

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
АЕРОКОСМІЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ
КАФЕДРА КОМП'ЮТЕРИЗОВАНИХ ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ ТА
ТЕХНОЛОГІЙ

ДОПУСТИТИ ДО ЗАХИСТУ
Завідувач випускової кафедри
В.П. Квасніков
“ _____ ” _____ 2022 р.

ДИПЛОМНА РОБОТА
(ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА)
ЗДОБУВАЧА ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ «БАКАЛАВР»

Тема: «Автоматизована система для керування теплопостачального пунктом»

Виконавець

студент групи ЕЕ-414

Вавдійчик Станіслав Олександрович

Керівник

д. т. н. Орнадський Дмитро Петрович

Нормоконтролер

к.н.т. Катаєва Марія Олександрівна

Київ 2022

НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Аерокосмічний факультет

Кафедра: комп'ютеризованих електротехнічних систем та технологій

Освітній ступень: «Бакалавр»

Спеціальність: 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»,

Освітньо-професійна програма «Електротехнічні системи

електроспоживання»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

В.П. Квасніков

« _____ » _____ 2022 р.

ЗАВДАННЯ

на виконання дипломного проекту

Вавдійчик Станіслав Олександрович

1. Тема проекту «Автоматизована система для керування тепlopостачального пунктом».

Затверджена наказом ректора від «19» квітня 2022 № 396/ст.

2. Термін виконання проекту: з 10.05.2022 по 15.06.2022 .

3. Календарний план графік

№	Завдання	Термін виконання	Підпис керівника
1.	Вивчення інформаційних джерел	10.05-15.05	
2.	РОЗДІЛ 1 ДОСЛІДЖЕННЯ КОТЕЛЬНОЇ УСТАНОВКИ	16.05-23.05	
3.	РОЗДІЛ 2 ОГЛЯД ТЕХНІЧНИХ РІШЕНЬ ТА ВИБІР СТРУКТУРНОЇ СХЕМИ	24.05-28.05	
4.	РОЗДІЛ 3 РОЗРОБКА СХЕМ ТА РОЗРАХУНОК ПОХИБОК	29.05-05.06	
5.	РОЗДІЛ 4. РЕЗУЛЬТАТИ МОДЕЛЬНОГО ЕКСПЕРЕМЕНТУ	16.05-09.06	
6.	Складання висновків	10.06-14.06	

9. Дата видачі завдання: 2022 р.

Керівник дипломної роботи (проекту) _____ Орнадський.Д.П
(підпискерівника) (П.І.Б.)

Завдання прийняв до виконання _____ Вавдійчик.С.О
(підписвипускника) (П.І.Б.)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до дипломної роботи «Проектування та застосування регульованих асинхронних електроприводів на технічних об'єктах»: **70 сторінок, 24 використаних джерел.**

Об'єкт дослідження –автоматизована система управління котельною установкою.

Предмет дослідження –аналоговий інтерфейс для вимірювання технологічних температур приготування теплоносія із заданими параметрами.

Мета роботи: розробити аналоговий інтерфейс для вимірювання технологічних температур приготування теплоносія із заданими параметрами, що відрізняється більш високими техно-економічними показниками.

Актуальність теми: обумовлена відсутністю на ринку АСУТП вітчизняних товаровиробників для котельних установок малої і середньої (0.1-20МВт)теплопродуктивності, попит на які різко зріс останнім часом у зв'язку з тенденцією економії енергоресурсів.

ЗМІСТ

РОЗДІЛ 1 ДОСЛІДЖЕННЯ КОТЕЛЬНОЇ УСТАНОВКИ.....	5
РОЗДІЛ 2 ОГЛЯД ТЕХНІЧНИХ РІШЕНЬ ТА ВИБІР СТРУКТУРНОЇ СХЕМИ.....	9
2.1. Особливості АСУТП модульних котелень.....	9
2.2. Можливість використання сучасних апаратних засобів для реалізації АСУТП модульних котелень.....	11
2.3. Опис структурної схеми.....	29
2.4. Вибір датчика.....	32
РОЗДІЛ 3 РОЗРОБКА СХЕМ ТА РОЗРАХУНОК ПОХИБОК.....	35
3.1. Розробка функціональної схеми та попередній аналіз похибок.....	35
3.1.1. Похибка датчика.....	36
3.1.2. Розробка функціональної схеми передавальної частини аналогового інтерфейсу.....	37
3.2. Розробка та розрахунок принципової схеми (функціональної частини).....	40
3.3. Аналіз похибок.....	45
3.3.1. Похибка ІІІ.....	45
3.3.2. Аналіз залишкової похибки у вимірювального каналу.....	46
РОЗДІЛ 4. РЕЗУЛЬТАТИ МОДЕЛЬНОГО ЕКСПЕРЕМЕНТУ.....	48
4.1. Основи стандартизації, сертифікації та контролю якості.....	52
Висновки.....	64
Список літератури.....	65

РОЗДІЛ 1

ДОСЛІДЖЕННЯ КОТЕЛЬНОЇ УСТАНОВКИ

Гарячу воду відповідного тиску і температури (один з основних видів теплоносія) отримують у котельній установці.[1] Установа являє собою сукупність пристроїв та механізмів для спалювання палива та отримання теплоносія. Котельна установка складається з одного або декількох робочих та резервних котельних агрегатів та допоміжного обладнання, що розміщується в межах котельного приміщення або поза ним. Нормальна та безперебійна робота забезпечуються необхідними контрольно-вимірювальними приладами, апаратурою та засобами автоматики.

