

# АРХІТЕКТУРА ТА КОМПОНЕНТИ КОМП'ЮТЕРНИХ СИСТЕМ

УДК 622.02.658.284

Б. Демида, Д. Зербіно, Д. Пелешко  
Національний університет "Львівська політехніка",  
кафедра автоматизованих систем управління

## РЕАЛІЗАЦІЯ ПРИНЦИПІВ ПАРАЛЕЛЬНОГО ЗБИРАННЯ ІНФОРМАЦІЇ НА ПРИКЛАДІ SCADA-СИСТЕМИ "TRACEMODE"

© Демида Б., Зербіно Д., Пелешко Д., 2005

Розглянуто загальні принципи розробки автоматизованих систем паралельного збирання інформації та управління на прикладі реально функціонуючої автоматизованої системи диспетчерського управління електричною підстанцією 110/10 кВ. Описано структуру системи, структуру програмного забезпечення та драйвера збирання інформації в паралельному режимі, визначено інформаційні потоки даних.

General principles of development of the automated systems for parallel collection of information and management are considered on the example of the really functioning automated controller's control system by electric substation 110/10 kV. The structure of the system, structure of software and structure of driver for collection of information is described in the concurrency mode. Informative data flows of the system are determined.

### Вступ

Сучасні АСУ ТП (автоматизовані системи управління технологічним процесом) є багато-рівневими людино-машинними системами. Їх створюють на базі автоматичних інформаційних систем збирання даних та обчислювальних комплексів (рис. 1) [1]. Як правило, загальну систему складають три-, чотирирівневі розподілені підсистеми збирання інформації та управління технологічними процесами. Специфіку кожної конкретної підсистеми визначає її програмно-апаратний склад. У кожній підсистемі можна виділити декілька наступних рівнів.

Рівень виникнення інформації – це, в основному, сенсорні датчики (первинні перетворювачі), виконавчі механізми, а також мікроконтролерні пристрої збирання інформації та управління (інтелектуальні пристрої збирання інформації та управління). На цьому рівні формують первинну інформацію, яка надходить до системи АСУТП, а також на цей рівень адресують керуючі впливи.

Рівень контролю та управління технологічним процесом. Цей рівень на сучасному етапі розвитку АСУТП передбачають як достатньо автономний, який за відсутності зв'язку з верхнім рівнем здатний тривалий час без втрати інформації працювати автономно. Як обладнання використовують програмовані логічні контролери (PLC – Programming Logical Controller), як операційну систему – засоби програмування цих контролерів або PC-подібні контролери з вбудованими DOS-системами. На цьому рівні можна комплектувати також засоби візуального контролю за ходом виконання ТП та його управлінням. У контролерах попередньо обробляють інформацію, яка може бути використана на локальному рівні, що дає змогу знизити вимоги до пропускну здатності каналів зв'язку з верхнім рівнем. Як локальні PLC у системах контролю та управління використовують широку номенклатуру пристроїв як вітчизняних, так і зарубіжних виробників, здатних обробляти за одиницю часу від декількох змінних параметрів (тегів) до сотень змінних, а також контролери типу IBM PC промислового виконання. До апаратно-програмних засобів рівня контролера керування висувають жорсткі вимоги надійності, часу реакції доставки інформації з

сенсора та управляючих сигналів на виконавчий пристрій і т.д. Загалом PLC мають гарантовано реагувати на зовнішні події, які надходять від об'єкта за час, визначений для кожної такої події. Для критичних з цієї точки зору об'єктів рекомендовано використовувати контролери з операційними системами реального часу (ОСРЧ).

