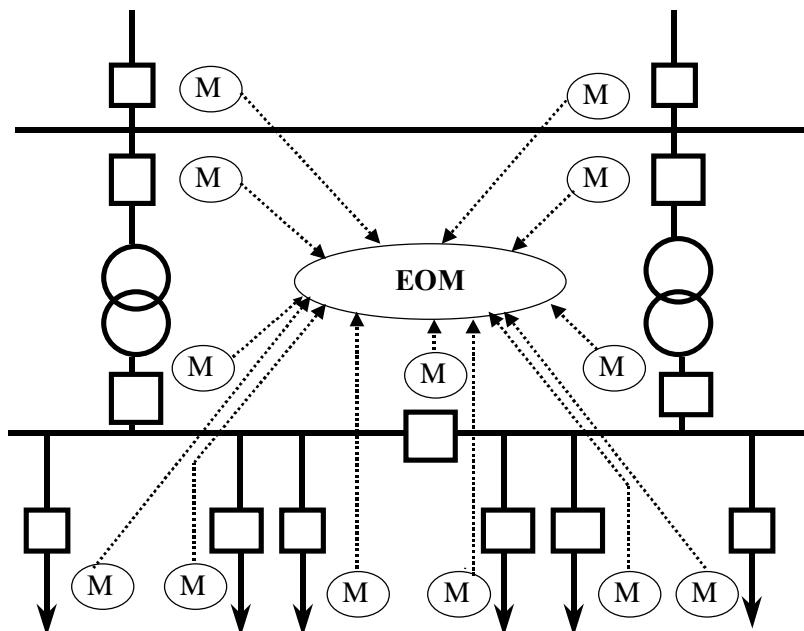


О.С. Яндульський, О.О. Дмитренко

## Релейний захист.

**Цифрові пристрої релейного захисту, автоматики  
та управління електроенергетичних систем**



**Міністерство освіти і науки України  
Національний технічний університет України  
“Київський політехнічний інститут”**

**О.С. Яндульський, О.О. Дмитренко**

**Релейний захист.  
Цифрові пристрої релейного захисту, автоматики  
та управління електроенергетичних систем**

Під загальною редакцією д.т.н. О.С. Яндульського

**Київ  
НТУУ «КПІ»  
2016**

УДК 621.311

*Гриф надано Вченою радою НТУУ "КПІ"  
(Протокол № 5 від 11.04.2016 р.)*

Рецензенти:

М.Ф. Сопель, д-р техн. наук, заступник директора-головний спеціаліст МПП «АНІГЕР»

А.В. Гінайло, директор ТОВ «НВП «Укренергоналадкавимірювання»

Відповідальний редактор  
Хоменко О.В., канд. техн. наук, доц.,  
Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут»

### **Навчальне електронне видання**

**Яндутьський О.С., Дмитренко О.О.**

Релейний захист. Цифрові пристрої релейного захисту, автоматики та управління електроенергетичних систем [Електронне видання]: навч. посіб. / О.С. Яндутьський, О.О. Дмитренко; під загальною редакцією д.т.н. О.С. Яндутьського. – К.: НТУУ «КПІ», 2016. – 102 с. – Бібліогр.: с. 92 – 102.

Розглянуто широке коло питань, присвячених різним концепціям побудови цифрових систем релейного захисту і автоматики, їх перевагам і недолікам у порівнянні з попередніми поколіннями – електромеханічними та мікроелектронними. Наведені основні способи побудови одно- і багатопроцесорних цифрових реле та розглянуто функціональне наповнення окремих блоків. Розглянуто основні принципи побудови систем збору інформації з пристроїв релейного захисту та автоматики.

Призначений для бакалаврів спеціальності «141. Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка», спеціалізації "Системи управління виробництвом та розподілом електроенергії".

**УДК 621.311**

О.С. Яндутьський  
О.О. Дмитренко, 2016

## ПЕРЕДМОВА

Навчальний посібник "Релейний захист. Цифрові пристрої релейного захисту, автоматики та управління електроенергетичних систем" може бути використаний для вивчення дисципліни "Релейний захист". Посібник призначений для бакалаврів спеціальності «141. Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка», спеціалізації "Системи управління виробництвом та розподілом електроенергії".

Матеріал посібника узагальнює різні концепції побудови апаратного забезпечення цифрових пристроїв релейного захисту і автоматики та систем управління ними. Наведені основні способи побудови одно- і багатопроцесорних цифрових реле, розглянуто функціональне виконання окремих блоків. Розглянуто основні принципи побудови систем збору інформації з пристроїв релейного захисту та автоматики.

Матеріал посібника буде корисним при виконанні магістерських робіт та окремих розділів дипломних робіт. Посібник буде корисним і для студентів та аспірантів інших електроенергетичних спеціальностей.

Ваші побажання щодо обсягу та змісту навчального посібника будуть з вдячністю сприйняті укладачами та використані в подальшій роботі.

## Перелік скорочень та умовних позначень

АПВ - автоматичне повторне включення

АСУ ТП - автоматизована система управління технологічними процесами

АЦП - аналого-цифровий перетворювач

ЕЕМ - електроенергетичні мережі

ЕО - електроенергетичний об'єкт

ЕОМ - електронно-обчислювальна машина

ІЕД НАН України - інститут електродинаміки національної академії наук України

КЗ - коротке замикання

ЛЕП - лінія електропередачі

ЛП - лінійний перетворювач

МЕК - міжнародна комісія (англ. ІЕС - International Electrotechnical Commission)

МП РЗА - мікропроцесорні пристрої релейного захисту та автоматики

НТУУ «КПІ» - національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут"

ОВ - оптоволокно

ОЗП - оперативний запам'ятовуючий пристрій

ПЗП - постійний запам'ятовуючий пристрій

ППЗП - перепрограмований постійний запам'ятовуючий пристрій

РЗ - релейний захист

РЗА - релейний захист та автоматика

РКІ - рідинно-кристалічний індикатор

ЦР - цифрове реле

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
1. ЕТАПИ РОЗВИТКУ МП РЗА, ЇХ ФУНКЦІОНАЛЬНІ ОСОБЛИВОСТІ, ПЕРЕВАГИ, НЕДОЛІКИ.....	10
1.1. ЕТАПИ РОЗВИТКУ МП РЗА.....	10
1.1.1. Централізована концепція побудови системи релейного захисту й автоматики.....	11
1.1.2. "Острівний" принцип побудови системи релейного захисту й автоматики.....	13
1.1.3. Розподілена концепція побудови системи релейного захисту й автоматики на базі однофункціональних мікропроцесорних пристроїв.....	15
1.1.4. Розподілена концепція побудови багаторівневої системи релейного захисту й автоматики на базі багатофункціональних мікропроцесорних пристроїв.....	16
1.2. ФУНКЦІОНАЛЬНІ ОСОБЛИВОСТІ МП РЗА, ПЕРЕВАГИ, НЕДОЛІКИ.....	18
1.2.1. Функціональні особливості мікропроцесорних пристроїв РЗА.....	18
1.2.2. Переваги і недоліки, властиві різним поколінням пристроїв РЗА.....	21
1.2.2.1. Загальні недоліки та переваги пристроїв РЗА на традиційній базі.....	21
1.2.2.2. Недоліки та переваги пристроїв РЗА на мікропроцесорній базі.....	22
2.1. Загальна структура однопроцесорного МП РЗА.....	29
2.2. Лінійний перетворювач.....	30
2.3. Блок дискретних входів і виходів.....	38
2.4. Блок індикації.....	40
2.5. Структура обчислювального блоку.....	42
2.6. Блок живлення.....	45
3. ВИКОРИСТАННЯ ЦИФРОВОГО РЕЛЕ В СИСТЕМАХ КЕРУВАННЯ Й МОНИТОРИНГУ.....	48
3.1. Підходи для використання цифрового реле в якості кінцевого пристрою збору інформації.....	48
3.2. Інтерфейси обміну цифрових реле.....	51
3.2.1. Паралельний інтерфейс.....	51
3.2.2. Послідовний інтерфейс.....	52
3.2.2.1. Послідовний інтерфейс RS-232C.....	54
3.2.2.2. Послідовний інтерфейс RS-485.....	55
3.2.2.3. Послідовний інтерфейс RS-422.....	56
3.2.2.4. Послідовний інтерфейс «струмова петля».....	57

3.2.2.5. Послідовний інтерфейс. Оптоволокло.....	61
3.2.2.6. Використання стандарту Ethernet. ....	67
3.3 Організація структурованої кабельної мережі.....	74
3.3.1. Підключення ЦР із інтерфейсом RS-485.....	75
3.3.2. Підключення ЦР із інтерфейсом RS-232.....	81
3.3.3. Підключення ЦР із оптоволоконним послідовним інтерфейсом .....	82
3.3.4. Підключення ЦР, які використовують стандарт Ethernet.....	83
3.3.5. Приклад побудови структурованої кабельної мережі системи збору інформації АРГОН. ....	87
Список літератури .....	92

## ВСТУП

В даний час більшість використовуваних в Україні пристроїв РЗА ЕЕМ відносяться до покоління електромеханічних і мікроелектронних реле і не відповідають сучасним науково-технічним вимогам. Один з напрямків удосконалювання - використання мікропроцесорів для виконання функцій релейного захисту й автоматики. Цифрові пристрої мають ряд переваг у порівнянні із системами, виконаними на традиційній елементній базі, у тому числі більш широкі експлуатаційні показники і можливість інтеграції їх у системи керування електроенергетичними об'єктами.

ЦР використовуються в системах РЗА вже більше десяти років. За цей час досягнуті високі показники надійності роботи, розроблені програмні пакети, що дозволяють інтегрувати ЦР в АСУ ТП.

Більшість використовуваних на ЕО України МП РЗА - закордонного виробництва. Провідні електротехнічні фірми: SIEMENS, AREWA (ALSTOM), ABB, SCHNEIDER ELECTRIC, GE розробили значну кількість ЦР захисту й автоматики. Слід зазначити високу технологічну якість цих приладів. Але їхньому широкому застосуванню в електроенергетичних мережах України перешкоджають ряд проблем. В перших, недостатня ефективність функціонування при експлуатації в умовах вітчизняних ЕЕМ. По-друге, неможливість безпосередньої інтеграції ЦР закордонного виробництва в більшість існуючих на даний момент АСУ ТП України. По-третє, висока ціна таких пристроїв. Дві перші проблеми можна вирішити шляхом розробки або поліпшення характеристик функціонування існуючих методів опрацювання вхідної інформації, створенням алгоритмів захистів і автоматики, адаптованих до умов роботи вітчизняних ЕЕМ, алгоритмів обміну інформацією з існуючими АСУ ТП. В даний час зменшення вартості ЦР закордонного



виробництва досягається тільки за рахунок зменшення їх функціональних можливостей. Причому, адаптація до вітчизняних правил експлуатації призводить до збільшення вартості пристрою.

Значний внесок у розвиток МП систем РЗА внесли: ІЕД НАН України (м. Київ) - Стогній Б.С., Кириленко О.В., Сопель М.Ф.; ВНДІР (м. Чебоксари) - Шнеєрсон Е.М., Нудельман Г.С., Бірг А.Н.. Досить вагомі результати були отримані в Київському, Львівському, Мінському, Новочеркаському і Ризькому політехнічних інститутах. В останні роки роботи з розробки, підвищенню ефективності функціонування і впровадженню МП РЗА ведуться вітчизняними розроблювачами: ВО «Київприлад», конструкторським бюро «Реле й автоматики», ТОВ "Енергомашвин" і підприємством «Хартрон-Інкор». Слід зазначити, що для ЕЕМ 6 - 110 кВ пристрої даних виробників уже в наш час успішно конкурують із закордонними аналогами. Розробка і впровадження вітчизняних МП РЗА для більш високих класів напруг ведеться, проте, варто говорити про окремі пристрої, а не про повну систему релейного захисту й автоматики електричної підстанції 220 - 750 кВ, що у даний час може бути забезпечено тільки закордонною фірмою виробником. Тому комплексний характер проблеми й особливості існуючого стану електроенергетики України і РЗА зокрема, потребують розв'язання зазначених проблем шляхом розробки методів і засобів підвищення ефективності функціонування вітчизняних МП РЗА різноманітних класів напруг .

Даний посібник призначений для вивчення основних принципів побудови апаратного і математичного забезпечення МП РЗА, які знадобляться студентам при розробці вітчизняних МП РЗА. Знання внутрішньої структури ЦФ, уміння аналізувати їх переваги і недоліки у порівнянні з попередніми поколіннями пристроїв захисту допоможе

студентам у майбутній практичній діяльності найбільш оптимально сформувати систему релейного захисту ЕО і тим самим підвищити надійність процесів виробництва і розподілу електроенергії. Враховуючи, що студенти отримали в попередніх курсах достатню підготовку з питань обчислювальної техніки та алгоритмізації, промислової електроніки та мікропроцесорної техніки, а також основ релейного захисту та автоматизації електроенергетичних систем, ми будемо зупинятись тільки на загальних питаннях побудови МП РЗА і систем управління на базі таких пристроїв.

# **1. ЕТАПИ РОЗВИТКУ МП РЗА, ЇХ ФУНКЦІОНАЛЬНІ ОСОБЛИВОСТІ, ПЕРЕВАГИ, НЕДОЛІКИ**

## **1.1. ЕТАПИ РОЗВИТКУ МП РЗА**

Більшість пристроїв РЗА побудовані на електромеханічній апаратурі. Це електромагнітні, магнітоелектричні й індукційні реле. Релейний захист на напівпровідникових елементах (реле на дискретних елементах) розроблялися спочатку на випрямних діодах, потім транзисторах, динисторах, тиристорах. Їх змінили захисти, виконані на мікросхемах: вимірювальні органи виконані на операційних підсилювачах, а логіка (аналог контактів електромеханічних реле) будувалася на логічних мікросхемах. У останніх зразках мікроелектронних пристроїв з'явилися додатково аналого-цифрові перетворювачі і цифрові лічильники. Процес розвитку продовжувався понад 30 років і зараз більша частина пристроїв захисту, що випускаються на Україні - мікроелектронні.

Системи РЗА на базі електромеханічних і мікроелектронних реле за рахунок невисокої вартості будуть знаходити застосування ще тривалий період часу, у першу чергу при реалізації відносно простих алгоритмів виявлення пошкоджень [1]. При цьому варто враховувати, що подальший розвиток подібних пристроїв РЗА (підвищення технічної досконалості, надійності, удосконалювання організації контролю і діагностики технічного стану) може здійснюватися тільки нарощуванням додаткових апаратних засобів, що приведе до збільшення вартісних показників і зниженню експлуатаційної надійності [2].

Логічним завершенням процесу розвитку стало переведення пристроїв РЗА на мікропроцесорну базу. В даний час виробляється вже четверте покоління захистів на мікропроцесорах.

Перші роботи вчених-електроенергетиків - А.М. Федосєєва, Я.С. Гельфанда, Б. Коррі , П. Мантью, у яких виконано аналіз можливостей використання ЕОМ для виконання функцій РЗА, відносяться до кінця 60-х - початку 70-х років [3-8]. Підставою для цього стало ускладнення протиаварійного управління електроенергетичним об'єктом, а також прагнення до однорідності структури управління й уніфікації застосовуваного устаткування. Істотну роль у цьому зіграв швидкий розвиток мікропроцесорної техніки і зниження її вартості.

Розвиток досліджень по застосуванню ЕОМ для систем управління, релейного захисту й автоматики проходило чотирма етапами у відповідності з наступними концепціями:

- I етап. Централізована концепція побудови системи РЗА.
- II етап. "Острівна" концепція побудови системи РЗА.
- III етап. Розподілена концепція побудови системи РЗА на базі однофункціональних мікропроцесорних пристроїв.
- IV етап. Розподілена концепція побудови багаторівневої системи РЗА на базі багатофункціональних мікропроцесорних пристроїв.

### **1.1.1. Централізована концепція побудови системи релейного захисту й автоматики**

Перший етап (до 1970 р.). Постановка самої задачі, виявлення переваг цифрових пристроїв перед аналоговими, розробка алгоритмів захистів для ЕОМ із використанням відомих принципів побудови релейного захисту, а також алгоритмів, заснованих на нових можливостях

ЕОМ. Вперше результати проведених досліджень у цій області отримані Г. Рокфелером (США) [9] і І. Моррісоном (Австралія) [10, 11]. У цей період основною є концепція централізованої підстанційної ЕОМ із резервуванням як процесорів, так і периферії, на яку покладаються усі функції РЗА на підстанції (рис. 1.1.). У цьому випадку на підстанційну ЕОМ від кожного приєднання надходять наступні сигнали:

- Аналогові від трансформаторів струму і напруги;
- Дискретні про положення комутаційного устаткування.

У великій ЕОМ аналогові сигнали надходять на аналого-цифровий перетворювач послідовно й опрацьовуються разом із дискретними відповідно до реалізованих алгоритмів релейного захисту.

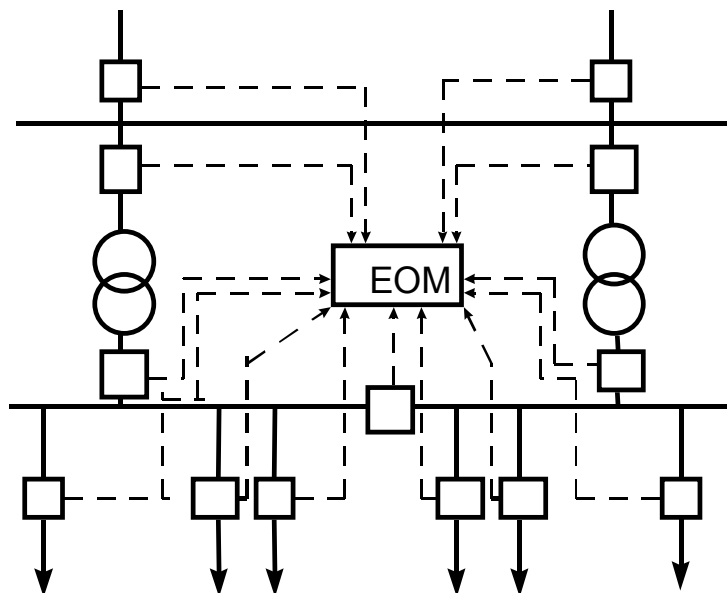


Рис. 1.1 Приклад організації релейного захисту підстанції з використанням однієї великої ЕОМ

У період 1971-1975 р. розгорнуті дослідження, що включають експериментальні роботи на діючих електроенергетичних об'єктах із використанням ЕОМ М-400, М-6000: синхронних генераторах [12], ЛЕП 330 кВ [13], на ЦОК "Мир-1" моделювалися аварійні режими, алгоритми

захистів, цифрової фільтрації вхідних сигналів [14, 15], провадилися тести моделі захисту на діючих підстанціях [16].

Недоліки концепції централізованого релейного захисту:

1. Недостатня надійність унаслідок централізації функціональних задач в одній ЕОМ. У випадку виходу її з ладу вся підстанція виявляється незахищеною.
2. Одна ЕОМ навіть при дуже великій швидкодії, але послідовному опрацюванню інформації не може змагатись у швидкості з багатьма паралельно працюючими в аварійних умовах автономними пристроями релейного захисту.
3. Більша складність технічного і математичного забезпечення.
4. Висока вартість системи релейного захисту.

Таким чином, концепція однієї великої ЕОМ не увінчалася успіхом, широке поширення ці системи не отримали. Проте, створення керуючих обчислювальних комплексів дозволило розв'язати ряд задач, зокрема, в області розробки алгоритмів виконання захистів і цифрової фільтрації [10-18].

### **1.1.2. "Острівний" принцип побудови системи релейного захисту й автоматики**

Другий етап (1975-1980 р.). Практично доведена обмеженість концепції єдиної централізованої ЕОМ, що виконує усі або більшість функцій РЗА. У роботах А.М. Федосєєва і Г. Дієнні відзначалося, що спроби створення релейного захисту на базі однієї великої ЕОМ (рис. 1.1) не увінчалися успіхом унаслідок централізації функціональних задач в одній машині і неможливості забезпечення необхідної надійності і швидкодії [2, 19, 20]. Як наслідок, у 1975 р. А.М. Федосєєвим у СРСР і Б.

Коррі, Г. Дромеєм, Б. Мюрреєм за кордоном висувається "острівна" концепція організації цифрового релейного захисту підстанції (рис. 1.2), який відрізняється від попереднім виділенням окремих міні-ЕОМ для груп устаткування, наприклад, для кожного рівня напруги [19, 21].

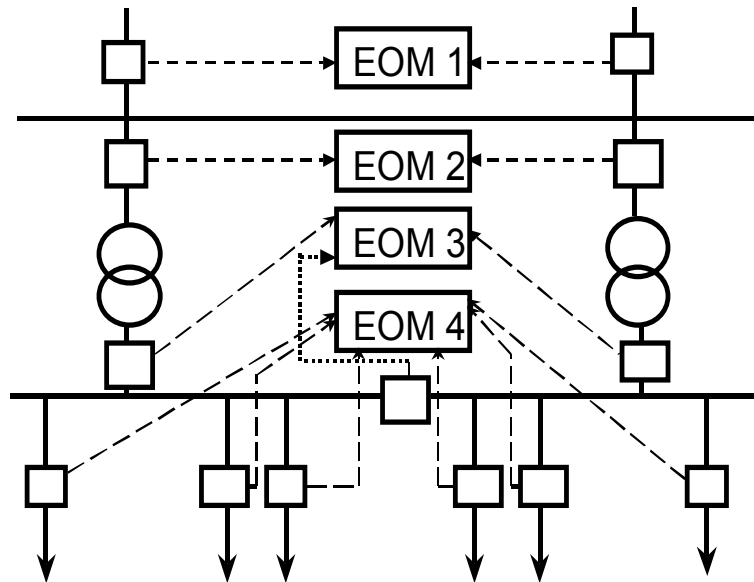


Рис. 1.2 Приклад організації релейного захисту підстанції з використанням груп міні-ЕОМ

Одна з перших розробок на міні-ЕОМ виконана в Білоруському політехнічному інституті [22, 23]. У Японії перший захист на базі міні-ЕОМ для захисту ЛЕП 154 кВ була введена в дослідну експлуатацію в 1974 р. [24].

Недоліки "острівної" концепції побудови системи релейного захисту підстанції з використанням груп міні-ЕОМ:

1. Надійність вища, ніж у попередньої концепції, але усе ж недостатня. У випадку виходу з ладу якоїсь ЕОМ незахищеною стає ціла група устаткування.

2. Міні-ЕОМ, що обслуговує групу устаткування, не може справитися з великим обсягом послідовно оброблюваної інформації. Як слідство - невисока швидкодія захисту.
3. Вартість такої системи РЗА навіть вища, ніж попередньої.

З цих причин даний підхід також не знайшов реального застосування [2].

### **1.1.3. Розподілена концепція побудови системи релейного захисту й автоматики на базі однофункціональних мікропроцесорних пристроїв**

Третій етап (1980-1985 р.) збігається з появою МП техніки і характеризується широким теоретичним і експериментальним вивченням питань реалізації МП пристроїв РЗА й управління для всіх елементів ЕЕМ: ЛЕП, генераторів, трансформаторів, збірних шин [19, 25]. Висувається концепція організації обчислювальної мережі з ряду однофункціональних мікро-ЕОМ (цифрові реле) для реалізації РЗА електроенергетичного об'єкта (рис. 1.3). З метою заміни окремих електромеханічних і мікроелектронних пристроїв РЗА розроблялися ЦР, що виконують функції цих пристроїв - максимальний захист за струмом, дистанційний, диференційний і т.д. Припускалася можливість комплектування всієї системи захисту підстанції однофункціональними ЦР. Теоретичними і практичними дослідженнями доведено, що при виконанні релейного захисту на мікропроцесорах можливо досягти такого ж рівня надійності, як і у виконаних на традиційній елементній базі [26 - 28].

Переваги розподіленої концепції побудови системи РЗА на базі однофункціональних МП РЗА [29 - 31]:

1. Висока надійність. При виході з ладу одного ЦР у роботі залишається основний або резервний захист приєднання і захисти вищестоящих приєднань.



2. Відносна простота технічного і математичного забезпечення в порівнянні з концепціями попередніх етапів.

Недоліки концепцій третього етапу:

1. Висока сумарна вартість комплексу захистів одного приєднання.
2. Високі масогабаритні показники комплексу захистів приєднання.

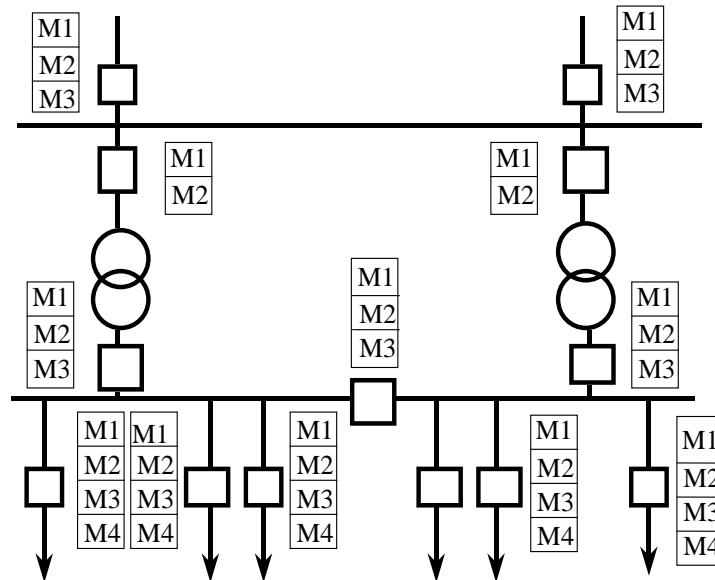


Рис. 1.3 Приклад організації системи РЗА підстанції з використанням однофункціональних ЦР

#### **1.1.4. Розподілена концепція побудови багаторівневої системи релейного захисту й автоматики на базі багатофункціональних мікропроцесорних пристроїв**

Четвертий етап (з 1981 р.). Розподілена концепція побудови багаторівневої системи релейного захисту й автоматики на базі багатофункціональних мікропроцесорних пристроїв на нижньому рівні, на верхньому - ЕОМ, що збирає інформацію з нижнього рівня і підтримує зв'язок з диспетчерським пунктом (рис. 1.4). МП пристрій призначений для виконання усіх функцій релейного захисту й автоматики одного приєднання. Пристрої нижнього рівня є цілком автономними і можуть

працювати без зв'язку з верхнім рівнем, на який покладаються задачі дистанційного управління, збору і координації.