Необхідність у тих чи інших допоміжних пристроях та його елементах залежить від таких пунктів:

1. Призначення котельної установки
2. Виду палива та способу його спалювання.

Основними параметрами котлів вважають:

1. Теплопродуктивність.
2. Тиск
3. Температура теплоносія
4. ККД.

Система автоматичного регулювання котельних установок забезпечує:

1. Зміну теплопродуктивності установки при збереженні заданих параметрів (тиску та температури)
2. Максимальний ККД установки.
3. Підвищує безпеку,
4. Надійність
5. Економічність
6. Скорочує кількість обслуговуючого персоналу та полегшує умови його праці. [1]

Автоматичне регулювання котла включає регулювання подачі води, температури теплоносія та процесу горіння. При регулюванні роботи котла забезпечується відповідність між витратами води, що подається в котел, і теплоносія, що виробляється.

Робота котельних установок має бути надійною, економічною та безпечною для обслуговуючого персоналу. Для виконання цих вимог котельні установки експлуатуються відповідно до правил пристрою та безпечної експлуатації водогрійних котлів та робочих інструкцій, складених на основі правил Держгіртехнагляду з урахуванням місцевих умов та особливостей обладнання.

Котел повинен бути обладнаний необхідною кількістю контрольно-вимірювальних приладів, автоматичною системою регулювання параметрів котла, захисними пристроями та сигналізацією. Режими роботи котла повинні відповідати режимній карті, в якій вказані рекомендовані технологічні та економічні показники його роботи: параметри теплоносія та зворотної води, вміст RO_2 у газах, температура та розрідження газовим трактом, коефіцієнт надлишку повітря тощо. Більшість сучасних котелень повністю автоматизовані. Очевидно, що якість автоматизованої системи визначається точністю та швидкістю виміру основних технологічних параметрів. Що у свою чергу залежить від якості аналогового інтерфейсу.[2]

Загальне уявлення про процес автоматизованого котельної установки на рідкому або газоподібному паливі можна отримати при знайомстві з котельними агрегатами промислової групи «Генерація».

Крім блочно-модульних транспортабельних котелень на базі котлів КСВм пропонуються стаціонарні котельні в будівлях з конструкцій, що у свою чергу легко зводяться, а також котельні на базі котлів КВГМ, ВК (КСВа), КВу та будь-яких інших котлів, у тому числі й іноземних виробників.

Основна функція, яку виконує автоматизована блочно-модульна котельня - підтримання заданої температури теплоносія в системі опалення

та в системі гарячого водопостачання. Ці котельні широко застосовуються у промисловості та на об'єктах ЖКГ.

Котельні установки УКМ мають такі особливості:

В основі лежить концепція максимального наближення джерела теплової енергії до споживача з мінімальними витратами ресурсів на вироблення 1Гкал теплоносія.

Функції системи автоматики:

1. Запуск та зупинка котлів в автоматичному та ручному режимах:

- в автоматичному режимі – почерговий запуск та зупинка котлів для підтримки заданої температури води в мережі;

- у ручному режимі - підтримка температури котлової води регулювальним термостатом, розташованому на панелі управління котлом;

2. Зупинка котлів у разі порушення технологічних режимів:

- у разі зниження або перевищення гранично допустимого рівня тиску котлової води;

- при підвищенні температури у котлі вище 102-105 С при аварійному відключенні циркулярного насоса котлової води;

- при аварійному відключенні димососа;

3. Відображення інформації:

- інформація про роботу котельні надходить на інформаційну панель диспетчера та РКІ-панель контролера в котельні; Додаткові функції (автономні підсистеми):

- контроль концентрації газів СН₄ та СО у приміщенні котельні та відключення подачі газу до котельні при підвищенні концентрацій гранично-допустимих (ГДК);

- контроль виникнення пожежі в приміщенні котельні, включення звукового та світлового сигналу на панелі диспетчера/спостерігача;

- охоронні функції - дозвіл доступу до приміщення котельні та виявлення несанкціонованого проникнення з виведенням сигналу на панель диспетчера;[6]

Таблиця 1.1.

