботи. Суть цієї вимоги така: відмова одного елемента або пристрою системи ДЦ не повинна призводити до порушення роботоздатності системи, якою обладнано дільницю. Тобто пристрої ПУ і КП, а також канали і засоби зв'язку, що з'єднують ПУ і КП, повинні бути резервовані. Разом з тим резервування каналів зв'язку, які об'єднують систему ДЦ дільниці з іншими системами, не обов'язкове.

Функціонування ДЦ має бути можливим на диспетчерських дільницях будь-якої конфігурації. Каналоутворювальна апаратура ДЦ повинна забезпечувати можливість організації магістральної, радіальної, радіально-магістральної, деревоподібної, змішаної структур каналів зв'язку.

При розробленні ДЦ повинні створюватися засоби автоматизації виготовлення, проектування, налагодження і тестування програмного та інформаційного забезпечення системи.

Введення команд управління повинно здійснюватися з використанням стандартних технічних засобів обчислювальної техніки (клавіатури АРМу, маніпуляторів «миша» і т. п.). Дії диспетчера зі встановлення маршрутів повинні бути однакови незалежно від типу системи ЕЦ на станціях диспетчерського кола. Керуючими впливами диспетчера можуть бути команди телеуправління об'єктами СЦБ; вибір режиму подання інформації, виведеної на екран моніторів; введення в систему даних, що не одержуються автоматично (позначки диспетчера на графіку тощо).

Система повинна передбачати можливість формування команд ТУ в режимах:

- індивідуального управління об'єктами системи;

- маршрутного управління об'єктами ЕЦ із зазначенням початку та кінця маршруту;

- програмного керування (накопичення маршрутів та інших завдань; автоматизоване пропонування маршрутних завдань, що реалізуються за згодою диспетчера; автоматичне керування).

Спосіб передавання даних між КП і ПУ може бути циклічним, спорадичним, спорадично-циклічним.

Система ДЦ повинна бути також ув'язана з інформаційними системами обчислювального центру залізниці; системами автоматизованої видачі попереджень; системами довготривалого планування перевезень вищого рівня (АРМами дорожніх диспетчерів (ДПГ)). Спосіб обміну інформацією з зазначеними системами – спорадичний, з квітуванням повідомлень. Система ДЦ повинна мати доступ і технічні можливості для використання загальних баз даних, що розміщуються на серверах локальних обчислювальних мереж.

Режими функціонування мікропроцесорних систем ДЦ

Основним режимом функціонування системи ДЦ є режим диспетчерського управління (ДУ). У режимі ДУ перевізним процесом керує поїзний диспетчер. Основний режим повинен забезпечувати:

- централізований контроль КП і централізоване управління об'єктами ЕЦ;

- централізований контроль стану зон великих станцій (дільничних, пасажирських, технічних, сортувальних) з необхідним ступенем деталізації інформації;

- централізований контроль і місцеве управління об'єктами;

- комбіноване управління і централізований контроль об'єктів ЕЦ (управління маршрутами в зоні головних колій здійснює ДНЦ, а пересуваннями в інших районах станції - ДСП);

- *допоміжний режим* (режим передавання та виконання відповідальних команд) реалізується у випадку виникнення відмов пристроїв СЦБ. Відповідальні команди виконуються пристроями ЛП без перевірки деяких умов безпеки і надсилаються диспетчером з дотриманням визначеного регламенту. До таких команд належать:

а) аварійна зміна напрямку руху на перегоні, обладнаному двостороннім автоблокуванням;

б) допоміжне розблокування перегону на дільницях з напівавтоматичним блокуванням (штучна дача прибуття поїздів у повному складі);

в) допоміжне переведення стрілок при хибній зайнятості стрілочної секції;

г) штучне розмикання замкнених у маршруті колійних і стрілочних ділянок;

д) керування переїздом, розташованим у межах станції.

Перелік відповідальних команд, які повинні передаватися і виконуватися системою ДЦ, визначає замовник.

Примітки. 1. У Правилах технічної експлуатації залізниць України явно «прописана» тільки одна відповідальна команда – аварійна зміна напрямку руху на перегоні. Однак у Нормам технологічного проектування пристроїв автоматики і телемеханіки перелік відповідальних команд значно розширений: окрім вже вказаної допоміжної зміни напрямку руху передбачається переведення стрілок без контролю вільності стрілочної ділянки, штучне розмикання секцій маршруту, вмикання і вимикання переїзної сигналізації на переїздах, у ділянки наближення до яких входять станційні колії, штучне замикання і розмикання стрілок у разі дозволу руху поїзда під забороняюче показання світлофора.

2. Користування відповідальними командами допускається після перевірки на місці стану стрілочного переводу, колійних стрілочних ділянок і станційних колій.

В аварійному режимі (при виході з ладу каналу зв'язку, обладнання ДЦ та інших пошкодженнях пристроїв СЦБ, не зазначених вище) на станціях дільниці вводиться резервне управління (РУ). При цьому, залежно від характеру пошкодження, може зберігатися централізований контроль у ДНЦ.

Резервне управління на станціях, що входять у диспетчерське коло, можливе лише черговим по станції безпосередньо з пульта ЕЦ. Перехід на РУ (як і повернення з цього режиму в ДУ) повинен здійснювати ДСП поворотом спеціального ключа в пульта управління на роздільному пункті за усним розпорядженням диспетчера. Схеми узгодження пристроїв ДЦ і пристроїв ЕЦ повинні виключати можливість подвійного (одночасного) керування станційними пристроями СЦБ по

каналах ТУ диспетчером (або пристроями ДЦ, що працюють некоректно) і з пульта управління електричної централізації.

МСДЦ повинні передбачати можливість розвитку, модернізації, нарощування як виконуваних функцій, так і кількості об'єктів управління і контролю. Це можливо за рахунок модульності програмних засобів, формалізації опису об'єктів, використання мов програмування високого рівня, модульності структури технічних засобів, застосування обладнання, що випускається серійно, використання стандартних інтерфейсів обміну з іншими системами різних ієрархічних рівнів.

Системи ДЦ повинні бути розраховані на безперервний тривалий режим роботи. Середній термін служби апаратури ПУ і КП повинен бути не менше 10 років.

Одиночні відмови апаратури ПУ і КП не повинні порушувати роботоздатність системи в цілому. Тобто система повинна бути стійкою до відмов. Відмовостійкість може забезпечуватися «холодним» резервуванням і самодіагностуванням, «гарячим» резервуванням, автоматичною реконфігурацією та відновленням ПУ і КП у випадку відмов окремих елементів. Вимоги резервування можуть не висуватися до КП станцій, що знаходяться на автономному управлінні і тільки контролюються системою ДЦ, оскільки неперервність перевізного процесу в цьому випадку забезпечується оперативним персоналом станції.

Динамічні моделі повинні вестися на основі об'єктивних даних, одержуваних технічними засобами в режимі реального часу.

Безпека руху при формуванні, передаванні та виконанні відповідальних команд повинна забезпечуватися високою завадостійкістю кодів і сигналів, що використовуються для їх доставки з ПУ в КП; безвідмовністю і безпечністю апаратури, задіяної в цьому процесі, а також організаційними заходами за участю двох агентів руху.

Інтенсивність небезпечних відмов технічних засобів підсистеми передавання та реалізації відповідальних команд повинна бути не більшою $3 \cdot 10^{-11}$ 1/год на одну команду.

Вимоги до захисту від впливу зовнішніх факторів

Апаратура ДЦ повинна відповідати вимогам стійкості до електромагнітних завад за ДСТУ 4151-2003.

Для захисту від електромагнітних завад необхідно передбачити гальванічну розв'язку кіл введення-виведення інформації, ліній зв'язку та мікроелектронної апаратури (обчислювальної техніки) як на КП, так і в ПУ. Кола первинного живлення повинні захищатися за допомогою заводозахисних фільтрів, а в разі необхідності – передбачатися додаткові заходи з урахуванням реальної електромагнітної обстановки.

Пристрої ДЦ є споживачами електроенергії особливої групи І категорії. Енергопостачання систем ДЦ повинно здійснюватися від двох незалежних фідерів. Пристрої електроживлення центрального поста системи ДЦ повинні забезпечувати безперебійне живлення при перемиканні фідерів живлення і перервах у поданні електроенергії протягом 6 год.

За відсутності приймання сигналів ТС з лінії зв'язку системи ДЦ повинні припинити відображення застарілої інформації через час, що не перевищує однієї хвилини з моменту прийняття останнього сигналу, з вмиканням індикації відсутності зв'язку з ЛП.

Система ДЦ повинна допускати можливість вибіркового вимикання і подальшого вмикання окремих контрольованих пунктів.

Системи ДЦ є системами реального часу. Сумарна затримка в доставці і відображенні контрольної інформації, включаючи збирання, передавання лініями зв'язку і обробку в ПУ, не повинна перевищувати 6 с. Час реакції пристроїв ПУ на маніпуляції з клавіатурою повинен бути меншим 0.5 с; час доставки командної інформації (команд ТУ) – не більше 1 с.

7.3. Функціональні підсистеми МСДЦ

У складі мікропроцесорних систем ДЦ розрізняють сім основних функціональних підсистем:

- діалогову;
- управління і контролю стану об'єктів залізничної автоматики;

- моделювання, прогнозу та відображення ходу технологічного процесу;
- нормативно-довідкової інформації;
- самоконтролю і діагностування обладнання;
- протоколювання роботи;
- приймання-передавання інформаційних повідомлень (зв'язку).

Діалогова підсистема призначена для відображення інформації та взаємодії оперативного персоналу з системою диспетчерської централізації даної дільниці, сусідніх полігонів управління, з іншими інформаційно керуваними системами, а також з системами вищого рівня та інформаційно-обчислювальним центром залізниці.

Підсистема управління і контролю стану об'єктів систем ЗАТ повинна забезпечувати виконання функцій телеуправління-телесигналізації.

Підсистема моделювання, прогнозу та відображення ходу технологічного процесу на дільниці повинна забезпечувати переміщення номера поїзда на екрані монітора; надавати інформацію про підходи і вступ поїздів у зону полігону управління; про дислокацію поїздів, локомотивів і вагонів на дільниці, готовність і резерв часу локомотивних бригад, графік виконаного руху. Динамічні моделі (вагонна, локомотивна та поїзна) повинні вестися на основі даних, отриманих технічними засобами в режимі реального часу. Результати моделювання є основою для побудови і відображення прогнозного графіка і своєчасного інформування диспетчера про майбутні технологічні операції.

Підсистема моделювання, разом з іншими підсистемами, реалізує автоматичне управління маршрутами на основі прогнозного графіка після згоди диспетчера або за заданою ним програмою пропускання поїздів. Повинна забезпечуватися можливість безпечного попереднього завдання маршруту при встановленому ворожому маршруті. Попередньо заданий маршрут повинен встановлюватися з витримкою не менше 5 с після розмикання раніше встановленого ворожого маршруту. Попередньо задані маршрути повинні відображатися і візуально контролюватися ДНЦ.

Підсистема нормативно-довідкової інформації повинна містити і відображати на вимогу оперативного персоналу дані двох типів: постійні та умовно-постійні. До першого типу належать характеристики полігону управління: профіль дільниці, колії пропускання та зупинки поїздів з небезпечними і негабаритними вантажами на станціях, довжини приймально-відправних колій в умовних вагонах і т. п. Умовно-постійною вважається інформація, яка є постійною протягом тривалого часу, наприклад обмеження швидкості на тій чи іншій ділянці, «вікна» для виконання ремонтно-профілактичних робіт, натурний лист, місця виходу локомотивних бригад.

Підсистема діагностування повинна забезпечувати підтримку параметрів надійності ДЦ на заданому рівні, а також телеконтроль пристроїв СЦБ.

Підсистема протоколювання роботи системи ДЦ (чорний ящик) призначена для фіксації керуючих впливів оперативного персоналу, поїзної обстановки, збоїв функціонування, результатів діагностування і регламентних перевірок після відновлення працездатності пристроїв. Дані протоколюються технічними засобами АРМ ДНЦ або сервера. Як правило, запис здійснюється у двох форматах: у вигляді текстового та двійкового (бінарного) файлів. Перший файл дозволяє вивести архівну інформацію на екран монітора або друк із зазначенням станції, часу і дій диспетчера (встановлення маршруту, переведення стрілок і т. п.) або подій у системі (несправність світлофора, втрата контролю стрілки та ін.).

Двійкові дані дають можливість перегляду на екрані монітора функціонування системи і дій ДНЦ відтворенням поїзної обстановки та стану пристроїв ЗАТ (режим «кіно»), що особливо зручно при розборі порушень і збоїв для оцінки взаємозв'язку технологічних подій.

Роботу з протоколами підтримує спеціальне програмне забезпечення, завданнями якого є:

- підтримка інтерфейсу користувача (можливість завдання періоду перегляду протоколів, сортування та фільтрації даних за введеним ключовим словом або символом);
- запис і резервування копій протоколів;

- контроль тривалості зберігання протоколів і їх автоматичної архівації після закінчення встановленого строку;
- забезпечення доступу до архіву для отримання протоколів за більш тривалий період;
- забезпечення можливості перенесення протоколів та архіву на інші носії інформації.

Результати розшифровки протоколів мають юридичну силу і використовуються для аналізу та розслідування порушень безпеки руху поїздів.

Доступ до протоколів мають електромеханік поста ДЦ, начальник дистанції сигналізації та зв'язку, ревізори з безпеки руху поїздів.

Підсистема приймання-передавання інформаційних повідомлень призначена для доставки командної інформації з ПУ на КП і контрольної інформації з КП на ПУ.

7.4. Структура комплексу технічних засобів мікропроцесорних систем ДЦ

Мікропроцесорні системи диспетчерської централізації складаються з програмно-апаратних комплексів центрального поста і лінійних пунктів, каналоутворювальної апаратури, ліній зв'язку. Технічні засоби МСДЦ функціонують під управлінням базового та прикладного програмного забезпечення (ПЗ). Під базовим програмним забезпеченням звичайно розуміють операційну систему, під прикладним – програмні модулі або блоки, що реалізують перераховані в попередньому підрозділі функції.

Як правило, для побудови програмно-апаратних комплексів ЦП використовується типове обладнання, що випускається серійно: офісні або промислові ЕОМ, монітори, комутатори, плотери (принтери), пристрої безперебійного живлення тощо. Технічні засоби ЛП (виконавчі ЕОМ або процесорні модулі, модулі телеуправління, телесигналізації, телевимірювання, живлення, модеми) можуть бути як типовими (промислові контролери з відповідним периферійним обладнанням, наприклад МСДЦ «ТЕМП»), так і спеціалізованими («КАСКАД»). У будь-якому випадку апаратура і програмне забезпечення МСДЦ

повинні дозволяти побудову високонадійних систем управління і контролю розосередженими об'єктами. Обов'язковою вимогою до сучасних систем ДЦ є можливість адаптації (з мінімальними матеріальними і фінансовими витратами і без зміни структури системи) до умов конкретного полігону управління на етапі проектування; при зміні кількості керованих лінійних пунктів, кількості об'єктів управління і контролю в процесі експлуатації.

Використання в якості апаратної платформи для побудови ЦП і лінійних пунктів серійного обладнання, однакові переліки вирішуваних завдань і вимог щодо забезпечення безвідмовності, ідентичні структури комплексів управління процесами перевезень призвели до того, що мікропроцесорні системи ДЦ, розроблені в різний час і навіть у різних державах, мають багато спільного. Так, наприклад, для побудови центрального поста найбільшого поширення набула резервована мережева архітектура з топологією типу зірка; для організації зв'язку між ЦП і лінійними пунктами – кільцева локальна мережа (ДЦ «ТРАКТ», «ДІАЛОГ» та ін. (Росія), «НЕМАН» (Білорусь), «КАСКАД» (Україна)). Зрозуміло, що створені на пострадянському просторі системи ДЦ розроблялися з урахуванням досвіду попередників (і конкурентів) і вже тому мають ряд схожих рис. Однак для такої подібності є й об'єктивні причини.

Розглянемо побудову і роботу мікропроцесорних систем диспетчерської централізації на прикладі МСДЦ "КАСКАД" (рис. 7.1).

Система «КАСКАД» побудована за модульним принципом, уніфікована, розроблена з використанням сучасних технологій і мікроелектронних компонентів, що дозволяє досягти досить високих показників надійності.

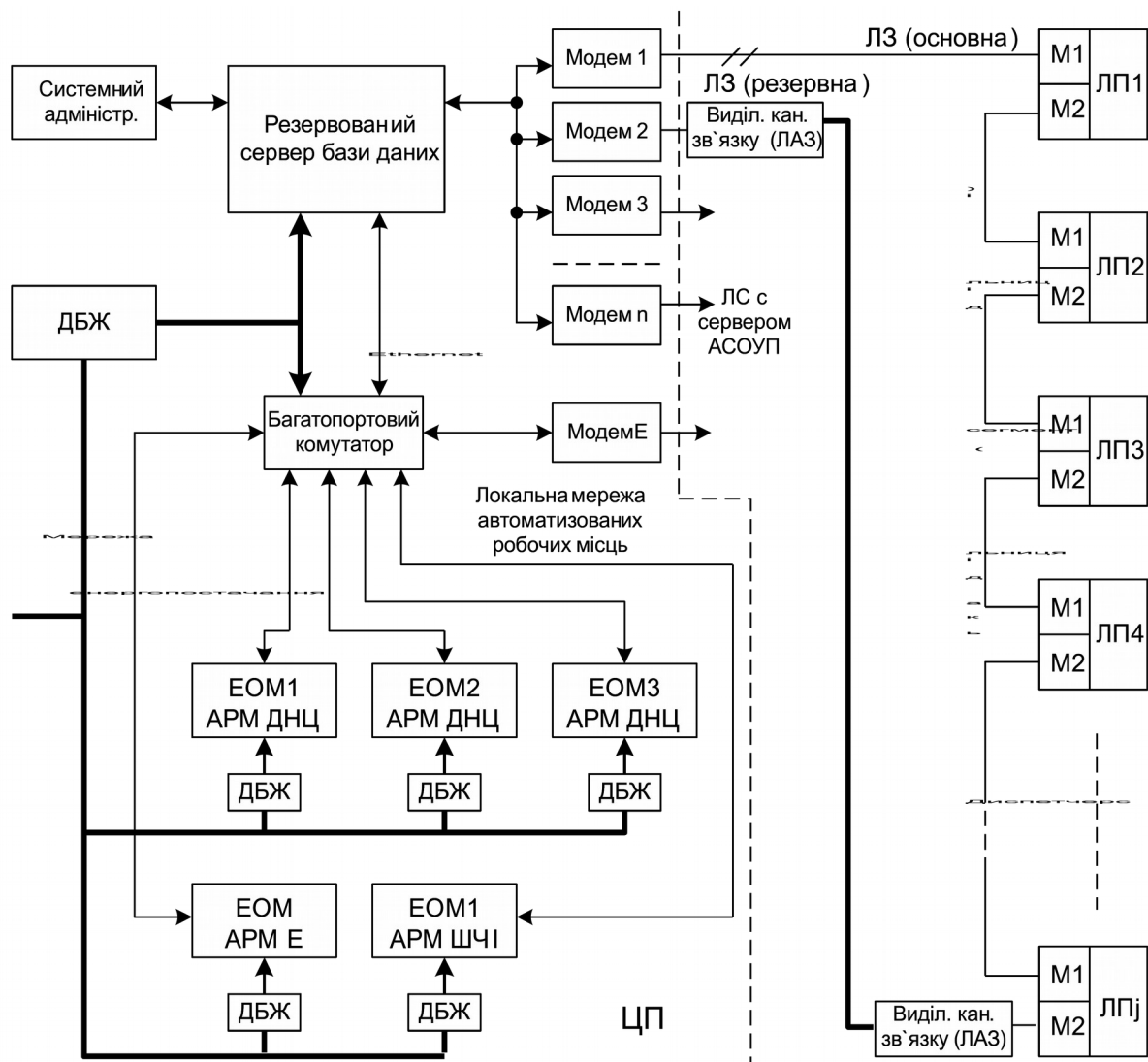


Рис. 7.1. Структурна схема МСДЦ «КАСКАД»

Структура МСДЦ враховує діючу ієрархічну структуру комплексу управління перевізним процесом і має три рівні:

- 1) рівень головного управління перевезень (ЦД);
- 2) диспетчерські центри управління залізниць (ДНЦ1-ДНЦn);
- 3) лінійні підприємства (ЛП1-ЛПj).

На першому рівні використовується стандартне програмне забезпечення, що входить у пакет поставки операційної системи - Internet Explorer, Netscape Navigator або інші [8]. Другий рівень обладнаний комплексами центрального поста диспетчерської централізації «ЦП-КАСКАД», а третій – комплексами лінійного пункту «ЛП-КАСКАД». На рис. 7.1 рівень ЦД не показано. Зв'язок з цим рівнем може бути організований за допомогою аналогових або цифрових модемів, що входять до складу

комунікаційного устаткування ЦП. Лінійні пункти «ЛП-КАСКАД» об'єднані з центральним постом за допомогою кільцевих локальних мереж зв'язку, що використовують виділені канали або фізичні лінії магістрального кабелю.