Раніше, через високу вартість елементної бази, цифрові захисти в мережах 6-35 кВ не застосовувалися. В даний час вартість мікропроцесорів і периферії має стійку тенденцію до зниження, а їх функціональні можливості зростають. Тому в даний час виробники випускають не тільки складні МП пристрої РЗА мереж класу напруги 110 кВ і вище, але і порівняно недорогі багатофункціональні ЦР для мереж 6-35 кВ.

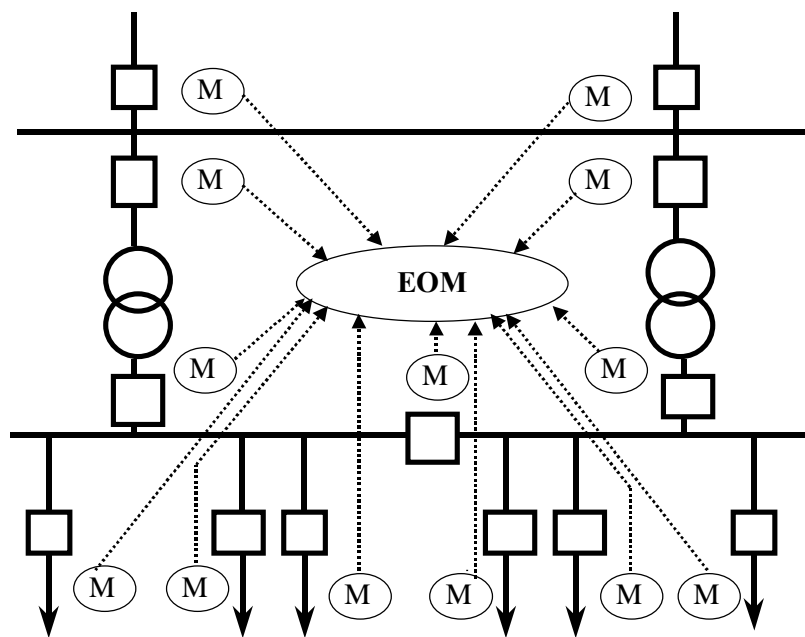


Рис. 1.4 Приклад організації системи РЗА підстанції на комплектних багатофункціональних ЦР

Переваги розподіленої концепції побудови системи РЗА на базі багатофункціональних МП РЗА:

1. Висока надійність, але нижча, ніж у концепції третього етапу. При виході з ладу одного мікропроцесорного пристрою в роботі залишаються захисти вищестоящих приєднань.
2. Вартість комплексу захисту одного приєднання значно нижча, ніж у попередній концепції.

Недоліки концепцій четвертого етапу:

1. Більша складність математичного забезпечення. Алгоритм окремого захисту реалізувати значно легше, ніж весь комплекс захистів і автоматики.
2. Необхідність у використанні більш потужного мікропроцесора або декількох мікропроцесорів.

В даний час більше поширення одержала остання концепція. На цьому принципі будується більшість пристроїв закордонних і вітчизняних виробників. В Україні основоположниками в області проектування цифрового релейного захисту є ІЕД НАН України, НТУУ "КПІ", НІЦ "Електромережа", ВО "Київприлад", ХАРТРОН-ІНКОР, ТОВ "Енергомашвин".

## **1.2. ФУНКЦІОНАЛЬНІ ОСОБЛИВОСТІ МП РЗА, ПЕРЕВАГИ, НЕДОЛІКИ**

### **1.2.1. Функціональні особливості мікропроцесорних пристроїв РЗА**

Функціональні особливості МП РЗА варто розглядати в порівнянні з пристроями релейного захисту попередніх поколінь – електромеханічних і мікроелектронних. Можна виділити наступні основні особливості:

- **Багатофункціональність.** Можливість об'єднати в одному пристрої декілька функцій захистів і автоматики. Одне цифрове реле функціонально замінює кілька традиційних однофункціональних. Наприклад, для лінії 10 кВ, відсічку за струмом, максимальний захист за струмом, захист від несиметричних режимів, захист від замикань на землю й АПВ.

- **Інформативність.** Завдяки вбудованому дисплею і кнопкам на лицьовій панелі оператор має можливість зчитувати і візуально спостерігати значення вставок, параметрів що вимірюються (струми і напруги) і що обчислюються (частота, потужності, енергія), аварійних параметрів (пуски, спрацьовування захистів, вид короткого замикання, відстань до місця пошкодження і т.д.).
- **Зв'язок із вищим ієрархічним рівнем.** По локальній мережі оператор має можливість із підстанційного комп'ютера або з диспетчерського пункту дистанційно зчитувати і змінювати значення вставок пристрою, виміряні параметри нормального й аварійного режимів, послідовності спрацьовування захистів і комплектів автоматики під час протікання аварії, а також до і після неї й ін.
- **Самодіагностика.** МП РЗА самі по собі мають ряд експлуатаційних переваг у порівнянні з традиційними. Являючись системами, які самодіагностуються, вони постійно контролюють свою готовність до роботи. Виключаються достатньо поширені випадки, коли діюча система захисту непрацездатна, а персонал не має про це ніякої інформації. МП РЗА постійно інформують про свою готовність, а визначивши несправність, уживають заходів до її усунення програмним або апаратним способом і дають вказівки персоналу для прийняття необхідних заходів. Реальна глибина самодіагностики дозволяє охопити 80-90 % вузлів пристрою. У цифрових реле при самотестуванні часто використовуються наступні прийоми.

Несправність лінійного перетворювача виявляється шляхом періодичного зчитування якоїсь стабільної напруги. Якщо виявляється відмінність останнього отриманого значення від еталонного, то формується сигнал несправності. Справність оперативного запам'ятовуючого пристрою перевірюється шляхом

запису в комірки заздалегідь відомих чисел і порівнянням результатів, одержуваних при наступному зчитуванні. Справність постійного запам'ятовуючого пристрою (ПЗП) перевірюється шляхом підсумовування за певним алгоритмом кодів робочої програми і порівняння результату з контрольною сумою, яка зберігається в заздалегідь відомій комірці. Цілісність обмоток вихідних реле перевірюється при короткочасній подачі на них напруги і контролі обтікання їх струмом. Також проводиться самотестування блока живлення й інших найважливіших вузлів.

При подачі живлення на мікропроцесорний пристрій проводиться повна самодіагностика, протягом котрої функції захистів блоковані. Повна самодіагностика може займати від 100 мс (прості пристрої захисту об'єктів 6-10 кВ) до декількох хвилин (складні пристрої захисту й автоматики 330 - 750 кВ). У процесі роботи МП РЗА виконує локальну самодіагностику окремих модулів, не блокуючи при цьому функції захистів.

Самодіагностика виконується мікропроцесором. На випадок виходу його з ладу передбачається спеціальний сторожовий таймер "watch dog", що при нормальній роботі скидається (обнуляється) з певною періодичністю. Якщо за відведений час від мікропроцесора не прийде черговий імпульс, що скидає таймер у вихідний стан, то таймер діє на вхід повернення процесора у вихідний стан. Це викликає перезапуск керуючої програми і формується попереджувальний сигнал для обслуговуючого персоналу.

- **Блочне виконання.** Важливою перевагою МП РЗА є висока ремонтоздатність, в основі якої лежить блочне виконання апаратури. Блок, що вийшов із ладу, замінюється без порушення фізичної цілісності комутаційних ланцюгів за допомогою штепсельних

рознімать. Цим значно зменшується час ремонту такої системи, можливість внесення несправностей персоналом при проведенні профілактики й тестувань, що особливо важливо зараз, коли загальна кількість експлуатованих вторинних систем навіть у середній енергосистемі складає сотні тисяч і постійно росте, а чисельність експлуатаційного персоналу зменшується.

## **1.2.2. Переваги і недоліки, властиві різним поколінням пристроїв РЗА**

### **1.2.2.1. Загальні недоліки та переваги пристроїв РЗА на традиційній базі**

Переважає більшість пристроїв РЗА виконано на електромеханічному та мікроелектронному принципі. Такі пристрої мають у порівнянні з мікропроцесорними ряд переваг [32]:

- меншу вартість;
- за багаторічну практику накопичено значний досвід їх використання та обслуговування;
- існує досить великий об'єм запасних частин для ремонту та є можливість проведення ремонту власними силами персоналу (наявність принципів схем пристрою);
- існують спеціальні інструменти для ремонту і регулювання характеристик таких пристроїв.

Але пристроям на традиційній елементній базі притамані і досить суттєві недоліки, які перешкоджають або ускладнюють комплексну автоматизацію електричних мереж:

- великі трудозатрати на обслуговування;
- значні витримки часу вимкнення міжфазних КЗ, особливо поблизу джерел живлення із-за великих ступенів селективності, відсутності в

більшості електроустановок прискорення РЗ після АПВ та відсутності логічного захисту шин;

- неможливість виконання багатократного АПВ, в першу чергу, із-за неможливості реалізації прискорення РЗ після кожного циклу АПВ;
- відсутність ефективного захисту від замикань на землю розподільних мереж;
- відсутність можливості автоматичної зміни уставок пристрою РЗ або при раптовій зміні режиму живлення мережі, або при плановому виведенні частини обладнання в ремонт.

#### **1.2.2.2. Недоліки та переваги пристроїв РЗА на мікропроцесорній базі**

Нижче наведений аналіз переваг і недоліків використання МП РЗА, побудованих відповідно до системи, приклад якої наведено на рис. 1.4, у порівнянні з пристроями релейного захисту попередніх поколінь - електромеханічних і мікроелектронних [2, 30, 33 - 44]. У табл. 1.1. наведені результати порівняльного аналізу пристроїв РЗА різних поколінь.

У першу чергу слід зазначити, що ЦР є програмованим пристроєм, кількість і складність задач, що виконуються, визначаються алгоритмами функціонування. Цим МП РЗА принципово відрізняються від реле на традиційній елементній базі. Використання сучасних, відносно недорогих, але потужних мікропроцесорних засобів дозволяє підвищити швидкодію і закласти в реле функції, повністю недоступні електромеханічним і частково мікроелектронним пристроям. Для зміни принципів роботи пристрою є великі можливості в програмі реле, у крайньому випадку, потрібно змінити програму, не міняючи апаратну частину пристрою. Наявні модифікації, зазвичай, зв'язані з набором функцій, що може виконувати даний пристрій.

Табл. 1.1. Переваги і недоліки, властиві різним поколінням пристроїв РЗА

	Електромеханічні	Мікроелектронні	Мікропроцесорні
Точність вставок	Низька, потрібні додаткові вимірювальні прилади	Низька (крім продуктів останнього десятиліття), потрібні додаткові вимірювальні прилади	Висока, додаткові вимірювальні прилади не вимагаються
Характеристики спрацьовування	Великий розкид характеристик, низький коефіцієнт повернення	Більш точні характеристики і більш високий коефіцієнт повернення, що дозволяє зменшити вставки по струму, напрузі, часу	Практично не мають розкиду характеристик, високий коефіцієнт повернення, що дозволяє зменшити значення вставок захистів
Споживання	Велике	Середнє	Низьке
Діапазон уставок	Малий, є модифікації з різними діапазонами виміру	Більший, тому потрібно менше число модифікацій	Великий, не потрібні модифікації з різними діапазонами виміру



Продовження табл. 1.1.

Стійкість до завад	Пристрої завадостійкі	Пристрої недостатньо завадостійкі, вимагаються заходи для підвищення завадостійкості	Пристрої завадостійкі в межах норм МЕК
Трудозатрати на обслуговування	Високі, відсутність убудованих функцій. контролю	Середні, за рахунок убудованого тестового і функціонального контролю, але він недостатній	Низькі, за рахунок повного автоматичного самоконтролю
Швидкодія	Низька	Середня, висока	Висока
Реєстратор	Відсутній	Відсутній	Є у більшості пристроїв
Контроль силового устаткування	Відсутній	Відсутній, крім продуктів останнього десятиліття.	Є у більшості пристроїв
Обмін інформацією	Відсутній	Відсутній	Є у більшості пристроїв

Продовження табл. 1.1.

Індикація	Тільки спрацьовування	Індикується тільки спрацьовування захистів. У продуктах останніх десятиліть індикується робота РЗА, положення вимикача, інформація про КЗ на цифровому індикаторі.	икористовується РКІ, де індикуються вставки, параметри аварійного і нормального режимів, результати самодіагностики й ін.
-----------	--------------------------	---	---

Також слід зазначити, що ЦР притамана можливість автоматичної зміни уставок пристрою РЗ або при раптовій зміні режиму живлення мережі, або при плановому виведенні частини обладнання в ремонт (наприклад, зміна набору уставок по дискретному входу або дистанційно по локальній мережі) .

Використання енергонезалежної пам'яті дозволяє виконувати програмним шляхом значно більш точно введення і зміну значень вставок захистів і автоматики без використання спеціальних вимірювальних приладів. На відміну від електромеханічних і мікроелектронних пристроїв ЦР мають широкий діапазон вставок і тому не потребують модифікацій із різноманітними діапазонами виміру вхідних аналогових сигналів. Крім

того, характеристики спрацьовування практично не мають розкиду, пристрої мають високий коефіцієнт повернення, що зменшує значення ступіней вставок по струму, напрузі, часу. Застосування енергонезалежної пам'яті дозволило виконати програмний модуль реєстратора вхідних струмів і напруг, послідовності спрацьовування захистів і автоматики, що був відсутнім у пристроях попередніх поколінь.

Використання МП РЗА привело до організації на нових принципах експлуатації силового устаткування. Постійний контроль справності ланцюгів вмикання і відключення комутаційного устаткування, граничного числа оперативних дій, моніторинг струмів відключення дозволяє створити системи діагностики устаткування. Ця функція дозволяє більш обґрунтовано приймати рішення про проведення робіт із ремонту або техобслуговування і виконувати ці роботи тільки тоді, коли цього потребує ситуація.

Електромеханічні реле і більшість мікроелектронних не мають убудованих засобів самодіагностики. Для ЦР ця функція є обов'язковою. У автоматичному режимі діагностується як математичне, так і апаратне забезпечення. Виключено випадки, коли пристрій захисту вийшов із ладу, а оперативному персоналу про це нічого не відомо. Про працездатність пристрою постійно сигналізує реле сторожового таймера, його замикання приводить до спрацьовування вказівних реле. Дана функція приводить до підвищення рівня експлуатації енергосистеми.

Найважливішою перевагою ЦР є можливість виконання обміну інформацією з вищим ієрархічним рівнем, що дозволяє об'єднати окремі пристрої в МП систему РЗА. У цьому випадку ЦР стає елементом системи АСУ ТП підстанції. Передані на верхній рівень значення вставок, результати вимірів у нормальному й аварійному режимах роботи ЕЕМ, дані реєстратора, положення комутаційного устаткування, результати

самодіагностики дозволяють диспетчеру швидко і якісно виконати аналіз ситуації й у разі потреби прийняти необхідні заходи.

Використання цифрових індикаторів дозволило на більш якісному рівні виконати функцію відображення електричних величин - струму, напруги, частоти, потужності, енергії, а також параметрів аварійного режиму роботи ЕЕМ і вставок захистів.

Також слід зазначити, що МП РЗА мають мале споживання, характеристики не змінюються в процесі старіння і не вимагають періодичної перевірки і не потребують механічного регулювання.

Таким чином, МП захисти перевершують електромеханічні і мікроелектронні по точності, функціональним можливостям, мають менші споживання, вагу, працезатрати на монтаж, наладку і технічне обслуговування. Наявність зв'язку з вищим ієрархічним рівнем дозволяє включити такі пристрої в систему АСУ ТП ЕО. Недоліків у МП РЗА в даний час декілька - висока вартість і значні організаційні і матеріальні витрати при ремонті. В міру удосконалювання цифрової техніки вартість комплектуючих знижується і, відповідно, знижується вартість самих МП РЗА. Друга проблема складніше. Фірма-виробник не надає користувачу ні схем апаратної частини ЦФ, ні коду його програмного забезпечення. Тому усунути виниклу несправність самостійно, наприклад силами персоналу підстанції, як це практикувалося при експлуатації електромеханічних або мікроелектронних пристроїв, неможливо. Повернути в працездатний стан несправний МП РЗА можливо тільки на заводі-виробнику, що частіше усього знаходиться за кордоном. Очевидно, що такий ремонт супроводжується значними і матеріальними, і організаційними витратами, які у випадку вітчизняного виробника істотно нижчі.

## Контрольні запитання

1. Які основні етапи розвитку цифрових систем РЗА?
2. Які характеристики, переваги та недоліки централізованої концепції побудови системи РЗА?
3. Які характеристики, переваги та недоліки "острівної" концепції побудови системи РЗА?
4. Які характеристики, переваги та недоліки розподіленої концепції побудови системи РЗА на базі однофункціональних мікропроцесорних пристроїв?
5. Які характеристики, переваги та недоліки розподіленої концепції побудови багаторівневої системи РЗА на базі багатофункціональних мікропроцесорних пристроїв?
6. Які функціональні особливості МП РЗА?
7. Які переваги надає МП РЗА "багатофункціональність"?
8. Які переваги надає оператору наявність у МП РЗА зв'язку з вищим ієрархічним рівнем?
9. Як відбувається процес самодіагностики у МП РЗА?
10. Які переваги і недоліки властиві різним поколінням пристроїв РЗА?

## 2. СТРУКТУРА АПАРАТНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ МП РЗА

Загальну структуру апаратного забезпечення МП РЗА, задачі і принципи побудови його окремих модулів (блоків) розглянемо на прикладі однопроцесорного цифрового реле з наведенням відмінностей, внесених застосуванням декількох процесорів.

### 2.1. Загальна структура однопроцесорного МП РЗА

Загальна структура однопроцесорного ЦР приведена на рис. 2.1. МП РЗА складається з лінійного перетворювача, обчислювального блоку, блоку дискретних входів і виходів, блоку індикації і блоку живлення.

На входи пристрою подаються послідовності  $k$  аналогових сигналів  $x(t)$ , і  $m$  дискретних сигналів  $D_i$ . Аналогові сигнали подаються звичайно в діапазоні  $(0 \div 40)I_n$ ,  $I_n=1$  А або 5 А для струмових входів і  $(0 \div 1.2)U_n$ ,  $U_n=100$  В для входів по напрузі. Задачею ЛП є перетворення цих аналогових сигналів у сигнали з рівнем, придатним для АЦП :  $-5\text{В} \div 5$  В,  $0 \div 10$  В,  $-2.5 \div 2.5$  В (у залежності від типу АЦП); і одержання на виході АЦП с кроком дискретизації  $T$  послідовності  $n$  дискретних сигналів  $X(n)$ , де  $n$  - кількість вибірок за період промислової частоти. Обчислювальний блок опрацьовує отримані сигнали, реалізує алгоритми захисту й автоматики, опрацьовує дискретні сигнали  $D_i$ , що надходять із блока дискретних входів і виходів, видає і приймає інформацію з блока індикації, формує управляючі дії  $Q_i$  на блок входів і виходів і підтримує зв'язок із вищим ієрархічним рівнем через послідовний порт.

Поряд із перерахованими вище в цифрових пристроях, у загальному випадку, можуть зустрітися й інші вузли, наприклад, цифро-аналогові перетворювачі при формуванні аналогових сигналів керування і регулювання.

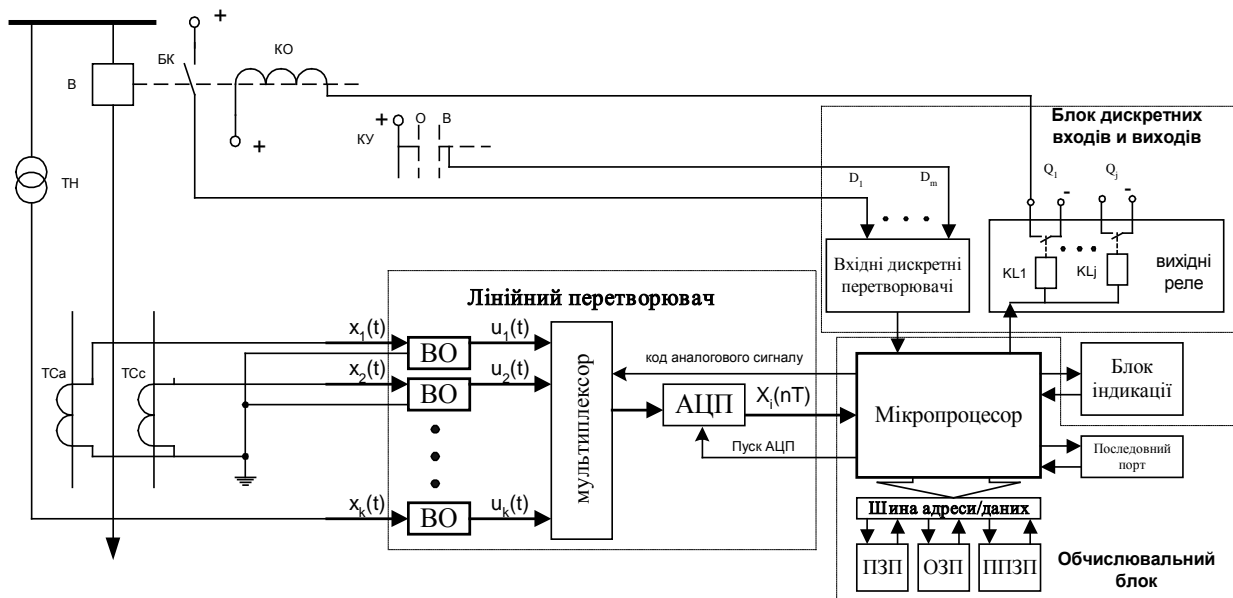


Рис. 2.1 Загальна структура однопроцесорного ЦР

## 2.2. Лінійний перетворювач

У загальному випадку лінійний перетворювач складається з вимірювальних органів і тракту аналого-цифрового перетворення. Сигнали, що надходять на вимірювальний орган, можуть мати різну фізичну природу - струми, напруги, температура і т.д. Частіше всього пристрої РЗА працюють із сигналами від джерел перемінного струму і напруги, із традиційними номінальними рівнями: 1А, 5А, 100В. Такі рівні сигналів забезпечують необхідну перешкодозахищеність, але цілком неприйнятні для опрацювання в електронних схемах. При підключенні мікропроцесорних пристроїв до традиційних датчиків струму і напруги

потрібно приведення їх сигналів до єдиного виду і діапазону зміни, прийнятному для опрацювання в тракці аналого-цифрового перетворення.

Таким чином, **вимірювальний орган** - один із найбільш важливих модулів лінійного перетворювача, призначений для:

- забезпечення гальванічної розв'язки зовнішніх ланцюгів від внутрішніх ланцюгів пристрою;
- забезпечення лінійної (або нелінійної, але з відомим законом) передачі вхідного аналогового сигналу у всьому діапазоні його зміни;
- здійснення в окремих МП пристроях РЗА попередньої частотної фільтрації вхідних сигналів перед їх аналого-цифровим перетворенням;
- прийняття заходів для захисту внутрішніх елементів пристрою від впливу перешкод і перенапруг.

По способу опрацювання вхідного аналогового сигналу ЛП можна розділити на два типи:

- перетворення вхідного сигналу засобами аналогового обчислювальної техніки з подальшим опрацюванням інформації в обчислювальному блоці;
- перетворення вхідного сигналу за допомогою АЦП і наступна цифрова фільтрація в обчислювальному блоці.

Деякі МП пристрої РЗА використовують ЛП, виконаний по першому способу [45-47]. Початкове опрацювання вхідних сигналів (множення, ділення, отримання квадратного кореня) провадять у вимірювальному органі методами аналогової обчислювальної техніки. ЛП такого типу дозволяє використовувати АЦП і мікропроцесор із невисокою швидкістю й істотно спрощує програмне забезпечення за рахунок проведення опрацювання вхідних сигналів поза обчислювальним блоком. Проте виконання аналогової фільтрації не дозволяє вбудувати в реле



функцію реєстратора і дозволяє інтегрувати тільки однотипні і порівняно нескладні функції захисту.

Більшість ЛП виконуються за другим способом [32, 35, 48-57]. У цьому випадку до складу ЛП входять вимірювальні органи, мультиплексор, аналого-цифровий перетворювач.

Найбільш часто вимірювальні органи лінійних перетворювачів виконуються на базі звичайних електромагнітних трансформаторів із феромагнітним сердечником. Недоліки таких трансформаторів наступні: нелінійні передатні характеристики, деякий розкид параметрів, нестабільність у часі і при зміні температури. Проте, незважаючи на перераховані недоліки, дані вимірювальні органи широко використовуються в МП пристроях РЗА, забезпечуючи роботу їхніх лінійних перетворювачів із похибкою 0.5-5 %, що цілком достатньо для цілей релейного захисту.