Технічні характеристики котельнь водонагрівальних установок на базі котлів серії КСВм «Генерація»

НАЙМЕНУВАННЯ ПОКАЗНИКА	ТИП УСТАНОВКИ		
	УКМ-0,5 ВГЖ	УКМ-1,0 ВГЖ	УКМ-1,5 ВГЖ
Марка казана	КСВм-0,25	КСВм-0,5	КСВм-0,5
Теплопродуктивність, МВт (Гкал/год)	0,5 (0,43)	1,0 (0,86)	1,5 (1,29)
Кількість котлів	2	2	3
Тиск теплоносія, МПа (кгс/см ²)	до 0,5 (5,0)	до 0,5 (5,0)	до 0,5 (5,0)
Паливо	Газ; легке пічне дизельне; нафту; мазут		
Розрахунковий ККД, %	94%	94%	94%
Температура води, °С:			
на вході, не менше	70-60	70-60	70-60
на виході, не більше	115	115	115
Габаритні розміри, м:			
довжина	12,0	12,0	12,0
ширина	6,4	9,6	12,8
висота	3,4	3,4	3,4
Кількість блок-модулів	2	3	4

Метою дипломного проекту є розробка прецизійного аналогового інтерфейсу для вимірювання температури теплоносія, технологічного обладнання підвищення(ККД)установки.

РОЗДІЛ 2.

ОГЛЯД ТЕХНІЧНИХ РІШЕНЬ І ВИБІР СТРУКТУРНОЇ СХЕМИ

2.1. Особливості АСУТП модульних котельень.

Модульні котельні - це відповідь на потребу оптимізування проблем середніх та малих споживачів тепла та гарячої води (0,1-20 МВт). Їх основними перевагами є:

- велика ефективність з погляду капіталовкладення;
- висока економічність експлуатації;
- повністю автоматизований режим роботи;
- дбайливе ставлення до екології.

Завдяки універсальному об'єднанні кількох котлів у модульну (каскадну) схему з'являється можливість оптимізувати отримання гарячої води та тепла. Модульна котельня стає економічним джерелом тепла та гарячої води. Тим самим актуальним компромісом між індивідуальним та центральним теплопостачанням різних об'єктів. На користь модульних котельень говорить і швидкість встановлення заздалегідь підготовлених модулів. Також великою перевагою модульних котельень є компактність.

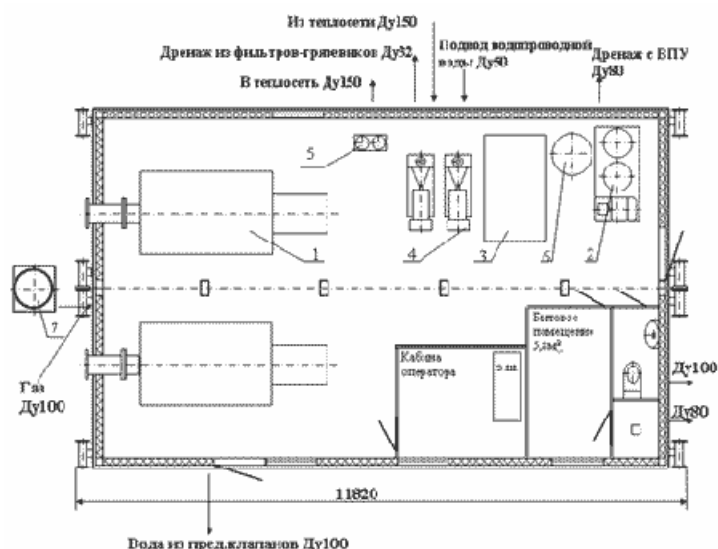


Рис. 2.1. Склад котельні.

На рис.2.1. Зображено:1. Котел водогрійний,2. Вентилятор дутьовий,3. Димосос дутьовий,4. Насос мережевий,5. Насос підживлювальний,6. Хімічна водопідготовка на комплексоні.,7. Бак запасу хімічно чистої води,8. Грязевик теплових пунктів.

Блок-модулі, які на місці експлуатації з'єднуються разом, є малогабаритними приміщеннями, всередині яких змонтовано котельне та допоміжне обладнання і засоби автоматики. На рис.2. 1 представлена схема модульної котельні групи "Генерація". Кожен котел з'єднаний газоходом із загальною димовою трубою. Розміщені вони за будівлею котельні. Можливе збільшення теплопродуктивності котельні шляхом приєднання до неї додаткового блок-модуля. Система автоматики забезпечує:

1. Запуск та зупинку котлоагрегатів
2. Двопозиційне (40 та 100%) регулювання теплопродуктивності
3. Захист при порушенні заданого режиму роботи.

Використання досягнень інформаційної технології дозволяє ідеально регулювання тепловиробництва котельні на протязі усього часу роботи.

Завдяки новітнім технологіям котли можна оснащувати комунікаційним інтерфейсом, що у свою чергу дозволяє передавати інформацію між котлами. Це дозволяє плавно регулювати роботу всіх котлів у одночасно.[17]

Модульну котельню утворює певна кількість котлів (від 2 до 16), з'єднаних такою метою, щоб їх пристрій з плавно налаштованим регулюванням увімкнення та вимкнення міг покривати споживання тепла.

Застосування сучасних елементів управління та регулювання на основі мікропроцесора з використанням з'єднань комунікацій дає можливість модулювати їх загальну теплопродуктивність, що здійснюється на основі оцінювання всіх вхідних даних, що надходять від підключених елементів регулювання. Принципова відмінність від відомих подібних пристроїв полягає у використанні сучасних досягнень інформаційних технологій, які дозволяють керувати всім процесом за допомогою апаратних та програмних

засобів що у свою чергу дає можливість нехтуванням або повною відмовою від дорогих каскадних перемикачі, які могли виконувати досить прості функції вмикання або вимикання котлів. Основні переваги котлів це можливість працювати з плавним регулюванням теплопродуктивності при цьому залишалися невикористаними.