7.5. Програмно-апаратний комплекс центрального поста МСДЦ

Програмно-апаратний комплекс центрального поста ДЦ виконує функції обробки, зберігання, формування, захисту інформації, підтримки людино-машинного інтерфейсу, глобальних і локальних мереж зв'язку. До складу комплексу «ЦП КАСКАД» входять:

- автоматизоване робоче місце поїзного диспетчера (АРМ ДНЦ);
- автоматизоване робоче місце енергодиспетчера (АРМ Е);
- автоматизоване робоче місце інженера СЦБ і зв'язку (АРМ ШЧІ);
- локальна мережа автоматизованих робочих місць;
- резервованій сервер бази даних з робочим місцем системного адміністратора;
- каналоутворювальна апаратура зв'язку (модеми);
- джерела безперебійного живлення;
- системне та прикладне програмне забезпечення.

АРМ поїзного диспетчера забезпечує контроль перевізного процесу та введення команд з боку оператора – ДНЦ. Контрольна інформація відображується на екранах моніторів у режимі реального часу або (на вимогу оператора) за заданий період. Поїзна обстановка подається у вигляді мнемосхем (умовних позначень) колійних ділянок, світлофорів, стрілок і несе інформацію про їх назву (номер) і стан. Відображення поїзних одиниць здійснюється з зазначенням їх номерів, напрямку руху і автоматично реєструється з проходженням по дільниці. АРМ ДНЦ автоматично веде системний журнал і реєструє сигнали ТУ, ТС, результати діагностики та дії диспетчера. На підставі поточної і архівної інформації АРМ ДНЦ може інтерпретувати процес проходження поїздів по ділянці у вигляді графіка

виконаного руху в режимі реального часу або за заданий період, а також формувати і відображати прогнозний графік.

Розподіл інформації на екранах моніторів здійснюється виходячи з міркувань оптимального сприйняття інформації диспетчером і зручності управління перевізним процесом. Необхідна кількість моніторів (3...5) визначається на етапі проектування залежно від колійного розвитку дільниці, кількості та складності станцій. Зазвичай на одному з моніторів відображується комплексна поїзна ситуація на дільниці; на другому – детальна мнемосхема станції, з якою в даний момент працює ДНЦ; третій монітор використовується для відображення графіків руху, іншої інформації.

У частині управління АРМ ДНЦ дозволяє здійснювати:

- встановлення поїзних і маневрових маршрутів за принципом «маршрутного набору»;
- встановлення маршрутів у режимі «наскрізного пропускання»;
- автоматичну реалізацію поїзних маршрутів за номером поїзда, автоматичне керування схрещенням і пропусканням поїздів на заданих станціях;
- відкриття і закриття світлофорів;
- індивідуальне і маршрутне переведення стрілок;
- скасування встановленого, але невикористаного маршруту;
- зміну напрямку руху при вільних перегонах і аварійну зміну напрямку при їх хибній зайнятості;
- зміну режимів електроживлення ламп світлофорів (день/ніч);
- вмикання/вимикання місцевого управління окремими об'єктами.

Автоматизоване робоче місце енергодиспетчера забезпечує контроль стану і керування пристроями енергопостачання на дільниці; автоматичне ведення системного журналу з реєстрацією сигналів ТУ, стану об'єктів ТС та дій диспетчера; відображення діагностичної інформації.

АРМ інженера СЦБ і зв'язку призначений для контролю стану пристроїв ЗАТ шляхом відображення перевізного процесу в режимі реального часу, минулих подій і необхідної довідкової інформації.

У складі комплексу «ЦП-КАСКАД» задіяні кілька локальних мереж (рис. 7.2), що відрізняються призначенням, топологією побудови, швидкостями обміну, віддаленістю користувачів:

- локальна мережа лінійних пунктів (LPN), призначена для підключення комплексів ЛП залізничних станцій полігону;

- локальна мережа «Ethernet» – для підключення автоматизованих робочих місць диспетчерського персоналу та інших користувачів;

- глобальна мережа «СРN», призначена для об'єднання декількох комплексів «ЦП-КАСКАД» в єдину інформаційно-обчислювальну систему вищого рівня.

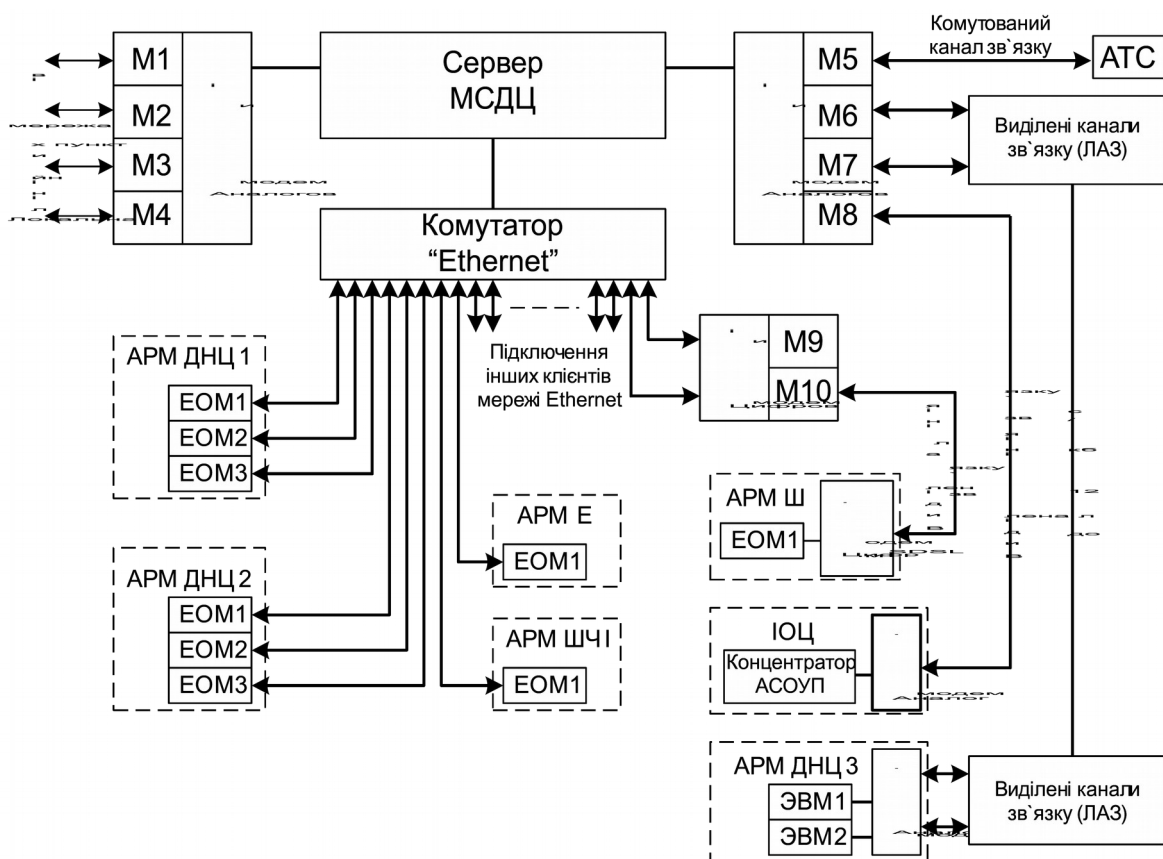


Рис. 7.2. Схема підключення автоматизованих робочих місць диспетчерського персоналу і віддалених користувачів

Для підтримки локальних мереж і мережевих віддалених підключень у складі комунікаційного обладнання використовуються:

- аналогові модеми M1 ... M8 (максимальна кількість – 16). Модеми мають дво- або чотирипровідне завершення і підключаються до виділених фізичних ліній зв'язку протяжністю

до 40 км, комутованих каналів зв'язку АТС, виділених каналів зв'язку. При роботі по виділених каналах існує обмеження у швидкості передачі інформації до 12 кб/с (по фізичних лініях – до 28 кб/с). Аналогові модеми забезпечують підтримку протоколів обміну в різних топологіях локальної мережі "LPN";

- цифрові модеми М9, М10 (SDSL), призначені для високошвидкісного обміну даними (до 3 Мб/с), необхідного для мережеских віддалених підключень автоматизованих робочих місць диспетчерського персоналу, а також для включення в мережу "CPN". Швидкість передачі інформації по виділеній двопровідній лінії зв'язку з діаметром жил 0.35 мм і довжиною 4 км – близько 2 Мб/с;

- комутатор "Ethernet". Забезпечує мережескі підключення автоматизованих робочих місць диспетчерського персоналу або інших користувачів на відстані до 100 м.

Слід зазначити, що наведена на рис. 7.2 схема є лише одним з можливих варіантів підключення користувачів ЦП – оптимальним для диспетчерських дільниць з певним взаємним розташуванням, конфігурацією і кількістю станцій. В інших умовах рекомендована конфігурація локальних мереж може відрізнятися від розглянутої. Пояснюється це тим, що в системах ДЦ каналами зв'язку передаються значні обсяги командної та контрольної інформації. Причому затримка в її доставці не повинна перевищувати встановлених норм (див. підрозділ 7.2). Очевидно, що час, який витрачається на передавання даних, залежить від їх об'єму і швидкості передавання: чим більший масив даних і менша швидкість, тим довше вони будуть передаватися. З іншого боку, швидкість передачі інформації в конкретних умовах залежить від характеристик використовуваних модемів, типу і довжини ліній зв'язку. У загальному випадку чим більша довжина лінії, тим з меншою швидкістю можуть працювати модеми. Крім того, існують обмеження у швидкості обміну залежно від використовуваних каналів зв'язку (по виділених каналах – до 12 кб/с). Тому можливі варіанти топологій локальних мереж ЦП і ЛП на етапі проектування вимагають ретельних розрахунків виходячи з умов конкретної дільниці. У першу чергу це стосується віддалених підключень.

7.6. Структура команд і контрольних повідомлень, що передаються каналами зв'язку МСДЦ

Будь-яке повідомлення, призначене для передавання лініями зв'язку системи ДЦ (наприклад, сформоване пристроями ЦП), містить адресу одержувача (ідентифікатор лінійного пункту, якому ця команда призначена), адресу передавача (ідентифікатор ЦП), інформацію про довжину повідомлення, смислову частину (код команди), контрольну суму, а також ряд службових символів, призначених для синхронізації передавальних і приймальних пристроїв та оптимізації їх роботи. Аналогічну структуру мають і контрольні повідомлення, що формуються і передаються пристроями лінійних пунктів на центральний пост. Відмінність полягає лише в тому, що в якості адреси одержувача вказується ідентифікатор ЦП, у якості адреси передавача – ідентифікатор лінійного пункту, від якого надходить повідомлення, а смислова частина несе інформацію про стан контрольованих об'єктів. Завдяки уніфікованій структурі сигналів ТУ та ТС спрощується процедура доставки інформаційних пакетів одержувачам і дешифрування повідомлень пристроями лінійних пунктів і центрального поста.

Послідовність розташування і довжина зазначених вище структурних частин інформаційних пакетів можуть визначатися або розробником системи ДЦ (при «фірмовій» підсистемі зв'язку), або вимогами стандартних протоколів.

Як приклад, на рис. 7.3 наведена структура кадру (формат повідомлення) мережі "Ethernet", описаного стандартом 802.3.

7	1	6	6	2		4	1
Преамбула	SFD	Адреса отримувача	Адреса відправника	Протокол або Тип	Дані до 1500 байт	CRC	EFD

Рис. 7.3. Формат повідомлення мережі "Ethernet"

Цифри у верхній частині рисунка вказують на довжину відповідної частини повідомлення (байт).

Поле преамбули складається з семи байтів синхронізуючих «даних», що не несуть смислового навантаження. Кожен байт містить одну і ту саму послідовність бітів – 10101010 – і

використовується для того, щоб дати час і можливість приймачам (пристроєм, які в даний момент працюють «на прийманні») перейти в стійкий синхронізм з прийнятими тактовими сигналами.

Початковий обмежувач (SFD) кадру складається з одного байта з набором бітів 10101011. Ця послідовність символів відрізняється від преамбули тільки одним останнім бітом – 1 замість 0. Поява цієї комбінації є вказівкою на майбутнє приймання інформаційної частини кадру.

Адреса одержувача – може бути довжиною 2 або 6 байтів (MAC-адреса одержувача). Перший біт адреси одержувача – це ознака того, що адреса є індивідуальною або груповою: якщо 0, то адреса вказує на певну станцію, якщо 1, то це групова адреса кількох (можливо всіх) станцій мережі. При широкомовній адресації всі біти поля адреси встановлюються в 1. Загальноприйнятим є використання 6-байтових адрес.

Адреса відправника – 2- або 6-бітове поле, що містить адресу станції відправника. Перший біт - завжди має значення 0.

Поле «протокол або тип» визначає довжину поля даних у кадрі.

Поле даних може містити від 0 до 1500 байтів даних. Але якщо обсяг даних, що потребують передавання, менше 46 байтів, то використовується наступне поле – поле заповнення, щоб доповнити кадр до мінімально допустимої довжини. Заповнювач не несе інформаційного навантаження. Поле заповнення складається з такої кількості байтів заповнювачів, яке забезпечує певну мінімальну довжину поля даних (46 байтів). Якщо обсяг переданих даних достатній, тобто більше 46 байтів, поле заповнення в кадрі не з'являється.

Поле контрольної суми – 4 байти. Контрольна сума обчислюється на підставі кодів адрес, довжини і даних за певним алгоритмом (поліномом CRC-32). Після отримання інформаційного пакета робоча станція (наприклад, процесорний модуль ЛП) виконує власне обчислення контрольної суми для цього повідомлення, порівнює результат зі значенням поля контрольної суми, вказаним у прийнятому кадрі і, таким чином, визначає, чи немає спотворень.

Завершальний обмежувач (EFD) має довжину один байт і використовується для позначення кінця кадру.

Сервер ЦП або процесорні модулі лінійних пунктів у процесі формування команд чи контрольних повідомлень мають доступ тільки до полів «адреса одержувача», «адреса відправника», «протокол або тип» і «дані». Інші поля заповнюються на апаратному рівні.

7.7. Модеми

7.7.1. Характеристики модемів

Як відомо (див. підрозділ 7.1), мікропроцесорні системи диспетчерської централізації складаються з комплексів технічних засобів центрального поста, лінійних пунктів, каналоутворювальної апаратури та ліній зв'язку. Найбільш складними і відповідальними елементами підсистеми зв'язку є модеми.

Модем (акронім, складений зі слів модулятор і демодулятор) – пристрій, що застосовується в системах зв'язку для фізичного сполучення інформаційного сигналу з середовищем його поширення, де він не може існувати без адаптації.

Модулятор у модемі здійснює модуляцію носія при передаванні даних, тобто змінює його характеристики відповідно до змін вхідного інформаційного сигналу; демодулятор здійснює зворотні перетворення при прийманні даних з каналу зв'язку. Модем є кінцевим обладнанням лінії зв'язку. Формування даних для передавання, обробку прийнятих даних здійснює так зване термінальне обладнання (у системах ДЦ – сервери, ЕОМ автоматизованих робочих місць персоналу, виконавчі ЕОМ або мікроконтролери лінійних пунктів тощо).

Модеми широко застосовуються для зв'язку комп'ютерів через телефонну мережу (телефонні модеми), кабельну мережу (кабельні модеми), для безпроводного зв'язку (радіомодеми).

Модеми розрізняються за виконанням (зовнішні або внутрішні), за принципом роботи (апаратні чи програмні), за типом мережі, до якої здійснюється підключення, а також за протоколами обміну даними, що здатні підтримувати.

Найбільшого поширення набули внутрішні програмні, зовнішні апаратні і вбудовані модеми.

За виконанням розрізняють модеми:

- зовнішні, що підключаються через COM-, LPT-, USB- або Ethernet-порт, зазвичай мають окремий блок живлення;

- внутрішні, що додатково встановлюються всередину системного блока термінального пристрою (у слот ISA, PCI, PCI-E, PCMCIA, AMR/CNR);

- вбудовані, що є частиною пристрою, до складу якого входять (материнської плати, процесорного модуля мікроконтролера тощо).

За принципом роботи модеми бувають:

- апаратні, всі операції перетворення сигналу, підтримка фізичних протоколів обміну здійснюються вбудованим у модем обчислювачем (наприклад, мікроконтролером). Як правило, в апаратному модемі присутній ПЗП, у якому записана програма, що керує роботою модему. Модеми без ПЗП працюють повністю апаратно, однак на початку роботи термінальний пристрій має завантажити відповідну програму в мікроконтролер модема.

Примітка. Термін «апаратний модем» досить умовний, оскільки безпосереднє керування роботою модема здійснює програмований технічний засіб – мікроконтролер. «Апаратними» такі модеми є лише в тому сенсі, що вони не використовують програмні ресурси термінальних пристроїв;

- напівпрограмні (модем зі спрощеним контролером, controller based soft-modem) – модеми, у яких частину функцій модема виконує комп'ютер, до якого підключено модем. Наприклад, модуляція і демодуляція здійснюється технічними засобами модема, а підтримка високорівневих протоколів – драйвером;

- програмні (софт-модеми, модеми без контролера, host based soft-modem). У таких модемах всі операції з модуляції/демодуляції, контролю помилок і управління протоколами реалізовані програмно і виконуються центральним процесором комп'ютера. У модемі знаходяться тільки вхідні/вихідні аналогові кола і перетворювачі (ЦАП і АЦП), а також контролер інтерфейсу (наприклад, USB).

За типом мережі і з'єднання розрізняють:

- модеми для телефонних ліній;
- модеми для комутованих телефонних ліній – найбільш поширений у ХХ столітті і 2000-х роках тип модемів. Використовують комутований віддалений доступ;
- ISDN-модеми для цифрових комутованих телефонних ліній;
- DSL-модеми, що використовуються для організації зв'язку виділеними (некомутованими) кабельними лініями або лініями і засобами звичайної телефонної мережі. Відрізняються від комутованих модемів тим, що використовують інший частотний діапазон, а також тим, що по телефонних лініях сигнал передається тільки до АТС. Зазвичай дозволяють одночасно з обміном даними здійснювати використання телефонної лінії для переговорів;
- радіомодеми, що працюють у радіодіапазоні, використовують власні набори частот і протоколи;
- бездротові модеми, що працюють за протоколами стільникового зв'язку (GPRS, EDGE, 3G, LTE) або Wi-Fi. Часто мають виконання у вигляді USB-брелока;
- супутникові модеми, що використовуються для організації супутникового Інтернету;
- PowerLine-модеми (стандарт HomePlug), що використовують технологію передачі даних по провідниках побутової електричної мережі.

7.7.2. Принцип роботи модемів

У п. 3.2.3, 3.5, 5.3.1, 5.3.4, підрозділах 6.3, 6.4 ми вже розглядали процеси перетворення кодів у сигнали і навпаки. Так, використовувані в ДЦ «НЕВА» або «ЛУЧ» модулятори, залежно від прийнятого виду модуляції, перетворюють код повідомлення в строго визначену послідовність імпульсів змінного струму, що в точності повторює структуру коду (рис. 7.4).

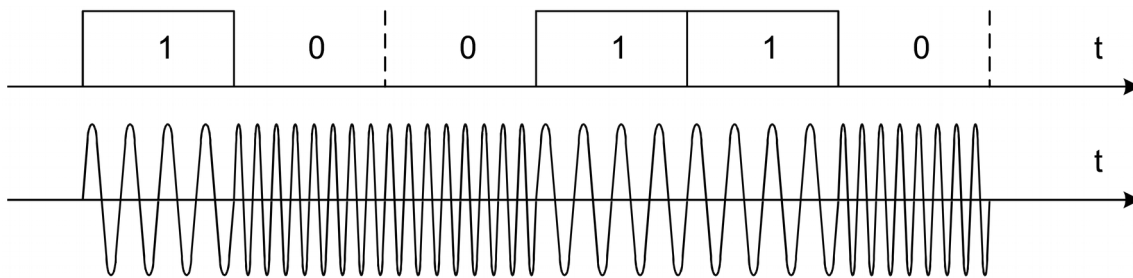


Рис. 7.4. Машинний код і сигнал ЧМ, що йому відповідає

Одразу зазначимо, що з ряду причин у сучасних модемах такої жорсткої залежності між структурою коду і структурою сигналу немає.

Перші модеми використовували тільки одну імпульсну ознаку змінного струму – його частоту. Модеми, розроблені в наш час, маніпулюють одночасно кількома ознаками: частотою, фазою, амплітудою.