У трансформаторних перетворювачах по струму (рис. 2.2 а) і по напрузі (рис. 2.2 б) основна увага приділяється зниженню ємності між обмотками, по котрій можливо влучення імпульсних перешкод усередину пристрою. З цією ціллю секціонують вторинну обмотку або поміщають між первинною і вторинною обмотками електростатичний екран. Через дуже мале споживання потужності наступними електронними вузлами, перетворення струмових сигналів у напругу здійснюють найпростішим способом - із використанням шунтів  $R$ . Для захисту електронних вузлів від можливих перенапруг широко застосовують варистори  $RV$  (або стабілітрони) і фільтри нижніх частот, наприклад, на основі  $R/C$ -ланцюгів. Ефективність фільтра нижніх частот пояснюється тим, що енергія імпульсної перешкоди зосереджена у високочастотній частині спектра. Обмеження смуги пропускання тракту в області високих частот необхідно і для правильної роботи аналого-цифрового перетворювача. Проте,

фільтри мають недолік - поворот вектора вихідної напруги щодо вектора вхідного струму або напруги. Якщо в алгоритмах захистів МП пристрою РЗА використовуються тільки амплітудні або діючі значення окремих контрольованих сигналів (захисту по струму або по напрузі), то такий поворот не позначається на точності характеристик спрацьовування. Якщо ж в алгоритмах захистів, наприклад, направлених струмових, дистанційних, диференціальних використовуються значення, отримані з декількох вимірюваних різнойменних (струм і напруга) сигналів (відносні кути), то невідповідність параметрів  $R/C$ -ланцюгів фільтрів приведе до значних похибок, що можуть викликати помилкове спрацьовування або відмову захисту. Тому в багатьох МП пристроях РЗА фільтри не використовуються.

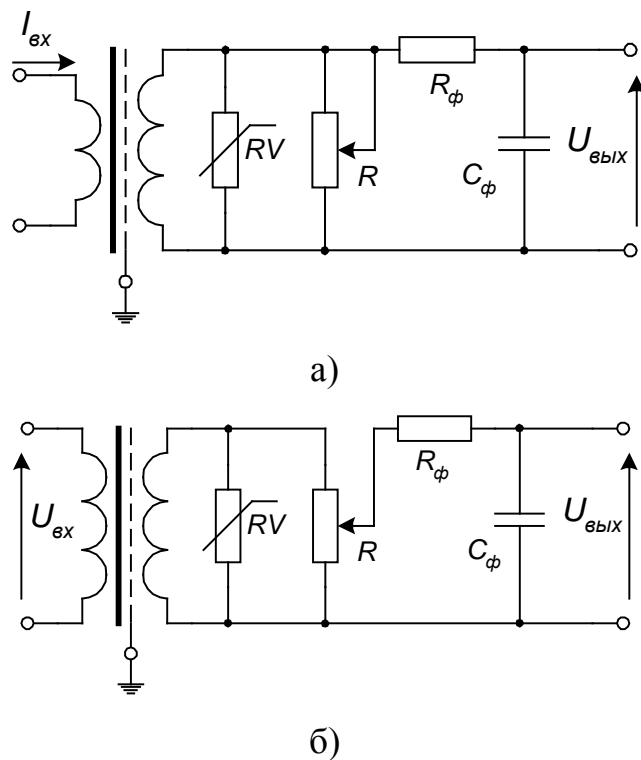


Рис. 2.2. Вимірювальні органи, що використовують узгоджувальні трансформатори

- а) за струмом;
- б) за напругою.

**Тракт аналого-цифрового перетворення** в найпростішому однопроцесорному МП пристрої РЗА складається з мультиплексора й аналого-цифрового перетворювача.

Мультиплексор - це електронний комутатор, який по черзі подає контрольовані сигнали на вхід АЦП. Застосування мультиплексора дозволяє використовувати один АЦП (як правило дорогий) для декількох каналів. У АЦП здійснюється перетворення миттєвого значення вхідного сигналу  $x_i(t)$  у пропорційне йому цифрове значення  $X_i(n)$ . Перетворення виконуються з заданою періодичністю. У наступному в мікропроцесорі по цих вибірках із вхідних сигналів розраховуються інтегральні параметри контрольованих сигналів - їх амплітудні або діючі значення, кути.

Від того, наскільки близько відповідає дискретна послідовність  $X(n)$  на виході АЦП вхідній аналоговій величині  $x(t)$ , залежить точність роботи всього пристрою. Перехід від безперервного сигналу  $x(t)$  до дискретного  $X(n)$  завжди відбувається з утратою деякої кількості інформації. Кінцеве число градацій дискретного сигналу обумовлює похибку квантування за рівнем, а однією з причин необхідності квантування за часом є те, що і сам процес аналого-цифрового перетворення, і наступний цикл обчислень у мікропроцесорі потребує певного часу.

Структуру, що забезпечує перетворення контрольованих аналогових сигналів у цифрові і введення їх в обчислювальний блок, визначають у першу чергу такі фактори, як діапазон зміни миттєвих значень аналогових сигналів, необхідний час цифрового опрацювання. У випадку використання  $p$ -разрядного АЦП крок квантування складе:

$$q = \frac{X_{\max}}{2^p}.$$

Як відомо, в енергетиці з усіх величин у найбільш широкому діапазоні змінюється струм. Струм при нормальному режимі роботи

електроустановки знаходиться в межах  $0 \div I_{ном}$ , а в аварійному - досягає  $(10 \div 40) I_{ном}$ . Для перетворення з похибкою не більш 2-5% необхідне число ступіней перетворення повинно бути не менше  $2000 \div 4000$ , тобто потрібно АЦП із розрядністю  $p=11 - 12$  [37]. Часто для зменшення вартості тракту аналого-цифрового перетворення і підвищення точності виміру використовується АЦП із меншою розрядністю з обов'язковим розширенням діапазону виміру шляхом нормалізації сигналу перед опрацюванням його в АЦП [36, 48, 50-52, 58, 59]. В даний час виробляються мікропроцесори з убудованим багатоканальним АЦП. Таке рішення дозволяє зменшити вартість пристрою РЗА.

Ділення діапазону виміру на піддіапазони є найчастіше необхідною, але недостатньою умовою для ефективного лінійного перетворення.

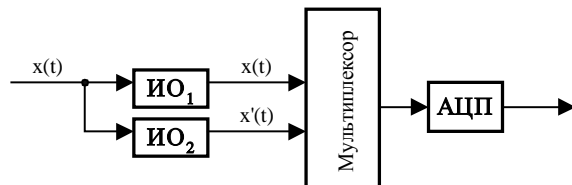


Рис. 2.3. Приклад розширення діапазону виміру на два піддіапазони.

Наступний важливий фактор - тривалість перетворення АЦП  $dt_{АЦП}$ . На рис. 2.4. приведений приклад для поступаючих послідовно на АЦП трьох аналогових сигналів  $x_1(t)$ ,  $x_2(t)$ ,  $x_3(t)$ . При ідеальному (миттєвому) перетворенні  $dt_{АЦП} = 0$ , і в точці  $t=t_0$  на виході АЦП існує послідовність трьох дискретних сигналів, що однозначно відповідають вхідним:  $X_1 \cong x_1(t)$ ,  $X_2 \cong x_2(t)$ ,  $X_3 \cong x_3(t)$ . Проте, для реальних АЦП  $dt_{АЦП} \neq 0$ . Як видно з залежностей, приведених на рис. 2.4, утвориться похибка виміру  $dX_2$  і  $dX_3$ , викликана різницею в моменті початку перетворення кожного сигналу. Отже, утвориться зсув по куту вимірюваних аналогових сигналів відносно першого вимірюваного і, чим більше сигналів вимірюється в пристрої, тим істотний зсув між першим сигналом і останнім [48, 60]. Ця ситуація

характерна для приведенного на рис. 2.1 ЛП із послідовним опрацюванням поступаючих сигналів.

Зсув по куту між першим і останнім виміряними сигналами визначається по формулі:

$$d\varphi = \frac{360 \cdot (n-1) \cdot dt_{\text{АЦП}}}{T_0},$$

де:  $d\varphi$  - зсув по куту між першим і останнім сигналами, градус;

$T_0$  - період вхідної синусоїдальної величини, при роботі електроустановки з частотою  $f = 50$  Гц  $T_0 = 20$  мс (20000 мкс).

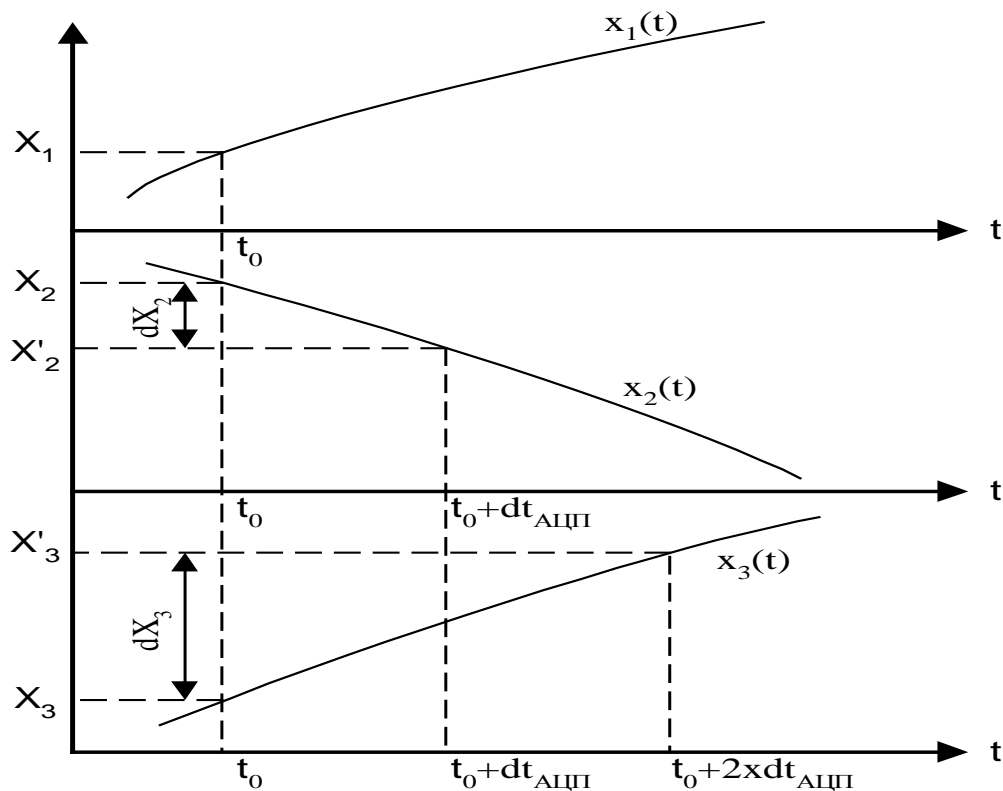


Рис. 2.4. Залежність початку перетворення від  $dt_{\text{АЦП}}$

У таблиці 2.1 приведена залежність між зсувом по куту і тривалістю перетворення АЦП для шести вхідних сигналів.

Таблиця 2.1

## Залежність зсуву по куту від швидкодії АЦП

$dT_{\text{АЦП}}$ , мкс	2	10	30
$d\varphi$ , градус	0.18	0.90	2.70

При виборі швидкодіючого АЦП, де тривалість перетворення  $\leq 10$  мкс, зсув по куту несуттєвий і їм можна зневажити.

Для зменшення кутової похибки використовуються ЛП із паралельним опрацюванням сигналів. Існує два способи виконання. На рис. 2.5 приведений ЛП із схемою вибірки [36, 48, 61]. У момент  $t_0$  по команді з обчислювального блоку в схемі вибірки відбувається одночасне запам'ятовування аналогових величин усіх  $n$  вимірюваних сигналів. Далі ці постійні величини послідовно надходять на АЦП, де тривалість перетворення  $dt_{\text{АЦП}}$  уже не критична.

На рис. 2.6 приведений ЛП із декількома АЦП [37, 48, 60, 62]. За принципом дії цей спосіб схожий із ЛП із схемою вибірки, але запам'ятовування не відбувається, а відразу ж, одночасно по команді з обчислювального блоку, починається перетворення кожного вхідного сигналу на своєму АЦП.

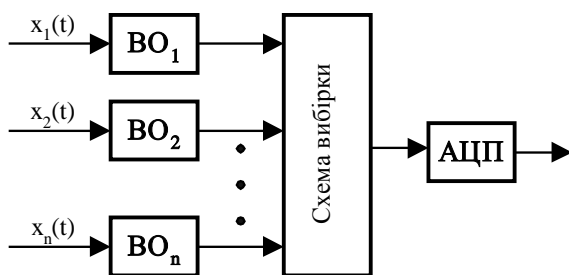


Рис. 2.5 ЛП із схемою вибірки

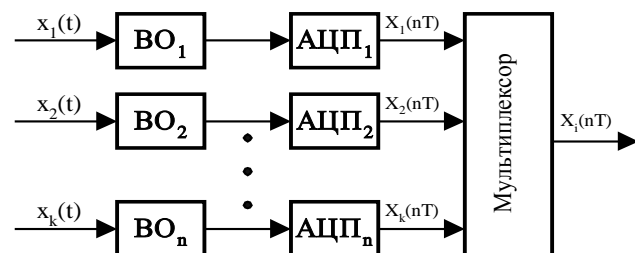


Рис. 2.6 ЛП із декількома АЦП

Очевидно, що найбільше ефективно і саме швидкодіюче перетворення - при використанні схеми з декількома АЦП, але ця схема і сама дорога. Основна область застосування - складні функціонально насичені МП пристрої дистанційних, диференційних, диференційно-фазних захистів ліній 220 - 750 кВ. У електричних мережах 6 - 35 кВ, де вартість пристрою - один із найважливіших факторів, ця схема знайшла дуже обмежене застосування. ЛП із схемою вибірки і ЛП із послідовним опрацюванням сигналів значно дешевше. Ці схеми відрізняються лише вартістю схеми вибірки. Проте, при використанні цієї схеми перетворення виконується більш ефективно, тому що немає похибки виміру, викликаного зсувом по куту. Обидві схеми широко застосовуються в МП пристроях РЗА електричних мереж 6 - 110 кВ.

### **2.3. Блок дискретних входів і виходів**

Блок дискретних входів і виходів складається з вхідних перетворювачів дискретних сигналів і вихідних релейних перетворювачів. **Вхідні перетворювачі дискретних сигналів** призначені для отримання логічних сигналів від різноманітних апаратів і пристроїв, як-от - положення комутаційного устаткування, команди від ключів управління, сигнали пуску, блокування, прискорення від зовнішніх пристроїв РЗА з забезпеченням гальванічної розв'язки [49]. Дискретні перетворювачі повинні бути чутливими тільки до вузької області діапазону можливого перебування контрольованого сигналу. Звичайно використовуються схеми з оптронами, спрощений варіант якої приведений на рис. 2.7. Швидкодія (час переключення) таких схем висока - частки мікросекунди, також через малу прохідну ємність висока перешкодозахищеність, допустима напруга між ланцюгом управління й елементами керованого ланцюга досягає

декількох кіловольт, а робочий струм світлодіода  $VD$  складає 3-5 мА. Малий вхідний струм оптрона з однієї сторони приводить до зниження потужності, споживаної перетворювачем, вирішує проблему розсіювання тепла резистора  $R_b$  і зменшує навантаження на керуючий контакт  $S_2$ . Але з іншого боку, при наявності протяжного провідника, що зв'язує керуючий ключ  $S_2$  з оптроном малий робочий струм оптрона може привести до помилкового спрацьовування при перезарядженні паразитної ємності  $C$  в момент замикання ключа  $S_1$  у сторонньому ланцюзі. Щоб виключити помилкову роботу МП пристрою РЗА в такій ситуації, на виході перетворювача встановлюють елемент затримки часу. Для того, щоб відбудуватись від перехідних процесів, звичайно достатньо затримки 0,5-3 мс. Також недоліком є те, що пристрої з малим споживанням можуть реагувати на замикання на землю в мережі оперативного струму, тому що їхній вхідний струм співвідносний із струмом ланцюга контролю ізоляції мережі оперативного струму. Для виключення цього вхідні ланцюги дискретного перетворювача виконують із прив'язкою до потенціалів полюсів мережі оперативного струму і піднімають поріг переключення перетворювача до рівня 60-80 % номінальної напруги мережі.

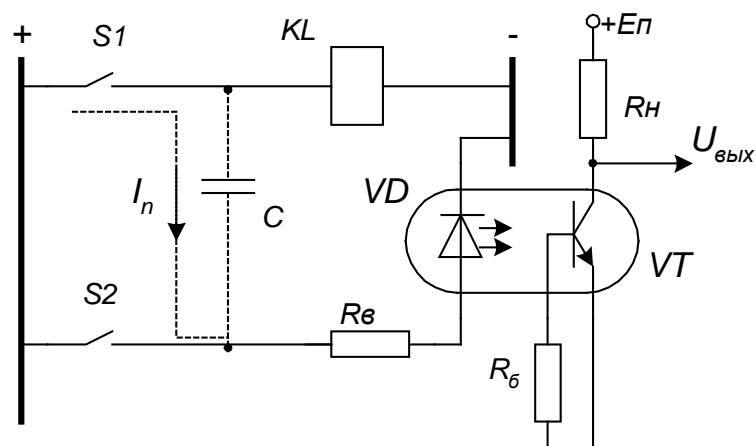


Рис. 2.7. Спрощена схема дискретного перетворювача.



Задачею **вихідних релейних перетворювачів** є видача МП пристроєм логічного сигналу або в ланцюги управління комутаційним устаткуванням, або в ланцюги попереджувальної сигналізації, або на зовнішні пристрої РЗА, причому повинна забезпечуватися гальванічна розв'язка комутуваних ланцюгів як між собою, так і щодо внутрішніх ланцюгів пристрою РЗА [49]. Вихідні перетворювачі повинні мати відповідну комутаційну спроможність і, у загальному випадку, забезпечувати видиме розірвання комутованого ланцюга, для чого звичайно використовуються малогабаритні проміжні електромагнітні реле декількох типів: із більшою комутаційною спроможністю - для роботи безпосередньо в ланцюгах управління вимикачів, із меншою - для роботи в ланцюгах сигналізації. Потужні реле спроможні включати ланцюг із струмом приблизно 5-30 А, але їхня відключаюча спроможність, звичайно, не перевершує 0,2 А при постійній напрузі 220 В. Таким чином, схема управління повинна передбачати переривання струму в ланцюзі електромагніта вимикача його допоміжним контактом. Відключаюча спроможність сигнальних реле звичайно не перевищує 0,15 А в ланцюгах постійного струму напругою 220 В.

#### **2.4. Блок індикації**

Блок індикації призначений для відображення на індикаторі МП пристрою РЗА різноманітної збереженої, виміряної і обчислюваної у цифровому реле інформації [49]. Доступ до інформації здійснюється шляхом маніпулювання кнопками управління.

Для **відображення інформації** в МП пристрої РЗА використовуються:

- світлодіодні індикатори різноманітних кольорів і режимів роботи (безупинне горіння, миготіння), які можуть бути призначені оператором на спрацьовування будь-якої функції або групи функцій;
- дисплей, призначений для візуалізації наступної інформації:
  - збережених в енергонезалежної пам'яті пристрою різноманітних вставках спрацьовування захистів і системних уставок;
  - збережених в енергонезалежної пам'яті пристрою параметрах аварійного режиму роботи контролюваного приєднання і послідовності пусків і спрацьовувань захистів (осцилограми аварійних процесів, пуски, спрацьовування захистів у хронологічному порядку, вид пошкодження, відстань до місця КЗ);
  - поточних параметрах технологічного процесу які вимірюються (струму, напруги), так і ті, що обчислюються в процесі роботи пристрою (частота, потужності, енергія д.);
  - різноманітних даних діагностики силового устаткування (квадрати струмів відключення, число вмикань/відключень вимикача і т.д.).

У МП пристроях РЗА використовуються світлодіодні і РКІ дисплеї.

**Світлодіодні дисплеї.** Переваги - дешевина, простота програмування, широкий температурний діапазон. Світлодіодний дисплей добре помітний, особливо в умовах малої зовнішньої освітленості. Недолік - мала інформативність. Але ж МП пристрій РЗА здатний надати оператору дуже великий обсяг інформації, вивести який на світлодіодний дисплей складно або навіть неможливо. Для оперативного одержання такого обсягу інформації вимагаються відповідно і більш інформативні дисплеї.

Цим вимогам задовольняє **рідиннокристалічний індикатор**, одно-, дво-, багаторядковий, що використовується практично у всіх сучасних МП пристроях РЗА. Переваги - значно більша інформативність, зручність зчитування інформації, легкість і гнучкість програмування. Недоліки - відносно низька контрастність зображення, більш висока вартість, непрацездатність при низьких температурах (при використанні більш дорогих РКІ з розширеним температурним діапазоном ця проблема знімається).

**Кнопки управління** або клавіатура є невід'ємними елементами зв'язку оператора з МП пристроєм РЗА. За допомогою клавіатури можна змінити режим роботи пристрою, викликати на дисплей необхідні параметри і величини, ввести нове значення вставки і т.д. Число кнопок може бути різним, але не менше двох. Чим більше кнопок у клавіатурі, тим зручніше і швидше можна вводити інформацію в пристрій. Проте, кнопки є найбільше ненадійними елементами цифрової апаратури.

## **2.5. Структура обчислювального блоку**

Існує декілька варіантів виконання обчислювального блоку - однопроцесорні системи і багатопроцесорні [36, 48, 50-52]. Однопроцесорними, наприклад, є в більшості пристрої РЗА фірми AREWA, SIEMENS, ВО "Київприлад [54, 56, 63, 68-71]. У випадку однопроцесорної системи (рис. 2.1) усі функції виміру, опрацювання, управління покладаються на один мікропроцесор, який, таким чином, повинний бути достатньо потужним. При використанні декількох процесорів (рис. 2.8) окремий процесор виділяється для зв'язку з вищим ієрархічним рівнем, декілька - для забезпечення процесу виміру й опрацювання аналогових сигналів. Центральний процесор призначений

для збору інформації з інших мікропроцесорів і виконання алгоритмів захисту й автоматики [64 - 66]. Застосування декількох процесорів для виміру аналогових сигналів дозволяє розвантажити центральний процесор і спростити програмне забезпечення. Цієї структури притримуються розробники фірми АВВ [55, 67]. Обмін інформацією між процесорами відбувається по загальній пам'яті, по внутрішньому протоколу обміну даними й ін. засобами. Істотною відмінністю багатопроцесорних систем від однопроцесорних є те, що в першому випадку можливо виконати резервування мікропроцесорів у випадку несправності якогось із них. Очевидно, що такий підхід дозволить підвищити надійність роботи пристрою РЗА. Проте при цьому значно зросте вартість самого пристрою. Очевидно, що однопроцесорна система значно дешевше багатопроцесорної і тому переважно використовується в електричних мережах 6 - 110 кВ, рідше 220 кВ, а багатопроцесорна - у мережах більш високих класів напруг.

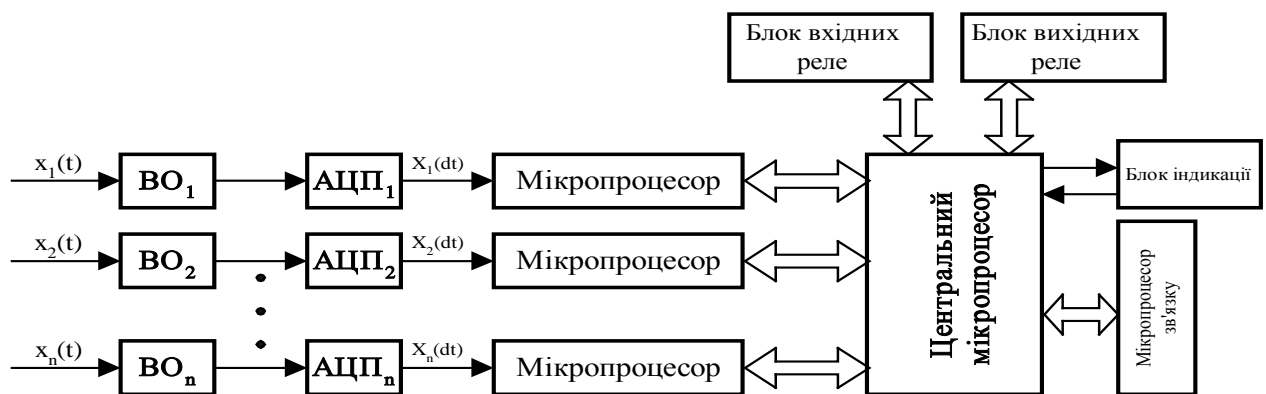


Рис. 2.8 Приклад структури багатопроцесорного ЦР

Обчислювальний блок одно- або багатопроцесорного пристрою РЗА складається з безпосередньо мікропроцесора, шин адреси-даних, пристроїв збереження інформації. У мікропроцесорі відбувається практично все опрацювання інформації за певним алгоритмом, реалізованим у вигляді

програми роботи. Швидкість роботи мікропроцесора істотно залежить від розрядності чисел, переданих по шинах від вузла до вузла. Це визначається розрядністю шини даних. Час виконання команди визначається тактовою частотою генератора, що задає, і залежить від швидкодії застосовуваних інтегральних мікросхем. Сьогодні електронною промисловістю пропонуються сотні різновидів МП, і вони безупинно удосконалюються. З цієї причини відбувається періодичне відновлення апаратної бази й у цифрових пристроях РЗА.