Підвищення ефективності модульних котельнь може бути досягнуто застосуванням плавного регулювання та комунікації, між котлами, так зовнішнім середовищем. Яке передбачає використання прецизійного швидкодіючого аналогового інтерфейсу, що дозволяє вимірювати близько 100 технологічних параметрів за час, що не перевищує 0,1. При цьому похибка виміру температури є дуже низькою (0,03°C.)[6]

2.2. Можливість використання сучасних апаратних засобів для реалізації АСУТП модульних котельнь.

В даний час набули поширення два основних способи побудови аналогових інтерфейсів АСУТП:

- з використанням (централізованої) архітектури;
- з використанням (децентралізованої) архітектури.

Розглянемо приклади існуючих систем, що реалізуються за першим способом. Можна виділити систему автоматизації казанів ВК-22 типу КОТ БУС-1-01. Ця система створена на основі комплексу засобів для побудови локальних вимірювальних та керуючих систем (КТС ЛІУС-2).

КТС ЛІУС – агрегатний Комплекс Технічних Засобів для Локальних Інформаційно-Керувальних Систем, застосовується для автоматизації окремих агрегатів, технологічних установок у розподілених автоматизованих системах управління технологічним обладнанням. КТС ЛІУС можуть використовуватися також як автономні мікропроцесорні пристрої управління та контролю, що поставляються з технологічним обладнанням.

Висока стійкість виробів КТС ЛІУС до зовнішніх факторів (пилу, бризок, підвищеної та зниженої температури навколишнього повітря, тертя, вібрації, ударів, електричних перешкод) дозволяють експлуатувати їх у виробничих приміщеннях. Основу КТС ЛІУС утворює функціонально сукупність виробів з уніфікованими зовнішніми зв'язками (агрегатних модулів, несучих конструкцій, допоміжних і сервісних виробів). Взаємопов'язаних та узгоджених за призначенням, конструкціями, основними технічними параметрами та умовами застосування.

Використання схожих багатопроцесорних магістрально-модульних структур, інтерфейсів та агрегатних модулів на базі 8 та 16 – розрядних однокристальних мікропроцесорів підвищує продуктивність та відміно стійкість систем, на базі КТС ЛІУС.

Функціональна повнота передбачає можливість ефективної реалізації на базі КТС ЛІУС усіх функцій збору, обробки, зберігання, передачі даних, ручного введення та відображення інформації. Формування та видачі команд управління у розподілених АСУ ТП для будь-яких галузей промисловості та в непромисловій сфері.

Відкритість характеризує широкі можливості зміни складу КТС ЛІУС (модернізації та розробки нових виробів для розширення кола розв'язуваних завдань, областей застосування та (або) поліпшення споживчих властивостей та техніко-економічних характеристик окремих виробів) за збереження стійкості системної основи (структури, інтерфейсів, конструктивної бази та ін.).

Основу КТЗ ЛІУС складають конструктивно автономні, функціонально закінчені агрегатні модулі, реалізовані на стандартних висувних монтажних платах (модулі першого порядку). Інформація здійснює обмін між модулями по внутрішньо блоковій інтерфейсній шині в типовому каркасі компонування.

Уніфікація зовнішніх зв'язків (основних розмірів, сигналів, інтерфейсів та ін.) забезпечує всі види сумісності виробів при проектуванні,

комплектуванні та експлуатації АСУ ТП. Уніфікацію фізичних зв'язків та протоколів обміну по внутрішньо блочній шині між агрегатними модулями першого порядку забезпечує стандарт паралельного інтерфейсу ІК1.[9]

Мультиплексорні структури в локальних зонах (другий рівень компонування) утворюються шляхом інформаційного об'єднання: блоків, скомпонованих у типових каркасах з агрегатних модулів першого порядку; агрегатних модулів другого та третього порядку з номенклатури КТС ЛІУС; запозиченої периферійної апаратури; засобів сублокального шару (зокрема програмованих контролерів, «вбудованих» у технологічне устаткування).

Елемент введення-виведення сигналів постійного струму КС 31.36 (КТС ЛІУС-2). Елемент призначений для перетворення сигналів напруги постійного струму, вихідної напруги резистивних та напівпровідникових тензоперетворювачів сили, термоперетворювачів опору в нормальний двійковий код та живлення напругою постійного струму резистивних та напівпровідникових тензоперетворювачів сили, термоперетворювачів опору (рис. 2).

Технічні характеристики:

1. Вхідні сигнали: -8 безперервних 0 20; ± 20 ; 0 100; ± 100 мВ; 0 | 1; ± 1 ; 0 , 10; ± 10 В.
2. Сигнали терморезистивних перетворювачів;
3. Допустима похибка: $\pm 0,2$ %;
4. Номінальна ціна ЕНРК та час перетворення;
5. Програмується по шині ІЧ 1 (внутрішньо блочних шинах 1-го компонування рівня, між блочна шина, внутрішня системна магістраль, ІРПС);
6. Сполучається з шиною ІЧ 1 як ініціативний елемент введення-виведення.