Для того щоб два модеми могли здійснювати обмін даними, вони повинні працювати на одній швидкості і використовувати однакові види модуляції. З цією метою були розроблені стандарти (протоколи), які регламентують правила побудови сигналів залежно від швидкості обміну. Тобто для певних швидкостей обміну рекомендовано певні види модуляції. Крім того, будь-який модем повинен підтримувати не тільки свою максимальну швидкість (і відповідний спосіб модуляції), але і всі менші швидкості - щоб мати можливість зв'язатися з менш швидкісними модемами. Навіть якщо обидва модеми, що зв'язалися, можуть працювати на швидкості 28 кбіт/с, незадовільні умови зв'язку – шум у лінії, короткочасне зникнення носія – можуть змусити їх перейти на якусь із менших швидкостей, передбачених стандартом (наприклад, 26.4 кбіт/с). Така перебудова швидкості в процесі обміну даними називається відкатом (fall-back). Більшість сучасних модемів можуть здійснювати і зворотну операцію - підвищення швидкості передавання даних «на ходу» у випадку покращення якості лінії (fall-forward).

Слід зазначити, що швидкість передачі даних є однією з основних характеристик модема, яка врешті-решт визначає експлуатаційні характеристики системи, у складі якої він використовується. Тому розробники модемів прагнуть до максимального підвищення швидкості обміну. Вже згадана

одночасна маніпуляція декількома імпульсними ознаками сигналу в процесі передавання (порівняно тільки з частотною маніпуляцією) переслідує саме цю мету. Так, якщо при використанні ЧМ за один робочий такт модулятора тривалістю 1 мс (наприклад) можна передати тільки один біт інформації (див. рис. 7.4), то при маніпуляції частотою, фазою і амплітудою - чотири і більше. Крім того, для підвищення швидкості передачі даних застосовують алгоритми стиснення, реалізовані безпосередньо в модемі. Суть цих алгоритмів зводиться до «вкорочення байтів»; символи, що часто зустрічаються, кодуються більш короткими послідовностями бітів; замість груп повторюваних символів передається інформація про символ і кількість повторень та ін. Ось чому структура аналогового сигналу в лінії зв'язку не завжди відповідає структурі коду команди або контрольного повідомлення, що надійшло в модем від керуючої ЕОМ або мікроконтролера.

Виявлення і корекція помилок

Відомо, що при поганій якості телефонних каналів зв'язку (наприклад, внаслідок дії завад) іноді важко зрозуміти співрозмовника. Доводиться перепитувати, уточнювати і т. п. Аналогічні проблеми виникають і при передаванні даних технічними засобами. Тому модеми «поводяться» приблизно так само, як і абоненти телефонної мережі: для забезпечення більш надійного і якісного зв'язку передавання інформації здійснюється не суцільним потоком, а окремими блоками. Після передавання кожного такого блока модем-передавач чекає відповіді від приймача – чи все зрозуміли правильно. Якщо модем-приймач не зміг прийняти черговий блок, він просить повторити передачу. Тому при поганій якості ліній зв'язку швидкість передавання інформації знижується – частину інформації доводиться передавати по кілька разів. Такий принцип корекції помилок називається **ARQ (Automatic Repeat reQuest** - автоматичний запит на повторення) [9].

Встановлення з'єднання

Як же модеми вирішують, за яким протоколом і з якою швидкістю вони будуть «спілкуватися»?

Очевидно, що можливість обміну інформацією про доступні протоколи необхідно забезпечити ще до того, як обрано якийсь із

них. Це відбувається в процесі встановлення з'єднання за досить складними правилами, яким підкоряються всі без винятку модеми.

Суть цих правил зводиться до того, щоб гарантувати вибір найшвидшого і досконалого з протоколів, доступних модемам на обох кінцях лінії. Модеми при цьому обмінюються спеціальними сигналами, що повідомляють про здатність даного модема працювати за тим чи іншим протоколом.

Пославши один одному свої «меню протоколів», модеми незалежно (але узгоджено) вирішують, який з них вибрати для зв'язку, і одночасно перемикаються в цей протокол. Так, якщо один з модемів пропонує якийсь протокол, невідомий іншому модему, то у відповідному «меню» він цього протоколу не побачить. Таким чином, обидва модеми «зрозуміють», що за цим протоколом зв'язатися не вдасться, і виберуть найкращий з обопільно доступних. На наступному етапі модеми здійснюють тестування лінії зв'язку, за результатами якого вибирається максимально можлива в даних умовах швидкість, а також налаштовують деякі параметри протоколу.

Як приклад розглянемо процедуру встановлення з'єднання (входження у зв'язок) між модемами, що підтримують протокол V.34 [11].

Процедура входження у зв'язок складається з чотирьох фаз. Під час першої фази модеми вибирають найвищий протокол ІТУ-Т серії V, реалізований в обох модемах. На цьому етапі з'єднання встановлюється за Рекомендаціями V.25 і V.8. Якщо обидва модеми підтримують протокол V.34, то вони переходять до другої фази, у ході якої проводиться класифікація каналу зв'язку. Протягом 3 і 4 фази відбувається «навчання» модема: модем-передавач надсилає в лінію спеціальний тестовий сигнал, що являє собою послідовність з 21 гармонічного коливання різних частот у діапазоні від 150 до 3750 Гц. Приймач віддаленого модема, приймаючи цей сигнал, розраховує частотну характеристику каналу зв'язку, ступінь нелінійних спотворень, зсув частот і ряд інших характеристик каналу. Потім вибирається номінальна швидкість модуляції, значення частоти носія, рівень передачі (потужність сигналу), швидкість передачі даних, параметри нелінійного кодера та інша інформація про бажану

конфігурацію віддаленого передавача. Така сама процедура виконується і в протилежному напрямку. Далі обидва модеми обмінюються цими установками. Для цього використовуються протоколи V.22 (швидкість 600 біт/с, ВФМ у частотно-розділених каналах на частотах носія 1200 і 2400 Гц) і V.42.

Процедура встановлення з'єднання займає певний час, іноді - значний. Так, повний цикл перевірок і налаштувань модемів, що підтримують протокол V.34, займає близько 15 с. Для систем ДЦ це недоцільно довго. Тому в більшості мікропроцесорних систем диспетчерської централізації для передавання даних по міжстанційній локальній мережі розробники застосовують модеми власного виробництва з «урізаними» процедурами входження у зв'язок. Для зв'язку з детермінованими абонентами (характеристики яких відомі) це цілком виправдано. Дійсно, на етапі встановлення з'єднання немає сенсу з'ясовувати, чи підтримують модеми протокол V.34; з'являється можливість скоротити кількість інших перевірок і налаштувань. У результаті вдається зменшити час входження у зв'язок до одиниць секунд (у ряді випадків – до часток секунди).

Таким чином, модеми, призначені для організації локальних мереж типу LPN, являють собою складні інтелектуальні технічні засоби, що функціонують під управлінням спеціалізованих мікропроцесорних контролерів. Крім виконання функцій модуляції/демодуляції, вони здатні здійснювати моніторинг лінії зв'язку; залежно від її стану визначати оптимальну швидкість обміну інформацією; виводити повідомлення про пошкодження; у разі одночасної передачі інформації від різних модемів у зустрічних напрямках здійснювати арбітраж і визначати, який з модемів повинен продовжити передачу, а який - перервати. У разі приймання повідомлення з помилками модем-приймач формує для модема-передавача запит на повторне передавання команди або контрольного повідомлення.

7.8. Загальні принципи організації зв'язку локальною мережею «LPN»

У мікропроцесорних системах ДЦ зв'язок між ЦП і лінійними пунктами організується по кільцевій локальній мережі з послідовним передаванням інформації від одного лінійного пункту до іншого. Можливі варіанти топології такої мережі наведено на рис. 7.5, а, б. (Перший варіант (рис. 7.5, а) відповідає структурі локальної мережі "LPN", зображеній на рис. 7.1.)

При своїй зовнішній і функціональній схожості між цими структурами є і відмінності. Спільним для обох топологій є спосіб доставки командної та контрольної інформації до кінцевого адресата, а відмінною рисою - апаратна реалізація резервної лінії зв'язку.

Як приклад розглянемо механізм передавання сформованої пристроями ЦП команди на лінійний пункт Б. Припустимо, що команди на адресу ЛП-Б передаються з ЦП модемом М2, а їх структура відповідає наведеній на рис. 7.3: у полі «адреса одержувача» вказано адресу лінійного пункту Б, у полі «адреса передавача» – ідентифікатор ЦП, а код команди – у полі «дані». Підготовлене і належним чином оформлене повідомлення надходить від сервера в модем М2, який передає його модему М1 ЛП-А. За протоколом, за яким здійснюється обмін інформацією, М1 ЛП-А перевіряє правильність прийнятого пакета і повідомляє керуючій ЕОМ лінійного пункту А (або модулю мікропроцесорного контролера, залежно від складу технічних засобів ЛП) про наявність повідомлення. Керуюча ЕОМ зчитує кадр з приймального буфера модема, обчислює контрольну суму і порівнює результат зі значенням, вказаним у полі «CRC» команди, тобто за «своїми» критеріями оцінює коректність повідомлення. Якщо повідомлення прийнято без помилок, порівнюється адреса одержувача, вказана в повідомленні, з адресою лінійного пункту: у разі збігу керуюча ЕОМ здійснює дешифрування і виконання команди, у випадку розбіжності – пересилає кадр у буфер обміну модема М2 для подальшого передавання на лінійний пункт Б.

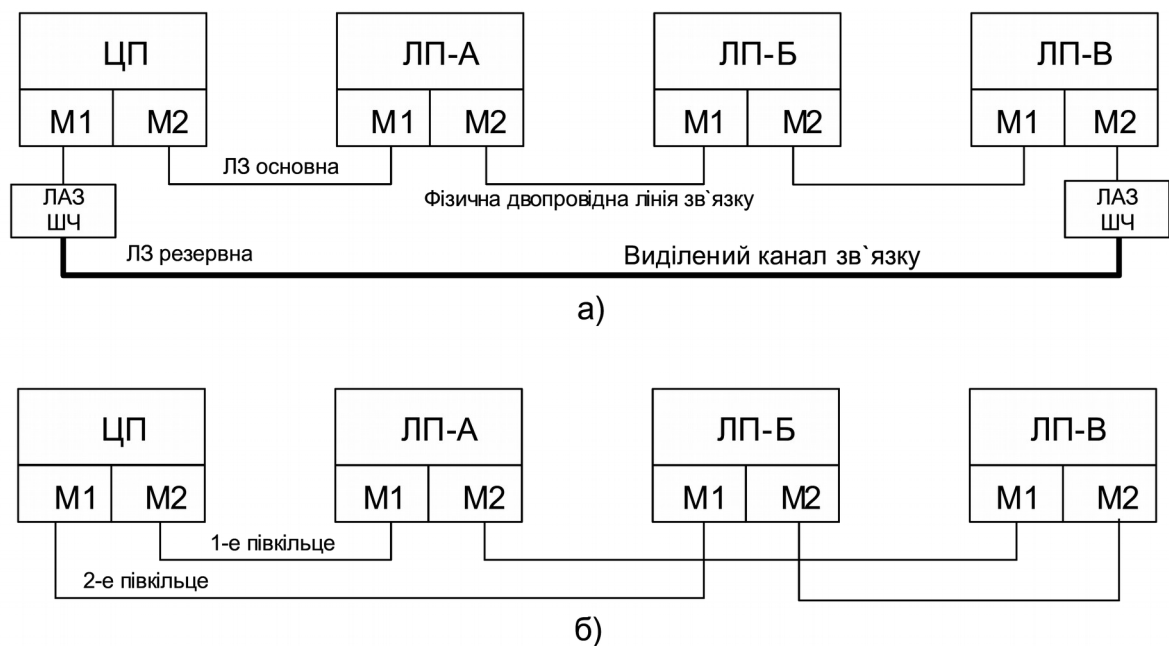


Рис. 7.5. Структурні схеми локальної мережі «LPN»

Алгоритм роботи пристроїв ЛП-Б при прийманні і дешифруванні повідомлення, що надійшло від модема М2 ЛП-А, аналогічний. Оскільки в розглянутому прикладі команда адресована лінійному пункту Б, її виконання станеться саме на цьому ЛП. Подальша ретрансляція повідомлення не відбувається.

Таким чином, у кільцевих локальних мережах доставка командної та контрольної інформації в пункт призначення здійснюється шляхом багаторазової ретрансляції повідомлень на лінійних пунктах (залежно від кількості ЛП на дільниці і розташування одержувача інформації відносно передавача). У цьому сенсі структурні схеми рис. 7.5, а, б ідентичні.

Тепер розглянемо відмінності. Якщо відстань між ЦП і ЛП-В не перевищує 35-40 км, необхідність використання апаратури ущільнення (виділених каналів зв'язку) у локальній мережі, структура якої наведена на рис. 7.5, а, відпадає. Надійний зв'язок між М1 ЦП і М2 ЛП-В цілком може бути організований по виділеній фізичній лінії, тобто по двох жилах кабельної лінії (рис. 7.6).

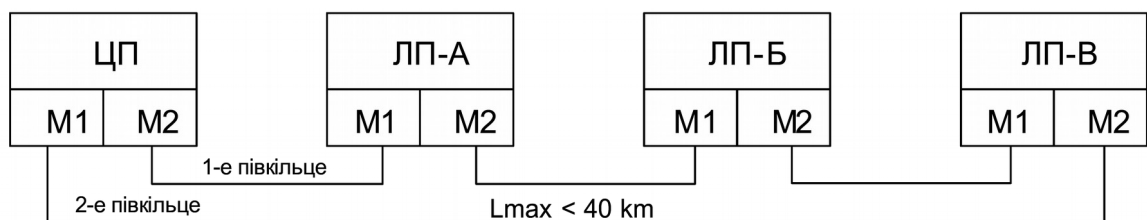


Рис. 7.6. Структурна схема локальної мережі «LPN» при відстані між ЦП і найбільш віддаленим ЛП до 40 км

При таких структурах локальних мереж, які наведені на рис. 7.5, б і 7.6, півкільця 1 і 2 абсолютно рівноцінні: немає підстав вважати 1-ше півкільце основною лінією, а 2-ге – резервною або навпаки. Цьому сприяє той факт, що сучасні модеми здатні забезпечувати стійке передавання/приймання інформації з прийнятною швидкістю обміну при максимальній довжині другого півкільця до 40 км. Якщо ж довжина лінії, що з'єднує ЦП і ЛП-В (рис. 7.6), перевищує допустиму, для забезпечення надійного зв'язку в цьому випадку необхідно передбачити встановлення ретрансляторів, знайти для них місце, забезпечити живлення та ін. Все це вимагає додаткових витрат. Альтернативний варіант – використовувати для зв'язку між ЦП і найбільш віддаленим ЛП виділені канали зв'язку (рис. 7.5, а). Однак у цьому випадку, крім апаратних витрат, істотно знижується «пропускна здатність» другого півкільця: максимальна швидкість передавання інформації по виділених каналах не перевищує 12 кбіт/с – у 2-2.5 рази нижча, ніж при з'єднанні модем-модем [8].

Якщо ж підключення пристроїв ЛП і ЦП до локальної мережі здійснювати відповідно до схеми, наведеної на рис. 7.5, б, максимальна довжина виділених ліній, що з'єднують модеми, не перевищуватиме двох довжин міжстанційних перегонів. У переважній більшості випадків ця відстань менша від граничної. У результаті з'являється можливість забезпечити стійкий зв'язок з усіма ЛП при мінімальних витратах і рівноцінних, з точки зору швидкості передавання інформації, півкільцях локальної мережі.

Напрямки передавання інформації пристроями ЦП і лінійних пунктів визначаються програмами функціонування сервера і керуючих ЕОМ ЛП (процесорних модулів) залежно від якості ліній зв'язку, стану модемів, відсутності або наявності

ушкоджень, їх місця тощо. Для структурної схеми, наведеної на рис. 7.5, а, за відсутності пошкоджень лінії зв'язку та каналоутворювальної апаратури рекомендованою могла б бути така маршрутизація повідомлень: команди управління, призначені для ЛП-А і ЛП-Б повинні надходити в локальну мережу від модема М2 ЦП (по першому півкільцю); команди, адресовані лінійному пункту В, – від модема М1 центрального поста ДЦ по другому півкільцю.

Якщо ж локальна мережа має структуру, зображену на рис. 7.5, б, команди ТУ для ЛП-А і ЛП-В необхідно передавати модемом М2 ЦП (по першому півкільцю); команди, адресовані лінійному пункту Б, – модемом М1 ЦП по другому півкільцю.

Сигнали ТС передаються пристроями лінійних пунктів у зворотному напрямку тими самими півкільцями мережі.

Такий підхід до організації зв'язку між ЦП і ЛП дозволяє забезпечити рівномірне завантаження локальної мережі, зменшити об'єми даних, що передаються по окремих півкільцях, зменшити кількість ретрансляцій і, як наслідок, скоротити час доставки командної та контрольної інформації. Фактично, у штатному режимі інформація передається по двох паралельних каналах зв'язку. За відсутності пошкоджень ліній, модемів і процесорних модулів на лінійних пунктах, модемів на ЦП передавання сигналів ТУ та ТС по лінії зв'язку, що з'єднує ЛП-Б і ЛП-В, не відбувається. Модеми, підключені до цієї лінії, лише перевіряють її справність. Тому в разі пошкодження на цій ділянці самої лінії або модемів напрямки потоків командної та контрольної інформації в локальній мережі за межами пошкодженої ділянки не змінюються, проте інформація про пошкодження надходить на ЦП черговому механіку СЦБ або диспетчеру дистанції сигналізації та зв'язку для своєчасного усунення несправності.

Якщо ж, наприклад, пошкодження сталося на ділянці ЦП – ЛП-А, завантаження непошкодженою частиною лінії зросте приблизно вдвічі. Модеми М2 ЦП і М1 ЛП-А сповіщають сервер і модуль мікропроцесорного контролера відповідно про наявність несправності. На підставі цієї інформації сервер і керуюча ЕОМ ЛП-А змінюють напрямки передавання інформації. Тепер вся

командна інформація буде передаватися, а контрольна прийматися модемом М1 центрального поста.

У разі виявлення будь-якого пошкодження сервер ЦП реєструє характер несправності, час її виникнення, формує і виводить на монітори АРМів відповідні повідомлення.

Кільцева локальна мережа характеризується високою безвідмовністю – одноразові пошкодження кабельної лінії, модемів, керуючих обчислювальних модулів ЛП (у випадку резервування останніх) не призводять до повного порушення зв'язку: система ДЦ зберігає працездатність. Використання алгоритмів корекції помилок, реалізоване на рівні модемів; ретрансляція повідомлень ТУ та ТС на лінійних пунктах, при якій трансльований сигнал (навіть якщо він був частково спотворений) відновлюється за рівнем і формою до первісного вигляду; виключення наскрізного посилення завад дозволяють забезпечити високу якість зв'язку. Технічні обмеження по дальності передачі інформації відсутні. Але при такій структурі локальної мережі є і недолік: час доставки інформації з ЦП на ЛП і з ЛП на ЦП збільшується пропорційно кількості лінійних пунктів і кількості контрольованих об'єктів. Пояснюється цей факт тим, що кожна команда або контрольне повідомлення в процесі передачі в пункт призначення кілька разів ретранслюється. Тривалість кожної ретрансляції залежить від швидкості передавання модемів (біт/с), довжини повідомлення, часу на встановлення з'єднання між модемами, затримки на дешифрування адрес одержувачів і перезавантаження модемів новими даними. Діючими нормативними документами максимальна затримка в доставці контрольної інформації при найгірших умовах обмежена на рівні 6 с, а командної – 1 с, тому кількість лінійних пунктів у сегменті диспетчерської ділянки, при якому зазначена вимога виконується, зазвичай не перевищує 12-15.

7.9. Взаємодія пристроїв ЦП під час формування команд ТУ і приймання контрольних повідомлень ТС

Припустимо, диспетчерський наказ введений ДНЦ1 з ЕОМ2 (рис. 7.1). Після виконання диспетчером певних маніпуляцій з клавіатурою або "мишею" АРМ ДНЦ формує і передає

резервованому серверу бази даних код команди та адресу станції, якій ця команда призначена. Якщо структурна схема зв'язків ЦП відповідає наведеним на рис 7.1 та 7.2 (для зв'язку між сервером і АРМами використовується мережа "Ethernet"), структура сформованого повідомлення буде аналогічна рис. 7.3. Причому в полі «адреса одержувача» повинен бути вказаний ID сервера, в «адресі передавача» - ID ЕОМ2 автоматизованого робочого місця диспетчера, а коди команди і адреса лінійного пункту «прописуються» в полі «дані».