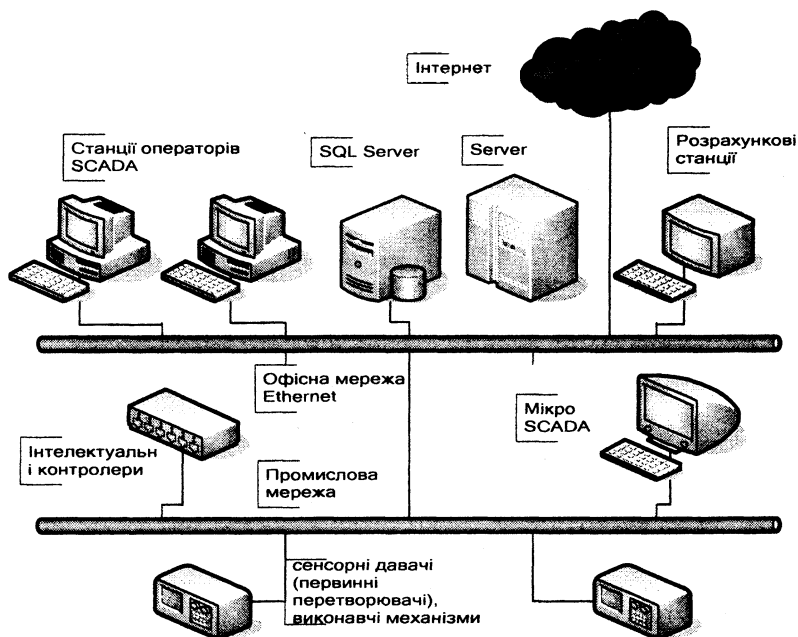


Рис. 1. Узагальнена структурна схема багаторівневої розподіленої АСУТП

Рівень людино-машинних інтерфейсів (Man-Machine Interface – MMI), операторського контролю і міжпроцесорної взаємодії (це так звані *SCADA-системи* – Supervisory Control And Data Acquisition – операторський контроль і подання даних). Операторський контроль наведено у вигляді автоматизованого робочого місця (АРМ) диспетчера/оператора. На цьому рівні як обладнання використовують робочі станції оператора на RISC- або Intel-платформах, тут все визначається інформаційним навантаженням та вимогами до надійності цього рівня системи. Програмне забезпечення представлено спеціалізованими продуктами SCADA-систем типу FS2000, InTouch, RTAP/Plus TraceMode (AdAstraResearch Group) і інш. Задачі цього рівня – збирання даних з локальних контролерів; обробка даних (масштабування і т.д.); синхронізація єдиного часу в розподіленій системі; синхронізація роботи розподілених підсистем; організація архівів за вибраними параметрами; обмін інформацією між локальними контролерами та верхнім рівнем; робота в автономному режимі у випадку порушення зв'язку з верхнім рівнем; резервування каналів передавання даних, контроль з боку оператора, візуалізація та відображення ходу виконання ТП тощо.

Останній рівень інформації, необхідної для управління підприємством, потрібен для інтегрованої інформаційної системи підприємства, корпоративної бази даних і великих прикладних програм типу ERP-system's. За обладнанням цей рівень подано в системі файл-сервером, сервером бази даних та клієнтськими комп'ютерами користувачів. Програмне забезпечення цього рівня складають СУБД архітектури "клієнт-сервер", різні прикладні програми, які подають інформацію керівним особам. Дані на цей рівень надходять з нижніх рівнів у вже обробленому вигляді. Взаємодія 3-го та 4-го рівнів забезпечує організацію загального інформаційного простору підприємства, об'єднання промислових мереж збирання даних та інформаційних мереж загального призначення.

На кожному з означених рівнів інформація надходить паралельно і обробляється за змогою паралельно. Керівні особи також можуть приймати рішення паралельно і незалежно одна від однієї. Крім того, у великих системах можливі заміни повноважень керівного персоналу або перекриття обов'язків. Завданням розробників великих систем є недопущення конфліктних ситуацій, які можуть у таких випадках виникати.