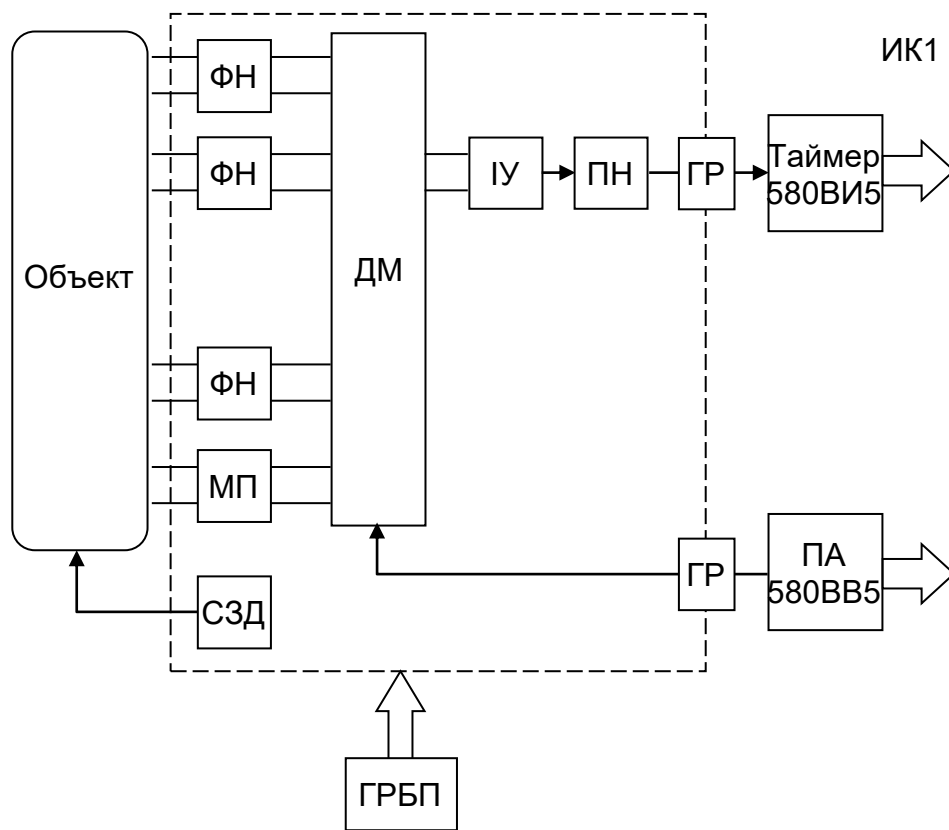


Рис. 2.2. Структурна схема КС 31.36.

На рис.2.2. Зображено: ФНЧ – фільтр нижніх частот; МПТ - заходи постійного струму; ДМ – диференціальний мультиплексор; ІУ – вимірювальний підсилювач; ПНЧ - перетворювач напруга-частота; ГР - гальванічна розв'язка для цифрових сигналів; ПА – паралельний адаптер; СЗД – засоби запитки датчиків; ГРБП - гальванічно розв'язаний блок живлення.

Розглянемо приклад автоматизації котелень на основі комплексу АСУТП ДІДРА-2. Основою обладнання УСО кожної з робочих ліній є крейт УСО. АСУТП ДІДРА2 містить три крейти, по одному на кожну лінію. Всі три крейти розташовані у стійці УСО і мають однакову структуру апаратних засобів. Вбудоване програмне забезпечення має відмінність інтелектуальних

плат одна від одної лише в тому, що кожен з них працює на незалежне обладнання різних технологічних ліній.

Кожен із крейтів УСО забезпечує обслуговування наступних ресурсів установки:

1. Контроль 32 каналів загального призначення (4 плати) для сигналів від термоелектричних перетворювачів з градуванням типу ХА-68. Які мають робочим діапазоном 0-800°C, з основною наведеною похибкою 1% та роздільною здатністю 1024 точки.

2. Контролює 4 прецизійні канали (1 плата) для сигналів від термоелектричних перетворювачів з градуванням типу ХА-68. Робочий діапазон 0-800°C, основною наведеною похибкою 0,25% та роздільною здатністю 4096 точок.

3. Контроль 8 високорівневих каналів (для підключення датчиків тиску та іншої апаратури з нормалізованими виходами з рівнями сигналів 0~5В або 0~5мА (7 плати)). Основною наведеною похибкою 1% та роздільною здатністю 1024 точки.