В даний час використовуються різноманітні типи пристроїв для збереження інформації [49]. У функціональному відношенні всі статичного пристрою для запам'ятовування підрозділяються на ПЗП, ОЗП і ППЗП. Для збереження робочої програми в пристроях захисту звичайно використовуються *постійні запам'ятовуючі пристрої - ПЗП* ROM (Read Only Memory- пам'ять, що тільки зчитується). Відмітною рисою ПЗП є однократний запис інформації. У наступному можливо тільки зчитування записаної інформації. Перевагою мікросхем ПЗП є їхня низька вартість і можливість збереження інформації при відключенні живлення. Останнім часом усе ширше починають застосовуватися так звані перепрограмувані пристрою пам'яті. Особливо вони актуальні для пристроїв захисту, робоча програма яких повинна змінюватися в процесі експлуатації. В даний час існують пристрою РЗА, у яких потрібні функції захисту вибираються з бібліотеки стандартних функцій самим користувачем. Логічна частина цих пристроїв РЗА створюється користувачем із базових логічних функцій типу І, АБО, ТРИГЕР і т.д. Робоча програма в таких пристроях захисту розташовується в *перепрограмуваному постійному запам'ятовуючому пристрої* (ППЗП або EEPROM - Electrical Erasable Programmable Read Only Memory - електрично перезаписувана постійна пам'ять). ППЗП є енергонезалежною

пам'яттю, тобто збережена в ній інформація не руйнується в знеструмленому стані. Для тимчасового збереження результатів проміжних обчислень використовуються *оперативні запам'ятовуючі пристрою* (ОЗП або інакше RAM - Random Access Memory- пам'ять із довільним доступом). Запис і зчитування даних у ОЗП здійснюється з максимальною швидкістю. Істотним недоліком ОЗП є знищення інформації при відключенні живлення. Для збереження вставок і інших параметрів, які доводиться змінювати в процесі експлуатації захисту, використовуються ППЗП, що допускають багатократну зміну вставок. Проміжним рішенням задачі стало збереження вставок у ОЗП, яке має резервне живлення від убудованого у виріб джерела. У таких пристроях застосовують спеціальні інтегральні мікросхеми, які мало споживають, і літєві батареї, які мають термін служби 5-6 років. Недолік очевидний - необхідний періодичний контроль і своєчасна заміна джерела живлення.

## 2.6. Блок живлення

Задачею блока живлення є забезпечення стабілізованою напругою усіх вузлів МП пристрою РЗА, незалежно від можливих змін напруги в мережі живлення. Звичайно використовується імпульсний БЖ від мережі постійного струму [49]. Для електричних підстанцій із перемінним оперативним струмом використовуються блоки живлення від ланцюгів перемінного струму і напруги. На рис. 2.9. подана схема імпульсного блока живлення з одноканальним високочастотним інвертором. *СУ* - схема управління. За допомогою електронного ключа, виконаного на транзисторі *VT1*, на первинну обмотку розв'язувального трансформатора *T* подаються імпульси напруги з частотою кілька десятків кілогерц. Трансформатор, що працює на високій частоті, виходить невеликих габаритів, із малим

числом витків в обмотках, але з відносно великою прохідною потужністю. Використання широтно-імпульсної модуляції при управлінні ключем  $VT1$  дозволяє підтримувати стабільним вихідну напругу інвертора при зміні напруги живлення у широких межах (наприклад, при зміні напруги від 64 до 300В). Для виключення ушкодження інвертора при недотриманні полярності подаваної напруги на його вході встановлюється діодний міст  $VC1$ . Ємності накопичувальних конденсаторів  $C1$  і  $C2$  звичайно вибирають із міркування необхідного згладжування пульсації у вихідній напрузі при живленні інвертора від випрямленого постійного струму. У деяких випадках ємності  $C1$  і  $C2$  збільшують до рівня, достатнього для виключення збоїв у мікропроцесорній частині при короткочасних зниженнях напруги живлення, яка виникає, наприклад, при коротких замиканнях на суміжних фідерах у мережі оперативного струму. Відзначимо, що в БЖ велика увага приділяється захисту від перенапруг у мережі живлення, і виключенню проникнення перешкод усередину пристрою.

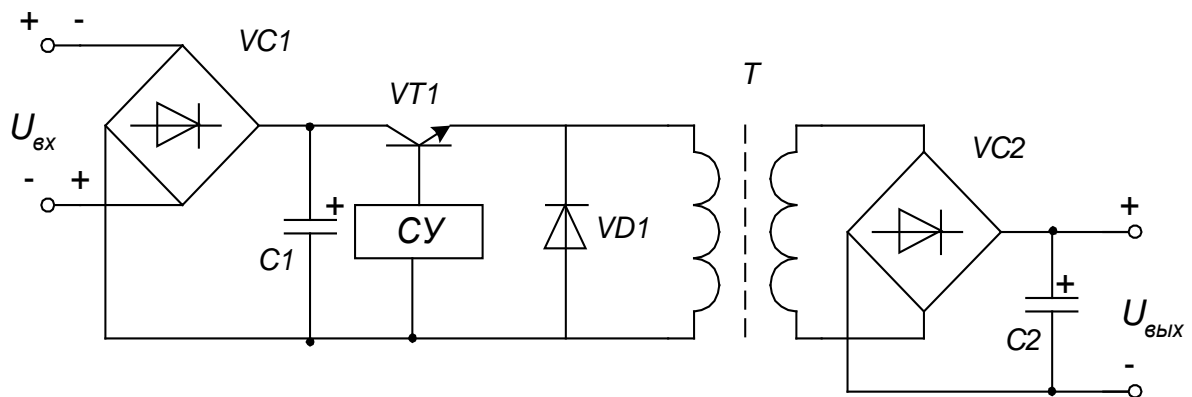


Рис. 2.9. Спрощена схема імпульсного блока живлення.

## Контрольні запитання

1. Які основні складові частини однопроцесорного пристрою РЗА?
2. Які модулі входять до складу лінійного перетворювача, їх функціональне призначення?
3. Які особливості схем вимірювальних органів, що використовують узгоджувальні трансформатори?
4. Які особливості схем лінійних перетворювачів, їх недоліки та переваги, область застосування кожної зі схем?
5. Чим викликані похибки вимірювання амплітуди та кута вхідного аналогового сигналу для лінійного перетворювача з послідовною обробкою сигналів?
6. Які функціональні особливості вхідних перетворювачів дискретних сигналів?
7. Які функціональні особливості вихідних релейних перетворювачів?
8. Які функціональні особливості блоку індикації, недоліки та переваги різних видів індикаторів?
9. Які недоліки та переваги одно- та багатопроцесорних пристроїв РЗА, область їх застосування?
10. Які функціональні особливості блоку живлення?



## **3. ВИКОРИСТАННЯ ЦИФРОВОГО РЕЛЕ В СИСТЕМАХ КЕРУВАННЯ Й МОНІТОРИНГУ**

### **3.1. Підходи для використання цифрового реле в якості кінцевого пристрою збору інформації**

Сучасні ЦР інтегрують у собі цілий комплекс функцій окрім релейного захисту й автоматики: функції виміру й обліку електроенергії, регулювання й керування електроустановкою. Все це дозволяє використати ЦР в АСУ ТП як кінцевий елемент збору інформації.

Існує два підходи використання ЦР у якості кінцевого пристрою збору. Перший, представлений на рис. 3.1, передбачає забір інформації з ЦР і керування ним аналогічно збору й керуванню звичайним електромеханічним або мікроелектронним пристроєм - із пристрою АСУ ТП верхнього рівня з використанням цифрових блоків входів/виходів від вихідних реле (збір) і на дискретні входи (керування) мікропроцесорного захисту.

Перший спосіб з використанням входів/виходів ЦР полягає в наступному: дискретні входи ЦР (+/-) підключаються кабельною системою до блоку виходів, який приймає по локальній мережі команди керування від комп'ютеру АСУ ТП і формує сигнал керування (постійною або змінною оперативною напругою) на дискретний вхід ЦР. З вихідних реле ЦР команди керування й сигналізації по кабельній системі потрапляють напряму або через реле-повторювачі на блок входів, звідки по локальній мережі в комп'ютер АСУ ТП.

Другий спосіб з застосуванням послідовного порту ЦР використовує зовсім інший підхід (рис. 3.2). Комп'ютер АСУ ТП або напряму (при співпадінні інтерфейсів зв'язку комп'ютеру й ЦР), або через перетворювач

інтерфейсів кабелем (вита пара, оптоволокну, FTP) підключається до ЦР. Весь обмін інформацією здійснюється по локальній мережі за протоколом обміну (сукупність правил, що встановлюють формат і процедури обміну інформацією між двома або декількома пристроями).

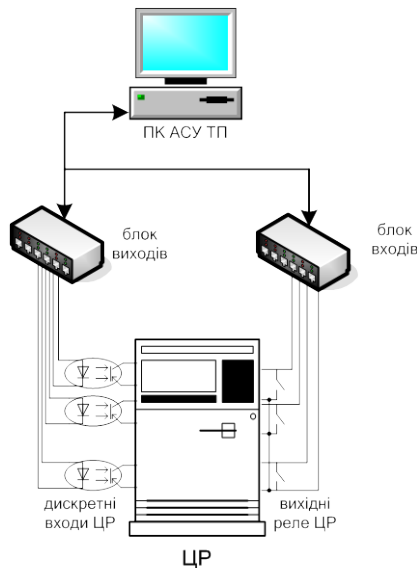


Рис. 3.1 Використання входів/виходів ЦР для АСУ ТП

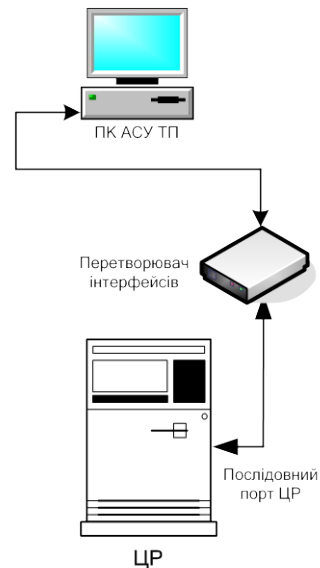


Рис. 3.2 Використання послідовного порту ЦР для АСУ ТП

Перший спосіб зазвичай використовують для інтеграції в АСУ ТП пристроїв РЗА, що не мають порту зв'язку. Недоліки при підключенні мікропроцесорного захисту:

- Низька інформативність, що не відповідає можливостям мікропроцесорного захисту. ЦР здатне фіксувати інформацію нормального режиму роботи електричної мережі (струми, напруги, частота, потужності, енергія), аварійного режиму (струми, напруги відключення, вид КЗ, захисти, у яких відбувся пуск, захисти, що видали команду відключення, осцилограму аварійного процесу), результати самодіагностики самого ЦР (пристрій працездатний/непрацездатний, вид

несправності), робочі повідомлення ЦР (робоча група уставок, зміна уставки й ін.), діагностику вимикача (число включень/відключень, квадрати струмів відключення й ін.). Наприклад, для ЦР мереж 6-35 кВ число аварійних сигналів досягає 100, а команд керування - 40, для ЦР мереж 110-750 кВ число аварійних сигналів найчастіше більше 1000, а команд керування - більше 100. Крім того, ЦР дозволяє дистанційно переглядати й змінювати уставки. Зрозуміло, що при підключенні в АСУ ТП за першим способом, із усього перерахованого вище й у край необхідного для персоналу обсягу інформації, можливо інтегрувати тільки невелику частину команд керування й аварійних сигналів.

- Необхідність використання відносно дорогих блоків входів/виходів, реле-повторювачів і насиченої провідної кабельної системи. Як наслідок - висока вартість.

Перевага одна. Такий підхід може застосовуватися при використанні ЦР із невідомим протоколом обміну.

За другим способом, з використанням послідовного порту, перераховані вище недоліки відсутні. Персонал має можливість не тільки дистанційно без виїзду на підстанцію одержати із ЦР всю представлену інформацію, дистанційно переглянути й змінити потрібні уставки, але й зберегти отримані дані в базі даних для подальшого аналізу.

Для інтеграції ЦР в АСУ ТП за другим способом необхідно розв'язати наступні завдання, причому розв'язати їх необхідно з урахуванням факторів надійності, швидкодії та врахувати клас напруги електричної мережі:

- погодити інтерфейси обміну (ЦР і комп'ютеру АСУ ТП);
- організувати структуровану кабельну мережу;

- інтегрувати протокол обміну ЦР у програмне забезпечення АСУ ТП.

Перші два завдання мають відношення до апаратної складової інтеграції, третє - до програмної.

### 3.2. Інтерфейси обміну цифрових реле

Інтерфейс обміну - сукупність апаратних, програмних і конструктивних засобів, що забезпечують взаємодію цифрових пристроїв [49]. Інтерфейси підрозділяються на інтерфейси з послідовною й паралельною передачею інформації.

#### 3.2.1. Паралельний інтерфейс

Характеризується тим, що в ньому для передачі біт у слові використовуються окремі сигнальні лінії й біти передаються одночасно. Інтерфейс використовує логічний рівень ТТЛ, що обмежує довжину кабелю через невисоку перешкодозахищеність, гальванічна розв'язка відсутня.

Передача даних може бути як однонапрямленою (Centronics) так і двонапрямленою (Ditronics). Принцип дії наступний (рис. 3.3). При видачі сигналу синхронізації СС передавач виставляє на шину даних всі  $n$  біт даних, приймач їх зчитує.

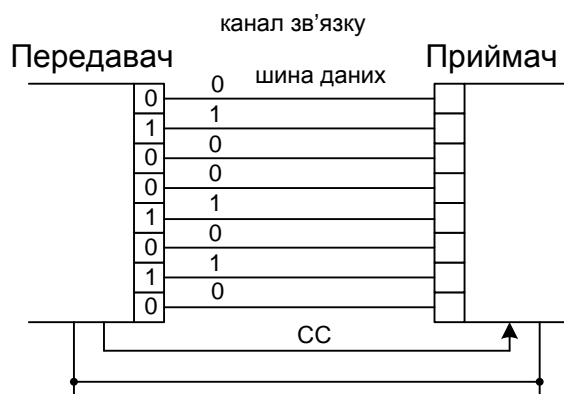


Рис. 3.3 Організація паралельного інтерфейсу обміну для 8-бітної шини даних.

Недоліки:

- для передачі  $n$ -розрядного слова даних потрібна наявність  $n+1$  проводів каналу зв'язку, що приводить до істотного збільшення вартості;
- невелика дальність зв'язку із-за невисокої перешкодозахищеності;
- відсутність гальванічної розв'язки.

Перевага:

- висока швидкість обміну інформацією.

Область застосування. Паралельні інтерфейси призначені, в основному, для підключення принтерів. У системах зв'язку із ЦР застосовуються дуже рідко.

### **3.2.2. Послідовний інтерфейс**

Для передачі даних використовується одна сигнальна лінія, по якій один за одним послідовно передаються інформаційні біти. За рахунок застосування не ТТЛ сигналів з'являється можливість скоротити кількість сигнальних ліній і збільшити дальність зв'язку. Іноді використовується гальванічна розв'язка зовнішніх сигналів від схемної землі. Це дозволяє з'єднувати пристрої, які знаходяться під різними потенціалами. Найбільше поширення одержали інтерфейси RS-232C, RS-422A, RS-423A, RS-485, струмова петля, MIDI.

При використанні послідовного інтерфейсу можливі два способи передачі даних - асинхронний і синхронний. У пристроях РЗА в основному використовується асинхронний режим.

Асинхронна передача потребує використання найменшої фізичної кількості ліній зв'язку в каналі (рис. 3.4). Кожному байту передують старт-біт

СТБ, поява якого сигналізує приймачу про початок посилки. Завершує посилку стоп-біт СБ (кількість стоп-біт 1, 1.5, 2), який забезпечує паузу між послідовними байтами. Старт-біт наступного байту може подаватися в будь-який момент після стоп-біту, тобто пауза між байтами може бути довільною. За сигналом старт-біту (логічний 0) здійснюється синхронізація приймача, при цьому основною умовою є рівність швидкостей (частот) обміну приймача й передавача. Найпоширеніший 8-бітовий набір даних у байті, але можливо й менша кількість біт (наприклад, 7 біт у пристроях виробництва АВВ, що працюють за протоколом обміну SPA). Наступним за послідовною послідовністю біт може бути біт парності (контрольний біт БП), який застосовується для перевірки правильності отриманих даних, наприклад:

- на непарність odd (число «1» включає біт парності – непарно);
- на парність even (число «1» включає біт парності - парно).

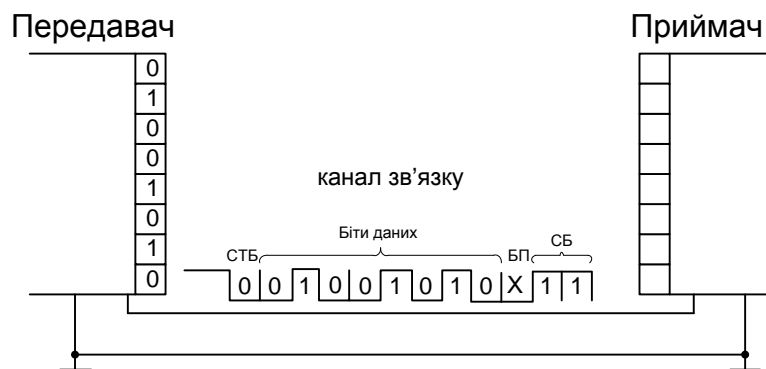


Рис. 3.4 Організація послідовного інтерфейсу обміну.

Для асинхронного режиму прийнятий ряд стандартних швидкостей обміну - 50, 75, 110, 150, 300, 600, 1200, 2400, 4800, 9600, 19200, 38400, 57600, 115200 (біт/с).

Передача цифрової інформації між віддаленими пристроями РЗА, як правило, здійснюється послідовним способом передачі даних. Фізичною

основою такої системи є лінія зв'язку у вигляді витої пари провідників, коаксіального кабелю, або оптичного світловоду. Залежно від довжини лінії дані можуть багаторазово піддаватися ретрансляції з метою відновлення амплітуди і часових характеристик.

З точки зору фізичних способів передачі інформації інтерфейси послідовного зв'язку можна розділити на потенціальні й струмові.

### **3.2.2.1. Послідовний інтерфейс RS-232C**

Потенціальний. Розроблено в 1969 р. Незважаючи на появу нових рішень і технологій, послідовний інтерфейс RS-232 з усіма своїми недоліками виявився одним з найбільш вдалих і дотепер є невід'ємною частиною більшості PC-сумісних комп'ютерів у вигляді COM-порту. Що стосується ЦР, у більшості випадків передній сервісний порт пристрою також має інтерфейс RS-232C.

Основні характеристики інтерфейсу:

- максимальна довжина кабелю зв'язку - 15 м;
- режим роботи - дуплекс, «точка-точка» (один комп'ютер з RS-232C підтримує обмін інформацією тільки з одним пристроєм P3A);
- логічний «0» від +3В до +12В  
логічна «1» від -3В до -12В;
- швидкість обміну даними - до 115200 біт/с;
- гальванічна розв'язка - відсутня;
- лінія зв'язку - провідна, 3 проводи в екрані.

Більшість сучасних ЦР використовують інтерфейс RS-232C, розміщений на передній панелі (службовий порт). Порт використовується для підключення комп'ютеру з налагоджувальною програмою. Як порт зв'язку з верхнім рівнем АСУ ТП практично не застосовується.

Недоліки інтерфейсу RS-232C:

- невелика максимально можлива довжина лінії зв'язку, що перешкоджає використанню в АСУ ТП;
- режим роботи - «точка-точка». Для переходу на інший пристрій РЗА необхідно спочатку зняти живлення з комп'ютеру й підключити вручну кабель до наступного пристрою;
- відносно невелика швидкість обміну;
- відсутність гальванічної розв'язки.

Переваги:

- так як інтерфейс комп'ютеру й ЦР той самий, то непотрібно застосовувати додаткове устаткування (конвертори інтерфейсів);
- простота й дешевизна лінії зв'язку.

### **3.2.2.2. Послідовний інтерфейс RS-485**

Потенціальний. Основні характеристики інтерфейсу наступні:

- максимальна довжина кабелю зв'язку - 1200 м з можливістю збільшення шляхом використання ретрансляторів;
- режим роботи - дуплекс, напівдуплекс «загальна шина» (один комп'ютер з RS-232C через конвертор RS-232/ RS-485 може підтримувати обмін інформацією з 32 пристроями РЗА, з'єднаними паралельно по лінії зв'язку);
- логічний «0» - 0В  
логічна «1» від +4В до +5В;
- швидкість обміну даними - до 10 Мбіт/с;
- гальванічна розв'язка - присутня;
- лінія зв'язку - провідна, 3 проводи в екрані (режим напівдуплекс).



Значна частина сучасних ЦР використовує інтерфейс RS-485, розміщений на задній панелі (системний порт). Порт використовується як для підключення комп'ютеру з налагоджувальною програмою, так і як порт зв'язку з верхнім рівнем АСУ ТП.

Недоліки інтерфейсу RS-485:

- так як інтерфейси комп'ютеру й пристрою РЗА різні, то потрібне додаткове устаткування (конвертори інтерфейсів).

Переваги:

- значна максимально можлива довжина лінії зв'язку;
- висока швидкість обміну;
- присутність гальванічної розв'язки;
- режим роботи - «загальна шина». Можливість підключення на один порт комп'ютеру (через конвертор) до 32-х пристроїв РЗА;
- простота й дешевизна лінії зв'язку.

Область застосування. Інтерфейс використовується як для підключення комп'ютеру з налагоджувальною програмою (рідше), так і як порт зв'язку з верхнім рівнем АСУ ТП. Причому, кабельна система зв'язку з АСУ ТП відносно дешева й проста в монтажі.

### **3.2.2.3. Послідовний інтерфейс RS-422.**

Потенціальний. Основні характеристики інтерфейсу наступні:

- максимальна довжина кабелю зв'язку - 1200 м з можливістю збільшення шляхом використання ретрансляторів;
- режим роботи - дуплекс «загальна шина» (один комп'ютер з RS-232C через конвертор RS-232/RS-422 може підтримувати обмін інформацією з 32 пристроями РЗА, з'єднаними паралельно по лінії зв'язку);

- логічний «0» - 0В  
логічна «1» +7В;
- швидкість обміну даними - до 1 Мбіт/с;
- гальванічна розв'язка - присутня;
- лінія зв'язку - провідна, 4 проводи в екрані.

У сучасних ЦР інтерфейс RS-422 використовується досить часто, але при схожих характеристиках з RS-485 швидкість обміну інформацією нижча й потрібен додатковий провід в лінії зв'язку.

#### **3.2.2.4. Послідовний інтерфейс «струмова петля».**

Струмовий. Використовується одна пара проводів для подачі живлення й для передачі сигналів (рис. 3.5). Необхідну напругу на парі проводів задає керуючий контролер, контролер також вимірює струм у проводах. Використовується середовище передачі даних, що складається з відрізків кабелю, які з'єднують всі станції мережі в кільце. Кільце розглядається як загальний ресурс, і для доступу до нього використовується не випадковий алгоритм, а детермінований, який базується на передачі станціями права на використання кільця в певному порядку. Право на використання кільця передається за допомогою кадру спеціального формату, який називається маркером, або токеном (token). Метод з передачею маркера - це метод доступу до середовища, у якому від пристрою до пристрою передається маркер, який надає дозвіл на передачу повідомлення. При одержанні маркера пристрій може передавати повідомлення, приєднуючи його до маркера, який і переносить це повідомлення по мережі. Кожний пристрій між передавачем і приймачем бачить це повідомлення, але тільки пристрій-адресат приймає його. При цьому він створює новий маркер. Маркер, або повноваження, - унікальна

комбінація бітів, яка дозволяє почати передачу даних. Кожний вузол приймає пакет від попереднього, відновлює рівні сигналів до номінального рівня й передає далі. Переданий пакет може містити дані або бути маркером. Коли пристрою необхідно передати пакет, його адаптер очікує надходження маркера, а потім перетворює його в пакет, який містить дані, відформатовані за протоколом відповідного рівня, і передає результат далі по мережі. Пакет поширюється по мережі від адаптера до адаптера, поки не знайде свій адресат, який встановить у ньому певні біти для підтвердження того, що дані досягли адресата, і ретранслює його знову в мережу. Після чого пакет повертається у вузол з якого був відправлений. Тут після перевірки безпомилкової передачі пакету, вузол звільняє мережу, випускаючи новий маркер. Таким чином, у мережі з передачею маркера неможливі колізії (конфлікти).

Даний метод характеризується наступними перевагами:

- гарантує певний час доставки блоків даних у мережі;
- дає можливість надання різних пріоритетів передачі даних.

Разом з тим він має істотні недоліки:

- у мережі можлива втрата маркера, а також поява декількох маркерів, при цьому мережа припиняє роботу;
- включення нового пристрою й відключення пов'язані зі зміною адрес всієї системи.

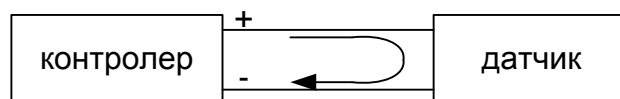


Рис. 3.5 Схема використання струмової петлі

Для пристроїв, з'єднаних у струмову петлю, характерно:

- всі пристрої, підключені до мережі можуть передавати дані тільки одержавши дозвіл на передачу (маркер);

- у будь-який момент часу тільки одна станція в мережі має таке право;
- кадр, переданий однією станцією, одночасно аналізується всіма іншими станціями мережі.