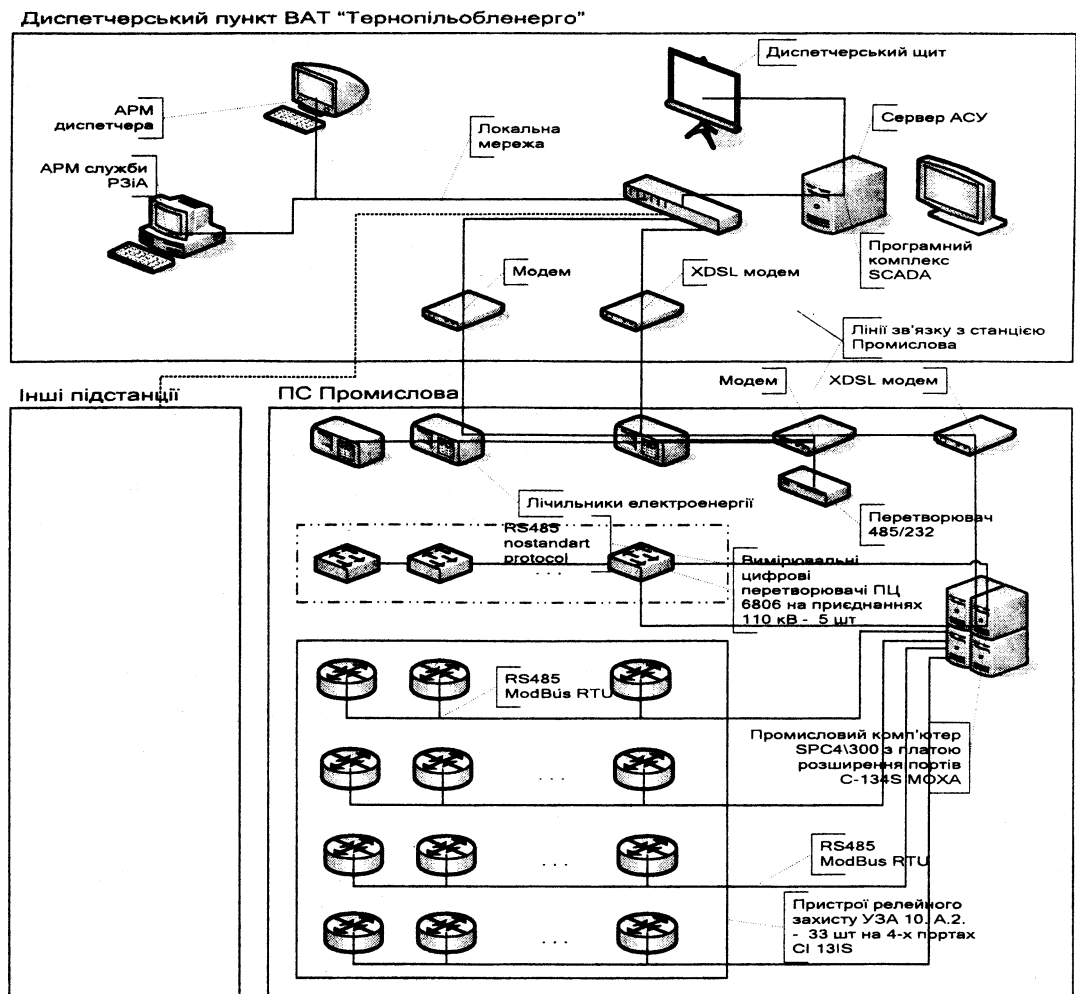


Рис.2. Структурна схема АСУТП підстанцією ПС 110/10 кВ "Промислова" ВАТ "Тернопільобленерго"

### 1. Задачі створення системи

Основним завданням під час побудови автоматизованих систем паралельного управління є правильна побудова структури та організація інформаційних потоків на основі аналізу колізій, які теоретично можуть виникнути в системі. Тому розробка починалася з послідовної системи, яку поступово перетворювали в паралельну. На рис.2 наведено структуру системи (на прикладі підстанції "Промислова" ВАТ "Тернопільобленерго").

З одного боку, система повинна бути ієрархічною, щоб захищати верхні рівні від зайвої інформації, яка обробляється на нижніх рівнях, а з іншого – достатньо гнучкою для того, щоб за відмови верхнього рівня передати частину його функцій на нижній рівень. Тому під час проектування таких систем необхідно в основу закладати принципи максимальної гнучкості та надійності.

АСУ ПС „Промислова” розроблена на основі програмного комплексу SCADA “Trace Mode 5.15” фірми AdAstraResearch та комплексу засобів обчислювальної, вимірювальної техніки і компонентів АСУТП провідних вітчизняних і закордонних виробників (рис. 2). Структура АСУ багаторівнева, підтримує архітектуру „клієнт–сервер”.

#### До складу АСУ входять:

- На підстанції – комплекс технічних і програмних засобів у складі промислового комп'ютера із розширювачем портів, пристроїв релейного захисту, вимірювальних перетворювачів, які включені в АСУ. Всі пристрої об'єднані в мережу на основі інтерфейсу RS485. Для зменшення часу опитування пристрої довелось розбити на групи для роботи паралельно за 5-ма портами.

- На диспетчерському пункті – сервер із програмним комплексом SCADA, автоматизоване робоче місце диспетчера, диспетчерський щит, а також „клієнтські” АРМи служби телемеханіки і служби релейного захисту.