4. Обслуговування всього обладнання на локальній гілці MicroLAN робочої лінії, завдяки розміщенню в крейті інтелектуальної плати провідного однопровідної лінії (1 плата).[22]

Кожна з чотирьох плат нормалізації сигналів від термопар загального призначення має будову з восьми індивідуальних нормалізаторів та ізольованим входом. Для організації вимірювальних каналів із ізольованим входом краще використовувати вимірювальний підсилювач типу AD202JY фірми Analog Devices. Коефіцієнт переходу по тракту визначається співвідношенням резисторів схеми і може змінюватися в діапазоні 1~100. До складу схеми кожного вузла нормалізатора включено низькочастотний фільтр. Що дозволяє знизити вплив на процес перетворення перешкод із періодом меншим 20 мс. Коефіцієнт зниження синфазних завад по кожному з каналів у своїй забезпечується лише на рівні 85 Дб. Плата темопарних

каналів забезпечує обслуговування двох термоелектричних перетворювачів завантажувальної камери та двох перетворювачів для труби зливу літїю.

Сигнали на цих каналах мають реєструватися з більш високою роздільною здатністю та точністю. Це можливо завдяки використанню у складі трактів, через вбудовані засоби цифрової обробки та шумопридушення. [7]

Подібна плата повинна бути 4-канальною автономною мікропроцесорною системою. Вона призначена для розширення динамічного діапазону реєстрованих сигналів від термопар. Вона повинна дозволяти досягти 14 розрядів за відносної наведеної інструментальної похибки не більше 0,25%. Низькорівневі вхідні сигнали плати можуть оцифровуватися за допомогою чотирьох АЦП AD7715 фірми Analog Devices. AD7715 - це дельта-сигма АЦП, що володіє цифровою обробкою сигналу, що реєструється завдяки вбудованому DSP-конвертору. Виходи кожного з АЦП плати підключені використовуючи послідовний інтерфейс SPI через вузол до мікроконтролера типу Z86E0812PSC фірми Zilog. Цей мікроконтролер повинен здійснювати повне управління роботою цих перетворювачів. Мікроконтролер також калібрує кожного з чотирьох підсилювальних трактів та управління функціонуванням решти всіх вузлів плати. Плата струмових нормалізаторів побудована на базі восьми ІУ типу AD622 та мікросхеми інтегрального мультиплексора. Мультиплексор перемикає якого здійснюється під дією зовнішніх сигналів управління. Наявність спеціалізованих струмових низькоомних шунтів на вході ІУ ($1000\text{Ом}\pm 0,1\%$ (для рівнів сигналу 0-5 мА) або $250\text{Ом}\pm 0,1\%$ (для рівнів сигналу 0-20мА)) забезпечує перетворення струмового вхідного сигналу в потенційний уніполярний сигнал.

Для управління обладнанням, розташованим на однопровідній гілці (клемник контролю сигналів від кінців установки, тиристорних регуляторів, датчика ТХС). До складу крейту входить плата контролера локальної лінії MicroLAN. Плата базується на базі периферійного контролера типу AT90S4414-8PI фірми Atmel. Драйвер однопровідної лінії, виконаний за спеціальною схемою з активною підтяжкою.

Драйвер дозволяє обслуговувати лінії MicroLAN великої протяжності, що відрізняються великою кількістю абонентів, в умовах високого рівня перешкод.[18]

Управління крейтом здійснюється платою провідного контролера крейта (знаходиться у першій позиції). Сам головний мікроконтролер 80C196KR16 фірми Intel працює під управлінням програми.

Програма знаходиться у зовнішній пам'яті, що досить зручно з метою забезпечення швидкої модифікації та зміни функціональної організації роботи крейту.

Для управління потужністю кожного з нагрівачів робочої лінії установки використовується окремий пристрій - індивідуальний інтелектуальний силовий блок-регулятор, який в подальшому називатимемо регулятором потужності нагрівача. Регулятори потужності розміщуються в електричній шафі робочої лінії. Раніше на кожній лінії було розташовано 6 нагрівачів то тепер їх кількість слід збільшити до 7.

Кожен регулятор потужності нагрівача складається з двох частин:

1. контролера потужності - який працює під керуванням провідного однопровідної локальної мережі MicroLAN.

2. блоку зовнішнього симістора (BC) - які в свою чергу забезпечують безпосередню комутацію електричної енергії нагрівачів лінії, відповідно до керуючих сигналів, які надходять від локальних контролерів потужності, що отримують у свою чергу команди про рівень підтримуваної потужності локальної гілки MicroLAN від крейта. Крейт обслуговує кожну конкретну лінію. Блоки зовнішніх симісторів забезпечують безконтактну комутацію та регулювання електроенергії з високим струмом споживання (до 22 А). Використовується у складі установки штатних блоків BC-40.

Електрична шафа кожної робочої лінії повинна містити сім плат локальних контролерів потужності для управління перемикань силових блоків зовнішніх симісторів. Плати побудовані на базі мікроконтролера типу Z86E02PSC8.

У цих контролерах реалізований спеціальний апаратно-програмний механізм синхронізації роботи, також реалізовані програми приладу з частотними характеристиками мережі. Завдяки такому механізму на кінці кожної з плат формуються керуючі імпульси для перемикання силових блоків. Регулювання величини електричної потужності, забезпечується завдяки відпрацюванню кожним з контролерів алгоритму фазового регулювання. Такий спосіб регулювання забезпечує управління нагрівачами, що значно збільшить термін їх служби. Для зв'язку з однопровідною лінією на платі локального контролера потужності може бути використана мікросхема двоканального адресованого ключа типу DS2407P. При цьому ключ «А» цього приладу може слугувати безпосередньо для передачі даних, а ключ «У» їхнього тактування (синхронізації обміну). [12]

Управління роботою кожного з контролерів проводиться відповідно до робочої уставки та показників контрольної термопари. Значення робочої уставки для кожного нагрівача та номер відповідної їй контрольної термопари лінії може бути задано:

1. Оператором установки.
2. З одного з комп'ютерів ІУК.
3. Безпосередньо з передньої панелі управління крейтом.