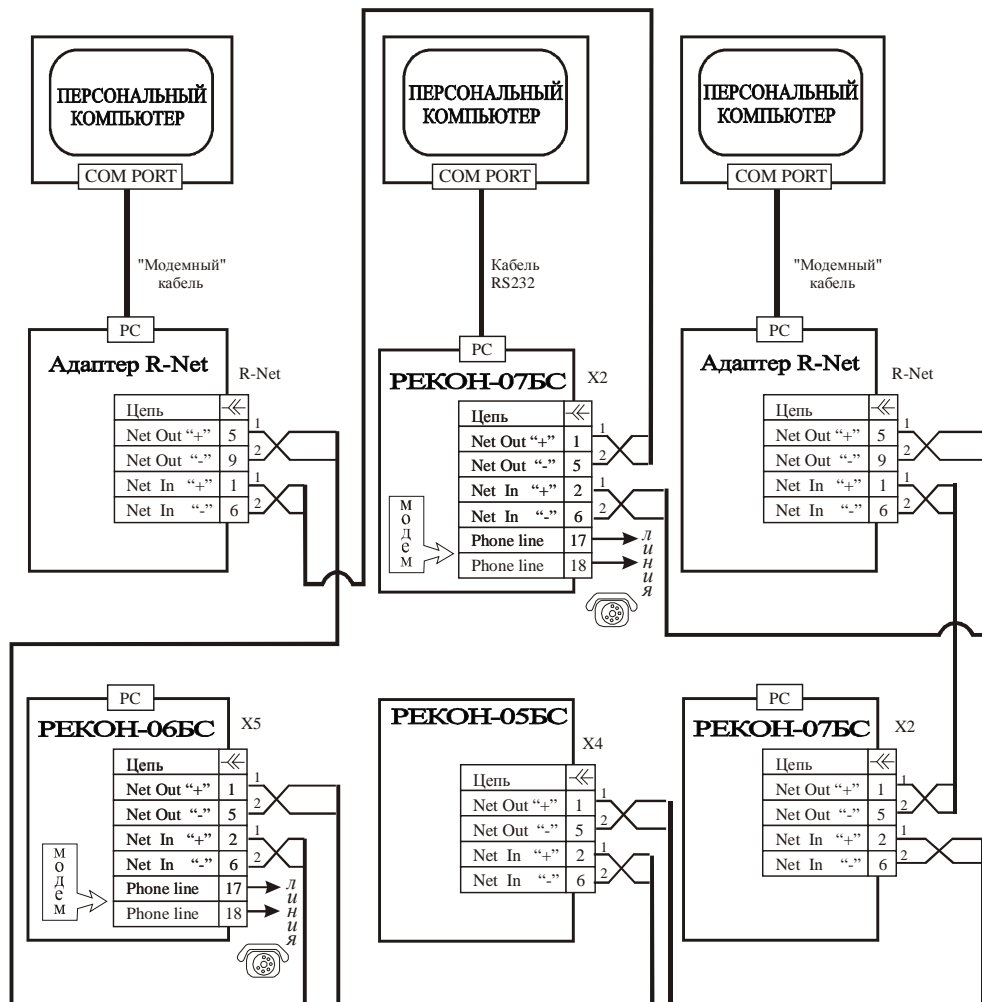


Рис. 3.6 Приклад використання «струмової петлі» цифровими реєстраторами «РЕКОН»

Основні характеристики інтерфейсу наступні:

- максимальна довжина кабелю зв'язку - 1200 м;
- режим роботи - послідовне з'єднання пристроїв по струмовій петлі;

- логічний «0» - від 0мА до 3мА  
логічна «1» - від 15мА до 25мА;
- швидкість обміну даними - до 10 Мбіт/с;
- гальванічна розв'язка - присутня;
- лінія зв'язку - провідна, 2 проводи в екрані.

Інтерфейс «струмова петля» використовується досить часто. Вітчизняні цифрові реєстратори «РЕКОН» [72] використовують саме цей інтерфейс (рис. 3.6).

Недоліки й переваги практично ті ж, що й в RS-485.

Для всіх електричних провідних (мідних) кабелів зв'язку передача імпульсів супроводжується затримкою й спотворенням форми переданого імпульсу (рис. 3.7).

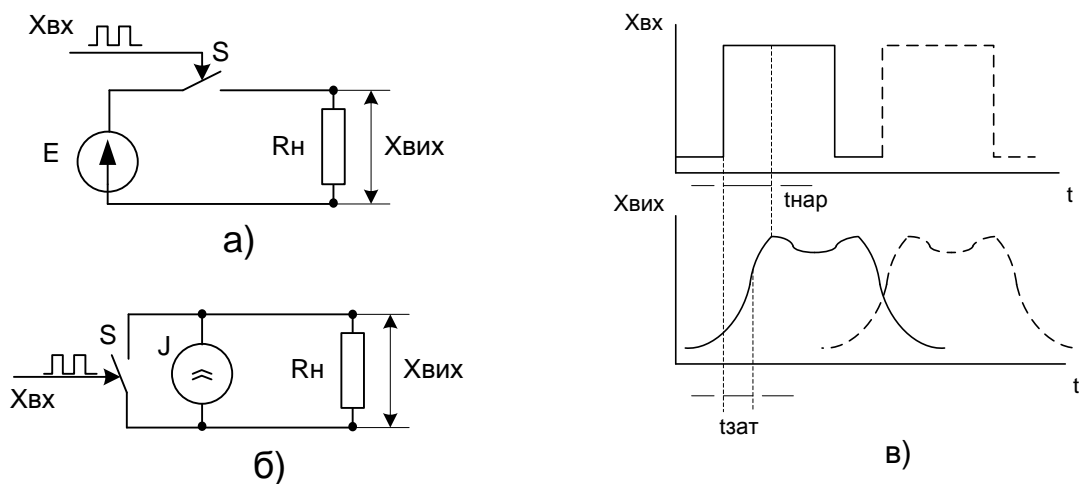


Рис. 3.7 Спотворення сигналу при передачі по реальному каналі

- Потенціальний інтерфейс
- Струмовий інтерфейс
- Спотворення форми сигналу

$t_{нар}$  - час наростання сигналу  
 $t_{зат}$  - час затримки сигналу

### 3.2.2.5. Послідовний інтерфейс. Оптичне волокно.

Для такого кабелю спотворення сигналу, наведене на рис. 3.7, нехарактерне.

*Оптичне волокно* складається із центральної скляної нитки товщиною в кілька мікрон, покритою суцільною скляною оболонкою. Все це, у свою чергу, заховано в зовнішню захисну оболонку. Оптичне волокно (рис. 3.8) складається із серцевини, по якій поширюються світлові хвилі, і оболонки, призначеної, з одного боку, для створення кращих умов відбиття на кордоні розділу «серцевина - оболонка», а з іншого боку - для зниження випромінювання енергії в навколишній простір.



Рис 3.8 Загальний вигляд типового оптичного кабелю.

З метою підвищення міцності і, відповідно, надійності волокна, поверх оболонки, як правило, накладаються захисні зміцнюючі покриття. Така конструкція ОВ використовується в більшості оптичних кабелів у якості базової. Серцевина виготовляється з оптично більш щільного матеріалу. Оптичні волокна відрізняються діаметром серцевини й оболонки, а також профілем показника переломлення серцевини, тобто залежністю показника переломлення від відстані по осі ОВ.

Оптичне волокно було винайдено в 70-х роках минулого сторіччя й спочатку застосовувалося для передачі даних з високою швидкістю на далекі відстані. Існує кілька типів ОВ. Найдешевшим є волокно, виготовлене з оптично прозорої пластмаси. Мінімальні втрати в пластмасовому волокні спостерігаються в області видимого (червоного) випромінювання. Максимальна дальність зв'язку по такому волокно -

кілька десятків метрів. Більш якісне волокно виготовляється з легованого кварцового скла, що складається із двоокису кремнію ( $\text{SiO}_2$ ) з аморфною твердою структурою. Максимальна дальність зв'язку по такому волокну - 120 км.

Загальний принцип передачі інформації у волоконно-оптичних системах зв'язку наведений на рис. 3.9. Зі сторони передавача на випромінювач світла, в якості якого у волоконно-оптичній системі зв'язку використовується світлодіод або напівпровідниковий лазер, надходить електричний сигнал, призначений для передачі по лінії зв'язку. Цей сигнал модулює оптичне випромінювання джерела світла, у результаті чого електричний сигнал перетворюється в оптичний, причому інформація кодується шляхом зміни інтенсивності світла. Зазвичай використовується випромінювання з довжиною хвилі 800 нм (інфрачервона область невидимого спектру). На прийомній стороні сигнал з оптичного волокна вводиться у фотодетектор. У сучасних волоконно-оптичних системах передачі у якості фотодетектору використовують р-і-п або лавинний фотодіод з часом спрацьовування кілька наносекунд і чутливістю 1000 фотонів/с.

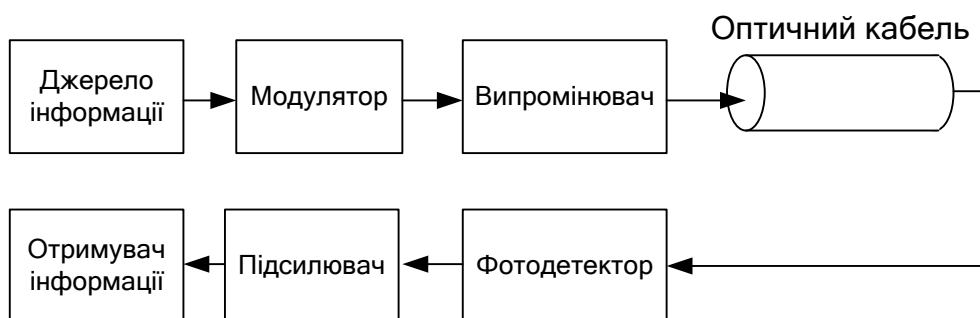


Рис. 3.9 Принцип передачі інформації у волоконно-оптичних системах зв'язку

Фотодетектор перетворює падаюче на нього оптичне випромінювання у вихідний електричний сигнал. Потім електричний

сигнал надходить на підсилювач (регенератор) і відправляється одержувачеві повідомлення.

Рух світла уздовж криволінійного світловода відбувається при багаторазовому внутрішньому відбитті променя на кордоні світловод-оболонка (рис. 3.10).

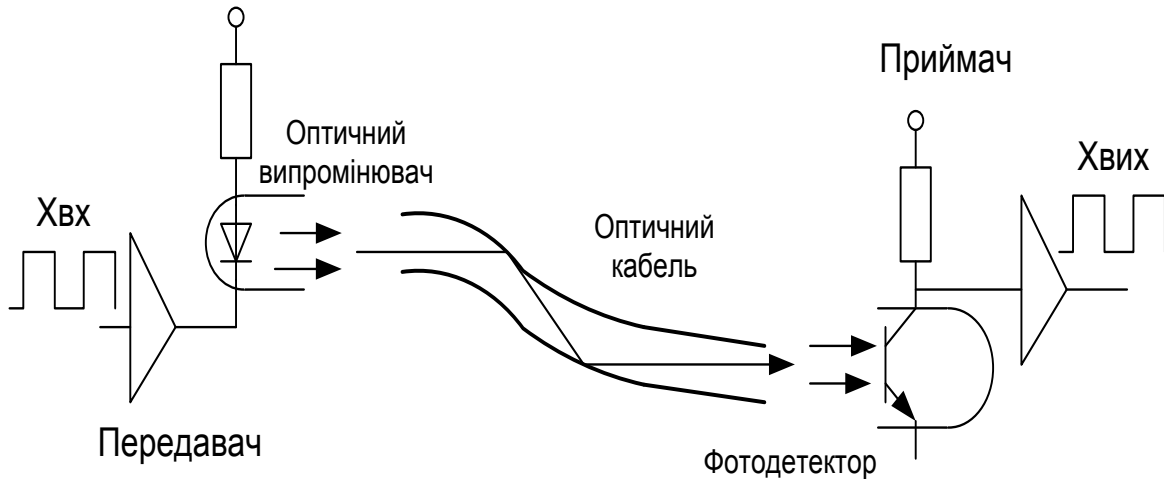


Рис. 3.10 Схема передачі інформації у волоконно-оптичних системах зв'язку

Структурну схему й принцип роботи оптичного передавача наведено на рис. 3.11.

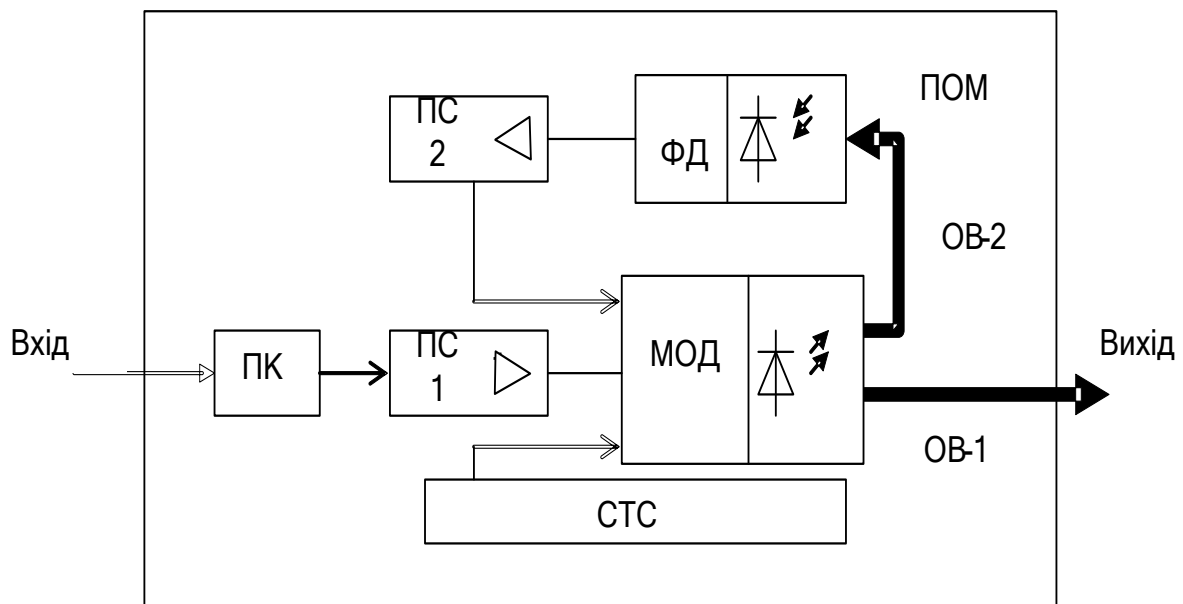


Рис. 3.11 Структурна схема оптичного передавача



Перетворювач коду (ПК) перетворює стиковий код, у код, який використовується у лінії, після чого сигнал надходить на модулятор. Схема оптичного модулятора виконується у вигляді передавального оптичного модуля (ПОМ), який крім модулятора містить схеми стабілізації потужності й частоти випромінювання напівпровідникового лазера або світловипромінюючого діоду. Далі модульований сигнал через диференціальний підсилювач ПС-1 надходить у прямий модулятор з випромінювачем (МОД). Модульований оптичний сигнал випромінюється в основне волокно ОВ-1. Для контролю потужності випромінюваного оптичного сигналу використовується фотодіод (ФД), на який через допоміжне волокно ОВ-2 подається частина випромінюваного оптичного сигналу. Напряга на виході фотодіоду, яка відображає всі зміни оптичної потужності випромінювача, підсилюється підсилювачем ПС-2 і подається на інвертуючий вхід підсилювача ПС-1. Таким чином, створюється петля негативного зворотного зв'язку (НЗЗ), яка охоплює випромінювач. Завдяки введенню НЗЗ забезпечується стабілізація робочої точки випромінювача. При підвищенні температури енергетична характеристика лазерного діоду (рис. 3.12) зміщується, і при відключених ланцюгах стабілізації потужності рівень оптичної потужності при передачі «0» (P0) і при передачі «1» (P1) зменшується, різниця струму зсуву  $I_b$  і граничного струму  $I_p$  збільшується, а різниця P1-P0 зменшується. Після завершення витримки часу затухання перехідних процесів у ланцюгах стабілізації встановлюються нові значення  $I_b$  й  $I_p$  і відновлюються колишні значення P1-P0 і Pср. Для зменшення температурної залежності граничного струму в передавальному оптичному модулі використовується схема термостабілізації (СТС), яка підтримує потужність випромінювання передавального оптичного модуля постійною при зміні температури.

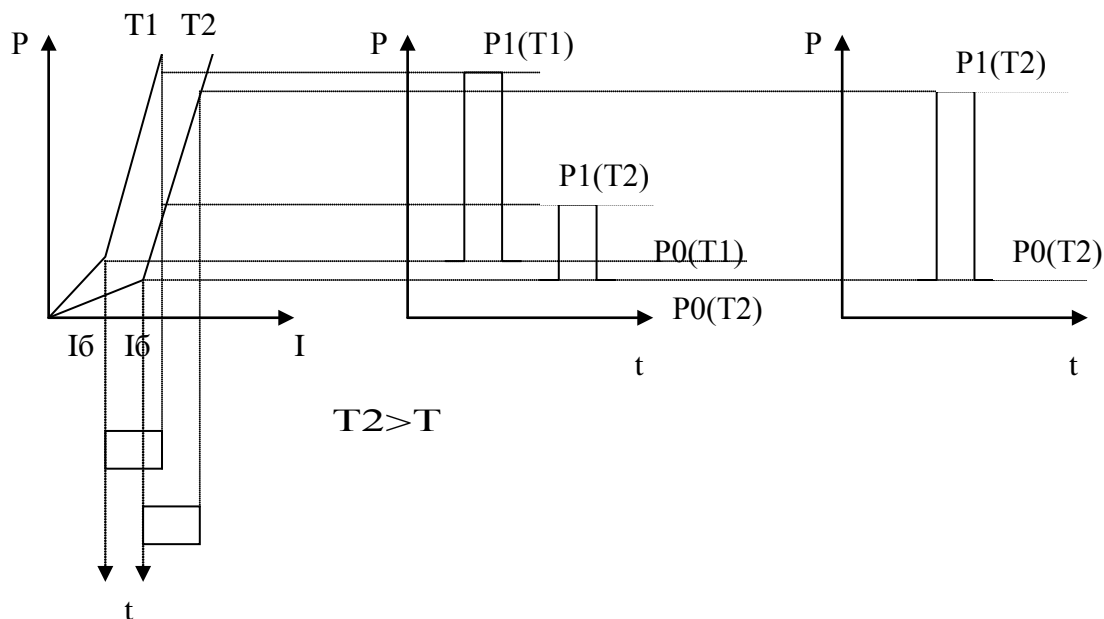


Рис. 3.12 Принцип роботи ланцюгів стабілізації оптичного передавача

Структурна схема й принцип роботи оптичного приймача наведена на рис. 3.13.

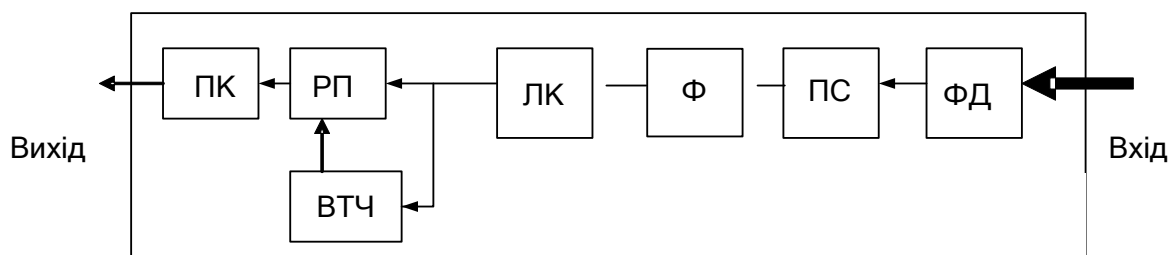


Рис. 3.13 Структурна схема оптичного приймача

Приймач містить фотодетектор (ФД) для перетворення оптичного сигналу в електричний. Малошумний підсилювач (ПС) призначено для підсилення отриманого електричного сигналу до номінального рівня. Підсилений сигнал через фільтр (Ф), який формує частотну характеристику приймача для забезпечення квазиоптимального прийому, надходить у пристрій лінійної корекції (ЛК). У ЛК компенсуються частотні спотворення електричного ланцюга на стику фотодіода й першого транзистора підсилювача. Після перетворень сигнал надходить на

вхід вирішального пристрою (РП), де під дією тактових імпульсів, які надходять від пристрою виділення тактової частоти (ВТЧ), приймається рішення про прийнятий символ. На виході оптичного приймача є перетворювач коду (ПК), що перетворює код лінійний у стиковий код.

Всі оптичні волокна діляться на дві основні групи: багатомодові MMF (multi mode fiber) і одномодові SMF (single mode fiber). В багатомодових ОВ, що мають діаметр світлонесучої жили на порядок більше довжини хвилі передачі, поширюється безліч різних типів світлових променів - мод. Багатомодові волокна розділяються за профілем показника переломлення на східчасті (step index multi mode fiber) і градієнтні (graded index multi mode fiber). Одномодові кабелі мають менший діаметр, більшу вартість і дозволяють передачу інформації на більші відстані. Оскільки світлові імпульси можуть рухатися в одному напрямку, системи на базі оптоволоконних кабелів повинні мати вхідний кабель і вихідний кабель для кожного сегменту.

Переваги послідовного оптоволоконного інтерфейсу:

- забезпечується висока швидкість передачі даних (до 10 Гбіт/с) на великій відстані (до 120 км);
- несприйнятливий до інтерференції;
- оптичний кабель не має електропровідності і індуктивності, тобто кабелі не піддаються електромагнітним завадам;
- автоматично забезпечується гальванічна розв'язка передавача й приймача. В оптичній системі вони електрично повністю ізольовані один від одного, і зникає багато проблем, пов'язаних із заземленням і зняттям потенціалів, які характерні для з'єднання електричних кабелів;
- у порівнянні з коаксіальними кабелями, у яких швидкість і втрати істотно залежать від частоти, дисперсія (залежність фазової

швидкості хвилі від частоти) ОВ незначна, отже значно менше розширення імпульсів (рис. 3.7);

- безпека при експлуатації. Виключається винос електричного потенціалу з електроустановки; неможливе загоряння кабелю через КЗ;
- не використовується дефіцитна мідь, що в перспективі зробить ОК більш дешевим;
- високі експлуатаційні характеристики: малий радіус згину, невисокі масо-габаритні показники, некритичність до умов прокладки (можливо прокладати поруч із потужнострумівими кабелями).

Недоліки:

- необхідні оптичні конектори (з'єднувачі) з малими оптичними втратами і значним ресурсом на підключення-відключення. Точність виготовлення таких елементів лінії зв'язку повинна відповідати довжині хвилі випромінювання, тобто похибки повинні відповідати частці мікрона (перетин волокна 0,125 мм і менше). Тому виробництво таких компонентів оптичних ліній зв'язку дуже дороге й для монтажу потрібна висока кваліфікація персоналу;
- для монтажу оптичних волокон потрібно прецизійне, а тому дороге технологічне устаткування;
- як наслідок, при аварії (обриві) оптичного кабелю, витрати на відновлення вищі, ніж при роботі з мідними кабелями.

### **3.2.2.6. Використання стандарту Ethernet.**

У деяких ЦР у якості службового і/або системного порту використовується мережевий порт Ethernet (може бути провідним або оптоволоконним). Всі пристрої такої мережі мають безпосередній доступ до загальної шини, тому вона може бути використана для передачі даних

між будь-якими двома вузлами мережі. Простота схеми підключення - це один з факторів, які визначили успіх стандарту Ethernet. Кабель, до якого підключені всі пристрої в мережі, працює в режимі колективного доступу (multiply access – MA). Метод доступу CSMA/CD визначає основні часові й логічні співвідношення, які гарантують коректну роботу всіх пристроїв у мережі. Всі дані, передані по мережі, поміщаються в кадри певної структури й забезпечуються унікальною адресою станції призначення (IP-адреса). Потім кадр передається по кабелю. Всі пристрої, підключені до кабелю, можуть розпізнати факт передачі кадру, і той пристрій, який розпізнає власну адресу в заголовках кадру, записує його вміст у свій внутрішній буфер, обробляє отримані дані й посилає по кабелю кадр-відповідь. Адреса пристрою-джерела також включена у вихідний кадр, тому пристрій-одержувач знає, кому потрібно надіслати відповідь. На рис. 3.14 наведені основні формати кадрів.

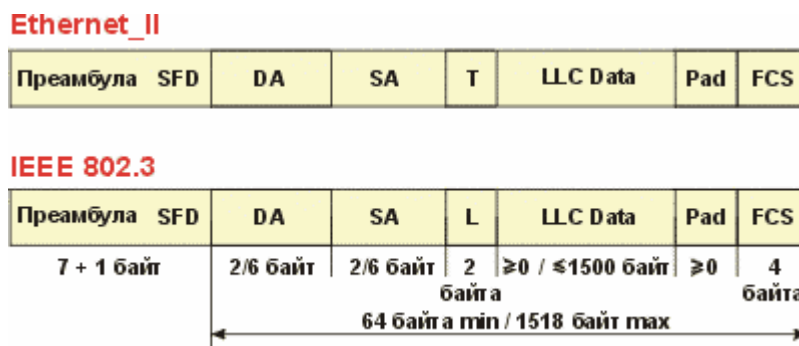


Рис.3.14 Два базових MAC формати (raw formats) кадру

Поля мають наступні призначення:

- Преамбула: 7 байт, кожний з яких являє собою чергування одиниць і нулів 10101010. Преамбула дозволяє встановити бітову синхронізацію на прийомній стороні.

- Обмежувач початку кадру (SFD, start frame delimiter): 1 байт, послідовність 10101011, вказує, що наступними будуть передані інформаційні поля кадру. Цей байт можна віднести до преамбули.

- Адреса призначення (DA, destination address): 6 байт, вказує MAC-адресу станції (MAC-адреси станцій), для якої (яким) призначено цей кадр. Це може бути єдина фізична адреса (unicast), групова адреса (multicast) або ширококомовна адреса (broadcast).