- Зв’язок з підстанцією здійснюється провідною лінією зв’язку за допомогою xDSL модемів, що забезпечує високу швидкість передавання даних.

Функціонально АСУ підстанції складається із таких підсистем:

- підсистеми телемеханіки. Підсистемою телемеханіки охоплено 33 приєднань 10кВ, 5 приєднань 110 кВ. На приєднаннях 10кВ телеуправління і телесигналізацію здійснюють через пристрої релейного захисту приєднань 10кВ (типу УЗА10А.2), обмін інформацією з цими пристроями – за протоколом ModBusRTU. На приєднаннях 110 кВ телеуправління і телесигналізацію забезпечують цифрові вимірювальні перетворювачі ПЦ 6806. Обмін інформацією з цими пристроями відбувається за нестандартним протоколом. З цих же перетворювачів на верхній рівень передаються виміряні миттєві значення напруг, струмів фаз, активної, реактивної потужності, частоти. Час виконання команди телеуправління, телесигналізації не перевищує 2,2с.

- підсистеми релейного захисту приєднань 10 кВ. Підсистема виконана на базі мікропроцесорних пристроїв релейного захисту УЗА10А.2, які комплексно захищають приєднання 10 кВ в автономному режимі, а під час роботи у складі АСУ здійснюють функції телеуправління, телесигналізації, передавання на верхній рівень інформації про причину від’єднання комірки.

- підсистеми обліку електричної енергії. Підсистема обліку забезпечує збирання і оброблення інформації з багатофункціональних лічильників електроенергії, формування звітності тощо.

## 2. Вибраний підхід

*Час реакції системи* на телесигнали та телеінформацію від пристроїв УЗА10А.2 становить 22 с. Цей параметр, який є надзвичайно важливим серед всіх параметрів системи, неприпустимо великий. Проблема полягає в тому, що процедура опитування бази каналів в SCADA “TraceMode” відбувається послідовно для всіх портів. Тому рознесення пристроїв УЗА10А.2 багатьма послідовними портами (рис. 2) не підвищує параметра швидкодії. Окрім того, виявилось, що продуктивність SCADA навіть дещо зростає за розміщення всіх пристроїв на одній лінійці порту. Це можна пояснити меншим завантаженням модуля мікроМРВ під час обслуговування тільки одного послідовного порту.

Ще однією проблемою організації взаємодії з пристроями УЗА10А.2 вбудованими засобами TraceMode є негнучка система реакції системи на типові помилки. *Алгоритм реакції системи* на виникнення помилки від пристрою такий: після виявлення помилки система «штурмувала» пристрій запитом, що призвело або до блокування запитів до інших пристроїв, або до появи наступних помилок від інших пристроїв. Отже, поступово система сама виводила себе з ладу.

Тому, незважаючи на те, що TraceMode v.5.15 підтримує протокол ModBus RTU, який використовують для зв’язку з пристроями УЗА10А.2, для підвищення параметра реактивності системи на телесигнали та телеінформацію від пристроїв УЗА10А.2, було прийнято рішення розробити спеціальний *драйвер паралельного опитування*, який в паралельному режимі керує процесом взаємодії з обладнанням УЗА10А.2, ПЦ6808 через багатопортову плату.

Драйвер паралельного опитування налаштовується своїм конфігураційним файлом (INIT\_CMD.TXT), в який за певними ключовими словами заносять параметри керування зовнішнім обладнанням, зокрема період опитування та команди запитів. За допомогою драйвера паралельно за всіма портами можна опитувати зовнішні пристрої з заданими параметрами періоду часу. Драйвер необхідно було забезпечити розвинутою *логікою виявлення типових помилок* за взаємодії з пристроями та передавання значень помилок до системи SCADA.

Отже, предметом подальшого розгляду стала підсистема вводу/виводу (надалі підсистема) комунікації SCADA, яка встановлена на промисловому комп’ютері, з УЗА10А.2, ПЦ6808 (надалі – контролерами). Це завдання стає основним для реалізації алгоритму паралельного функціонування та роботи в блоковому режимі підсистеми в однозадачному середовищі DOS 6.22. Зважаючи на це, драйвер був запропонований нами як набір модулів – обробників апаратних і програмних переривань (рис. 3).