При цьому, основний контролер крейта передає значення цих параметрів через плату провідної однопровідної лінії безпосередньо до плат локальних контролерів потужності за допомогою інтерфейсу MicroLAN.

Для забезпечення корекції показань термопар, вільні кінці яких підключаються до клемних панелей безпосереднього сполучення первинних перетворювачів. Кожен із датчиків працює в таких межах від -40°C до $+100^{\circ}\text{C}$, контролюючи температуру з похибкою не більше $\pm 1,0^{\circ}\text{C}$ та роздільною здатністю не менше 8 розрядів.

Для АСУТП широко застосовуються універсальні вимірювачі-регулятори. Одним із типових вимірників-регуляторів є двоканальний 2ТРМО фірми ОВЕН:

1. Клас точності 0,5/0,25;
2. Два входи для вимірювання температури. За допомогою датчиків вимірювання інших фізичних величин (тиску, вологості, витрати, рівня тощо):
3. Термоперетворювачі опору типу (ТСМ та ТСП 50/100, Pt100);
4. Термопар ТХК, ТХА, ТНН, ТЖК, ТПП(S), ТПП(R);
5. Датчиків з уніфікованим вихідним сигналом струму (0(4)...20 мА), (0...5 мА) або напруги (0...1);
6. Цифрова корекція та фільтрація вхідного сигналу;
7. Масштабування шкали для аналогового входу;
8. Обчислення різниці вимірюваних величин ($\Delta T = T1 - T2$);
9. Індикація поточних значень виміряних величин T1, T2 або їх різниці на вбудованому 4-розрядному світлодіодному цифровому індикаторі;
10. Збереження заданих параметрів у разі відключення живлення;
11. Програмування кнопками на лицьовій панелі приладу;
12. Захист від несанкціонованих змін параметрів.

Для побудови АСУТП на основі ПК широко застосовуються вимірювальні перетворювачі з уніфікованими вихідними сигналами, наприклад, термопреобразувача з уніфікованим струмовим вихідним сигналом ТСПУ 9313 і ТСМУ 9313 ВАТ НВП «ЕТАЛОН», термоперетворювачі фірми ТЕСЕЙ, технічні характеристики яких наведені в таблиці 2.1 [7]

Технічні характеристики котельнь водонагрівальних установок на базі котлів серії КСВм «Генерація» малої потужності представлені на таблиці 2.1

Таблиця 2.1.

термоперетворювачі фірми ТЕСЕЙ технічні характеристики

Тип термопре- утворювача	Тип НСХ	Діапазон перетворення, °С	Клас точності	
			інтервал температур, °С	основна похибка, ±%, не більше
КТХАУ	ХА	0...600	0...600	1,5 (0,5)
		0...900	0...600	1,5
			600...900	0,5
		0...1200	0...500	2,0
			500...1200	1,0
ТСМТУ	100М	-50 ... +50	-50 ... +50	0,25 (вихідний сигнал 4-20 мА)
		-50 ... +100		
		-50 ... +150		
		0...+50		
		0...+100		
		0...+150		
0...+180				
ТСПТУ	100П, Pt 100	-50 ... +50	0...+100	0,5 (вихідний сигнал 0-5 мА)
		-50 ... +150	0...+200	
		-50 ... +200	0...+300	
		0...+50	0...+400	
		0...+100	0...+500	
		0...+150		
		0...+200		
		0...+300		
		0...+400		
		0...+500		

З вітчизняних виробників ВАТ «Електрометрія», м. Луцьк, має багаторічний досвід у розробці та виробництві приладів та систем для вимірювання температури. Підприємство випускає широкий ряд термоперетворювачів з уніфікованим струмовим вихідним сигналом, метрологічні характеристики яких представлені у табл.2.2.

ВАТ «Електрометрія» технічні характеристики

Діапазон вимірюваних температур, °С	Межа значення основної похибки, що допускається, %		
	ТСПУ-0288 ТСПУ-0388	ТСМУ-0288 ТСМУ-0388	ТХАУ-0288 ТХАУ-0388
від -200 до +50от -100 до +50от -50 до +50от -25 до +25от 0 до +50от 0 до 100от 0 до 200от 0 до 600от 0 до 800от 0 до 900от 50 до 100от 100 до 0 від 150 до 200від 200 до 300від 200 до 400від 200 до 600від 400 до 800від 600 до 900	0,4; 1,00,4; 1,00,25; 0,50,5; 1,00,5; 1,00,25; 0,50,25; 0,5-1,0; 1,50,4; 1,00,4; 1,00,25; 0,50,4; 1,0--	-0,5; 1,01,0; 1,51,0; 1,50,5; 1,00,6; 1,0---1,0; 1,51,0; 1,5-----	-----1,01,01,0----- --1,51,5

Розглянемо приклади АСУТП із «децентралізованою» архітектурою. Інформація з різних точок інформаційного поля, перетворена за допомогою первинних (ПП1 ... ППn), що уніфікують (УП1 ... УПn) та аналого-цифрових (АЦП1 ... АЦПn) перетворювачів у відповідний код, одночасно подається на виходи багатопроцесорної керуючої обчислювальної машини МУВМ, де відбувається одночас. Результати обробки виводяться одне з СОІ. Відображення інформації можуть виводитися як основні параметри, а й результати проміжних обчислень.