- Адреса відправника (SA, source address): 6 байт, вказує MAC-адресу станції, яка надсилає кадр.

- Поле типу або довжини кадру (T or L, type or length): 2 байти. Існують два базових формати кадру Ethernet (в англійській термінології raw formats - сирі формати) - Ethernet\_II й IEEE 802.3 (рис. 3.13), причому різне призначення в них має саме те поле, яке наразі розглядається. Для кадру Ethernet\_II у цьому полі міститься інформація про тип кадру. Нижче наведені значення в шістнадцятковій системі цього поля для деяких розповсюджених мережних протоколів: 0x0800 для IP, 0x0806 для ARP, 0x809B для AppleTalk, 0x0600 для XNS, і 0x8137 для IPX/SPX. При вказуванні у цьому полі конкретного значення (одного з перерахованих) кадр набуває реальний формат, і в такому форматі кадр уже може розповсюджуватись по мережі.

Для кадру IEEE 802.3 у цьому полі міститься виражений у байтах розмір наступного поля - поля даних (LLC Data). Якщо ця цифра приводить до загальної довжини кадру менше 64 байт, то за полем LLC Data додається поле Pad. Для протоколу більш високого рівня не виникає плутанини з визначенням типу кадру, тому що для кадру IEEE 802.3 значення цього поля не може бути більше 1500 (0x05DC). Тому в одній мережі можуть вільно співіснувати обидва формати кадрів, більше того,

один мережний адаптер може взаємодіяти з обома типами за допомогою стеку протоколів.

- Дані (LLC Data): поле даних, яке обробляється підрівнем LLC. Сам по собі кадр IEEE 802.3 ще не остаточний. Залежно від значень перших декількох байт цього поля, можуть мати місце три остаточних формати цього кадру IEEE 802.3:

- Ethernet\_802.3 (нестандартний, і в наш час застаріваючий формат, використовується Novell) - перші два байти LLC Data дорівнюють 0xFFFF;

- Ethernet\_SNAP (стандартний IEEE 802.2 SNAP формат, якому віддається найбільша перевага в сучасних мережах, особливо для протоколу TCP/IP) - перший байт LLC Data дорівнює 0xAA;

- Ethernet\_802.2 (стандартний IEEE 802.2 формат, узятий на озброєння Novell в NetWare 4.0) - перший байт LLC Data не дорівнює ні 0xFF (11111111), ні 0xAA (10101010).

- Додаткове поле (pad - наповнювач) - заповнюється тільки в тому випадку, коли поле даних невелике, з метою збільшення довжини кадру до мінімального розміру 64 байта - преамбула не враховується. Обмеження знизу на мінімальну довжину кадру необхідно для правильного вирішення колізій.

Контрольна послідовність кадру (FCS, frame check sequence): 4-х байтне поле, у якому вказується контрольна сума, обчислена з використанням циклічного надлишкового коду по полях кадру за винятком преамбули, SDF й FCS.

Нижче наведено опис протоколу множинного випадкового доступу до середовища з вирішенням колізій (одночасна передача даних декількома станціями) CSMA/CD. Оскільки колізія руйнує всі передані в момент її утворення кадри, то з моменту виявлення станціями колізії їм

немає рації продовжувати подальшу передачу своїх кадрів. У протилежному випадку була б значною втрата часу при передачі довгих кадрів. Тому для своєчасного виявлення колізії станція прослуховує середовище протягом всієї власної передачі. Приведемо основні правила алгоритму CSMA/CD для станції-передавача.

Алгоритм передачі та прийому кадру наведено на рис. 3.15, 3.16 відповідно.

1. Станція, яка збирається передавати, прослуховує середовище та за умови вільного середовища - передає. У протилежному випадку (тобто якщо середовище зайняте) переходить до кроку 2. При передачі декількох кадрів підряд станція витримує певну паузу між посилками кадрів - міжкадровий інтервал, причому після кожної такої паузи перед відправленням наступного кадру станція знову прослуховує середовище (повернення на початок кроку 1).

2. Якщо середовище зайняте, станція продовжує прослуховувати середовище доти, поки середовище не звільниться, і потім відразу ж починає передачу.

3. Кожна станція, що веде передачу, прослуховує середовище, і у випадку виявлення колізії, не припиняє відразу ж передачу, а спочатку передає короткий спеціальний сигнал колізії - jam-сигнал, інформуючи інші станції про колізії, і припиняє передачу.

4. Після передачі jam-сигналу станція замовкає й чекає деякий довільний час відповідно до правила бінарної експонентної затримки й потім повертається до кроку 1.

Міжкадровий інтервал IFG (interframe gap) становить 9,6 мкм (12 байт). З однієї сторони він необхідний для того, щоб приймаюча станція могла коректно завершити прийом кадру. З іншої, якби станція передавала



кадри безупинно, вона б повністю захопила канал і тим самим позбавила інші станції можливості передачі.

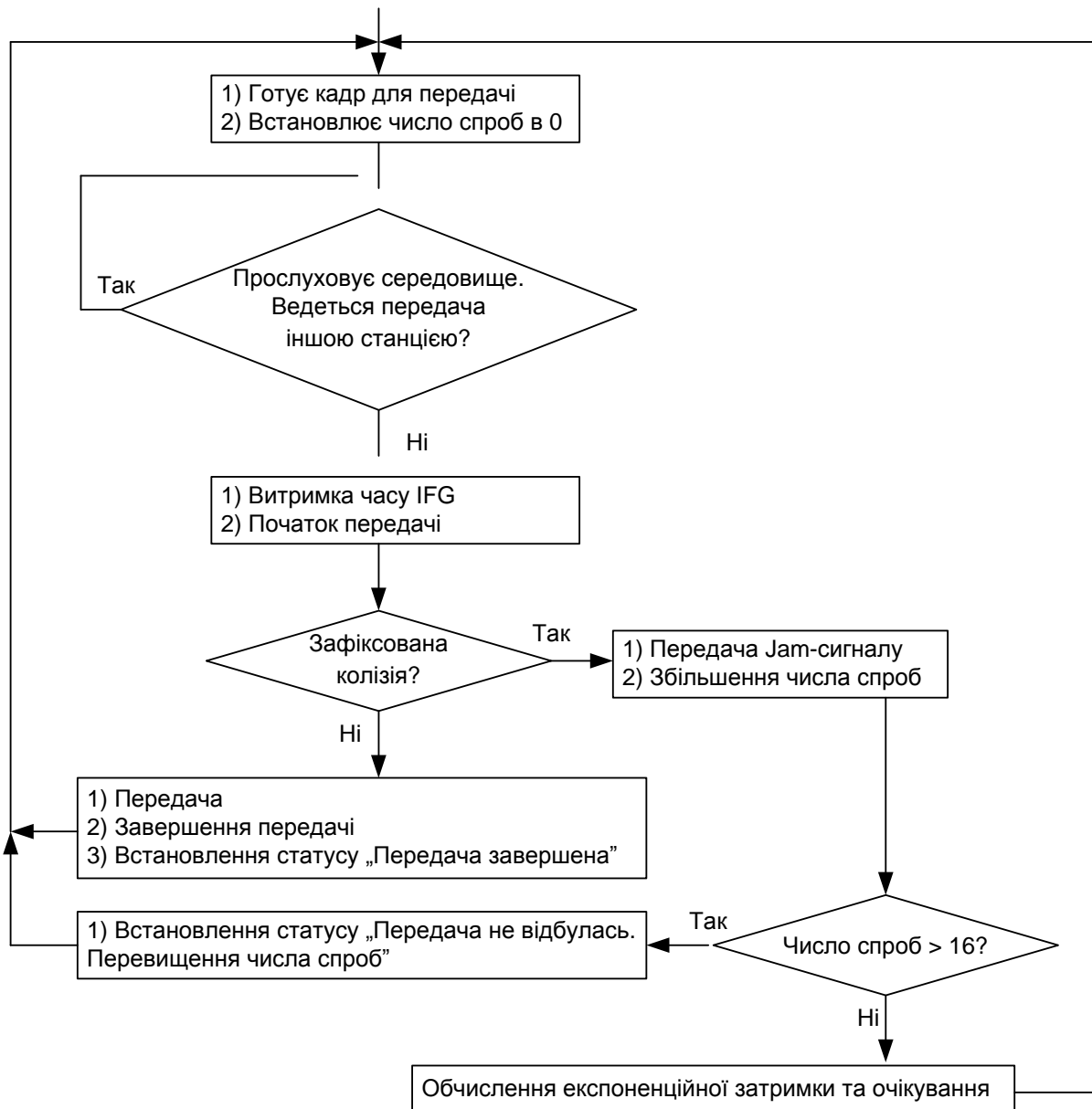


Рис.3.15 Структурна схема алгоритму CSMA/CD при передачі кадру станцією

Jam-сигнал (jamming - дослівно глушіння). Передача jam-сигналу гарантує, що ні один кадр не буде загублений, так як всі вузли, які передавали кадри до виникнення колізії, прийнявши jam-сигнал,

перервуть свої передачі й замовкнуть напередодні нової спроби передати кадри. Для того, щоб Jam-сигнал, з урахуванням додаткової затримки SF (safety margin) на можливих повторювачах, дійшов до самих віддалених станцій колізійного домену, він повинен бути достатньої довжини. Склад jam-сигналу не принциповий за винятком того, що він не повинен дорівнювати значенню поля CRC частково переданого кадру, і перші 62 біта повинні являти собою чергування '1' й '0' зі стартовим бітом '1'.

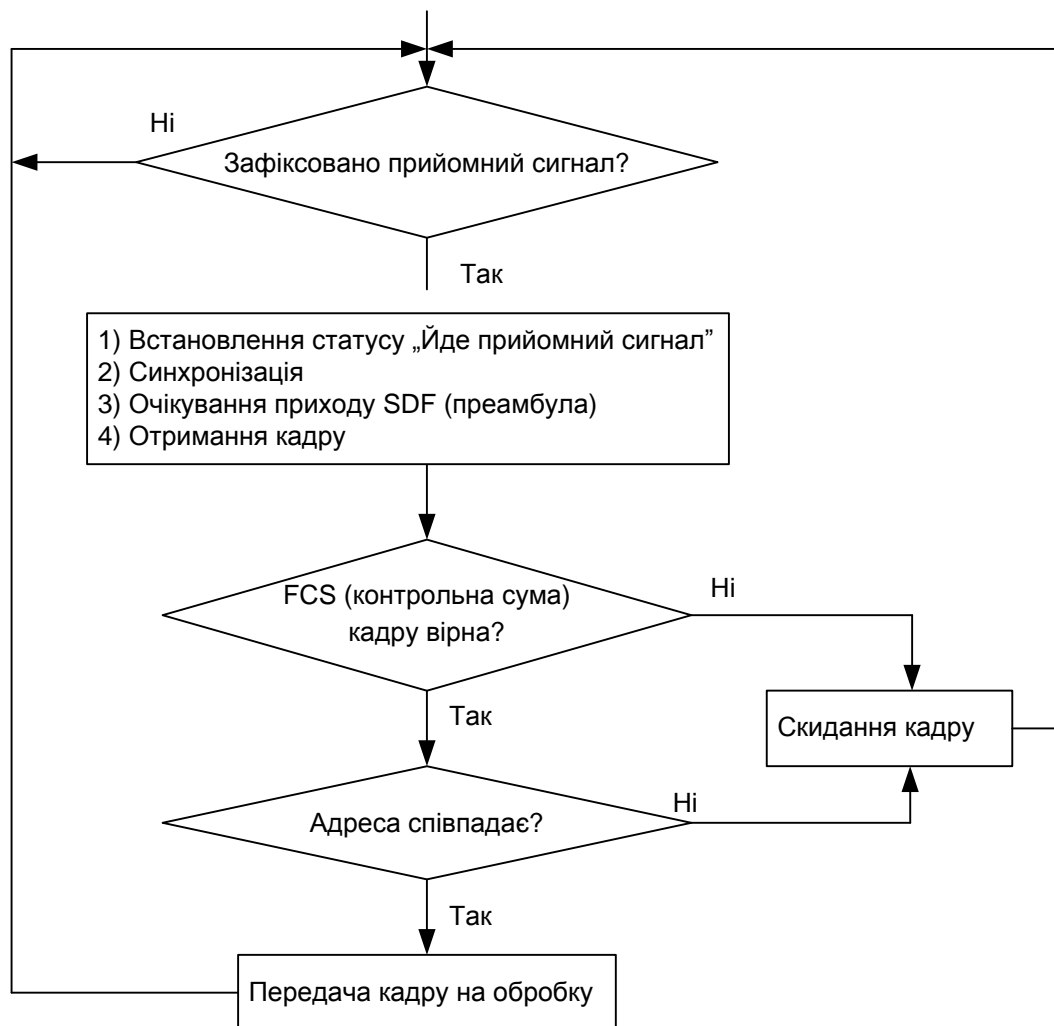


Рис.3.16 Структурна схема алгоритму CSMA/CD при прийомі кадру станцією

Переваги стандарту Ethernet:

1. Висока швидкість обміну (від 10 Мбіт/с до 10 Гбіт/с у протоколі обміну IEC 61850).

2. Множинний доступ при використанні мережних комутаторів.

Недоліки стандарту Ethernet:

1. Невелика довжина каналу зв'язку (до 100 м для більшості ЦР, які використовують виту пару).

Область застосування. Стандарт Ethernet використовується в найбільш сучасних ЦР (GE, ABB, Siemens [77-80]). Причому, як фізичний канал зв'язку, застосовується й вита пара, і оптоволокно. При використанні мережних комутаторів - спосіб з'єднання «зірка».

### **3.3 Організація структурованої кабельної мережі**

Наступним завданням, яке виникає після узгодження інтерфейсів обміну ЦР і пристроїв збору, що входять до складу АСУ ТП, є створення структурованої кабельної мережі.

Функції структурованої кабельної мережі:

- забезпечення безпосереднього фізичного з'єднання кінцевих пристроїв АСУ ТП, функції яких виконують, у тому числі й ЦР, із пристроями збору АСУ ТП (концентраторами, контролерами, комп'ютерами).

- забезпечення заздалегідь погоджених рівня завад і швидкості обміну інформацією між ЦР і пристроєм збору.

- забезпечення необхідної надійності кабельної мережі.

**Склад структурованої кабельної мережі.** У структуровану кабельну мережу входять:

- безпосередньо кабельна система, що може мати різні сегменти - оптоволоконні, виті пари й т.д.

- конвертори (перетворювачі інтерфейсів), мережні комутатори, маршрутизатори, асинхронні сервери й т.д.

### 3.3.1. Підключення ЦР із інтерфейсом RS-485

Найпоширенішим у ЦР є інтерфейс RS-485. З урахуванням того, що в комп'ютера інтерфейс, в основному, RS-232, то потрібне використання спеціальних пристроїв для узгодження інтерфейсів - конверторів. Також необхідно враховувати рівень завад, які тим більші, чим вище клас напруги підстанції. На рис. 3.17 наведено приклад організації послідовного кабельного провідного сегменту зв'язку для підстанції 3 - 110 кВ.

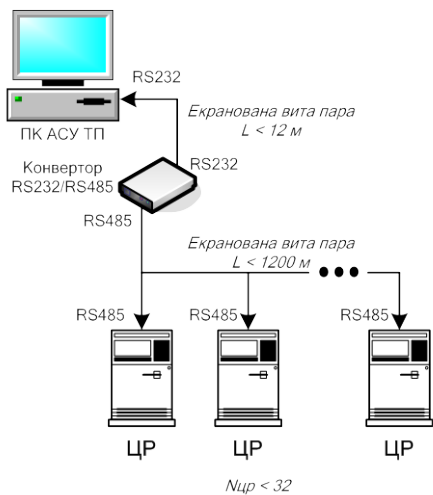


Рис. 3.17 Приклад організації послідовного кабельного провідного сегменту зв'язку для ПС 3-110 кВ.

Послідовний порт комп'ютеру RS-232 за допомогою екранованої виті пари довжиною до 12 м підключається до входу RS-232 конвертору інтерфейсів. Зазвичай конвертор розміщується у тій же шафі (панелі), що й комп'ютер. До виходу RS-485 конвертору за допомогою екранованої виті пари по топології «загальна шина» підключаються ЦР.

Вита пара від шафи в місці установки конвертора послідовно заходить у шафи релейного захисту, а послідовні порти RS-485 підключаються до «загальної шини» паралельно. Максимальна довжина сегменту RS-485 - 1200 м. Кількість ЦР у сегменті - до 32 пристроїв.

Програмне забезпечення будується в такий спосіб. Кожне ЦР у сегменті має свою унікальну адресу. Бажано, щоб всі ЦР у сегменті мали однаковий протокол обміну інформацією. Запит комп'ютером видається по «загальній шині», сприймається кожним ЦР у сегменті, але відповідає тільки одне ЦР - те, у якого адреса збігається з адресою в запиті. Опитування ЦР відбувається послідовно за алгоритмом, блок-схема якого наведена на рис. 4.18. Спочатку формуються запити для першого ЦР, яке у випадку своєї справності видає на верхній рівень наступну інформацію: наявність/відсутність фактів пуску або спрацьовування захистів, положення комутаційного устаткування, параметри технологічного процесу (вимірювані в ЦР струми, напруги, обчислені потужності, енергія, частота). У випадку відсутності пусків або спрацьовування захистів здійснюється перехід на опитування наступного пристрою. Цикл обміну з одним ЦР займає 0,2 - 2 с (залежно від типу ЦР, швидкості обміну, кількості параметрів технологічного процесу). У випадку наявності пусків або спрацьовування захистів відбувається зчитування параметрів КЗ (вид КЗ, тривалість, струми й напруги аварійного режиму, захисти, у яких відбувся пуск, захист, який видав сигнал на відключення) і осцилограми аварійного процесу, потім здійснюється перехід на опитування наступного пристрою. Залежно від типу ЦР і швидкості обміну процес зчитування аварійних параметрів займає 30 - 600 с. Т.ч. при наявності в одному сегменті кабельної мережі 20-25 ЦР (як для звичайного розподільного пункту 10 кВ) цикл опитування всього сегменту становить 15 - 40 с у нормальному режимі і хвилини або десятки хвилин в аварійному режимі.

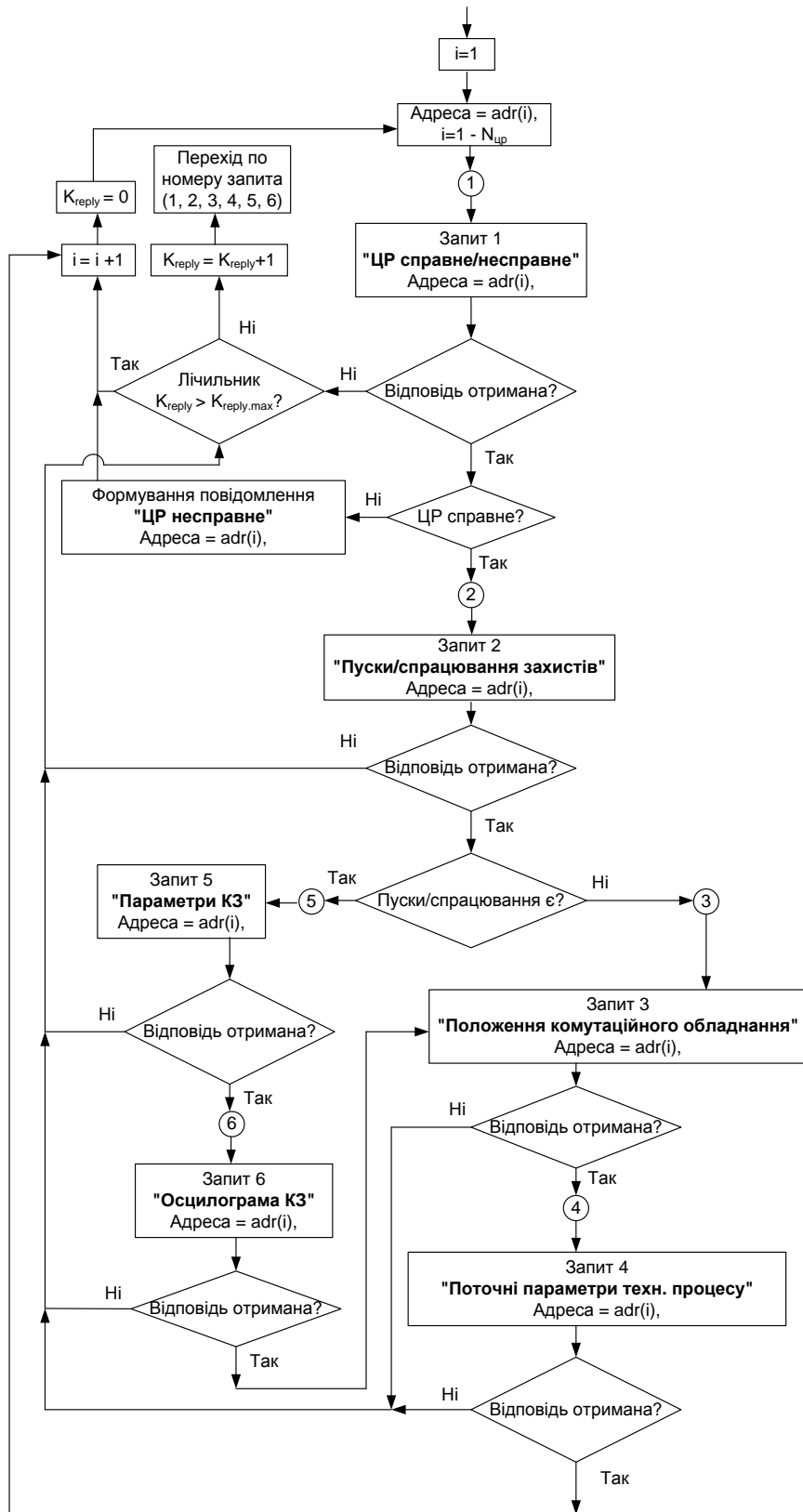


Рис. 3.18 Блок-схема алгоритму послідовного опитування ЦР

Не виключена ситуація, коли опитування спрацьованого ЦР відбудеться по завершенню часу практично повного циклу опитування сегменту (20 - 30 с). А у випадку одночасного спрацьовування декількох пристроїв інформація від одного з них буде доступна через десятки хвилин. Отримана із ЦР інформація фільтрується, відповідним чином архівується й передається на верхній рівень (наприклад, у диспетчерський центр).

Переваги кабельної мережі з послідовним опитуванням:

- більш просте програмне забезпечення для організації послідовного опитування;
- більш низькі вимоги до апаратного забезпечення комп'ютеру;
- невисока вартість (недорога вита пара, яка проста й зручна в монтажі, усього один конвертор на сегмент, спрощений комп'ютер).

Недоліки кабельної мережі з послідовним опитуванням:

- невисока швидкодія, отже - невисока оперативність;
- невисока надійність. При виході з ладу головної ділянки кабельної мережі або конвертору інформація від ЦР усього сегменту стає недоступною.

Область застосування:

- системи моніторингу й керування на ПС 3 - 110 кВ;
- окремі сегменти систем моніторингу й керування на ПС 220 - 750 кВ для пристроїв з невеликим обсягом інформації.

На рис. 3.19 наведений приклад організації паралельного кабельного провідно-оптичного сегменту зв'язку для підстанції 220 - 750 кВ, тобто того об'єкту, де вище рівень електромагнітних завад.

Мережний вихід комп'ютера за допомогою екранованої витої пари (FTP) довжиною до 100 м підключається до мережного входу асинхронного серверу, який призначено для розмноження послідовних

портів RS-232. До виходів RS-232 асинхронного серверу екранованими витими парами підключаються входи RS-232 конверторів інтерфейсів. Зазвичай асинхронний сервер і конвертори розташовуються в тій же шафі (панелі), що й комп'ютер. До оптоволоконних (FO) виходів конверторів за допомогою оптоволоконних кабелів по топології «зірка» підключаються конвертори, які встановлюються в шафах ЦР, а до конверторів екранованою витотою парою вже підключаються ЦР.

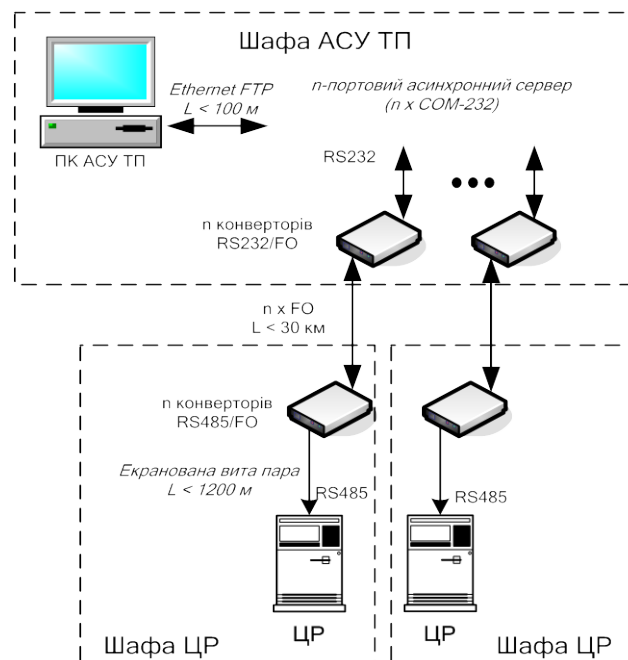


Рис. 3.19 Приклад організації кабельного провідно-оптичного сегменту зв'язку для ПС 220-750 кВ.