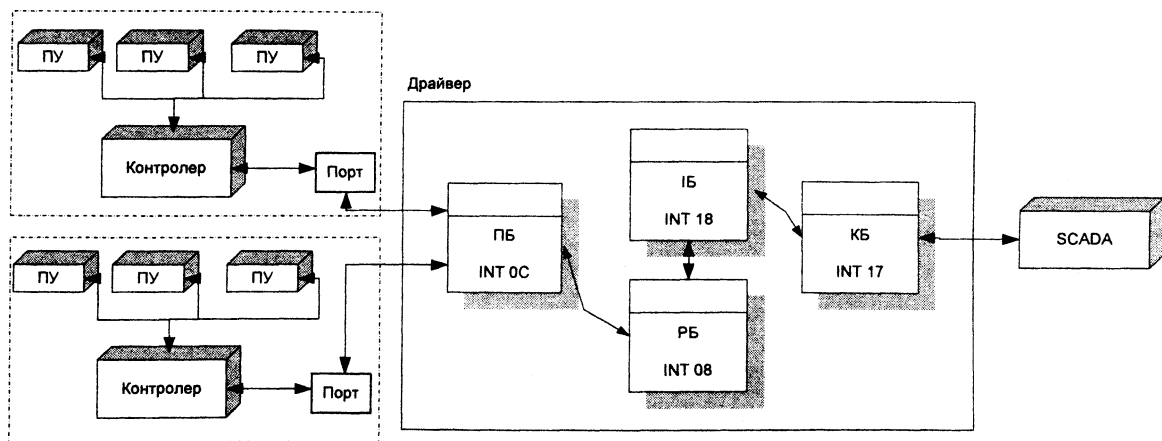


Рис. 3. Функціональна схема зв'язку промислового комп'ютера з пристроями управління

### 3. Опис підсистеми для розпаралелювання

У результаті покрокового розпаралелювання утворено функціональну схему системи, наведену на рис. 3. Як видно з рисунка, система складається з декількох компонент, які відносно драйвера паралельного опитування можна вважати зовнішніми та внутрішніми.

До зовнішніх складових відносимо SCADA-систему (її структура та засоби налаштування заслуговують окремої статті), а також – пристрої управління (ПУ), іншими словами – виконавчі елементи, які можуть містити датчики.

До внутрішніх складових відносимо:

а) блок комунікації (**КБ**) системи SCADA, виконаний як програмний обробник **INT 17**. Якщо абстрагуватись від технічного аспекту, то всі запити системи можна розбити на певні стандартні команди, в яких фігурує номер порту. Відповідь подають як набір значень регістрів даних ПУ. У випадку запиту інформації SCADA викликає **INT 17** і передає в **AX** індекс команди, від якої треба отримати відповідь. Регістр **BX** містить номер регістра даних, який треба зчитати з даного пристрою. У відповідь на **INT 17** драйвер повертає в **AX** вміст цього регістра даних. Запити задовольняються незалежно від процесу опитування пристроїв. Отже, **INT 17** повертає значення в реальному часі, не очікуючи моменту, коли пристрій буде опитаний. Значення, які повертаються, беруть з динамічної віртуальної таблиці, яка оновлюється щоразу, коли надходять дані від пристрою. Детальніше **КБ** описано в п.3.2.

б) інтерфейсний блок (**ІБ**) призначений для отримання внутрішньої інформації та управління драйвером. Вхідним параметром є регістр **AX**, в якому передається індекс необхідної команди. Якщо **BX = 2**, то можна отримати буфер відповіді на цю команду, не змінюючи режиму запиту команд, тобто “підглянути” в область таблиці прийому. Після виклику **INT 18** регістр **AX** міститиме сегмент, а **BX** – адресу повного буфера відповіді на цю команду. Через **DX** передають кількість прийнятих байт, а **SI** – кількість тиків після останнього відсилання команди. Якщо під час виклику **INT 18** вказати **BX=1**, то команду буде виконано негайно. Якщо **BX = 0**, то команду буде виконано в режимі загальної черги, тобто, у відповідному місті буде встановлено прапорці на знак того, що команда готова до виконання. Якщо **BX = OFF**, то переривання повертає інформацію з вхідного буфера, який для цієї команди буде відправлений до пристрою;

в) блок розпаралелювання (**РБ**) (**INT 08**). Призначений для виконання графіка відсилання команд. Кожна команда має власний період відсилання в тіках 1/18 сек. Якщо вказаний період дорівнює 1, то команда виконується один раз під час завантаження драйвера. Якщо період дорівнює 0, то команда не виконується, а очікує на звертання до неї через **INT 17**. Після активації тих команд, до яких підійшла черга, цей блок передає управління попередньому обробнику **INT 08**.

d) блок роботи з послідовними портами (ПБ) (INT 0C). Призначений для паралельного відсилання даних через багатопортову плату. Активізується лише під час надходження байта або закінчення відсилання байта.