Сервер на підставі таблиці команд, інформації про поїзну обстановку і стан пристроїв ЗАТ на станції, якій призначена команда, перевіряє можливість її виконання. При негативному результаті перевірки (наприклад, через невиконання умов безпеки) на монітор АРМу ДНЦ виводиться відповідне повідомлення, а команда в лінію зв'язку не надходить. Якщо ж команда може бути виконана, сервер заповнює поле «адреса одержувача» ідентифікатором станції призначення, «адреса передавача» – своїм власним ID, у полі «дані» записує код команди, обчислює контрольну суму і заносить її у відповідне поле, зберігає код команди і час її формування в архіві, а потім відправляє підготовлений кадр у модем.

Слід зазначити, що структура повідомлення, яке призначене для передавання локальною мережею LPN, може відрізнитись від структури кадру "Ethernet", оскільки протоколи обміну інформацією в цій мережі, як правило, розробляє фірма-розробник системи ДЦ. Але ці відмінності не є суттєвими і стосуються здебільшого послідовності розміщення окремих інформаційних блоків, їх розміру, інформаційної надлишковості, правил обчислення контрольної суми тощо.

*Незалежно від того, скільки і яких віртуальних кнопок на моніторі АРМу натискав ДНЦ під час введення команди, пристроями ЦП буде сформований і переданий у локальну мережу лінійних пунктів **тільки один наказ**.* Така реалізація процедури введення і передавання повідомлень (на відміну від передавання фрагментів команди по кожному натисканню кнопок) дозволяє мінімально завантажувати лінію зв'язку, створювати передумови для перевірки можливості виконання команд і полегшує їх реєстрацію в архіві.

Перш ніж розглянути процес приймання і реєстрації повідомлень ТС, зупинимося на можливих варіантах структури та наповнення кадру контрольних інформаційних пакетів.

Раніше вже йшлося про те, що одним з найважливіших завдань, які стоять перед підсистемами міжстанційного зв'язку МСДЦ, є мінімізація часу доставки командної та контрольної інформації. Цей час залежить від швидкості передавання/приймання модемів, обсягів даних, що передаються, типу ліній зв'язку, швидкодії керуючих ЕОМ лінійних пунктів, кількості ЛП (кількості ретрансляцій) і ступеня завантаження локальної мережі. Очевидно, що вирішення цього завдання має здійснюватися комплексно: вибором модемів, що підтримують швидкісні протоколи обміну; керуючих ЕОМ з високою продуктивністю (або мікропроцесорів для побудови керуючих логічних контролерів); використанням кабельних або оптоволоконних ліній зв'язку з прийнятними характеристиками; розробленням протоколів обміну, які дозволяють зменшити об'єми даних, що підлягають передаванню (зменшити завантаження локальної мережі).

Кількість лінійних пунктів, кількість об'єктів управління та контролю, перелік команд є характеристиками диспетчерської дільниці, на які розробник системи ДЦ вплинути не може. Непорушними є і обмеження на допустиму затримку в доставці інформації. Можливості для оптимізації зберігаються лише в частині передавання повідомлень ТС: за рахунок оптимізації довжини пакетів з контрольною інформацією; за рахунок вибору способу передавання, що дозволяє мінімізувати кількість переданих пакетів.

При обмеженій технічними характеристиками модемів і ліній зв'язку швидкості обміну даними мінімізація часу доставки повідомлень можлива за рахунок зменшення їх довжини. Наприклад, крім адреси одержувача (ЦП), з лінійних пунктів на центральний пост може передаватися тільки ідентифікатор контрольованого об'єкта (як адреса передавача), а в полі даних кілька бітів, що кодують стан об'єкта. Подією, що ініціює передачу, зазвичай є зміна стану об'єкта. Однак таке оформлення інформаційного пакета можливе лише при використанні унікальних протоколів обміну, розроблених виключно для

конкретної системи ДЦ. Спроба використовувати стандартні протоколи, а отже, і передбачені протоколом формати повідомлень до позитивного результату не призведе. Пояснюється це тим, що в стандартних форматах повідомлень мінімальна довжина поля даних обмежена. Так, у кадрі «Ethernet» це 46 байтів – менше бути не повинно (див. рис. 7.3). Навіть якщо інформаційна частина повідомлення коротша, кадр доповнюється до мінімальної довжини «порожніми» байтами заповнення.

У принципі, «фірмові» протоколи обміну для локальних міжстанційних мереж – не рідкість, проте в цьому випадку виникає необхідність у розробленні програм-конвертерів даних для можливості об'єднання окремих диспетчерських кіл у глобальні мережі, де зазвичай використовуються стандартні протоколи.

Ще одним суттєвим недоліком розглянутого підходу є значні «накладні витрати»: на декілька бітів корисної інформації необхідно передавати кілька байтів службової і «супроводжувальної», що врешті-решт веде до надмірного завантаження локальної мережі.

Іншим варіантом оформлення контрольних інформаційних пакетів є такий. Повідомлення, що передаються з лінійних пунктів (наприклад, N), мають таку саму структуру, як і команди, але в якості адреси одержувача вказується ідентифікатор ЦП; у якості адреси передавача – ідентифікатор лінійного пункту N; інформація про стан контрольованих об'єктів передається в полі даних у вигляді позиційного коду (1-й біт - КО1; 2-й біт - КО2; ... j-й біт - КОj). Враховуючи, що кількість контрольованих двопозиційних об'єктів на станціях диспетчерської дільниці в середньому становить 400 - 450 (50 ... 56 байтів) виправданим стає застосування стандартних протоколів. Зменшуються і «накладні витрати» на передавання корисної інформації.

Однак найбільш поширеним у сучасних системах ДЦ способом передавання контрольної інформації є спорадично-циклічний. Пакети даних про стан об'єктів управління та контролю передаються пристроями ЛП або у випадку зміни стану хоча б одного об'єкта, тобто при виявленні новизни порівняно з раніше переданим пакетом (спорадичний спосіб), або через певні фіксовані проміжки часу, навіть якщо за цей час об'єкти на ЛП

свій стан не змінювали (циклічний спосіб). Спорадичний спосіб є хорошим тому, що передавання інформації відбувається тільки в ті моменти часу, коли в цьому виникає необхідність – з'являється щось нове в стані об'єктів, що вимагає негайного відображення та реєстрації. Необхідність циклічного передавання пояснюється прагненням розробників систем ДЦ звести до мінімуму ймовірність накопичення помилок (невідповідностей між фактичним станом об'єктів і тим, що відображується на моніторі АРМів диспетчерського персоналу). Такі помилки можуть виникати у випадках приймання пристроями ЦП інформаційних кадрів зі спотвореннями, що не виявляються; внаслідок втрати окремих пакетів тощо. Очевидно, що при циклічному передаванні сигналів ТС у полі «дані» повинна передаватися інформація про стан максимальної кількості об'єктів (якою володіє передавач): про всі об'єкти лінійного пункту, а ще краще – всієї диспетчерської дільниці. Збільшення довжини пакета, природне в цьому випадку, хоч і збільшує час передавання повідомлень, але несуттєве.

Розглянемо такий приклад. Нехай диспетчерська дільниця має у своєму складі 10 ЛП (рис. 7.7). Контрольні повідомлення зі всіх лінійних пунктів передаються в напрямку ЦП циклічно. Очевидно, що найбільш завантаженою переданими повідомленнями буде лінія зв'язку, що з'єднує ЦП і ЛП1, оскільки протягом циклу по цій лінії повинна передаватися інформація про стан об'єктів всієї дільниці. Для спрощення розрахунків покладемо, що на всіх ЛП однакова кількість контрольованих об'єктів – 500. Розрахуємо і порівняємо завантаження ділянки ЦП-ЛП1 при різних правилах формування пакетів.

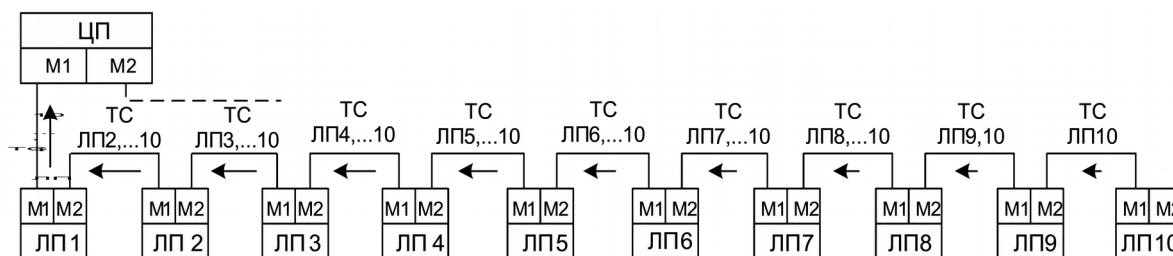


Рис. 7.7. Завантаження локальної мережі повідомленнями ТС

Нехай у першому варіанті оформлення пакетів контрольні повідомлення, що передаються з лінійних пунктів, містять

інформацію про стан об'єктів тільки свого ЛП. У цьому випадку по ділянці ЛП1-ЦП за один цикл буде передано 10 повідомлень. Оскільки в розглянутому прикладі на всіх ЛП однакова кількість об'єктів контролю, довжина пакетів, а отже, і час їх передавання ($T_{прд1}$) будуть також однаковими. Час, протягом якого лінія зв'язку буде зайнята передаванням цієї інформації, складе $T_{зл1} = 10 \cdot T_{прд1}$.

Час передавання одного інформаційного пакета визначається виразом [8]

$$T_{прд} = (T_{фп} + 2T_{зм} + T_v), \quad (7.1)$$

де $T_{фп}$ – затримка при формуванні пакета пристроями ЛП ($T_{фп} = 0.02$ с);

$T_{зм}$ – затримка модема ($T_{зм} = 0.04 - 0.06$ с). Враховуючи, що в процесі передавання/приймання задіяно два модеми (передавач і приймач), загальний час затримки $T_{зм}$ подвоюється;

T_v – затримка передавання інформаційного пакета, обумовлена швидкістю обміну;

T_v – розрахунковий параметр, який залежить від швидкості передавання даних, довжини пакета, ступеня захисту інформації від трансформування сигналів,

$$T_v = N \cdot k / V, \quad (7.2)$$

де V – швидкість передавання даних у мережі, що залежить від характеристик модема і лінії зв'язку (для модемів, що підтримують протокол V.34, і при довжині виділеної фізичної лінії до 40 км $V \approx 28000$ біт/с);

N – кількість дискретних сигналів (довжина інформаційної частини сигналу ТС, 500 біт);

$k = 2.2$ – коефіцієнт, що враховує захист інформації і технологічне оформлення пакета.

Для прикладу, що розглядається (перший варіант оформлення пакетів), с,

$$T_{v1} = 500 \cdot 2.2 / 28000 = 0.039.$$

Підставивши отриманий результат у вираз (7.1) знайдемо, с,

$$T_{\text{прд1}}=(0.02+2\cdot 0.06+0.039)=0.179$$

а час заняття лінії $T_{\text{зл1}}$ складе **1.79** с.

Примітка. Значення $T_{\text{фп}}$, $T_{\text{зм}}$, «к» характерні для процесорних модулів і модемів системи ДЦ «КАСКАД» [8].

Варіант другий. У контрольному повідомленні в якості адреси одержувача вказується ідентифікатор ЦП; у якості адреси передавача – ідентифікатор того лінійного пункту, який останнім здійснював ретрансляцію; у полі даних передається інформація про стан контрольованих об'єктів всього диспетчерського кола. Ініціатором циклічного передавання є найбільш віддалений від ЦП лінійний пункт – ЛП10. Керуюча ЕОМ цього ЛП (або процесорний модуль) формує інформаційний пакет з даними ТС у відповідності з варіантом 1 (ідентифікатор ЦП + ідентифікатор ЛП10 + дані ЛП10). При кожній ретрансляції до інформаційного пакета додаються контрольні дані про стан об'єктів того ЛП, який її здійснює. Таким чином, з «наближенням» повідомлення до ЦП його довжина збільшується. У підсумку по лінії зв'язку, що з'єднує ЛП1 і ЦП, буде переданий тільки один пакет, що містить інформацію про стан об'єктів всієї ділянки. Користуючись наведеними раніше відомостями і виходячи з того, що на всіх ЛП диспетчерського кола 5000 двопозиційних контрольованих об'єктів (10·500), розрахуємо час зайняття лінії зв'язку ($T_{\text{зл2}}$) на ділянці ЦП-ЛП1.

$$T_{\text{v2}}=5000\cdot 2.2/28000=0.39 \text{ с,}$$

$$T_{\text{зл2}}=T_{\text{прд2}}=(0.02+2\cdot 0.06+0.39)=\mathbf{0.53} \text{ с.}$$

Таким чином, другий варіант оформлення та передавання контрольних інформаційних пакетів є більш прийнятним порівняно з першим, оскільки дозволяє в 3...4 рази зменшити завантаження локальної мережі в найбільш «вузькому» місці ($T_{\text{зл1}} = 1.79$ с; $T_{\text{зл2}} = 0.53$ с).

Сервер ЦП зчитує прийняте модемом повідомлення, перевіряє його правильність, «розпаковує», ідентифікуючи

об'єкти контролю та їх стан, зберігає в архіві поточний стан об'єктів і час реєстрації інформації, і за запитом АРМів видає необхідні дані для відображення. На екранах моніторів автоматизованих робочих місць диспетчерського персоналу відображується стан об'єктів, що відповідає останньому прийнятому контрольному пакету.

7.10. Лінійні пункти МСДЦ: склад технічних засобів і їх взаємодія

Комплекси технічних засобів ЛП мікропроцесорних систем диспетчерської централізації призначені для виконання функцій:

- приймання, дешифрування та реалізації команд керування, що надходять на лінійний пункт з центрального поста ДЦ;
- збору та передавання інформації про стан об'єктів управління і контролю з ЛП на ЦП;
- ретрансляції команд, призначених іншим лінійним пунктам (сигналів ТУ), і контрольних повідомлень, переданих іншими ЛП сегменту диспетчерської дільниці на центральний пост (сигналів ТС).

У деяких системах ДЦ програмно-апаратні комплекси ЛП здатні виконувати й інші завдання. Так, наприклад, у МСДЦ «НЕМАН» будь-який лінійний пункт може виступати як центральний; здійснювати протоколювання поїзної ситуації та стану пристроїв ЗАТ на станції; за запитами видавати як поточні, так і архівні дані ТС усім дозволеним користувачам, у тому числі і віддаленим. Природно, що технічні засоби ЛП різних систем ДЦ відрізняються залежно від переліку виконуваних функцій. Так, для виконання завдань, характерних для ДЦ «НЕМАН», апаратура ЛП за своїми технічними характеристиками повинна наближатися до характеристик пристроїв ЦП, а це не може не позначитися на вартості системи. Тому вибір технічних засобів для вирішення тих чи інших завдань завжди є пошуком компромісу між ціною і функціональністю.

Розглянемо склад і призначення пристроїв ЛП на прикладі МСДЦ «КАСКАД». До складу пристроїв лінійних пунктів входять модулі: мікропроцесорного контролера (МП), модема (ММ), телеуправління (МТУ), телесигналізації (МТС),

телеуправління для виведення відповідальних команд (МТВ), вторинного електроживлення (ВЖ), електронного крейта (КР). Модулі МП, ММ, ВЖ, КР – загальносистемні; модулі МТУ, МТС, МТВ призначені для взаємодії з пристроями СЦБ. Структурна схема пристроїв лінійного пункту наведена на рис. 7.8.

Назви і призначення модулів, їхні структурні схеми, структура міжмодульних зв'язків у цілому відповідають реальним технічним засобам ДЦ «КАСКАД», але в деталях відрізняються. Тому вважати наведену на рис. 7.8 схему структурною схемою ЛП "КАСКАД" було б неправильно. Відносно протоколів і алгоритмів обміну даними між окремими модулями комплексу пристроїв ЛП слід сказати те саме. Враховуючи, що метою цього посібника є надання читачеві інформації про загальні принципи побудови і функціонування мікропроцесорних систем диспетчерської централізації, а не вивчення якоїсь конкретної системи ДЦ (нехай навіть і найбільш поширеної на мережі залізниць України), наявність деяких відмінностей від реальних систем цілком припустима.

Модулі МП, ВЖ, ММ, МТУ, МТС і МТВ встановлюються на певні місця електронного крейта і підключаються до міжмодульної локальної мережі зв'язку, кіл живлення, електричних кіл введення-виведення за допомогою роз'ємних з'єднувачів. Всі модулі, за винятком модулів живлення та електронного крейта, мають у своєму складі мікропроцесорні контролери (CPU); вузли індикації (для відображення наявності напруги живлення, працездатного стану мікроконтролерів, стану входів МТС і виходів МТУ, МТВ); вузли синхронізації і тактування (кварцові резонатори з елементами підключення); вузли початкового встановлення і скидання (RESET); комунікаційні засоби для обміну інформацією міжмодульною локальною мережею (контролери зв'язку). Крім того, модулі ММ, МТУ, МТС, МТВ і КР мають у своєму складі вузли прив'язки – пасивні електронні компоненти для присвоєння модулям певних ідентифікаторів.

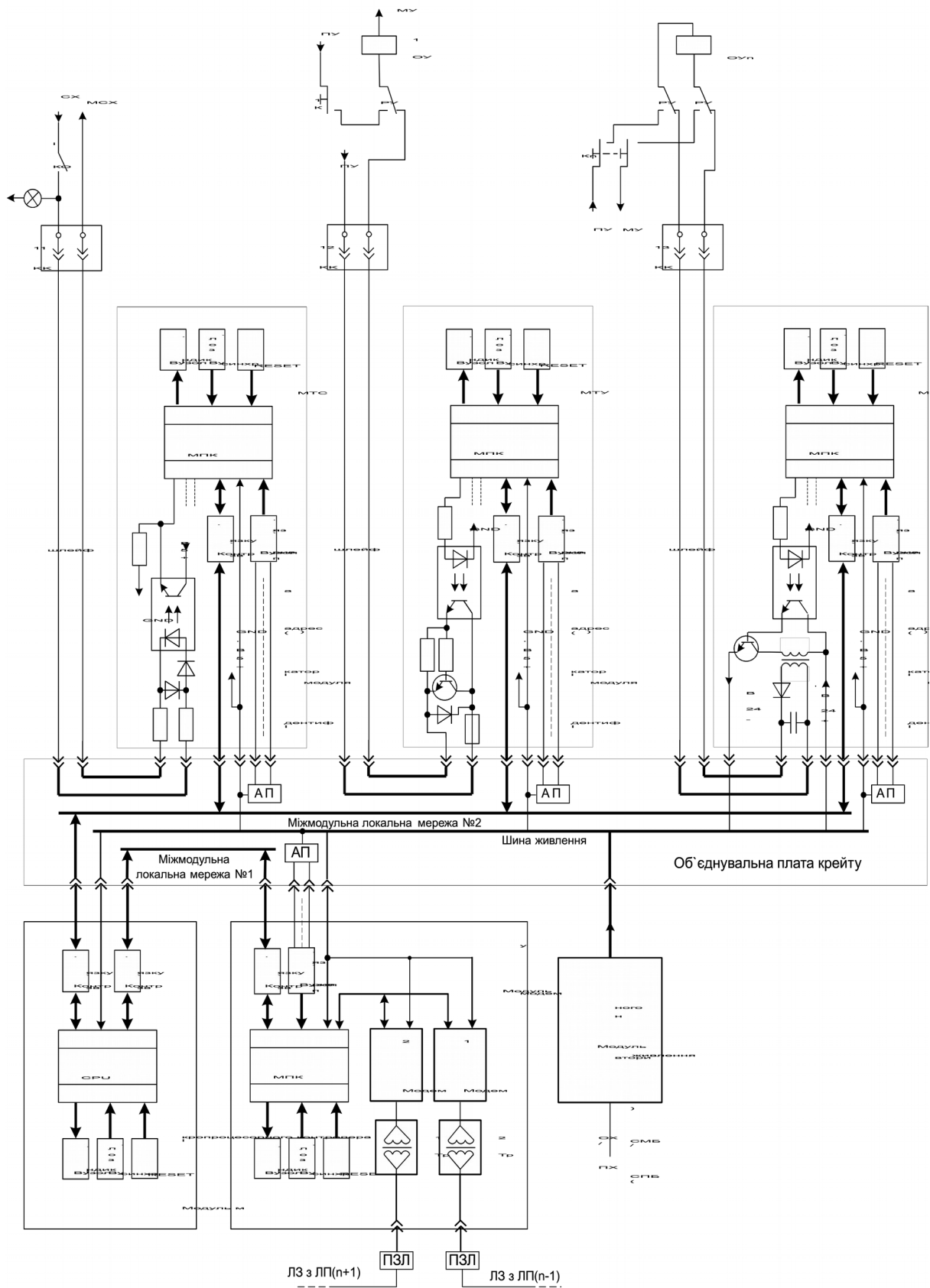


Рис. 7.8. Структурна схема пристроїв ЛП мікропроцесорної системи ДЦ

Необхідність у таких пристроях пояснюється тим, що зазначених модулів у складі ЛП може бути декілька; обмін даними з процесорним модулем здійснюється загальними шинами (одна – для МТУ, МТС, МТВ; інша – для модулів ММ). І тільки на підставі ідентифікаторів можна визначити «авторів» повідомлень ТС та одержувачів команд управління. Іншими словами, після встановлення в крейт модуль повинен визначити свій номер (він же – номер місця). Саме ці номери будуть фігурувати як «адреса одержувача» команд, сформованих процесорним модулем для МТУ, МТВ, а модулі МТС будуть їх вказувати в полі «адреса передавача» при формуванні контрольних пакетів.