Програмне забезпечення будується в такий спосіб. Кожне ЦР у сегменті має свою адресу (може збігатися з іншими адресами в сегменті). ЦР у сегменті можуть мати різні протоколи обміну інформацією (як це буває на ПС 220 кВ і вище). Опитування одного ЦР відбувається аналогічно опитуванню в послідовній системі, але з тією відмінністю, що кожне ЦР опитується паралельно, одночасно й незалежно від іншого ЦР. Т.ч. у випадку одночасного спрацьовування декількох пристроїв інформація від кожного з них буде доступна по мірі її формування в ЦР.



Переваги кабельної мережі з паралельним опитуванням:

- висока швидкодія, отже - висока оперативність;

- більша надійність. При виході з ладу однієї ділянки кабельної системи або конвертора недоступною стає інформація тільки від одного ЦР;

- більш високий рівень захисту від електромагнітних завад.

Недоліки кабельної мережі з паралельним опитуванням:

- більш складне програмне забезпечення для організації паралельного опитування;

- більш високі вимоги до апаратного забезпечення комп'ютеру;

- висока вартість (оптоволоконні кабелі набагато дорожчі витої пари та незручні в монтажі, їх загальна довжина при такій же кількості пристроїв значно більша, ніж у системі з послідовним опитуванням, на кожний пристрій необхідно два конвертори, необхідний досить дорогий асинхронний сервер, більш складний і дорогий комп'ютер).

Область застосування: системи моніторингу й керування на ПС 220 - 750 кВ.

Часто для ЦР із інтерфейсом RS-485, встановлених на ПС 220 - 750 кВ і досить віддалених від розподільних пристроїв високої напруги (менше рівень електромагнітних завад) використовують паралельний принцип організації системи збору й керування, але без використання оптоволокна. Приклад організації такої системи наведений на рис. 3.20.

На відміну від попереднього прикладу використовується асинхронний сервер з послідовними портами RS-485, до яких за допомогою екранованої витої пари по топології «зірка» підключаються ЦР. Конвертори в цьому випадку не використовуються.

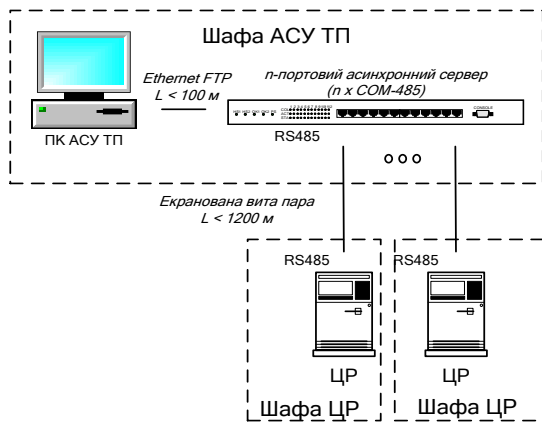


Рис. 3.20 Приклад організації паралельного кабельного провідного сегмента зв'язку для ПС 220-750 кВ.

Особливості даного підходу наступні - при збереженні переваг паралельного опитування апаратна частина системи стає набагато дешевшою через відсутність конвекторів і оптоволоконних кабелів.

### 3.3.2. Підключення ЦП із інтерфейсом RS-232

ЦП без оптоволоконного інтерфейсу або інтерфейсу RS-485, але при наявності RS-232 зустрічаються досить рідко, однак такі пристрої є й використовуються на об'єктах різних класів напруг до 750 кВ включно. У комп'ютера інтерфейс, в основному, RS-232, і, здавалось би, пристрій з комп'ютером можливо напряму з'єднати екранованою витною парою. Однак довжина такого кабелю не може бути більшою 12 м, що в підстанційних умовах практично недосяжно. Тому використовується передача сигналу по оптоволоконних кабелях (паралельне опитування, рис. 3.21 (I)), витною парою з інтерфейсом RS-485 (паралельне опитування, рис. 3.21 (II)) або послідовне опитування, рис. 3.31 (III)) з перетворенням в RS-232 за допомогою конвектору безпосередньо в шафі ЦП.

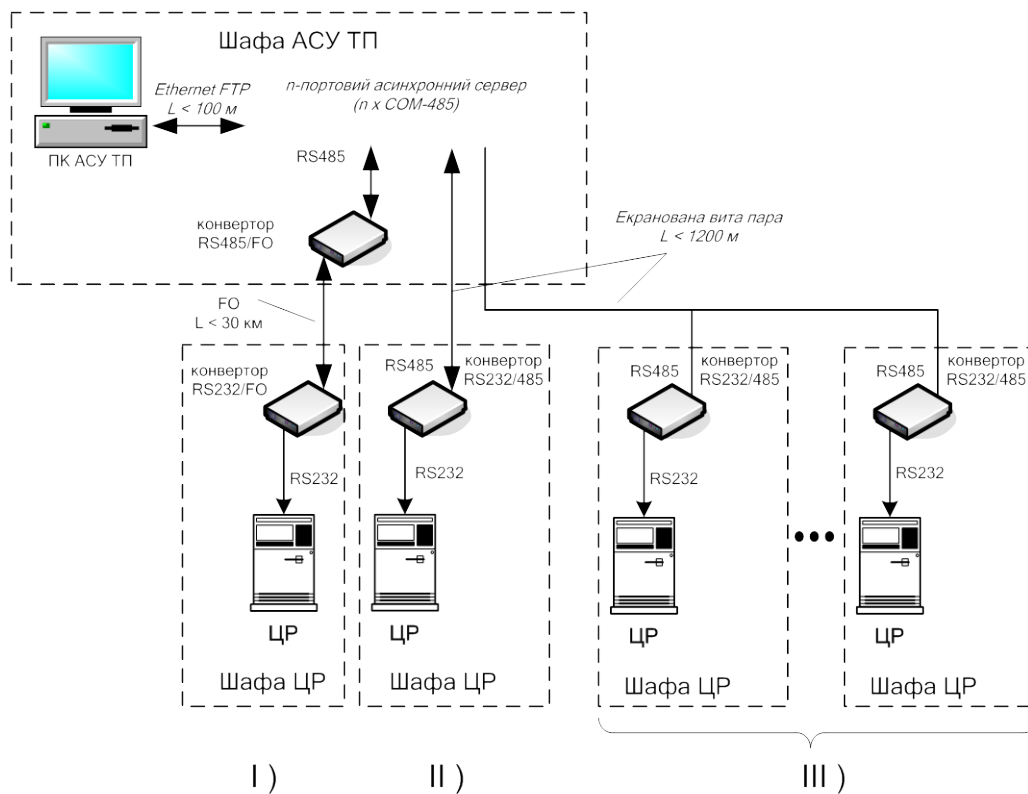


Рис. 3.21 Приклад організації кабельної мережі для підключення пристроїв з інтерфейсом RS-232.

### 3.3.3. Підключення ЦР із оптоволоконним послідовним інтерфейсом

ЦР із оптоволоконним послідовним інтерфейсом зустрічаються досить часто, причому на об'єктах 220 кВ і вище - таких пристроїв більшість. Безпосереднє з'єднання з комп'ютером (інтерфейс, в основному, RS-232) неможливе. Також для більшості оптоволоконних пристроїв неможливе з'єднання кабельною системою для послідовного опитування (більша частина ЦР має один оптипорт, принцип зв'язку «точка-точка», ЦР із двома оптипортами для ретрансляції сигналу застосовуються рідко, причому створюються додаткові часові затримки на ретрансляцію). Тому використовується конвертація сигналу з RS-485 (RS-232) в оптоволоконний інтерфейс із передачею сигналу по оптоволокону

(паралельне опитування, рис. 3.22 (I) - більш дорогий варіант), або по інтерфейсу RS-485 з використанням екранованої витої пари з перетворенням в оптоволоконний інтерфейс за допомогою конвертора RS-485/FO безпосередньо в шафі ЦР (паралельне опитування, рис. 3.22 (II) - менш дорогий варіант).

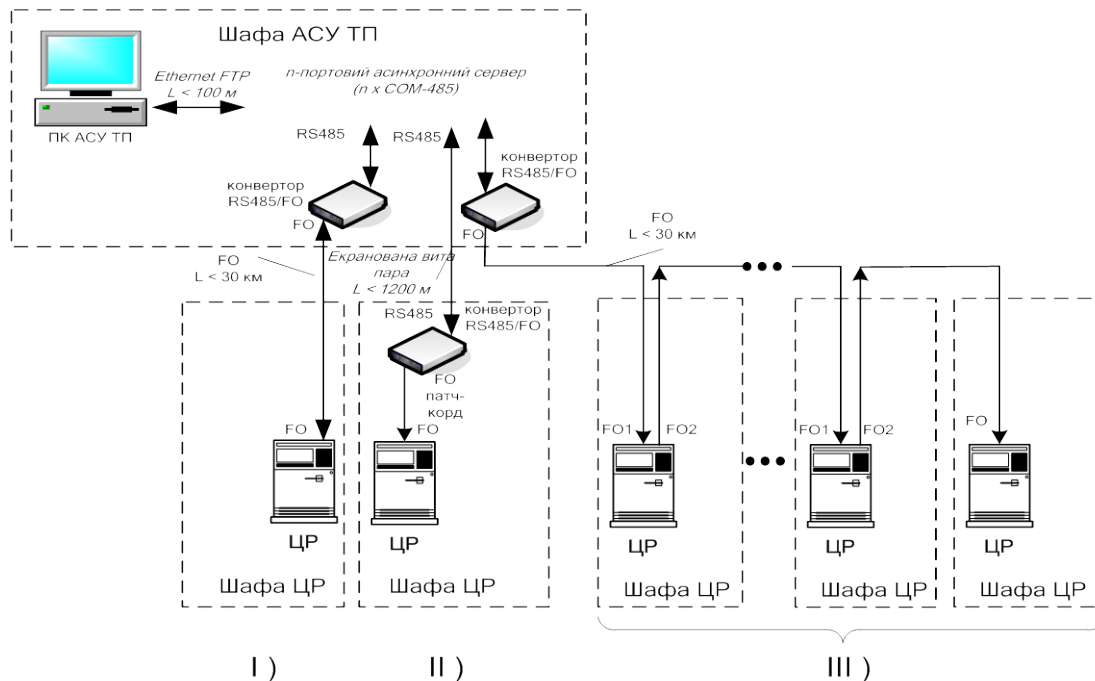


Рис. 3.22 Приклад організації кабельної провідно-оптичної мережі для підключення пристроїв з оптоволоконним інтерфейсом.

Дуже рідко для об'єктів 3 - 110 кВ при наявності в ЦР двох оптопортів використовується послідовне опитування, рис. 4.22 (III).

### 3.3.4. Підключення ЦР, які використовують стандарт Ethernet

Сучасні ЦР часто використовують для передачі інформації на верхні рівні стандарт Ethernet. Причому, частіше використовується провідний канал зв'язку (кабель FTP, дальність зв'язку до 100 м), рідше оптоволоконний (дальність зв'язку до 30 км). Як з тим, так і з іншим інтерфейсом використовується мережний комутатор, який підключається до мережної плати комп'ютеру. Так як більшість таких ЦР мають свої

WEB-інтерфейси, що дозволяють не тільки дистанційно змінювати уставки ЦР, але й управляти комутаційними апаратами, то з метою безпеки роботи підстанційного устаткування мережна плата комп'ютера повинна бути окремою. До мережного комутатора ЦР, які використовують провідний Ethernet-порт, підключаються або напряму екранованим кабелем FTP з конекторами RJ-45 (рис. 3.23 (I) - менш дорогий варіант) при відстані до 100 м, або при більшій відстані з використанням двох Ethernet-конверторів інтерфейсів RJ-45/FO (один встановлюється поруч із мережним комутатором, другий у шафі ЦР) й оптоволоконним каналом зв'язку (рис. 3.23 (II)). ЦР, які використовують оптоволоконний Ethernet-порт, до мережного комутатора підключаються з використанням одного Ethernet-конвертора інтерфейсів RJ-45/FO. Можливі два варіанти. Перший, більше дешевий, - якщо рівень перешкод досить невеликий, то до мережного комутатора підключається кабель FTP, який прокладається до шафи ЦР, де встановлюється конвертор, й оптоволоконним патч-кордом здійснюється підключення до оптопорту ЦР (рис. 3.23 (III)). Другий, більш дорогий, - якщо рівень перешкод досить високий, то до мережного комутатора коротким провідним патч-кордом підключається конвертор, від оптопорту якого прокладається оптоволоконний кабель до шафи ЦР, де здійснюється безпосереднє підключення до ЦР (рис. 3.23 (IV)).

Топологія кабельної системи – «зірка», принцип організації опитування – паралельний.

На даний момент розроблено ЦР, які використовують для передачі інформації на верхні рівні й для обміну між собою високошвидкісний протокол обміну IEC-61850, що відповідає стандарту Ethernet. Причому, як канал зв'язку рекомендується використовувати оптоволокно. Топологія мережі - або «зірка», або «кільце». При використанні «кільця» необхідно застосовувати спеціальні високошвидкісні оптоволоконні комутатори. Для

ЦР із одним оптовходом застосовується «кільце» (рис. 3.24), із двома незалежними оптовходами - «подвійне кільце» (рис. 3.25). Перевага «кільця» над «зіркою» наступне - при виході з ладу будь-якого сегменту або пристрою кабельної мережі, включаючи керуючий комп'ютер, шлях для проходження сигналу залишається й обмін інформацією з будь-яким ЦР триває. Виключення - вихід з ладу комутатору або патч-корду до окремого ЦР. У цьому випадку зникає зв'язок саме з цим пристроєм. Повністю позбавлена даного недоліку кабельна мережа «подвійне кільце», причому такій системі не страшні й подвійні ушкодження.

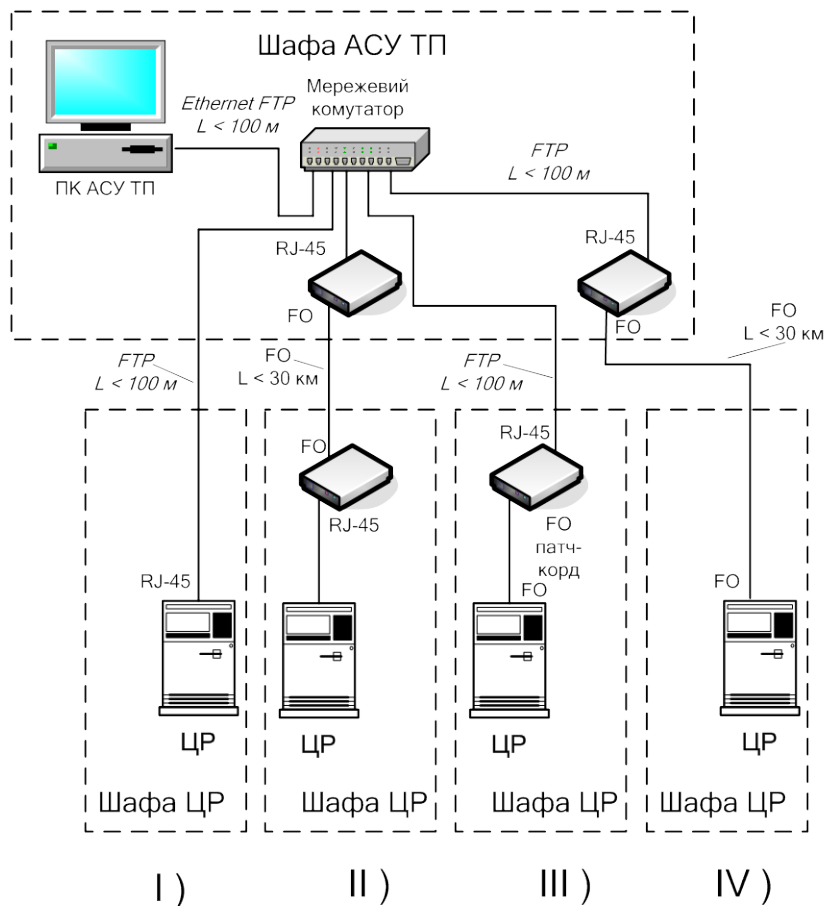


Рис. 3.23 Приклад організації кабельної провідно-оптичної мережі для підключення пристроїв за стандартом Ethernet.

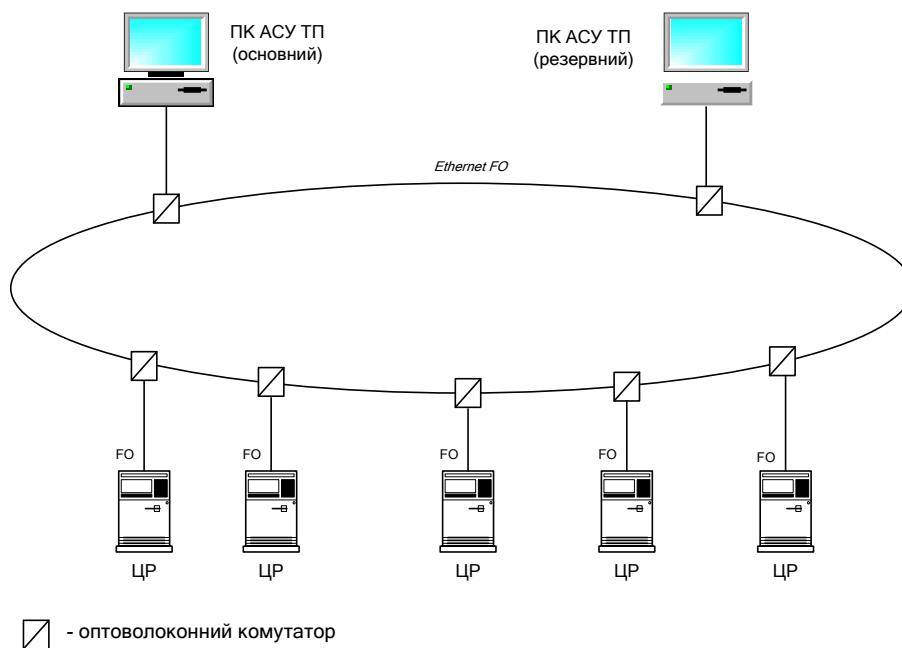


Рис. 3.24 Приклад організації кабельної оптичної мережі для підключення пристроїв за стандартом Ethernet по топології «кільце».

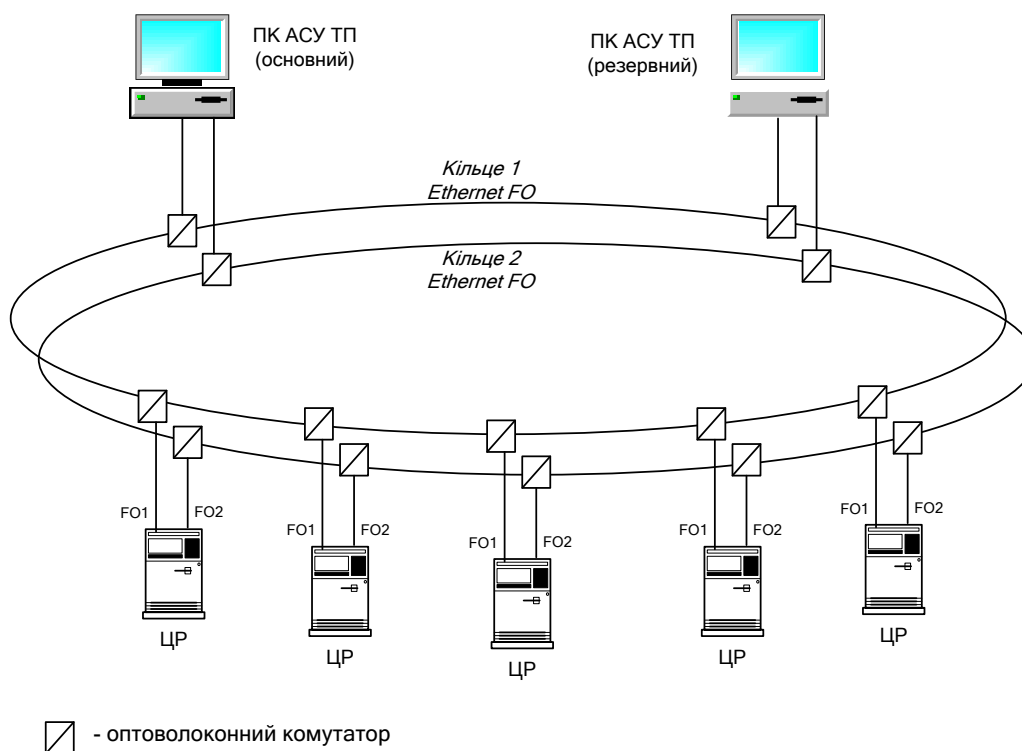


Рис. 3.25 Приклад організації кабельної оптичної мережі для підключення пристроїв за стандартом Ethernet по топології «подвійне кільце».

### **3.3.5. Приклад побудови структурованої кабельної мережі системи збору інформації АРГОН.**

На рис. 3.26 наведено приклад побудови структурованої кабельної мережі автоматичної системи збору інформації АРГОН, яка розроблена на кафедрі автоматизації енергосистем НТУУ «КПІ» [73-76] і встановлена на ПС 330 кВ Аджалик Південної енергосистеми.

Система АРГОН збирає інформацію з наступних пристроїв:

- 1) ЦР із послідовним оптоволоконним інтерфейсом: виробництва АВВ - REC670 (4 шт.), REL670 (3 шт.), виробництва Siemens - 7VK611 (2 шт.), 7SA622 (1 шт.);
- 2) ЦР із послідовним провідним інтерфейсом RS-232: виробництва НВО МОДУС - АЛАР-Ц (3 шт.);
- 3) ЦР із послідовним провідним інтерфейсом RS-485: виробництва НВО Ураленергосервіс - АКА32 (4 шт.);
- 4) ЦР із оптоволоконним інтерфейсом Ethernet: виробництва GE - L60 (2 шт.);
- 5) ЦР із провідним інтерфейсом Ethernet: виробництва GE - L60 (1 шт.);
- 6) сервери цифрових реєстраторів виробництва ІЕД НАН України РЕГІНА із провідним інтерфейсом Ethernet.

Сервер АРГОН встановлено у шафі системи в релейному залі. У цій же шафі встановлено два асинхронних сервери MOXA Nport і мережний комутатор системи.

Пристрої, які працюють за стандартом Ethernet (Сервер АРГОН, Сервер РЕГІНА, два асинхронних сервери MOXA Nport, три GE - L60), об'єднані у внутрішню локальну мережу системи й мають свої унікальні IP-адреси.



# П/ст "Аджалик". Рівень 1

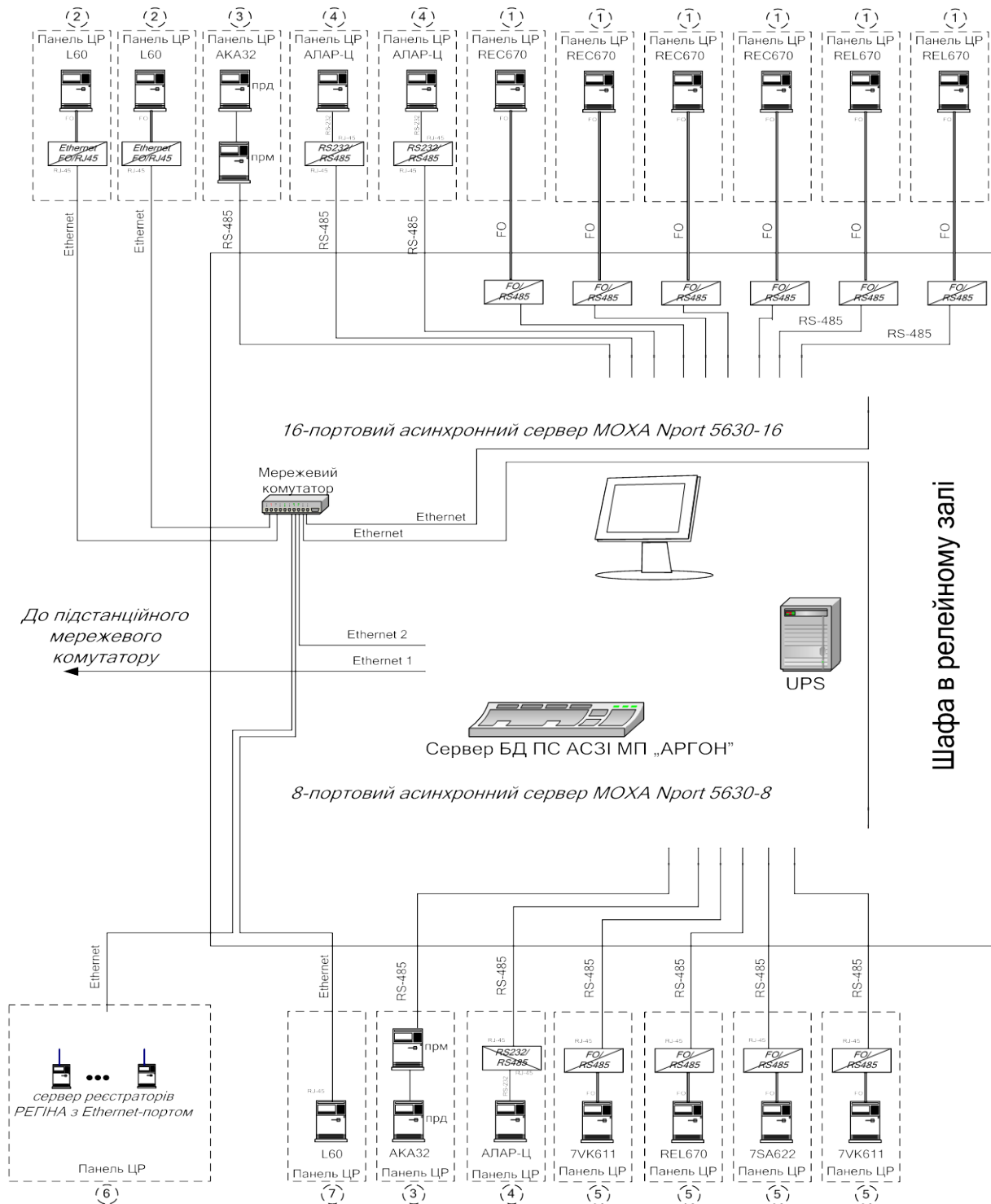


Рис. 3.26 Приклад побудови структурованої кабельної мережі системи збору інформації АРГОН на ПС 330 кВ Аджалик

Сервер АРГОН і мережний комутатор системи з'єднані кабелем FTP. Кабелем FTP з'єднані з мережним комутатором два асинхронні сервери МОХА Nport. Також кабелем FTP з'єднаний з мережним комутатором Сервер РЕГІНА, розміщений у своїй шафі (тип 6 на рис. 3.24). Пристрій диференційно-фазного захисту L60 із провідним інтерфейсом Ethernet напряду без конверторів з'єднано з мережним комутатором кабелем FTP (тип 7 на рис. 3.26). Два пристрої диференційно-фазного захисту L60 з оптичним інтерфейсом Ethernet з'єднані з мережним комутатором за допомогою тракту зв'язку, що складається з кабелю FTP, що заведений у їх шафи, Ethernet-конвертора Planet, що перетворює провідний Ethernet в оптичний (розміщені в шафах L60) і коротких оптоволоконних патч-кордів (тип 2 на рис. 3.26).