Запропоноване розбиття системи на блоки та прив'язка основних функцій драйвера до переривань значно полегшує стикування програм з вже розробленими компонентами та робить прозоріший підхід до всієї системи загалом. Було розроблено спеціалізовані засоби, які, спираючись на виклик переривань, дають змогу проконтролювати як датчики, так і проходження сигналів на виконавчі пристрої.

#### 4. Організація комунікаційного блока

Результат для системи SCADA повертається через AX. Регістр BX завжди містить 0. Це зумовлено тим, що SCADA значення BX трактує як результат виконання команди. Нульове значення регістра означає, що команда успішно виконана. Якщо BX дорівнює одиниці, то виникла помилка виконання команди, а в цьому випадку SCADA починає циклічно повторювати виконання команди доти, поки не повернется в BX значення нуль. Це може призвести до зависання системи. Щоби цього уникнути, розроблено нову систему роботи з помилками, яка дає змогу класифікувати і виявити усі помилки без реакції SCADA на значення BX. Тому для системи будь-яка команда завжди успішно виконується, що визначається рівністю  $BX = 0$ .

У результаті успішного виконання будь-якої з команд IB регістри містять:

AX – адресу сегмента блока даних, в якому зберігається результат, який повернув пристрій;

BX – зміщення блока в сегменті даних;

DX – кількість байт блока даних (CNT).

CX – повертається номер помилки (ERR) (0 – нормальне завершення, 1 – помилка timeout, 2 – помилка приймання, 3 – помилка CRC).

Режими in та out стосовно формату відсилання відрізняються наявністю старшого біта в слові регістра AX в режимі out. Це означає негайне виконання команди, тобто виклик інтерфейсного блока. У режимі in цей біт завжди дорівнює нулю, що змінює внутрішній механізм роботи комунікаційного блока. Ця зміна полягає в тому, що у випадку успішного виконання на боці інтерфейсного блока команди у комунікаційному блоці, шляхом переміщення даних з області сегмента DS інтерфейсного блока формують віртуальну таблицю даних (VT). Якщо наступним викликом із сторони SCADA є та сама команда з тим чи іншим регістром, дані повертатимуться з VT. При цьому не викликається інтерфейсний модуль, що пришвидшує відгук внутрішніх пристроїв у системі. Вибір даних з VT переривається однією з трьох подій:

- вибрано усі дані;
- відіслано іншу команду;
- відіслано команду в режимі out;
- попередній виклик команди завершився помилкою, тобто значення в CX відрізняється від нуля.

Загальну схему роботи комунікаційного блока наведено на рис. 4.

Описаний механізм організації і роботи VT дає змогу задіяти блокові команди протоколу MODBUS. Система SCADA є одноканальною (однорегістровою) і не підтримує блочних режимів роботи. KB обмінюється з IB індексом і цим забезпечує виконання іншими блоками драйвера передавання на виконання блокової команди зазначеного протоколу. ПУ відповідає в блоковому режимі і результат саме блокової команди повертається KB. Відповідь від IB є вектором одnobайтових елементів і формується у поканальні комірки VT. У результаті стає можливим формувати пореєстрові відповіді для SCADA без додаткових викликів решти складових драйвера і ПУ. Цього досягають, як вже зазначалося, повертанням значення іншого каналу (регістру) під час повторного виклику, який вибирають тільки з VT.

Якщо виникне помилка, то вона відображається на екрані диспетчера.

На рис. 5 подано головну екранну форму АРМ диспетчера АСУТП підстанцією ПС 110/10 кВ “Промислова” ВАТ “Тернопільобленерго”.