Програми функціонування модулів взаємодії з пристроями СЦБ і модема однакові для однотипних модулів. Завдяки цьому МТУ станції «А», наприклад, взаємозамінні з модулями МТУ будь-якої іншої станції диспетчерської дільниці. Те саме можна сказати і про модулі МТС, МТВ, ММ. Програмне забезпечення модулів мікропроцесорних контролерів, що працюють на різних станціях, різне. У пам'яті процесора модуля МП повинні зберігатися дані про колійний розвиток певної станції, перелік маршрутів, команд, підпрограми їх виконання та ін. Оскільки не буває двох абсолютно однакових станцій, остільки не може бути однакових програм для керування ними. Тому модулі МП можуть використовуватися тільки на «своїй» станції, адреса (ідентифікатор) якої жорстко записана в пам'яті CPU.

Притому, що всі модулі мають багато спільних рис і подібну структуру, за своїм призначенням, виконуваними функціями і технічним оснащенням вони суттєво відрізняються. Так, модуль мікропроцесорного контролера має у своєму складі потужний процесор (CPU), який за своїми обчислювальними можливостями значно переважає контролери інших модулів. Під його управлінням здійснюється приймання, дешифрування і виконання команд, що надходять на лінійний пункт з центрального поста ДЦ; формування та передавання інформаційних пакетів про стан об'єктів управління і контролю з ЛП на ЦП; ретрансляція команд, призначених іншим лінійним пунктам, і контрольних повідомлень, сформованих іншими ЛП.

Обмін інформацією з «підлеглими» модулями ММ, МТС, МТУ і МТВ процесор модуля МП здійснює за допомогою контролерів зв'язку відповідними міжмодульними локальними мережами. У МСДЦ «КАСКАД» локальні мережі № 1, № 2 (див. рис. 7.8) суттєво відрізняються і за структурою, і за принципом дії. Так, для обміну даними між МП і ММ використовується шина ISA (швидкісний синхронний інтерфейс, див. підрозділ 7.11), а для взаємодії з модулями МТУ, МТС, МТВ – послідовний, RS 232). Використання інтерфейсу ISA обумовлено необхідністю зменшити втрати часу на обмін інформацією між процесорним модулем і модемами під час приймання команд ТУ, формування і передавання сигналів ТС, а також під час ретрансляції повідомлень.

Крім того, завдяки розділенню локальних мереж підвищується заводозахищеність і безвідмовність комплексів ЛП, оскільки електромагнітні завади з зовнішньої лінії зв'язку вже не можуть впливати на модулі взаємодії з пристроями СЦБ. У разі виникнення значних перенапруг на лінійному вході модуля модема (наприклад, у результаті грозового розряду і виходу з ладу пристроїв захисту ліній (ПЗЛ)) можливе пошкодження (пробій) ізоляції елементів гальванічної розв'язки модема і поява високої напруги в локальній мережі № 1 (ММ – МП). У цьому випадку існує ймовірність пошкодження модуля ММ і контролера зв'язку процесорного модуля, але модулі взаємодії з пристроями СЦБ не постраждають.

7.11. Організація обміну даними по міжмодульних шинах зв'язку

Перш ніж розглянути питання, пов'язане з внутрішньосистемним обміном інформацією, внесемо ясність щодо деяких термінів, що неодноразово зустрічаються (у тому числі і в цьому навчальному посібнику): **«протокол» і «інтерфейс»**.

Інтерфейс – у широкому сенсі стик, межа розділу двох взаємодіючих систем, пристроїв або програм [11]. Також інтерфейс можна визначити як угоду про взаємодію об'єктів: перелік засобів взаємодії, їх параметри; у разі апаратних

інтерфейсів – параметри сигналів, способи доступу до засобів взаємодії, правила взаємодії.

Розрізняють такі інтерфейси:

1. *Апаратні* (пристрій-пристрій) – сукупність алгоритмів обміну та технічних засобів, що забезпечують обмін між пристроями. Приклади: PCI, RS 232, CAN, I2C, Ethernet.

2. *Програмні* – угода про зв'язки в програмному середовищі між програмними модулями. Приклади: Win 32, POSIX, API будь-якого програмного модуля. Сюди ж слід віднести і інтерфейси прикладного програмування – набори функцій, що надаються для використання в прикладних програмах.

3. *Інтерфейси користувача* (система управління-оператор) – сценарії, за якими здійснюється спілкування користувача з обчислювальною системою, і методи їх реалізації. Приклади: «людино-машинний інтерфейс», WIMP (window, icon, menu, pointers) – стиль організації роботи в програмному комплексі Microsoft Office.

Оскільки інтерфейси користувача та програмні інтерфейси виходять за рамки теми цього підрозділу, надалі будемо вести мову тільки про апаратні – сукупність алгоритмів обміну і технічних засобів, що забезпечують обмін даними між пристроями.

Протокол – це правила взаємодії двох і більше систем (або пристроїв) у процесі передавання даних. Під правилами в даному випадку розуміються алгоритми взаємодії пристроїв; обсяги даних, що підлягають передаванню; формати їх подання та ін. Відразу зазначимо, що протокол і інтерфейс взаємопов'язані – тип інтерфейсу висуває певні вимоги до протоколу і навпаки.

Розглянемо, що є протоколом, і що є інтерфейсом, на прикладі обміну інформацією між процесорним модулем ЛП системи ДЦ і модулями телеуправління. Максимальна кількість модулів ТУ, з якими може «спілкуватися» процесорний модуль, визначає мінімальну довжину поля «адреса одержувача» інформаційного кадру-команди. Кількість виходів модуля ТУ, кількість одночасно відкритих виходів впливають на формат поля «дані». Так, якщо модуль ТУ має у своєму складі 32 електронних вихідних ключі (як МТУ «КАСКАД») і одночасно може бути відкрита будь-яка кількість цих ключів, мінімальна довжина поля

даних – 32 біти: кожному ключу повинен відповідати певний біт (позиційний код). Якщо ж за технологією роботи системи в кожен момент часу може бути відкрито тільки один вихід, мінімально достатня довжина поля «дані» – 5 двійкових розрядів: у полі «дані» у двійковому коді вказується номер ключа, який повинен бути відкритий у даний момент. Припустимо, розробник прийняв рішення для кодування команд (позначення ключів, які повинні бути переведені у відкритий стан) використовувати позиційний код.

Наступне завдання – здійснити «прив'язку» порядкових номерів бітів у команді до номерів ключів на платі модуля ТУ. Можливий варіант вирішення цього завдання наведений на рис. 7.9.

	EK8	EK7	EK6	EK5	EK4	EK3	EK2	EK1
B0	7	6	5	4	3	2	1	0
	EK16 EK15 EK14 EK13 EK12 EK11 EK10 EK9							
B1	7	6	5	4	3	2	1	0
	EK24 EK23 EK22 EK21 EK20 EK19 EK18 EK17							
B2	7	6	5	4	3	2	1	0
	EK32 EK31 EK30 EK29 EK28 EK27 EK26 EK25							
B3	7	6	5	4	3	2	1	0

Рис. 7.9. Варіант прив'язки номерів електронних ключів до номерів бітів в полі команд

Цілком можлива ситуація, коли в процесі роботи комплексу МП – МТУ вийде з ладу який-небудь елемент апаратного інтерфейсу і модуль ТУ не зможе приймати нові команди. Якщо відмова сталася в той час, коли модуль телеуправління утримував всі вихідні ключі в закритому стані, – це ще півбіди. Враховуючи, що в складі комплексу ЛП, як правило, кілька МТУ, таку відмову можна класифікувати як часткову: деякі функції система не зможе виконувати, а деякі збережуться. Якщо ж зв'язок перервався в той момент, коли частина ключів була відкрита, МТУ, не отримуючи нових команд, буде «вічно» (до усунення несправності) намагатися виконати останню прийняту команду. Що стосується систем ДЦ і ЕЦ, то така ситуація є неприпустимою, бо якщо

об'єктами управління несправного модуля ТУ були кнопкові реле маршрутного набору, жоден маршрут після відмови встановити не вдасться. Можливий варіант вирішення подібних проблем - обмеження часу «життя» команд, наприклад, на рівні 1 с. Для переведення у відкритий стан і утримання в цьому стані і-го ключа МТУ повинен не рідше одного разу на секунду отримувати від процесорного модуля команду «відкрити ключ № і». У разі порушення зв'язку і-й ключ буде закритий через секунду з моменту останнього сеансу зв'язку. Іншим рішенням може бути циклічне передавання процесорним модулем сповіщувального контрольного пакета (безадресного), приймання якого дає можливість модулям ТУ діагностувати стан каналу зв'язку. Якщо модуль телеуправління перестає приймати ці пакети, через встановлений інтервал (нехай та сама 1 с) всі виходи переводяться в стан «розімкнено».

Для діагностики стану модулів МТУ може передбачатися і зворотне (від МТУ до МП) передавання даних – циклічна або за запитом процесорного модуля.

Всі зазначені вище особливості обміну інформацією між процесорним модулем і модулями ТУ (довжина полів «адреса одержувача» і «дані», відповідність окремих бітів команди номерам ключів модулів ТУ, наявність або відсутність контрольних бітів, процедура обміну і т. п.) описує **протокол**. Вимоги протоколу мають відношення до програм функціонування процесорів (мікроконтролерів) модулів МП і МТУ.

Підготовлені та оформлені за розробленим протоколом дані повинні бути доставлені одержувачу – модулю ТУ. Безпосереднє передавання інформації від передавача до приймача може бути реалізовано різними способами – з використанням різних апаратних інтерфейсів.

Апаратні інтерфейси характеризуються двома рівнями опису: логічною і фізичною організацією. Під *логічною організацією* розуміють перелік повідомлень певного формату, якими обмінюються пристрої або програми, а також набір правил, що визначають логіку обміну: фази в роботі інтерфейсу, набори процедур з організації взаємодії та послідовність їх виконання для різних режимів функціонування.

Фізична організація інтерфейсу визначається електричною та конструктивною сумісністю пристроїв, що сполучуються. Під електричною сумісністю розуміють узгодженість електричних сигналів у лініях інтерфейсу і технічну реалізацію приймально-передавальних блоків (кількість провідників ліній, схеми їх узгодження; рівні «0» і «1», межі їх зміни; допустиму довжину ліній; вимоги до джерел і кіл живлення, завадостійкості та заземлення).

Повертаючись до наведеного вище прикладу, підведемо підсумок: протокол взаємодії висуває вимоги до подання та інтерпретації даних, призначених для передавання; інтерфейс – до ліній зв'язку і характеристик сигналів (фізичний), методів синхронізації передавачів і приймачів, способів передавання масивів даних (блоками довільних розмірів, побайтно або суцільним потоком – логічний) тощо.

Однією з характеристик апаратних інтерфейсів є **розрядність слова даних**, яка визначає поділ інтерфейсів на паралельні, послідовно-паралельні і послідовні.

У *паралельних інтерфейсах* блок даних (розмір блока зазвичай кратний восьми бітам) передається за один такт. Для побудови паралельної магістралі передавання даних необхідна організація декількох шин: даних (по якій передається інформація, що записується або зчитується з зовнішнього пристрою), адреси (для доступу до того чи іншого зовнішнього пристрою або комірки пам'яті); стану (для передавання результатів операцій на інтерфейсі і сповіщення про стан пристроїв сполучення) та управління (синхронізація і управління обміном: запис/читання). (Власне кажучи, паралельне передавання даних «паралельна» лише частково: якщо масив даних має розмір n байт, все одно буде потрібне послідовне передавання 1-го, 2-го, 3-го ... n -го байтів.)

Безсумнівною перевагою паралельного способу обміну даними є його висока швидкість. Причому вона тим вища, чим більша розрядність шини даних – більше бітів інформації передається за один такт.

Прикладами паралельних інтерфейсів є: ISA, ATA, SCSI, PCI, IEEE та ін. [11].

Оскільки між окремими провідниками шини існує електрична ємність, то при зміні рівня сигналу, що передається по одному з провідників, виникає завада (короткий викид напруги) на інших провідниках. Зі збільшенням довжини шини (збільшенням ємності провідників) взаємні впливи між провідниками зростають, що врешті-решт може призвести до сприйняття приймачем завад як сигналів. Тому відстань між МПК і найбільш віддаленим зовнішнім пристроєм для подібної шини зазвичай не перевищує 1-2 м, а її збільшення (до 10-20 м) можливе лише за рахунок істотного ускладнення (а отже, і подорожчання) шини або зниження швидкості передавання.

Вказана обставина і бажання використовувати для передачі інформації лінії зв'язку з мінімальною кількістю провідників (у тому числі і телефонні) зумовили поширення послідовного способу обміну даними між зовнішніми пристроями та мікроЕОМ (або між декількома мікроЕОМ).

Послідовне передавання передбачає поелементне, посимвольне пересилання даних, при якому масиви даних у процесі передавання «розгортаються» в ланцюжок бітів.

Можливі два режими послідовного передавання даних: **синхронний** і **асинхронний**. Причому асинхронний режим обміну може бути реалізований з програмною перевіркою готовності приймача і з апаратною.

Синхронний обмін даними передбачає відсутність ситуації неготовності сторін, що обмінюються. Наприклад, при читанні даних з порту передбачається, що зовнішній пристрій завжди готовий до передавання. Під час запису в порт пристрій завжди готовий прийняти дані. При синхронному обміні елемент системи введення-виведення ніяк не може вплинути на хід обміну і не має можливості повідомити ведучому пристрою про свою готовність або неготовність.

При синхронному послідовному передаванні кожен біт даних супроводжується імпульсом синхронізації, що інформує приймач про наявність на лінії інформаційного біта. Тобто передавання кожного біта тактується посилюючим синхроімпульсом, причому окремим колом (по окремому провіднику). Тому між передавачем і приймачем мають бути прокладені мінімум три провідники: один для передавання імпульсів синхронізації,

другий для передавання даних, а також загальний заземлений провідник. У принципі можлива синхронізація передавача і приймача за допомогою синхронізуючого кодування даних, при якому на приймальному боці системи з прийнятого сигналу можуть бути виділені сигнали синхронізації.

Синхронне передавання відрізняється високою швидкістю, але малою гнучкістю. Основний недолік синхронних інтерфейсів - їх неможливо організувати між асинхронними пристроями (такими, що мають різний час виконання операцій або у яких через різну кількість операцій відрізняється сумарний час їх виконання). Внаслідок зазначених вище причин синхронні інтерфейси в чистому вигляді не застосовуються. Прикладом видозміненого синхронного інтерфейсу може служити SPI, що широко застосовується для обміну даними між мікроконтролерами, МПК і контролерами зв'язку, елементами зовнішньої пам'яті, мікросхемами АЦП або ЦАП, зазвичай розташованими в межах однієї плати.

Асинхронний обмін з програмною перевіркою готовності передбачає можливість програмно оцінити ступінь готовності елемента системи введення-виведення, з яким відбувається взаємодія. Як правило, для цього служить програмно доступний (через той самий порт, по якому відбувається взаємодія) регістр стану пристрою. Перед тим як передати дані пристрою або забрати їх, ведучий пристрій (у нашому випадку модуль МП) має можливість визначити, чи готовий модуль ТУ до цієї операції, прочитавши значення порту стану. Очевидно, що такий спосіб обміну вимагає додаткових витрат часу на опитування готовності, що подовжує процедуру обміну. Крім того, виконання інструкцій з опитування забирає процесорний час, протягом якого могли б виконуватися інші частини алгоритму. Якби процедура опитування виконувалася паралельно з основним алгоритмом (наприклад, апаратно), це дозволило б прискорити роботу всієї програми.

При асинхронному обміні з апаратною перевіркою готовності між пристроями організуються додаткові сигнальні кола, по яких у встановленому форматі (низький рівень сигналу або високий) передається інформація про готовність/неготовність

пристроїв до обміну. Природно, такий вид обміну вимагає додаткових апаратних витрат, проте швидкість обміну зростає.

Розглянемо механізм взаємодії двох пристроїв на прикладі асинхронного послідовного інтерфейсу.

При асинхронному послідовному передаванні даних у передавача і приймача немає загального генератора синхроімпульсів, а синхронізуючий сигнал не посиляється разом з даними. Стандартний інформаційний пакет, який використовується при асинхронному передаванні, звичайно дорівнює одному байту; кожному інформаційному пакету передуює старт-біт, що сигналізує приймачу про початок посилки; за старт-бітом слідує інформаційні біти і, можливо, біт паритету (парності). Завершує посилку стоп-біт, що гарантує паузу між посилками. Старт-біт наступного байта посиляється в будь-який момент після стоп-біта попереднього байта. Таким чином, між суміжними посилками можливі паузи довільної тривалості. Старт-біт, що має завжди строго певне значення (логічний 0), забезпечує простий механізм синхронізації приймача за сигналом від передавача. Природно, що передавач і приймач повинні працювати на одній швидкості обміну: тривалості імпульсів, якими передаються стартові, інформаційні та стопові біти, повинні бути відомі приймачу. Внутрішній генератор синхронізації приймача має програмно налаштований на необхідну швидкість обміну таймер-лічильник, що обнуляється по передньому фронту старт-біта. Налаштування здійснюється у процесі виконання підпрограми початкової ініціалізації. Цей таймер генерує внутрішні строби, за якими приймач фіксує наступні прийняті біти. В ідеальному випадку строби повинні припадати на середини бітових інтервалів, що дозволяє забезпечити стійкий обмін інформацією навіть при деякій незгодженості швидкостей передавача і приймача.

Як приклад розглянемо формат кадру універсального асинхронного приймача-передавача (UART) мікроконтролера Atmega 162 (рис. 7.10), а також процедуру приймання повідомлення (рис. 7.11, а, б, в).



Рис. 7.10. Формат кадру UART

Наведений на рис. 7.10 кадр фактично є діаграмою зміни напруги на лінії, що з'єднує вихід передавача і вхід приймача, у процесі передавання. На рисунку у квадратних дужках вказані складові кадру, які можуть бути включені (або не включені) до його складу на етапі налаштування інтерфейсу. Так, при налаштуванні на мінімальну довжину кадр буде мати один страт-біт (St), п'ять інформаційних (0 – 4) і один стоп-біт (Sp1). Кадр з максимальною «комплектацією» наведено на рис 7.10: один старт-біт, дев'ять інформаційних (0 – 8), біт паритету (P), два стоп-біти.

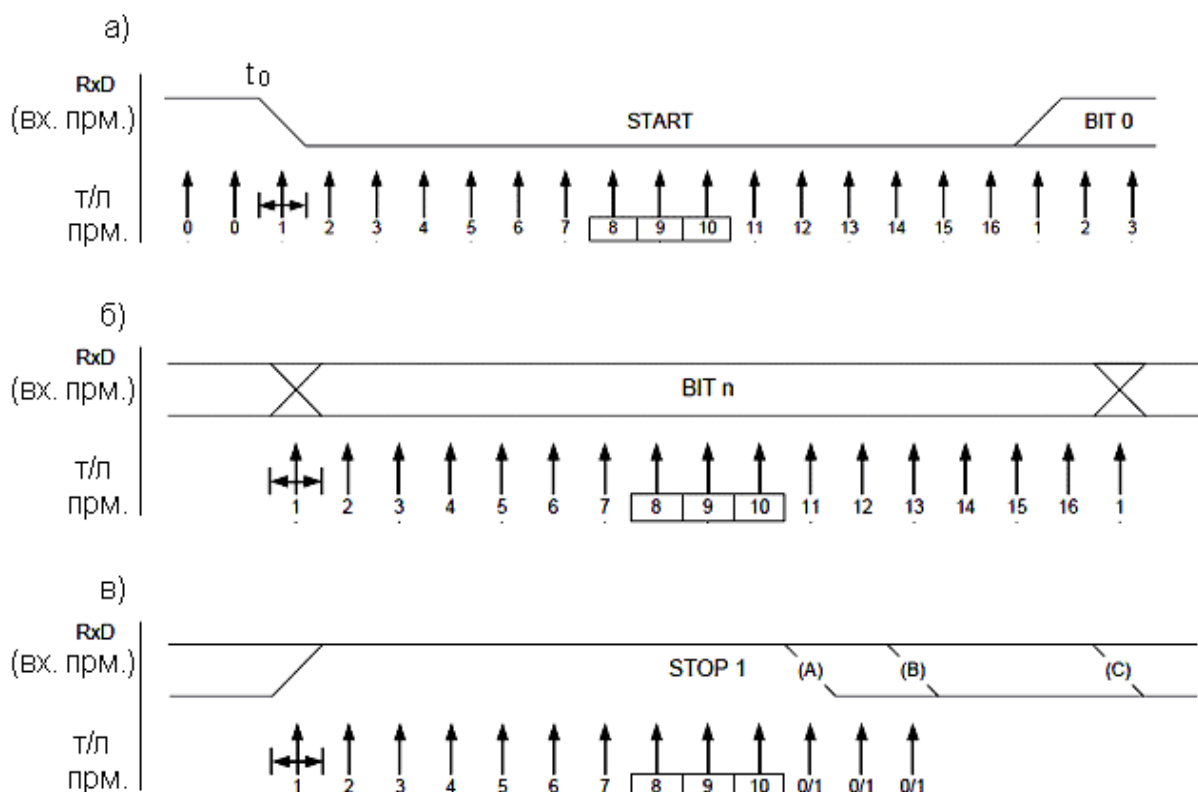


Рис. 7.11. Діаграми роботи асинхронного приймача-передавача під час приймання старт-біта (а), бітів даних (б) і стоп-біта (в)

Налаштування інтерфейсу, що стосуються швидкості обміну та всіх інших параметрів формату кадру, повинні бути однаковими у передавача і приймача.