Для зв'язку з іншими ЦР використовуються асинхронні сервера (розмножувачі послідовних портів) з виходами RS-485.

Пристрої, що мають порт RS-485 (пристрої передачі команд АКА32) підключені до двох портів асинхронних серверів попарно, тобто 2 пристрої АКА, які мають різні адреси, включені послідовно на один порт (тип 3 на рис. 3.26). Канал зв'язку - екранована вита пара, прокладена між шафою АРГОН і шафами АКА.

Пристрої, що мають порт RS-232 (пристрої ліквідації асинхронних режимів АЛАР-Ц - 3 шт.) підключені до трьох портів асинхронних серверів (тип 4 на рис. 3.26) за допомогою окремих трактів зв'язку, що складаються з екранованих витих пар, які заведені в їх шафи, конверторів МОХА А53 RS485/RS232, (розміщені в шафах АЛАР-Ц) і коротких провідних патч-кордів.

Пристрої, що мають послідовний оптичний порт (пристрої ПРВВ й АПВ REC670 (4 шт.), пристрої дистанційного захисту REL670 (2 шт.)) підключені до шести портів асинхронних серверів (тип 1 на рис. 3.26) за

допомогою окремих трактів зв'язку, що складаються з конверторів МОХА TCF-142M RS485/FO (усі розміщені в шафі АРГОН), оптоволоконних кабелів, які заведені в шафи ЦР і безпосередньо підключені до пристроїв.

Пристрої, що мають послідовний оптичний порт (пристрої дистанційного захисту REL670 (1 шт.), 7SA622 (1 шт.), пристрої ПРВВ й АПВ 7VK611 (2 шт.)) підключені до чотирьох портів асинхронних серверів (тип 5 на рис. 3.26) за допомогою окремих трактів зв'язку, що складаються з екранованих витих пар, які заведені в їх шафи, конверторів МОХА TCF-142M RS485/FO, (розміщені в шафах ЦР) і коротких оптичних патч-кордів.

Так як всі пристрої, підключені до структурованої кабельної мережі АРГОН, є пристроями, що генерують значні обсяги аварійної інформації, то обмін інформацією з ними відбувається паралельно, незалежно один від одного. Виключення - пристрої з малим обсягом інформації - АКА32. Апаратно ці пристрої з'єднані в мережу попарно. Т.ч. обмін інформацією з кожним пристроєм і з кожною парою АКА32 відбувається паралельно, а усередині пари АКА32 - послідовно.

Сервер АРГОН другою мережною платою підключений до загальностанційного мережного комутатора для забезпечення процесу передачі інформації на верхні рівні системи (у цьому випадку - Одеські магістральні мережі, Південна енергосистема, НЕК «Уренерго»).

## Контрольні запитання

1. Як охарактеризувати різні підходи, що дозволяють використати цифрове реле в якості кінцевого пристрою збору?
2. Які способи організації, переваги, недоліки й область застосування паралельного інтерфейсу?
3. Які способи організації, переваги, недоліки й область застосування послідовного інтерфейсу RS-232C?
4. Які способи організації, переваги, недоліки й область застосування послідовного інтерфейсу RS-485?
5. Які способи організації, переваги, недоліки й область застосування послідовного інтерфейсу RS-422?
6. Які способи організації, переваги, недоліки й область застосування послідовного інтерфейсу «струмова петля»?
7. Які способи організації, переваги, недоліки й область застосування послідовного оптоволоконного інтерфейсу?
8. Які способи організації, переваги, недоліки й область застосування стандарту Ethernet?
9. Які способи включення в кабельну мережу пристроїв з інтерфейсом RS-485?
10. Які способи включення в кабельну мережу пристроїв з інтерфейсом RS-232?
11. Які способи включення в кабельну мережу пристроїв з оптоволоконним інтерфейсом?
12. Які способи включення в кабельну мережу пристроїв, які використовують стандарт Ethernet?

## Список літератури

1. Алимов Ю. Н. Состояние и перспективы развития устройств релейной защиты и автоматики энергосистем / Ю. Н. Алимов, В. А. Сушко // Электротехника. - 1985. - № 8. - С.3-5.
2. Михайлов В.В. Микропроцессорные гибкие системы релейной защиты / В.В. Михайлов, Е.В. Кириевский, Е.М. Ульяницкий и др. - М.: Энергоатомиздат, 1988.- 240 с., ил. – Библиогр.: с. 238-240. – 5000 экз. - ISBN 5-283-01065-1.
3. Манов Н.А. Надежность генераторных защит с использованием ЦВМ / Н.А. Манов // Тр. Коми филиала АН СССР. Вып. 26. – Сыктывкар: Коми филиала АН СССР, 1973. - С. 66-69.
4. Дорогунцев В.Г. Использование ЦВМ для выполнения функций релейной защиты / В.Г. Дорогунцев, Л.Б. Кимальман, А.М. Федосеев и др. // Материалы Всесоюзного научно-технического совещания: Сборник. Релейная защита и автоматика энергосистем. - М.: Изд-во МЭИ, 1974. - С.53-55.
5. Гельфанд Я.С. Применение ЦВМ в качестве общедистанционных устройств сетевой автоматики / Я.С. Гельфанд, Л.С. Зисман // Экспресс-информация. Сер. Эксплуатация оборудования энергетических систем. - М.: Информэнерго. СЦНТИ ОРГРЭС, 1975. - №27. – С. 238.
6. Поляков В.Е. Комплексная структурная быстродействующая защита главной схемы электростанций и подстанций от коротких замыканий / В.Е. Поляков, В.И. Скутельников // Изв. вузов СССР. – М.: Энергетика, 1965. – №5. - С.1-5.
7. Cory В.Ј. Computer control of high voltage substations / В.Ј. Cory // Elec. Times. - 1969. - №8. - P.43-47

8. Mantey P.E. Computer requirements for event recording , digital relaying and substation monitoring / P.E. Mantey // IEEE conf. Power industry computer application.- 1969.
9. Rockefeller G.D. Fault protection with a digital computer/ G.D. Rockefeller // IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems. - 1969.- Vol.88, № 4.- P. 438-464.
10. Morrison I.F. Prospects of online computer control on transmission systems / I.F. Morrison // Elec. Eng. Trans. I.E. Aust.–1967.-Vol EE3,Sept.-P.234-236.
11. Томосиха Андо. Тенденции перевода релейной защиты на цифровые устройства вычислительной техники: Перевод № П-03 03 / Томосиха Андо // К.: ОНМ. Торгово-промышленная палата УССР. - 1984. - Т. 71, № 9.- С. 23-27.
12. Зисман Л.С. Алгоритмы и программы измерительных органов дистанционной защиты / Л.С. Зисман // Электричество. - 1981. - №2. - С.15-21.
13. Бабыкин В.В. Некоторые вопросы разработки системы релейной защиты на основе управляющих цифровых вычислительных комплексов / В.В. Бабыкин // Автоматическое управление электроэнергетическими системами в аварийных режимах с применением цифровых вычислительных машин. – Сыктывкар: Коми филиал АН СССР. – 1976. - С.84-92.
14. Манов Н.А. Модель управляющего цифрового вычислительного комплекса на базе ЦВМ “Мир-1” для экспериментальной проверки алгоритмов защит от коротких замыканий / Н.А. Манов, М.И. Успенский, А.И. Сурнин // Автоматическое управление электроэнергетическими системами в аварийных режимах с

применением цифровых вычислительных машин. – Сыктывкар: Коми филиал АН СССР. – 1976. - С.93-100.

15. Гнатив Я.С. Испытание модели управляющего цифрового вычислительного комплекса на подстанции 110 кВ / Я.С. Гнатив, Ю.Г. Елизаров, А.Ф. Пройдаков, Н.А. Манов, А.И. Сурнин, М.И. Успенский // Автоматическое управление электроэнергетическими системами в аварийных режимах с применением цифровых вычислительных машин. – Сыктывкар: Коми филиал АН СССР. – 1976. - С. 101-118.
16. Новелла В.Н., Васильев А.Н. Исследование работы программных дистанционных измерительных органов в условиях переходного процесса / В.Н. Новелла, А.Н. Васильев // Электричество. - 1981. - №2. - С. 22-27.
17. Гельфанд Я.С. Релейная защита высоковольтных линий с использованием управляющих вычислительных машин / Я.С. Гельфанд, Л.С. Зисман // Автоматическое управление электроэнергетическими системами в аварийных режимах с применением цифровых вычислительных машин. – Сыктывкар: Коми филиал АН СССР. – 1976. - С.8-18.
18. Успенский М.И. Получение мгновенных значений симметричных составляющих токов электрической системы с помощью ЦВМ / М.И. Успенский // Автоматическое управление электроэнергетическими системами в аварийных режимах с применением цифровых вычислительных машин. – Сыктывкар: Коми филиал АН СССР. – 1976. - С.43-55.
19. Левкович Д.Д. Основные вопросы техники релейной защиты, обсуждавшиеся на сессии СИГРЭ 1976 г. / Д.Д. Левкович, А.М. Федосеев // Энергетика за рубежом. Релейная защита и

- противоаварийная автоматика (СИГРЭ 1976).- М.: Энергия.- 1978.- С.3-25.
20. Диенн Д. Краткий обзор некоторых актуальных проблем и разработок в области релейной защиты. Доклад 34-09 на сессии СИГРЭ 1976 г. Пер. с англ. / Д. Диенн, Д. Берч // Энергетика за рубежом. Релейная защита и автоматика (СИГРЭ 1976).- М.: Энергия.- 1978.- С.26-46.
21. Кори Б. Использование ЭВМ для выполнения функций релейной защиты. Доклад 34-08 на сессии СИГРЭ 1976 г. Пер. с англ. / Б. Кори, Д. Дромей, Б. Муррей // Энергетика за рубежом. Релейная защита и противоаварийная автоматика (СИГРЭ 1976).- М.: Энергия.- 1978.- С.133-142.
22. Александров И.Н. Защита синхронного генератора на основе микроЭВМ / И.Н. Александров, В.В. Герасимов, Е.И. Григорович // Электрические станции. -1982.- №12.- С.48-50.
23. Новаш В.И. Алгоритм и параметры цифровой защиты синхронного генератора от перегрузки обмотки ротора током возбуждения / В.И. Новаш, Е.И. Шевцов // Изв. вузов. Сер. Энергетика. -1983. - №2. - С.19-23.
24. Sekine Y. Recent advances in digital protection / Y. Sekine // Electrical Power and Energy Systems. - 1984. - Vol.6, N 3. - P.181-191.
25. Лугинский Я.Н., Семенов В.А. Применение микроЭВМ в системах автоматизированного управления подстанциями / Я.Н. Лугинский, В.А. Семенов // Энергохозяйство за рубежом. -1983. - №5. - С.24-26.
26. Барабанов Ю.А. Использование цифровой вычислительной техники для выполнения функций релейной защиты / Ю.А. Барабанов // Электричество. - 1979.-№ 12.-С.6-11.



27. Барабанов Ю.А. Расчетная надежность микропроцессорных защит / Ю.А. Барабанов, В.А. Никифоров, А.П. Фомченков // Тр. Моск. энерг.ин-та. - Вып. № 65.- М.: МЭИ, 1985.- С.177-184.
28. Барабанов Ю.А. Выполнение программных защит на базе микропроцессорных вычислительных систем / Ю.А. Барабанов // Тр. Рижского политехн. ин-та. Релейная защита и автоматизация электрических систем. Рига: РПИ, 1985.- С.19-28.
29. Pay Subrate. Digital computer can do the jobs the protective devices do for the electrical system / Pay Subrate, H.Z. Chow // IEEE-1 AS (Ind. Appl.Soc) 19th Annu. Meet. Chicago, 111., 30 Sept. - 4 Oct. 1984. Conf. Rec. New York: N.Y.- 1984.- P.360-362.
30. Trynkiewicz J. Propozycja systemu zabezpieczen sieci elektroenergetycznych / J. Trynkiewicz // Energetyka (PRL). -1985.- N 6.- С.232-235.
31. Лугинский Я.Н., Семенов В.А. Релейная защита на микроЭВМ за рубежом / Я.Н. Лугинский, В.А. Семенов // Энергохозяйство за рубежом. -1982.- № 6.- С.26-28.
32. Овчаренко Н.И. Цифровые аппаратные и программные элементы микропроцессорной релейной защиты и автоматики энергосистем / Н.И. Овчаренко. М.: НТФ "Энергопрогресс", 2006. – 120 с.: Ил. (Библиотечка электротехника, приложение к журналу «Энергетик»; Вып. 5-6(89-90)) Библиогр.: с. 118. – 1200 экз. – ISSN 0013-7278.
33. Шнеерсон Э.М. Программируемый контроллер для устройств релейной защиты / Э.М. Шнеерсон, В.Г. Гришанов, Ю.В. Дашкиев // М-лы I Всесоюзной научно-технической конференции “Проблемы комплексной автоматизации электроэнергетических систем на основе микропроцессорной техники”.- К.: Ин-т электродинамики АН Украины, 1990.- Ч.1.- С. 48 – 52.

34. Стогний Б.С. Микропроцессорные системы защиты в энергетике / Б.С. Стогний, В.В. Рогоза, В.М. Назаренко. - К.: О-во "Знание" УССР, 1986.- 20 с.
35. Стогний Б.С. Информатизация и интеллектуализация электроэнергетических объектов (проблемы, перспективы и возможности) / Б.С. Стогний, А.В. Кириленко // Автоматизация и релейная защита в энергосистемах 98.- К.: Ин-т электродинамики НАН Украины.- 1998.- С.3-17.
36. Б.С. Стогний. Микропроцессорные системы в электроэнергетике / Б.С. Стогний, В.В. Рогоза, А.В. Кириленко и др.- К.: Наукова думка, 1988. – 232 с., ил. 81 – Библиогр.: с. 217-222. – Предм. указ.: с. 223 – 228. – 3100 экз. – ISBN 5-12-000414-8.
37. Стогний Б.С. Теоретические вопросы построения микропроцессорных систем в электроэнергетике / Б.С. Стогний, А.В. Кириленко, Д. Проске и др.- К.: Наукова думка, 1992. – 319 с. ил. - Библиогр.: с. 306-317. – 1000 экз. – ISBN 5-12-000414-8.
38. Кириленко А.В. Відкриті розподілені інформаційно-керуючі системи електроенергетичних об'єктів / А.В. Кириленко, В.В. Рункович // Автоматизация и релейная защита в энергосистемах 98.- К.: Ин-т электродинамики НАН Украины.- 1998.- С.24-33.
39. Ульяницкий Е.М. Микропроцессорные системы защиты электроэнергетических объектов / Е.М. Ульяницкий // Тр. Ростовского ин-та инж.жел.-дор.транспорта. – Ростов: Издательство Ростовского университета.-1982.- Вып. 168.- С.3-9.
40. Ульяницкий Е.М. Микропроцессорная система защиты энергоблоков / Е.М. Ульяницкий. - Ростов: Издательство Ростовского университета, 1990. – 157 с.: ил. - Библиогр.: с. 148-152. – 1000 экз. – ISBN 5-7507-0161-1.

41. Ефимов Н.С. Специализированная микропроцессорная система для выполнения функций релейной защиты / Н.С. Ефимов, В.Н. Козлов, Ю.Я. Лямец, В.М. Шевцов // Тр. Чуваш. гос. ун-та. Электротехн. устройства и системы на основе микропроцессоров и микроЭВМ – Чебоксары: Чувашский госуниверситет.- 1985.- С.3-10.
42. Ванин В.К. Релейная защита на элементах вычислительной техники / В.К. Ванин, Г.М. Павлов – Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1991. – 336 с. : ил. - Библиогр.: с. 331-333. - 10000 экз. - ISBN 5-283-04501-3
43. Гуров Н.С. Применение микропроцессоров в устройствах релейной защиты и противоаварийной автоматики / Н.С. Гуров, В.Л. Фабрикант, В.Н. Чувычин // Изв. вузов. Сер. Энергетика.- 1980.- №5.- С.17-22.
44. Сопель М.Ф. Алгоритм построения функциональной модели для устройств релейной защиты / М.Ф. Сопель, В.Л. Тутик // Автоматизация и релейная защита в энергосистемах: Сб. науч. тр.- К.: Наук. думка, 1987.- С.70-73.
45. Кизиллов В.У. Многофункциональное вычислительное устройство / В.У. Кизиллов, Г.И. Мельников, М.Ю. Пащенко // Тезисы докладов II научно-технической конференции “Программируемые устройства релейной защиты и автоматики энергосистемы”. – Рига: РПИ, 1988. – С.25 - 27.
46. В.Г. Гловацкий, И.В. Пономарев. Современные средства релейной защиты. – Киев.: Энергомашвин, 2006.
47. Микропроцессорные устройства РЗА серии УЗА-10, [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.emvcorp.com> – 2016р.
48. Э.М. Шнеерсон. Цифровая релейная защита / Э.М. Шнеерсон. – М.: Энергоатомиздат, 2007. - 549 с: ил. – Библиогр.: с. 540-541. – Предм. указ.: с. 6. – 1000 экз. - ISBN 978-5-283-03256-6

49. В.Я. Шмурьев. Цифровые реле защиты / В.Я. Шмурьев. М.: НТФ "Энергопрогресс", 1999. – 56 с.: Ил. (Библиотечка электротехника, приложение к журналу «Энергетик»; Вып. 1(4)) Библиогр.: с. 54. – 600 экз. – ISSN 0013-7278.
50. Овчаренко Н.И. Микропроцессорные комплексы релейной защиты и автоматики распределительных электрических сетей / Н.И. Овчаренко. М.: НТФ "Энергопрогресс", 1999. – 64 с.: Ил. (Библиотечка электротехника, приложение к журналу «Энергетик»; Вып. 7(10)) Библиогр.: с. 62. – 760 экз. – ISSN 0013-7278.
51. Овчаренко Н.И. Аналоговые элементы микропроцессорных комплексов релейной защиты и автоматики / Н.И. Овчаренко. М.: НТФ "Энергопрогресс", 2001. – 80 с.: Ил. (Библиотечка электротехника, приложение к журналу «Энергетик»; Вып. 9(33)) Библиогр.: с. 78. – 600 экз. – ISSN 0013-7278.
52. Дьяков А.Ф. Микропроцессорная релейная защита и автоматика электроэнергетических систем. Учебное пособие для студентов вузов / А.Ф. Дьяков, Н.И. Овчаренко. – М.: Издательство МЭИ, 2000. - 199 с: ил. – Библиогр.: с. 194-196. –500 экз. - ISBN 5-7046-0575-3
53. Шнеерсон Э.М. Дистанционные защиты. - М.: Энергоатомиздат, 1987.
54. Alstom, [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.alstom.com> – 2014р.
55. АBB, [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.abb.com> – 2016р.
56. Siemens, [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.downloads.siemens.com> – 2016р.
57. Sepam series 80 - Protection Relays for Custom Applications, [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.schneider->

[electric.com/products/ww/en/4700-protection-relays-by-range/4755-sepam-series-80/935-sepam-series-80](http://electric.com/products/ww/en/4700-protection-relays-by-range/4755-sepam-series-80/935-sepam-series-80) – 2014р.

58. В.А. Бесекерский. Микропроцессорные системы автоматического управления / В.А. Бесекерский, Н.Б. Ефимов, С.И. Зиятдинов и др. – Л.: Машиностроение. Ленинградское отделение. 1988. – 365 с.
59. Гребченко Н.В. Обеспечение достоверности оценки технического состояния при диагностировании асинхронных электродвигателей / Н.В. Гребченко, Д.В. Полковниченко // Збірник наукових праць Донецького державного технічного університету. Серія: “Електротехніка і енергетика”.- Донецьк: ДонДТУ.- 2000.- Випуск 21.- С.153-157.
60. Гребченко Н.В. Интеграция функций цифровой релейной защиты и средств диагностирования электрооборудования / Н.В. Гребченко // Збірник наукових праць Донецького державного технічного університету. Серія: “Електротехніка і енергетика”.-Донецьк: ДонДТУ.- 2000.-Випуск 21.- С.21-24.
61. Филиппов А.Г. Микропроцессорные системы и микроЭВМ в измерительной технике: Учеб. пособие для вузов / Филиппов А.Г., Аужбикович А.М., Немчинов В.М. и др. – М.: Энергоатомиздат, 1995. – 368 с.: ил. - Библиогр.: с. 363-364. – 1500 экз.
62. Антохин В.В. Система ввода аналоговой информации для целей релейной защиты и автоматики электрических систем / В.В. Антохин, В.Н. Новелла, С.Н. Рыбин // Электротехника.- 1985.- № 9.- С.48 – 51.
63. Рекомендации по выбору защит электротехнического оборудования с использованием микропроцессорных устройств концерна ALSTOM.-К.: ООО «Энергомашвин».-2000.- 142 с.
64. Бирг А.Н. Программное обеспечение цифровой дистанционной защиты / А.Н. Бирг, Э.М. Шнеерсон, Б.С. Зайцев // Тезисы докладов II научно-

- технической конференции “Программируемые устройства релейной защиты и автоматики энергосистемы”. – Рига: РПИ, 1988. – С.41 - 42.
65. Зисман Л.С. Программируемая ступенчатая токовая направленная защита нулевой последовательности ВЛ 500 – 750 кВ / Л.С. Зисман, Н.Н. Митрофанов // Тезисы докладов II научно-технической конференции “Программируемые устройства релейной защиты и автоматики энергосистемы”. – Рига: РПИ, 1988. – С.45 - 47.
66. Кириленко А.В. Алгоритм оптимального распределения защит в многомашинной системе защиты блока генератор – трансформатор / А.В. Кириленко, Э.С. Кохно, Ю.Н. Холоденко // Автоматизация и релейная защита в энергосистемах: Сб. науч. тр.- К.: Наук. думка, 1987.- С.57 - 61.
67. 700 дней жизни АББ Реле-Чебоксары. - Чебоксары: ТОО СП «АББ Реле-Чебоксары», 1996. – 250 с.
68. Шабад М.А. Автоматизация распределительных электрических сетей с использованием цифровых реле / М.А. Шабад М.: НТФ "Энергопрогресс", 2003. – 68 с.: Ил. (Библиотечка электротехника, приложение к журналу «Энергетик»; Вып. 1(49)) Библиогр.: с. 66. – 1200 экз. – ISSN 0013-7278.
69. М.А. Шабад. Расчеты релейной защиты и автоматики распределительных сетей. – СПб.: ПЭИПК, 2003.
70. В.Н. Копьев. Релейная защита основного оборудования электростанций и подстанций. – Томск.: ЭЛТИ ТПУ, 2005.
71. Виробниче об'єднання "Київприлад", МРЗС-05-01, [Електронний ресурс]. – Режим доступу:  
<http://www.kievpribor.com.ua/rus/download.htm> – 2016р.
72. Научно-производственное объединение "РЕКОН"77, [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.recon.dn.ua/> – 2016р.

73. Яндульський О.С., Дмитренко О.О., Заколюдяжний В.В., Настенко Д.В./ Автоматична багаторівнева система збору та передачі інформації від МП РЗА різних виробників// Інформаційний збірник «Промислова електроенергетика та електротехніка» Промелектро. -2010. – № 2. – С.14-18
74. Яндульський О.С., Дмитренко О.О., Заколюдяжний В.В., Настенко Д.В., Рубель А.Б./ Автоматична багаторівнева система збору та передачі інформації від мікропроцесорних пристроїв релейного захисту та автоматики різних виробників для об'єктів НЕК «Укренерго»// Наукові праці Донецького національного технічного університету. 2011. - № 11. - С.455-463
75. Яндульський О.С., Дмитренко О.О., Заколюдяжний В.В., Настенко Д.В., Добросинец Я.В., Рубель А.Б., Добросинец В.П./ АРГОН. Автоматическая система сбора и передачи информации от РЗ и ПА// Электрические сети и системы. 2011. – №3. - С. 46-58
76. Яндульський О.С., Дмитренко О.О., Заколюдяжний В.В., Настенко Д.В., Добросинец Я.В., Рубель А.Б., Добросинец В.П./ Багаторівнева система збору та передачі інформації для об'єктів НЕК «Укренерго»// Энергетика и электрификация. 2011. – №6. - С. 53-62