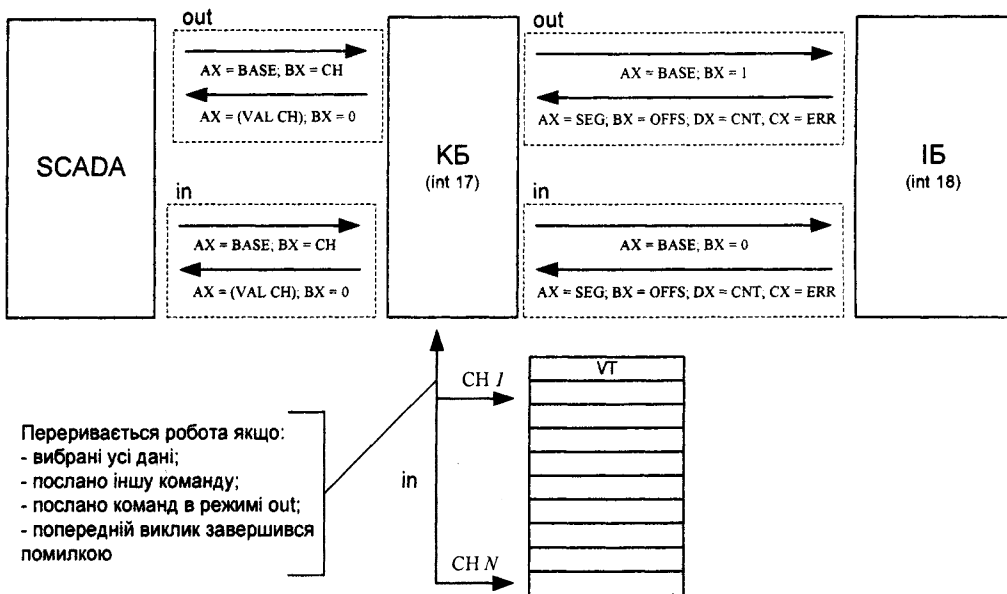


Рис.4. Схема роботи комунікаційного блока

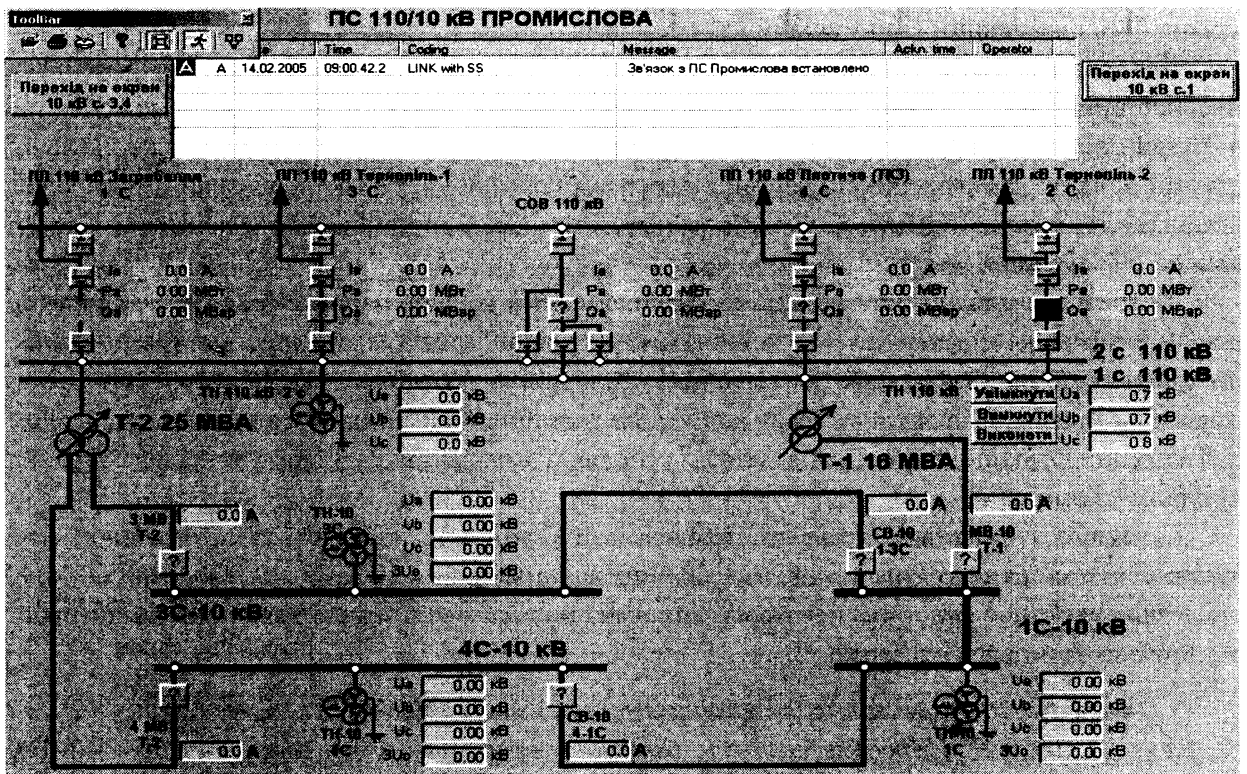


Рис. 5. Головна екранна форма АРМ диспетчера АСУПП підстанцією ПК 110/10 кВ

## Висновки

Особливостями і перевагами запропонованої паралельної структури АСУ порівняно із традиційними системами телемеханіки є:

- прозорість структури і можливість контролювати систему у будь-якому місці за будь-яким параметром, тобто, мінімізація затрат на вивчення структури системи та алгоритмів функціонування.
- гнучкість і здатність до нарощування або заміни компонентів. В АСУ підстанції можна інтегрувати будь-які сучасні пристрої релейного захисту, автоматики, вимірювання і регулювання.

- мінімізація затрат на рівні підстанції, оскільки відсутня надлишковість апаратних засобів. Вартість обладнання прямо пропорційна кількості приєднань чи пристроїв. Вартість знижується також за рахунок різкого зменшення кількості контрольних кабелів, які використовують у традиційних системах телемеханіки.

- істотне скорочення часу впровадження АСУ на нових підстанціях або нетелемеханізованих підстанціях за рахунок зменшення обсягу монтажних робіт.

- АСУ забезпечує значно вищу інформованість оперативного персоналу про події на підстанції завдяки повноті надходження інформації із сучасних інтелектуальних пристроїв.

- можливість інтеграції АСУ або її компонентів в інші автоматизовані системи, зокрема оперативно-інформаційні комплекси інших виробників.

Можна сказати, що правильне проектування автоматизованих систем передбачає чітке розуміння функції кожної компоненти. При цьому ці функції треба розділяти на такі, що стандартно виконуються при нормальному функціонуванні, і функції, які може виконати будь-яка компонента системи у критичній ситуації.