За відсутності активності передавача на його виході (TxD) і вході приймача (RxD) присутня напруга з рівнем логічної одиниці (рис. 7.11, а). Таймер лічильник (т/л) внутрішнього синхронізуючого генератора приймача заблокований. Нехай у момент часу t_0 передавач формує передній фронт стартового імпульсу. Через деякий час, що залежить від характеристик вихідного електронного ключа передавача, опору і ємності лінії зв'язку, напруга на вході приймача знизиться з «1» до «0», що призведе до запуску системи синхронізації. Таймер лічильник починає відлік часових інтервалів з тривалістю $t_{imp}/16$, де t_{imp} – тривалість стартового, стопового та інформаційних імпульсів, визначених налаштуванням швидкості передавання інформації.

Приблизно в середині кожного імпульсу, як інформаційного, так і службового, на 8-му, 9-му і 10-му тактах роботи таймера/лічильника приймач тричі зчитує стан входу RxD і, здійснюючи мажоритування за схемою 2 з 3, приймає рішення про поточний стан входу (0 або 1), тобто про значення прийнятого біта. Якщо старт-біт, біт парності (якщо такий передбачено відповідним налаштуванням) і стоп-біт прийняті правильно, значення інформаційних бітів записуються в приймальний регістр для подальшої обробки. В іншому випадку формується ознака помилки приймання.

Зазначимо, що зміст даних, які передаються універсальним асинхронним приймачем-передавачем, для останнього не має значення. Що саме передається і як ця інформація буде використана, визначає протокол взаємодії термінального обладнання, зв'язок між яким здійснюється за допомогою UART (мікроконтролерами МП і МТУ).

Безпосереднє передавання електричних сигналів забезпечує фізичний інтерфейс, зі схемотехнічною реалізацією якого докладніше можна ознайомитись у роботі [11] або в інших джерелах.

У ДЦ «КАСКАД» для обміну даними між процесорним модулем і модулями модемів використовується синхронний паралельний інтерфейс ISA, а для зв'язку МП з модулями ТУ, ТС, ТВ – RS 232.

Таким чином, використовуючи паралельний або послідовний інтерфейс, можна передавати командну і контрольну інформацію в межах комплексів технічних засобів лінійних пунктів або центрального поста з необхідними параметрами швидкості і надійності. Пристрої, які на рис. 7.8 позначені як контролери зв'язку, призначені саме для цього. На практиці це можуть бути елементи фізичних інтерфейсів, що забезпечують передавання електричних сигналів відповідно до стандартів RS 232C, RS 422A, RS 485; драйвери фізичного і логічного рівнів CAN інтерфейсу; шинні формувачі паралельних інтерфейсів тощо.

Інтерфейс для обміну даними між модемними модулями, модулями телеуправління, телесигналізації і процесорним модулем вибирає розробник системи ДЦ виходячи з ряду об'єктивних і суб'єктивних факторів. До об'єктивних належать обсяги даних, що підлягають передаванню, необхідна швидкість передавання, відстань між окремими модулями, топологія міжмодульної локальної мережі, кількість модулів у мережі, наявність обмежень щодо кількості провідників для її організації тощо. До суб'єктивних факторів можна віднести наявність або відсутність внутрішніх стандартів, діючих на підприємствах-розробниках; наявність відпрацьованих схемних і програмних рішень, реалізованих у попередніх розробках; вимоги замовника та ін.

7.12. Загальні принципи узгодження систем ДЦ з пристроями ЕЦ стосовно введення і виведення інформації

Типові схеми систем електричної централізації передбачають функціонування пристроїв ЕЦ під керуванням чергового по станції. Введення команд управління для переведення стрілок, відкриття сигналів, встановлення маршрутів здійснюється за допомогою кнопочового пульта, а виведення контрольної інформації – індикаторними лампами табло. Залежно

від типу системи ЕЦ, її «віку» органи керування і елементи індикації можуть відрізнятись. Разом з тим в усіх системах ЕЦ для введення команди ДСП повинен у певній послідовності натиснути кнопки апарату керування або змінити положення перемикачів. Причому кожній команді відповідає строго визначена, унікальна послідовність дій. Власне кажучи, системи ЕЦ «розуміють» тільки таке введення команд. Тому для віддаленого керування пристроями електричної централізації по каналах ТУ системи диспетчерської централізації повинні впливати на пристрої ЕЦ так само, як і черговий по станції. У системах ЕЦ натискання кнопок апарату керування призводить до замикання електричних кіл реле маршрутного набору, пускових реле стрілок, штучного розмикання ізольованих секцій, скасування маршруту тощо. Тому для дистанційного управління електричними централізаціями станцій дільниці пристрої лінійних пунктів систем ДЦ повинні замкнути ті самі електричні кола, але вже іншими засобами. Саме так і відбувається телеуправління стрілками і сигналами: **пристрої каналу ТУ як мікропроцесорних систем ДЦ, так і релейно-контактних за результатами дешифрування отриманої команди в необхідній послідовності замикають кола живлення кнопок реле ЕЦ (або їх аналогів у схемах керування стрілками, штучного розмикання секцій тощо), впливаючи на пристрої електричної централізації, що еквівалентно натисканню кнопок на апараті керування.**

Для резервного управління станцією, наприклад у випадку пошкодження пристроїв ДЦ, необхідно передбачити можливість введення команд в систему ЕЦ традиційними засобами: з пульта-табло ЕЦ. Типова схема підключення модулів телеуправління до пристроїв ЕЦ наведена на рис. 7.12. Щоб виключити можливість одночасного керування станцією з апарату управління ЕЦ і по каналах ТУ диспетчерської централізації, у схемах сполучення використовуються комутуючі пристрої для вибору режиму управління – контакти реле резервного управління (РУ). Для керування станцією з пульта-табло поворотом спеціального пломбованого ключа необхідно ввімкнути реле РУ і його повторювачі, у режимі диспетчерського управління реле РУ повинно знаходитись у вимкненому стані.

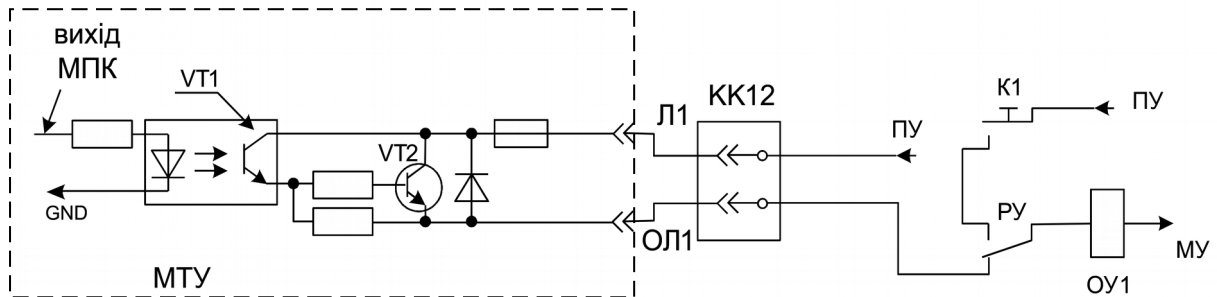


Рис. 7.12. Схема підключення виходів модуля ТУ до пристроїв ЕЦ

Так, при збудженому стані РУ коло живлення ОУ буде замикатися, сприймаючи команди оператора, після натискання кнопки К1: полюс ПУ - К1 - фронтовий контакт РУ - ОУ1 - полюс МУ. При вимкненому реле РУ пристрої ЕЦ будуть сприймати тільки команди, що формуються апаратурою ДЦ. У цьому випадку для вмикання ОУ1 мікропроцесорний контролер модуля МТУ повинен сформувати команду для відкриття вихідного транзистора VT2. Об'єкт управління отримає живлення по колу полюс ПУ - клемна колодка КК12 - провідник шлейфа Л1 - відкритий VT2 - ОЛ1 - КК12 - тиловий контакт РУ - ОУ1 - полюс МУ.

Підключення виходів модулів МТВ до пристроїв електричної централізації може здійснюватися за схемами, наведеними на рис. 7.13, а або б. Перша схема є більш безпечною, оскільки передбачає двополюсну комутацію кіл управління; друга містить меншу кількість комутуючих пристроїв, а отже, має меншу вартість. Оскільки модулі МТВ використовуються для управління відповідальними пристроями ЕЦ, безпечність схем сполучення є більш вагомим аргументом порівняно з вартісними показниками.

Джерелом інформації про положення стрілок, показання світлофорів, стан колійних ділянок є система ЕЦ: контрольні реле стрілок; сигнальні, вогневі реле світлофорів; колійні, замикальні реле та ін. Інформація про стан зазначених вище об'єктів виводиться пристроями ЕЦ на табло робочого місця ДСП і відображується ввімкненим або вимкненим станом індикаторних ламп (або світлодіодів) на мнемосхемі станції.

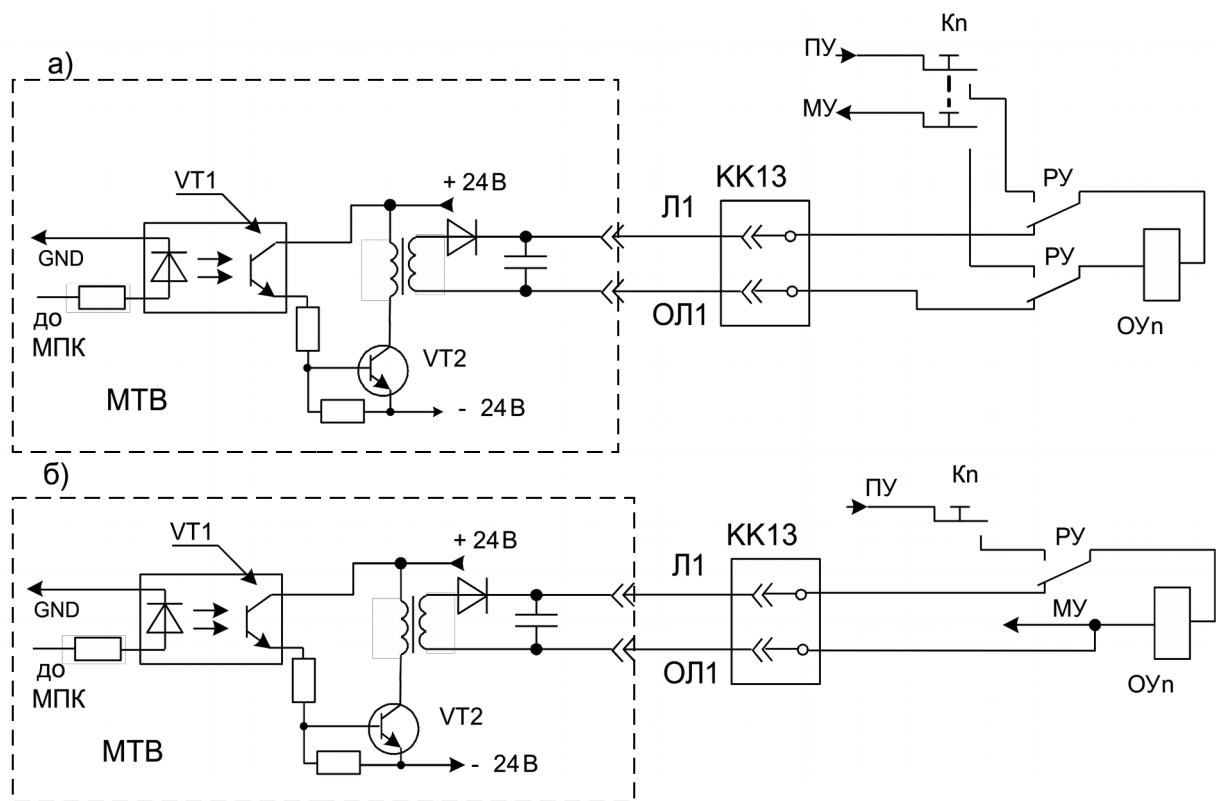


Рисунок 7.13 Схеми підключення модулів МТВ до об'єктів управління

Необхідно, щоб ця інформація була доступна не тільки черговому по станції, а й диспетчеру. Для введення контрольної інформації в системи ДЦ застосовуються модулі телесигналізації – МТС. Ці модулі призначені для контролю позиційних об'єктів і розрізняють два стійких стани входів: об'єкт ввімкнено (висока напруга на вході); об'єкт вимкнено (низька напруга). Для спрощення та уніфікації схем підключення контрольованих об'єктів до пристроїв ДЦ **безпосереднє підключення входів модулів ТС, як правило, здійснюється до клемних колодок табло (або релейного статива передачі) паралельно індикаторним лампам.** Схема підключення входів модуля МТС до пристроїв ЕЦ наведена на рис. 7.14.

При замкненому контакті контрольованого об'єкта КОі живлення отримує індикаторна лампа Лі і одночасно напруга подається на відповідний вхід модуля МТС, забезпечуючи протікання струму по колу полюс СХ - замкнений контакт КОі - контакт клемної колодки КК11 - провідник шлейфу Л1 - R1 - VD2 - R2 - провідник шлейфу ОЛ1- контакт клемної колодки КК11 - полюс МС.

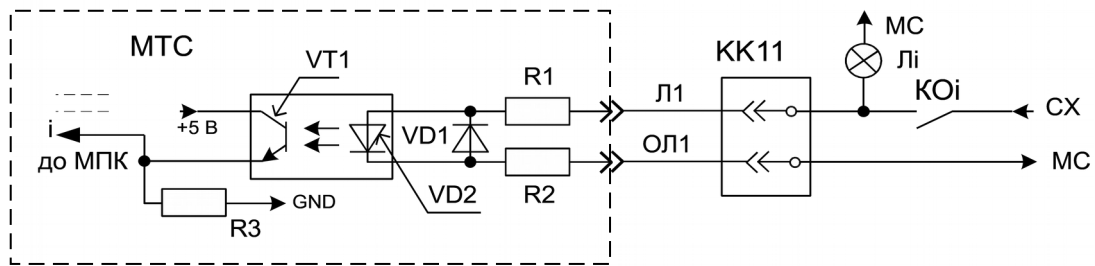


Рис. 7.14. Схема підключення входів модулів МТС до контрольованих об'єктів

Наявність струму в зазначеному колі призводить до того, що світлодіод VD2 випромінює потік фотонів. У результаті опромінення світлочутливого шару бази опір кола колектор-емітер фототранзистора VT1 зменшується, на резисторі R3 та і-му вході МПК модуля МТС з'являється напруга з рівнем логічної «1», що і фіксується мікроконтролером. (У розглянутому прикладі на вході МПК буде спостерігатися послідовність імпульсів 0, 1, 0, 1 ..., оскільки живлення вхідних кіл здійснюється від джерела змінної напруги СХ-МС).

7.13. Робота пристроїв ЛП під час приймання і виконання команд ТУ

Припустимо, що на рис. 7.8 наведена структурна схема лінійного пункту А. ЛП-А обладнаний системою електричної маршрутно-релейної централізації. На ЦП сформована і передана на адресу станції А команда «встановити маршрут парного приймання на другу колію». Апаратура лінійних пунктів і центрального поста функціонує в штатному режимі без пошкоджень.

У ДЦ "КАСКАД" модулі ММ мають у своєму складі по дві спеціалізованих мікросхеми модемів, тому для організації зв'язку кільцевою локальною мережею достатньо одного модемного модуля. МПК модемного модуля безперервно перевіряє інформаційні виходи модемів і контролера зв'язку з модулем МП на предмет наявності сигналів, що свідчать про надходження повідомлень (див. підрозділ 7.8). Під час приймання команди ТУ, що надходить з ЦП, модем М1 спільно з МПК здійснює попередню перевірку правильності побудови сигналу. Якщо

результат позитивний, МПК модемного модуля по міжмодульній локальній мережі № 1 пересилає прийнятий пакет модулю МП. Процесорний модуль здійснює свою власну перевірку пакета, обчислюючи контрольну суму, а потім дешифрує адресу одержувача. Фактично дешифрування зводиться до порівняння кодової комбінації, зазначеної в полі «адреса одержувача», зі своїм власним ідентифікатором. Залежно від результатів порівняння можливі такі дії з боку МП: перезавантаження прийнятої команди в модемний модуль для подальшого передавання модемом М2 (якщо команда адресована іншому ЛП); дешифрування смислової частини повідомлення, якщо ідентифікатор одержувача та ідентифікатор МП збігаються. Оскільки в розглянутому прикладі команда адресована саме лінійному пункту А, процесор модуля МП переходить до наступної фази виконання програми - дешифрування коду команди. МП порівнює код, зазначений у полі «дані» прийнятого повідомлення, зі списком команд, що зберігаються в пам'яті СРУ. Можливий алгоритм роботи контролера під час дешифрування команд наведено на рис. 7.15.

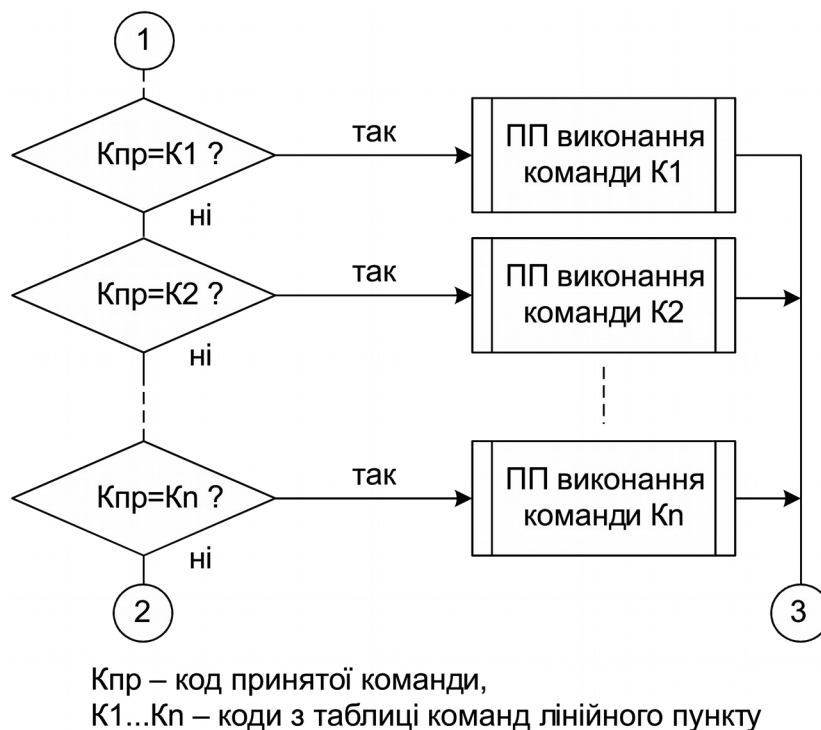


Рис. 7.15. Блок-схема алгоритму дешифрування команд

У попередньому підрозділі вже йшлося про те, що виконання команд ТУ технічними засобами систем ДЦ за своєю суттю є імітацією дій ДСП, виконуваних при введенні аналогічних наказів з традиційного пульта ЕЦ. Тому для встановлення маршруту парного приймання на другу колію (розглянутий приклад) модуль мікропроцесорного контролера повинен:

- передати команду модулю МТУ № 1 «замкнути електронний ключ № 5» (імітація натискання початкової кнопки маршруту для збудження кнопкового реле «ЧК» світлофора Ч);

- аналізуючи повідомлення модулів ТС, контролювати вмикання кнопкового реле «ЧК». Після фіксації виконання попередньої операції перейти до наступної. (Можливий і інший варіант: після передачі модулю МТУ вказаної команди «зачекати» 0.5-1.0 с (час, достатній для спрацьовування реле), а потім перейти до наступної фази.);

- передати команду модулю МТУ № 1 «розімкнути електронний ключ № 5» (імітація відпускання початкової кнопки маршруту);

- передати команду модулю МТУ № 1 «замкнути електронний ключ № 23» (імітація натискання кінцевої кнопки маршруту для збудження кнопкового реле світлофора Н2);

- передати команду модулю МТУ № 1 «розімкнути електронний ключ № 23» (імітація відпускання кінцевої кнопки маршруту).