Структура системи повинна бути чіткою і прозорою не лише на графіко-схематичному рівні, але, як не дивно, – і на лінгвістичному рівні. Це означає, що головною складовою будь-якої автоматизованої системи є людина, яка приймає рішення з використанням мовних засобів. Тому компоненти системи повинні мати чіткі назви, а їх функції (як існуючі, так і теоретично можливі) повинні бути очевидними і зрозумілими для персоналу.

Для синхронізації паралельних дій в автоматизованих системах управління необхідно використовувати набір певних логічних ознак (прапорців), які відображають логіку роботи системи та її стан на певний момент і відіграють не меншу роль, ніж функції компонент. Отже, першим кроком до перевірки коректності системи є перевірка логічної коректності множини її прапорців. Очевидно, що кожний прапорець також повинен мати чітке і зрозуміле формулювання і мету, з якою його вводили до системи.

І, нарешті, очевидно, що в процесі еволюції системи у жодному випадку не можна змінювати логічні визначення прапорців, а також назви і функціональні визначення вже розроблених компонент системи. Можна лише додавати нові прапорці і нові компоненти. Для збереження цього дозволяється навіть змінювати загальну концепцію системи. Якщо змінюється загальна концепція, то попередні функції мають наслідуватись у нових компонентах, а старі компоненти будуть поступово “відмирати”.

І основне – реалізація драйвера паралельного опитування забезпечила покращання часу відклику системи на телесигнали та телеінформацію від пристроїв в 10 разів а також повністю було ліквідовано проблему «штурму» пристроїв запитами при досягненні значно вищої інформативності про помилки запитів від пристроїв.

1. Таненбаум Э. *Современные операционные системы*. 2-е изд. – СПб.: Питер, 2002. – 1040 с.
2. Олсон Г., Пиани Д. *Цифровые системы автоматизированного управления*. 3-е изд. – СПб.: Невский Диалект, 2001. – 557 с.