На цьому цикл роботи модуля МП з виконання підпрограми встановлення маршруту закінчено. *Номер модуля МТУ, номери електронних ключів, час очікування в наведеному прикладі вказані довільно. У реальних програмах зміст окремих інструкцій залежить від особливостей проекту — типу системи ЕЦ і фактичних схем підключення модулів ТУ та ТС до об'єктів управління і контролю.*

Якщо змістовна частина команди буде містити інший наказ (наприклад “встановити маршрут непарного відправлення з другої колії”), у наведеній вище підпрограмі зміниться послідовність замикання і розмикання ключів того ж таки модуля ТУ.

Структурна схема модуля ТУ наведена на рис. 7.16.

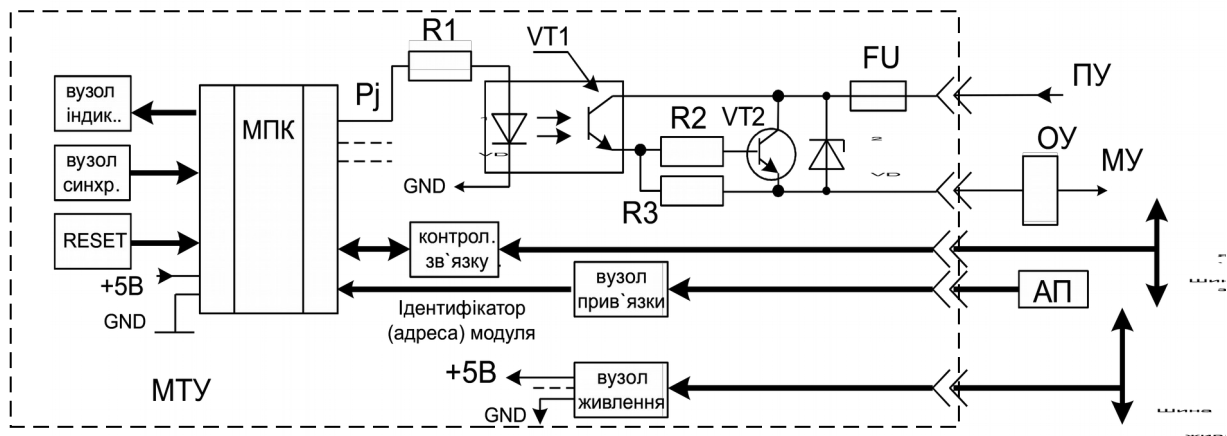


Рис. 7.16. Структурна схема модуля ТУ

Інформація про поточний стан виходів модуля МТУ за допомогою вузла індикації виводиться на його лицьову панель. Кожному виходу, а отже, і об'єкту управління відповідає певний світлодіод на цій панелі, що дозволяє візуально контролювати стан виходів і правильність функціонування модулів навіть без застосування спеціальних діагностичних засобів.

Процес керування модулями МТУ з боку модуля МП полягає в передаванні на адресу модулів телеуправління команд, визначених програмою функціонування процесорного модуля. Кожна команда повинна складатися мінімум з двох частин: адресної, у якій МП вказує номер (ідентифікатор) модуля МТУ-"виконавця", і смислової.

У смисловій частині команди МП вказує, у який стан необхідно перевести відповідний вихід мікроконтролера модуля виведення. Якщо модуль МТУ має 32 виходи, як у випадку МСДЦ "КАСКАД", мінімальна довжина інформаційної частини коду команди – 32 двійкових розряди. Кожен розряд жорстко "прив'язаний" до певного виходу МПК. Для переведення виходу МТУ в стан "1" (замикання електронного ключа) відповідний біт команди, сформованої МП, повинен набути значення "1" (або "0" залежно від конкретної схемної реалізації модуля).

Так, для вмикання ОУ (рис. 7.16) в інформаційній частині команди в стані "1" повинен знаходитися біт, що відповідає виводу Pj. За результатами дешифрування команди МПК встановлює в "1" вихід Pj (усередині мікросхеми контролера цей вивід підключається до полюса живлення +5 В). Через світлодіод VD1 оптрона починає протікати струм по колу +5 В - "Pj" - R1 -

VD1 - GND. У результаті опромінення фототранзистора VT1 опір кола колектор-емітер знижується, що сприяє появі струму бази транзистора VT2 (ПУ - FU - колектор-емітер VT1 - R2 - база-емітер VT2 - ОУ - МУ) і, як наслідок, відкриттю силового транзистора VT2: ПУ - FU - колектор-емітер VT2 - ОУ - МУ. Резистор R3, підключений паралельно колу "база-емітер" VT2, гарантує закриття цього транзистора при закритому VT1.

Запобіжник FU (як правило, з функцією самовідновлення) забезпечує захист каналу виведення інформації від перевантажень за струмом; стабілітрон (або супресор) VD2 призначений для захисту транзисторів VT1, VT2 від імпульсних перенапружень, що виникають на цих транзисторах при комутації індуктивних навантажень (наприклад, реле).

Номер (ідентифікатор) модуля МТУ залежить від його місця встановлення в крейті і визначається мікропроцесорним контролером модуля в результаті опитування адресних перемичок (АП). Адресні перемички, розташовані на об'єднувальній платі крейта, формують код місця МТУ. Зчитування адреси відбувається аналогічно опитуванню стану входів модулів МТС; коди місць модулів у межах одного комплекту апаратури ЛП не повторюються. Адресація місць зазвичай відбувається на етапі виготовлення об'єднувальних плат крейтів.

7.14. Робота пристроїв ЛП під час формування і передавання сигналів ТС

У більшості мікропроцесорних систем ДЦ контрольні сповіщення з лінійних пунктів (про положення стрілок, стан колійних ділянок, показання світлофорів та ін.) передаються або циклічно, або спорадично-циклічно. Перевагою спорадичного способу передавання є оперативність доставки нової інформації: контрольний пакет з ЛП передається відразу ж після виявлення пристроями лінійного пункту новизни в стані об'єктів. Проте в цьому випадку ступінь завантаження повідомленнями локальної мережі, що з'єднує ЛП і ЦП, має випадковий характер і залежить як від інтенсивності руху на дільниці, так і від збігу обставин: у якісь моменти часу лінія вільна, а в якісь – по ній передаються десятки або навіть сотні повідомлень. Наприклад, на ЛП в

процесі встановлення маршруту впродовж короткого часу змінити стан (а отже, і спровокувати передавання сигналу ТС) можуть десятки об'єктів.

Слід мати на увазі, що локальною мережею, окрім даних ТС, передаються ще і команди ТУ, причому максимальна затримка в доставці команд з ЦП на ЛП не повинна перевищувати 1 с. Тому надмірне завантаження лінії зв'язку, нехай навіть епізодичне, може створити проблеми в управлінні лінійними пунктами. З цих причин у чистому вигляді спорадичний спосіб передавання контрольної інформації не застосовується. Тільки ті події, які дійсно є важливими для забезпечення оперативності управління, можуть ініціювати передавання повідомлень ТС. Наприклад приймання команди ТУ пристроями ЛП і, як наслідок, необхідність передавання "квитанції" про отримання команди, а також "доповідь" про її виконання.

Ще один варіант "квазіспорадичного" передавання інформації полягає в такому: процесорний модуль впродовж певного часу (наприклад, 0.2 с) опитує модулі ТС, намагаючись виявити новизну в стані контрольованих об'єктів. Передавання відбувається лише в тому випадку, коли, по-перше, хоча б один об'єкт із переліку контрольованих змінив свій стан (тобто присутня новизна), а по-друге, закінчився період контролю – ті самі 0.2 с. У цьому випадку кількість переданих пакетів з ЛП, навіть на етапі встановлення маршруту, буде дорівнювати одиниці. Затримка на формування пакета в 0.2 с – плата за розвантаження лінії зв'язку.

Циклічне передавання може відбуватися або через певні проміжки часу, що відміряються пристроями ЛП, або (що прийнятніше) за запитами сервера. Природно, передавання за запитами сервера є умовно циклічним. Навіть якщо сервер ЦП формує запити через фіксовані часові інтервали, враховуючи різний час доставки запитів на ЛП (і значною мірою випадковий), передавання сигналів ТС також відбуватиметься у випадкові моменти. Перевагою передавання контрольної інформації за запитами сервера (на відміну від передавання по тайм-ауту) є можливість керувати з боку ЦП завантаженням міжстанційної локальної мережі або як мінімум прогнозувати моменти пікових навантажень. Остання обставина створює передумови для

безперешкодного (наскільки це можливо) передавання сигналів ТУ, в разі їх формування.

Слід зазначити, що в рамках однієї системи ДЦ можуть бути реалізовані різні способи передавання інформації з ЛП або їх поєднання. Так, у ДЦ "КАСКАД" за командами сервера процесорні модулі ЛП можуть бути налаштовані на спорадичне передавання інформації, циклічне з тривалістю циклу 5, 10 або 20 с.

Незалежно від прийнятого (встановленого) протоколу обміну контрольною інформацією між ЛП і ЦП, процесу передавання повинен передувати процес її збору на лінійному пункті.

У системах електричної централізації переважна більшість об'єктів – двопозиційні. Для їх контролю використовуються модулі ТС з дискретними входами, що розрізняють тільки два стійкі стани об'єкта. Проте ряд об'єктів може мати і третій стан: ізольовані секції маршрутів у режимі штучного розмикання, елементи схем задавання і скасування маршрутів, сигнали світлофорів з імпульсним (миготливим) режимом горіння ламп тощо. Причому зазначені вище об'єкти можуть тривалий час знаходитися в будь-якому з цих станів. Так, наприклад, стрілочна секція може необмежений час знаходитися в режимі "розімкнена", "замкнена в маршруті" і впродовж трьох хвилин – у режимі штучного розмикання (для мікроконтролера три хвилини – "вічність"). Кожен з цих станів відображується за допомогою індикаторних ламп табло, які можуть бути вимкненими, горіти безперервно або у миготливому режимі. У такому самому стані знаходиться і входи модулів ТС, підключені до білих ламп ізольованих секцій (входи МТС підключаються до контрольованих об'єктів паралельно лампам табло, див. підрозділ 7.12). В аналогічному режимі повинні відображатись і умовні позначення контрольованих об'єктів на моніторі АРМ ДНЦ.

Найбільш складним, з точки зору передавання і коректного відображення інформації, є імпульсний режим роботи контрольованих об'єктів. Пояснюється це тим, що кожна зміна стану будь-якого входу МТС повинна спричинити передавання пакета даних ТС, а отже, і додаткове завантаження лінії зв'язку.

По-друге, враховуючи різний і значною мірою випадковий час доставки контрольних пакетів з ЛП на ЦП, забезпечити необхідний режим відображення стану об'єктів на підставі поточних даних ТС практично неможливо. Наприклад, контрольований об'єкт на ЛП впродовж 1 с знаходиться в стані «ввімкнено» і впродовж 1 с – у стані «вимкнено». Контрольні пакети з ЛП про кожний з вказаних станів будуть передаватись з інтервалом близько 1 с, а часовий інтервал між їх прийняттям на ЦП (залежно від завантаження лінії) може змінюватись у діапазоні 0...6 с. Якщо зміна режиму прорисовування об'єкта буде здійснюватись на підставі поточних даних (прийняли «1» – ввімкнули, прийняли «0» – вимкнули), його відображення на екрані монітора виявиться хаотичним. Тому на практиці імпульсний (миготливий) режим відображення стану об'єктів на моніторі АРМу ДНЦ (у такому самому режимі, як і на табло ДСП – 1 с «ввімкнено», 1 с «вимкнено») здійснюється засобами ПЕОМ автоматизованих робочих місць персоналу на підставі додаткової інформації саме про імпульсний режим роботи контрольованих об'єктів. Крім коректного прорисовування наявності такої додаткової ознаки дає можливість не завантажувати зайвий раз локальну мережу повідомленнями ТС, оскільки новизну буде містити лише повідомлення про перехід об'єкта з імпульсного стану в один із статичних.

Інформація про стан "трипозиційних" об'єктів не може бути передана одним бітом інформаційного пакета — необхідно мінімум два. Один біт використовується для позначення поточного стану входу (а отже, і об'єкта), а другий – для позначення режиму його роботи (імпульсний або статичний). Враховуючи, що модулі ТС універсальні (взаємозамінні) і можуть встановлюватися на будь-яке місце крейта, заздалегідь невідомо, які контрольовані об'єкти виявляться підключеними до їх входів. Тому для уніфікації МТС програми їх функціонування повинні не лише визначати статичний стан, але і виконувати функції дешифраторів імпульсного режиму живлення усіх входів. У цьому випадку в полі "дані" для передавання інформації про стан кожного входу необхідно зарезервувати мінімум два біти, а загальна довжина цієї частини повідомлення становитиме $2n$, де n – кількість дискретних входів модуля ТС.

Другою особливістю МТС, призначених для роботи у складі комплексів технічних засобів ЛП, є підключення входів модулів (через контакти контрольованих об'єктів) до різних джерел живлення: СХ-МС, П-М, СПБ-СМБ та ін. Причому за умовами безпеки систем ЕЦ об'єднання цих полюсів неприпустиме. Ідеальний варіант вирішення вказаної проблеми – зробити всі канали введення інформації ізольованими один від одного. Проте в цьому випадку стрімко зростає кількість провідників на платах модулів, кількість задіяних контактних груп з'єднувачів і їх габарити - вони можуть просто не уміщатися на платі. Тому входи модулів об'єднуються в групи, що мають по одному "прямому" провіднику на кожен вхід і один загальний зворотний провідник. Так, в МТС ДЦ "КАСКАД" кожна група має три інформаційні входи і один загальний. Тобто для підключення трьох об'єктів контролю задіяні чотири контакти з'єднувача.

Модулі введення різних фірм-виробників можуть відрізнитись кількістю входів, типом використовуваних елементів, але структурно вони подібні (рис. 7.8, 7.17).

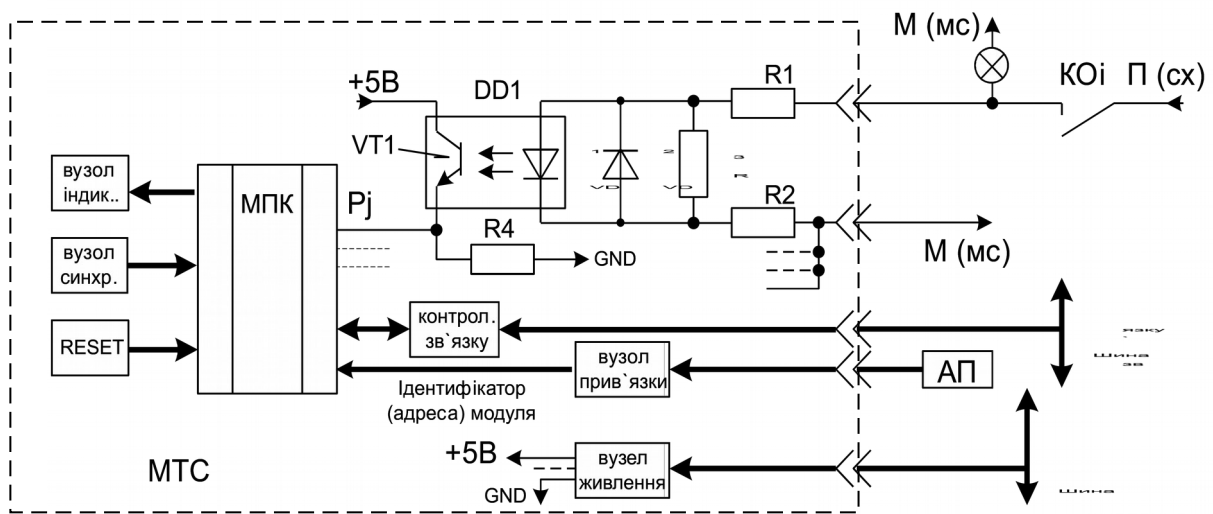


Рис. 7.17. Структурна схема модуля ТС

Для узгодження робочої напруги входних кіл і кіл живлення мікроелектронних пристроїв, їх захисту від зовнішніх завад кожен канал введення інформації містить елемент оптоелектронної розв'язки DD1, діод VD2, резистори R1, R2, R3. Резистор R4 забезпечує при закритому фототранзисторі VT1 наявність на вході Pj контролера сигналу з низьким рівнем (у

наведеній схемі – це логічний "0"). Діод VD2 захищає світлодіод VD1 від електричного пробую напругою зворотної полярності в разі живлення вхідних кіл змінною ЕРС, наприклад від полюсів СХ-МС. У деяких оптронах захисний діод вже інтегрований до його складу – у такому випадку зовнішній діод не потрібен. Резистори R1, R2 обмежують струм у колі світлодіода VD1 на потрібному для вибраного типу оптрона рівні і чинять додатковий опір струмам несиметричних завад. Резистор R3, частково шунтуючи вхід каналу введення, знижує чутливість модуля ТС до симетричних завад.

Мікроконтролер МПК безперервно опитує входи P1, P2,... Pj,... Pn, формуючи пакет даних про їх поточний стан. Бажано, щоб ця інформація за допомогою вузла індикації виводилася на лицьову панель модуля ТС. Це дасть можливість візуально контролювати стан об'єктів і правильність функціонування модулів.

Обмін інформацією між модулями ТС і МП може здійснюватися як за ініціативою МТС, так і за ініціативою МП, залежно від прийнятої розробником системи протоколу обміну для цих пристроїв. Зазвичай МП передає в шину зв'язку запит, у якому вказується ідентифікатор модуля, від якого необхідно отримати інформацію, і власне запит: "повідомити стан входів". Свій ідентифікатор (номер місця в крейті) мікроконтролер модуля введення визначає шляхом опитування адресних перемичок на крос-платі крейта. Зчитування адресних перемичок відбувається аналогічно опитуванню зовнішніх входів.

Запит на передавання контрольної інформації від МП отримують усі модулі, підключені до міжмодульної шини зв'язку, але передавати буде тільки той, ідентифікатор якого вказаний в адресній частині запиту. Відповідь (контрольне повідомлення МТС) містить ідентифікатор передавача і інформаційну частину, формат якої визначено протоколом, а наповнення – поточним станом входів і режимом їх роботи.

7.15. Робота пристроїв ЛП під час виведення і введення відповідальної інформації

7.15.1. Алгоритмічні заходи з забезпечення безпеки руху під час передавання і виконання відповідальних команд

У підрозділі 1.6 вже йшлося про те, що системи диспетчерської централізації при справно діючих пристроях ЕЦ і АБ на безпеку руху поїздів безпосередньо не впливають. Питання безпечного управління стрілками і сигналами вирішують системи ІРДП станцій і перегонів, а системи диспетчерської централізації забезпечують лише доставку командної (з ЦП на ЛП) і контрольної (з ЛП на ЦП) інформації. Проте при деяких відмовах пристроїв СЦБ (хибній зайнятості станційних і перегінних колій і колійних ділянок) виникає потреба в передаванні засобами ДЦ команд допоміжного управління – *відповідальних команд*. Інакше затримки в русі поїздів можуть виявитися дуже значними, а фінансові втрати — дорівнювати або навіть перевищувати економічний ефект від застосування систем диспетчерської централізації.

Як передавання і виконання відповідальних команд може вплинути на безпеку руху? Припустимо, на станції А через хибну зайнятість стрілочної ізольованої секції 3-СП неможливо в штатному режимі здійснювати переведення стрілки №3. Припустимо, що працівник локомотивної бригади (помічник машиніста) візуально пересвідчився у фактичній вільності секції і за встановленою формою доповів ДНЦ про результати перевірки. Тобто організаційна частина перевірки виконання умов безпеки вже вирішена.

Проте залишаються технічні проблеми, суть яких зводиться до такого. У процесі передавання команди "На станції А в допоміжному режимі перевести стрілку № 3 в +/-" може спотворитися її адресна частина і команда буде прийнята і виконана на якійсь іншій станції. Можливе трансформування смислової частини повідомлення і тоді в допоміжному режимі буде переведена інша стрілка на станції А (не виключено, що зайнята рухомим складом), або буде виконана інша відповідальна команда, наприклад, "Відкрити запрошувальний сигнал на світлофорі ...". Існує ймовірність трансформування звичайних команд у відповідальні. Крім того, при деяких відмовах пристроїв сполучення ДЦ і ЕЦ небезпечний вплив на пристрої ЕЦ може

бути сформований навіть тоді, коли жодна команда з боку центрального поста не надсилалась. Для систем ДЦ сумарна ймовірність формування хибної відповідальної команди P_x не повинна перевищувати $3 \cdot 10^{-11}$ [6]:

$$P_x = P_{тр} + P_v + P_{нв} , \quad (7.3)$$

де $P_{тр}$ – ймовірність трансформування будь-якої команди у відповідальну;

P_v – ймовірність виникнення відповідальної команди з завад;

$P_{нв}$ – ймовірність небезпечної відмови системи.

Необхідні показники безпечності досягаються зменшенням вкладу кожної зі складових виразу (7.3) в кінцевий результат.

При розробленні протоколів обміну між ЦП і ЛП для кодування команд ТУ вибирають заводозахищені коди з великою кодовою відстанню між дозволеними комбінаціями. Завдяки цим заходам мінімізується ймовірність трансформування команд ($P_{тр}$) у процесі передавання.

Передавання відповідальних команд здійснюється у два етапи. На першому етапі передається попередня частина команди. Її приймання на ЛП переводить пристрої лінійного пункту в режим виконання відповідальних команд; з ЛП на ЦП надходить "квитанція" про готовність керованої станції до подальших дій. На моніторі АРМу ДНЦ з'являється повідомлення, що підтверджує приймання попередньої команди саме на необхідній станції, а також попередження про відповідальність оператора в разі помилкових дій.

На другому етапі ДНЦ вводить виконавчу частину команди (на ту саму адресу). При правильному прийманні на ЛП виконавчої частини, причому у встановлений попередньою командою час очікування, відбувається їх спільна реалізація. Невиконання вимог "аварійного" протоколу на будь-якому з етапів перериває процедуру введення відповідальної команди або її виконання. Рознесене в часі передавання складових частин відповідальних команд дозволяє виключити формування небезпечного керуючого впливу на пристрої ЕЦ при одноразових трансформаціях команд або виникненні команд із завад.

Найбільші технічні труднощі представляє вибір заходів, що мають за мету захист від наслідків небезпечних відмов апаратури. У вирішенні цього питання необхідно виходити з того, що будь-який «інтелектуальний» пристрій, що входить до складу мікропроцесорної системи ДЦ, при виході з ладу деяких елементів внутрішньої структури мікроконтролера (процесора) може поводитися непрогнозовано. Серверу може «здатись», що з боку оператора надійшов запит на передачу відповідальної команди, або процесорному модулю ЛП – що така команда прийнята модемом.

В одноканальних системах ДЦ навіть при двоетапній процедурі введення і передавання відповідальних команд імовірність того, що в результаті подібних відмов на пристрої ЕЦ буде здійснено якийсь небезпечний керуючий вплив, залишається досить високою. Для досягнення необхідних показників безпечності системи ДЦ повинні мати двоканальну структуру; здійснювати періодичний контроль працездатності апаратури в кожному каналі, а виконавчі пристрої на ЛП повинні підключатись через безпечний інтерфейс, що реалізує функцію "Г". Можливий варіант, коли одноканальна система ДЦ доповнюється підсистемою передавання відповідальних наказів – фактично другим незалежним каналом резервування. Детальніше алгоритмічні і схемні рішення, які застосовуються для забезпечення безпеки руху поїздів під час передавання і виконання відповідальних команд у системах ДЦ, наведені в роботі [6].

7.15.2. Технічні засоби для виведення відповідальної інформації

Модулі управління, задіяні в безпосередньому введенні відповідальних команд у системи ЕЦ, у будь-яких режимах експлуатації при ушкодженнях елементів модулів не повинні допускати несанкціонованого вмикання виконавчих пристроїв релейного інтерфейсу без команди з боку процесорного модуля. Модулі МТУ (рис. 7.16) не задовольняють ці вимоги. Так, при короткому замиканні кола колектор-емітер транзистора VT1 оптрона, аналогічного кола силового транзистора VT2 або

обмежувального діода VD2 об'єкт управління отримуватиме живлення навіть без команди з боку МПК. Тому для управління відповідальними об'єктами систем ЕЦ використовуються або спеціальні модулі з безпечними пристроями сполучення (БПС) у кожному каналі виведення інформації (наприклад, МТВ системи "КАСКАД"), або звичайні модулі ТУ, але з зовнішніми БПС.

В основу побудови і функціонування пристроїв сполучення з несиметричними зовнішніми відмовами покладено принцип часового кодування: будь-який сигнал постійного або змінного струму з незмінною амплітудою (статичний) відповідає логічному 0, а логічна 1 відображується імпульсною (динамічною) послідовністю.

Досягнення несиметричності за відмовами забезпечується такими заходами [6]:

- усі безконтактні елементи БПС повинні функціонувати в циклічному режимі з тривалістю циклу, значно меншою порівняно з часом реакції виконавчих пристроїв релейного інтерфейсу;

- у кожному циклі всі елементи переводяться з одного стійкого стану в інший і навпаки, за рахунок чого перевіряється (і підтверджується) їх працездатність;

- у випадку відмови будь-якого елемента функціональний вузол, до складу якого входить пошкоджений компонент, переходить у статичний стан;

- функціональні вузли повинні бути гальванічно розділені, а їх взаємодія здійснюватись за допомогою імпульсних сигналів;

- стан виходу БПС повинен змінюватись лише за певною накопиченою сукупністю "циклових" сигналів – таким чином можна захиститись від формування хибного вихідного сигналу при випадкових змінах стану елементів, викликаних завадами або пошкодженнями. Вибором часу накопичення досягається необхідна ймовірність похибки на виході системи.

Розглянемо принцип дії безпечного пристрою сполучення трансформаторного типу, схема якого наведена на рис. 7.18. БПС побудовано з використанням трансформатора Tr1, діода VD2, конденсатора C1. Саме наявність БПС є принциповою відмінністю між МТВ і МТУ (рис. 7.16).

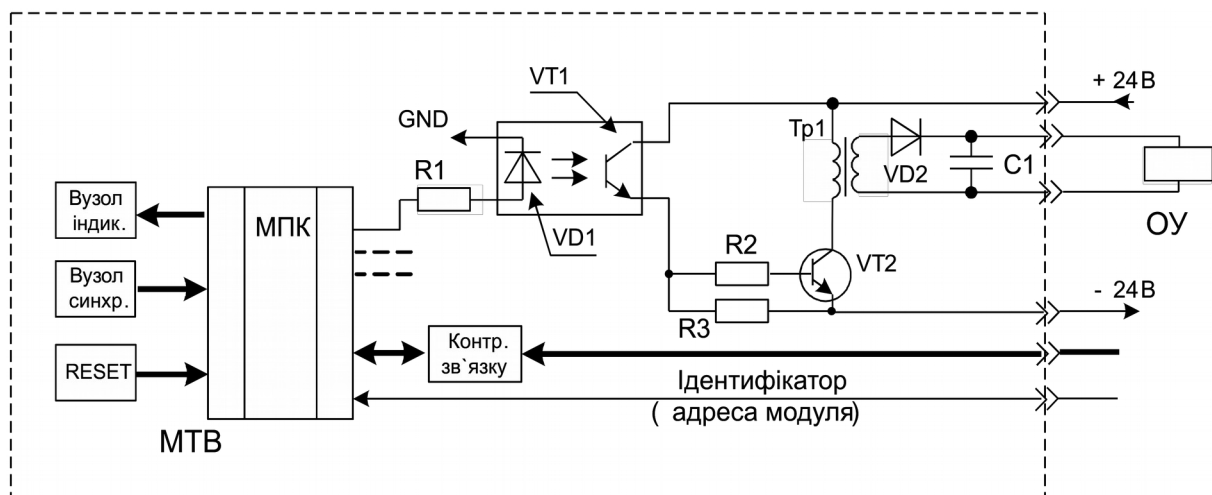


Рис. 7.18. Структурна схема модуля МТВ

Після отримання команди з боку модуля мікропроцесорного контролера на вмикання об'єкта управління (ОУ) МКП МТВ починає формувати на відповідному виході контролера неперервну послідовність імпульсів: (0 1 0 1 0 1 0 1 0 1...). Ця послідовність повинна формуватись, аж доки від МП не надійде команда «Вимкнути ОУ». Під час появи на виході МКП напруги з рівнем логічної «1» світлодіод оптрона починає випромінювати потік фотонів, що опромінює фототранзистор VT1 і змушує його відкритись. У результаті відкриття VT1 з'являється струм бази VT2, підсилувальний транзистор VT2 відкривається. Через первинну обмотку трансформатора Tr1 протікає струм. У момент формування на виході МКП сигналу з низькою амплітудою («0») протікання струму через обмотку трансформатора припиняється. Таким чином, під час формування на виході МКП послідовності «0» і «1» у первинній обмотці Tr1 протікає імпульсний струм. Цей постійний за напрямом, але змінний за амплітудою струм створює в осерді трансформатора змінний за амплітудою магнітний потік. Лише за цієї умови у вторинній обмотці Tr1 наводиться ЕРС, амплітуда якої є достатньою для збудження реле ОУ (1).

$$E = -W_2 \frac{d\Phi}{dt}, \quad (7.4)$$

де E – електрорушійна сила;

W_2 – кількість витків вторинної обмотки трансформатора;

$\frac{d\Phi}{dt}$ – похідна від магнітного потоку.

У разі пошкодження МПК (при якому через світлодіод оптрона VD1 протікає струм), короткого замикання кола колектор-емітер VT1 або VT2 через первинну обмотку Tr1 починає протікати постійний струм; створований ним магнітний потік також є постійним. Другий співмножник виразу (7.4) $\frac{d\Phi}{dt}$ перетворюється на 0, оскільки похідна від постійної величини (константи) дорівнює нулю. Кажуть, «постійний струм не «трансформується». ЕРС на виході БПС зникає, а ОУ перемикається в більш захисний стан. У такий же стан перейде ОУ і в разі обриву будь-якого виводу транзистора, провідника чи обмотки трансформатора.

Ще раз підкреслимо, що використання модулів МТВ для безпосереднього введення відповідальних команд у системи ЕЦ, застосування завадозахищених надлишкових кодів для їх формування, поетапної передачі відповідальних команд підвищують безпечність систем ДЦ, але не можуть гарантувати необхідні кількісні показники рівня безпечності, якщо системи функціонують в одноканальному режимі або в режимі резервування за схемою «АБО». Для забезпечення безпечності необхідна двоканальна структура з увімкненням виконавчих пристроїв за схемою «І».

7.15.3. Технічні і алгоритмічні заходи для підвищення вірогідності контрольної інформації

Введення відповідальної інформації про стан об'єктів у мікропроцесорні системи також має певні особливості. Так, наприклад, якщо підключення об'єктів контролю до модулів ТС здійснено за схемою, наведеною на рис. 7.19, можуть виникнути серйозні проблеми з вірогідністю інформації. У разі живлення вхідних кіл від джерела постійної напруги і при короткому замиканні фототранзистора VT1 на вхід «і» МПК буде надходити хибна інформація: незалежно від стану об'єкта контролю КОі на вході буде присутня висока напруга, сигналізуючи нібито про замкнений стан контактів. Насправді контакти можуть бути як замкненими, так і розімкненими. Якщо контрольований об'єкт – колійне реле, така хибна інформація буде небезпечною.

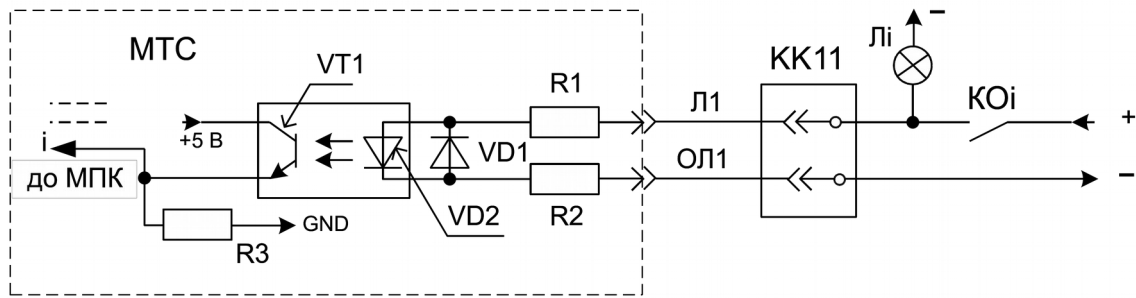


Рис. 7. 19. Схема підключення входів модуля МТС до пристроїв ЕЦ

Для підвищення рівня безпечності каналів введення інформації (у тих випадках, коли система чи пристрій виконує відповідальні функції) необхідно від статичного режиму живлення вхідних кіл перейти до динамічного. Так, наприклад, у разі живлення вхідних кіл від джерела змінної напруги СХ-МС (рис. 7.17) стан входів мікроконтролера залежно від стану об'єкта буде таким:

- при розімкнених контактах КОі – низька напруга (логічний «0»);
- при замкнених контактах КОі - неперервна послідовність імпульсів з частотою 50 Гц (0, 1, 0, 1, 0, ...);
- при короткому замиканні фототранзистора – висока напруга («1»).

Наявність на вході МПК логічної «1» упродовж тривалого часу (більше 20 мс) свідчить про пошкодження елементів оптоелектронної розв'язки або відповідного порту контролера.

Програма функціонування МПК повинна розрізняти кожен з вказаних станів, а отже, мати можливість ідентифікувати як стан контрольованих об'єктів, так і стан елементів каналу введення інформації.

Практична реалізація наведеного алгоритму функціонування МТС має певні обмеження, особливо якщо за технологією роботи системи керування/контролю до входів модулів телесигналізації повинні підключатись електричні кола, що живляться як постійним струмом, так і змінним.

Контрольні питання до розділу

1. Які види діяльності поїзного диспетчера вимагають найбільших витрат робочого часу?

2. Які вимоги висуваються до обсягу і форми подання інформації, що повинна надаватись поїзному диспетчеру засобами МСДЦ?

3. Які з сучасних принципів управління експлуатаційною роботою реалізують мікропроцесорні системи диспетчерської централізації?

4. Поясніть переваги мікропроцесорних систем ДЦ у порівнянні з системами з жорсткою логікою керування.

5. Які вимоги висуваються до МСДЦ?

6. Назвіть основні режими, у яких повинні працювати МСДЦ?

7. Які методи і засоби захисту від впливу зовнішніх факторів застосовуються в мікропроцесорних ДЦ?

8. Назвіть функціональні підсистеми МСДЦ. Поясніть їх призначення.

9. Користуючись схемою, наведеною на рис. 7.1, поясніть призначення і механізм взаємодії пристроїв комплексу технічних засобів МСДЦ.

10. Для виконання яких функцій призначено програмно-апаратний комплекс центрального поста ДЦ? Поясніть призначення його складових частин.

11. Яку структуру мають команди і контрольні повідомлення, що передаються каналами зв'язку МСДЦ?

12. Поясніть призначення модемів. Які вимоги повинні задовольняти модеми, призначені для експлуатації у складі систем МСДЦ?

13. Що являє собою процедура встановлення з'єднання модемів. Які фактори впливають на її тривалість?

14. Поясніть, як забезпечується зв'язок між ЦП і лінійними пунктами диспетчерської дільниці. Дайте порівняльну характеристику структурних схем локальних мереж, наведених на рис. 7.5.

15. Поясніть переваги й недоліки локальної мережі кільцевого типу.

16. Як взаємодіють пристрої ЦП під час формування команд ТУ і приймання контрольних повідомлень ТС?

17. Як способи передавання сигналів ТС (спорадичний, циклічний, спорадично-циклічний) впливають на завантаженість локальної мережі? Чому?

18. Для виконання яких функцій призначені програмно-апаратні комплекси лінійних пунктів мікропроцесорних систем ДЦ? Поясніть призначення їх складових частин (рис. 7.8).

19. Що мають на увазі під «протоколом» і «інтерфейсом», коли йдеться про обмін інформацією між різними системами управління, окремими частинами або вузлами однієї системи?

20. У чому полягають відмінності між паралельними і послідовними, синхронними і асинхронними інтерфейсами?

21. Поясніть загальні принципи узгодження систем ДЦ з пристроями ЕЦ з введення і виведення інформації.

22. Поясніть призначення модулів МП, ТУ, ТС, ТВ, ММ, ВЖ, що використовуються у складі комплексів технічних засобів ЛП мікропроцесорних систем ДЦ.

23. Як взаємодіють пристрої ЛП під час приймання і виконання команд ТУ?

24. У чому полягає принципова відмінність між модулями ТУ і ТВ?

25. Як здійснюється введення контрольної інформації в МСДЦ на лінійних пунктах? Поясніть особливості роботи пристроїв ЛП під час формування і передавання сигналів ТС.

26. Які алгоритмічні заходи і технічні засоби застосовуються в МСДЦ для забезпечення безпеки руху під час передавання і виконання відповідальних команд?

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Системы телеуправления на железнодорожном транспорте [Текст]: учеб. для колледжей и техникумов ж.-д. трансп. / А.А. Кочетков, Е.П. Брыжак, И.В. Балабанов и др.; под ред. Е.П. Брыжака. – М.: Маршрут, 2005. – 467 с.

2. Карвацкий, С.Б. Телеуправление стрелками и сигналами [Текст]: учеб. для техникумов ж.-д. трансп. / С.Б. Карвацкий, Н.Ф. Пенкин, Т.В. Малинникова. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Транспорт, 1985. – 224 с.

3. Манаков, А.Д. Телемеханические системы управления движением поездов [Текст]: учеб. пособие / А.Д. Манаков. – Хабаровск: Изд-во ДВГУПС, 2005. – 55 с.

4. Пенкин, Н.Ф. Диспетчерская централизация системы «Нева» [Текст] / Н.Ф. Пенкин, С.Б. Карвацкий, Н.Г. Егоренков. – М.: Транспорт, 1973. – С. 1 – 216.

5. Пенкин, Н.Ф. Диспетчерская централизация системы «Луч» [Текст] / Н.Ф. Пенкин, Н.А. Павлов. – М.: Транспорт, 1982. – 303 с.

6. Системы диспетчерской централизации [Текст]: учеб. для вузов ж.-д. трансп. / Д.В. Гавзов, О.К. Дрейман, В.А. Кононов, А.Б. Никитин; под общей ред. Вл.В. Сапожникова. – М.: Издательство «Маршрут», 2002. – 407 с.

7. Баскаков, С.И. Радиотехнические цепи и сигналы [Текст]: учеб. для вузов по спец. «Радиотехника» / С.И. Баскаков. – 2-е изд. перераб. и доп. – М.: Высш. шк., 1988 — 448 с.

8. Мікропроцесорна диспетчерська централізація «КАСКАД» [Текст]: навч. посібник / М.І. Данько, В.І. Мойсеєнко, В.З. Рахматов, В.І. Троценко, М.М. Чепцов. – Харків, 2005. – 176 с.

9. Сатырев, Ф.Е. Диспетчерская централизация «Неман» (аппаратный комплекс) [Электронный ресурс] / Ф.Е. Сатырев, В.К. Голик. – Режим доступа: http://static.scbist.com/scb/uploaded/213_posobie_dc-neman.pdf.

10. Методы построения безопасных микроэлектронных систем железнодорожной автоматики [Текст] / В.В. Сапожников, Вл.В. Сапожников, Х.А. Христов, Д.В. Гавзов; под ред. Вл.В. Сапожникова. – М.: Транспорт. 1995. – 272 с.

11. Ключев, А.О. Интерфейсы периферийных устройств [Текст] / А.О. Ключев, Д.Р. Ковязина, Е.В. Петров, А.Е. Платунов. – СПб.: СПбГУ ИТМО, 2010. – 290 с.

12. Правила технической эксплуатации железных дорог Украины (утв. приказом МТУ № 411 от 20.12.1996 г. с изменениями согласно приказа МТУ № 179 от 19.03.2002 г.) [Текст]. – К., 2003. – 94 с.

13. Норми технологічного проектування пристроїв автоматики і телемеханіки на залізничному транспорті України (НТП) [Текст]. – К., 2003. – 95 с.

14. Кучумов, А.И. Электроника и схемотехника [Текст]: учеб. пособие / А.И. Кучумов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Гелиос АРВ, 2004 – 336 с.

15. Либерман, Ф.Я. Электроника на железнодорожном транспорте [Текст]: учеб. пособие для вузов ж.-д. трансп. / Ф.Я. Либерман. – М.: Транспорт. 1987. – 288 с.

16. Дмитренко, И.Е. Импульсная техника в системах железнодорожной автоматики, телемеханики и связи [Текст]: учеб. для вузов ж.-д. трансп. / И.Е. Дмитренко, Г.К. Ефимов, А.В. Шилейко. – М.: «Транспорт», 1979. – 191 с.