Структурна схема ПС паралельної дії наведено на рис. 2.3.

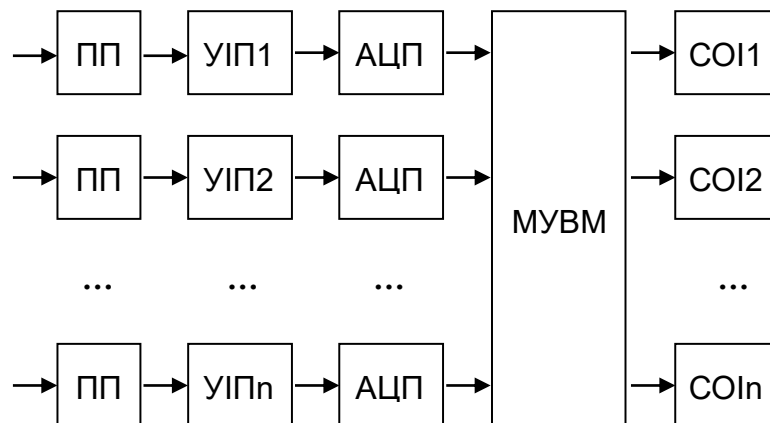


Рис. 2.3. Структурна схема ІВС паралельної дії.

Поряд з обробкою МУВМ здійснює одночасне та незалежне управління кожним вимірювальним каналом, реалізуючи різні алгоритми виміру.

Висока ефективність багатопроцесорних ІВС визначається такими показниками:

1. Відсутністю комутаторів, що ускладнюють систему, що знижують її надійність, швидкодію та є джерелами додаткових похибок;
2. Високою швидкодією при проведенні таких складних видів вимірювань, як непрямі, сукупні та спільні;
3. Можливістю незалежного управління процесом отримання інформації одночасно кожним вимірювальним каналом;
4. Можливістю сервісного обслуговування кожного вимірювального каналу без переривання процесу вимірювання до інших.

Недоліком ІС є обмежена кількість завдань, що одночасно вирішуються (вимірювальних) УВМ.

Найкращими представниками цього типу ІС є такі системи, що побудовані з урахуванням стандартних модулів одного сімейства. Наприклад, модулі сімейства ICP CON 7000 або ADAM (рис. 2.4).

Сімейство ICP CON 7000 (модулі збору даних I-7000 для розподілених систем на основі інтерфейсу RS-485) призначене для використання у промислових розподілених системах збору та обробки даних.

До складу сімейства входять модулі:

1. Аналогового введення та виведення.
2. Цифрового введення/виводу.
3. Модулі з релейним виходом.
4. Модулі таймерів-лічильників.
5. Перетворювачі RS-232 у RS-485.
6. Повторювачі RS-485.
7. Інтерфейси MMI та прикладне програмне забезпечення.
8. Модулі АЦП, ЦАП.

Набір команд модулів I-7000 сумісний із командами серії ADAM, NuDAM та 6B. Швидкість передачі збільшена до 115 Кбод. Граничне значення напруги гальванічної розв'язки збільшено до 3000 В.

До найважливіших переваг мереж на основі модулів ICP CON 7000 відносяться:

1. Функція самоналаштування.

У реальних системах з розподіленою структурою можуть використовуватися різні джерела сигналів, такі як модулі збору типу ADAM-4000, NuDAM-6000, DATAFORTH-9B, різні PLC і т.д.. Такі модулі можуть мати обмеження на швидкість передачі та формат даних, що передаються. У таких випадках доводиться використовувати мінімальні значення швидкості передачі даних для всієї мережі. Модулі ICP CON 7000 мають вбудовану систему самоналаштування та автоматичний вибір формату даних, що дозволяє пришвидшити роботу.

2. Функція здвоєного контролера.

Апаратна функція системи стеження за живленням модулів I-7000 спроектована, щоб автоматично здійснювати скидання модулів від допустимих умов експлуатації за короткочасних відхилень. У деяких

випадках відбуваються збої та в хост-комп'ютерах. Вбудована функція програмного стеження контролює виникнення збоїв і в разі потреби переводить усі виходи модуля у вихідний стан безпеки для їх захисту.

Дана функція стеження значно збільшує надійність та живучість систем в умовах експлуатації.

3. Зменшена вартість.

Порівняно з представленими на ринку України аналогами – серіями модулів ADAM та NuDAM, модулі I-7000 мають меншу вартість. [9]

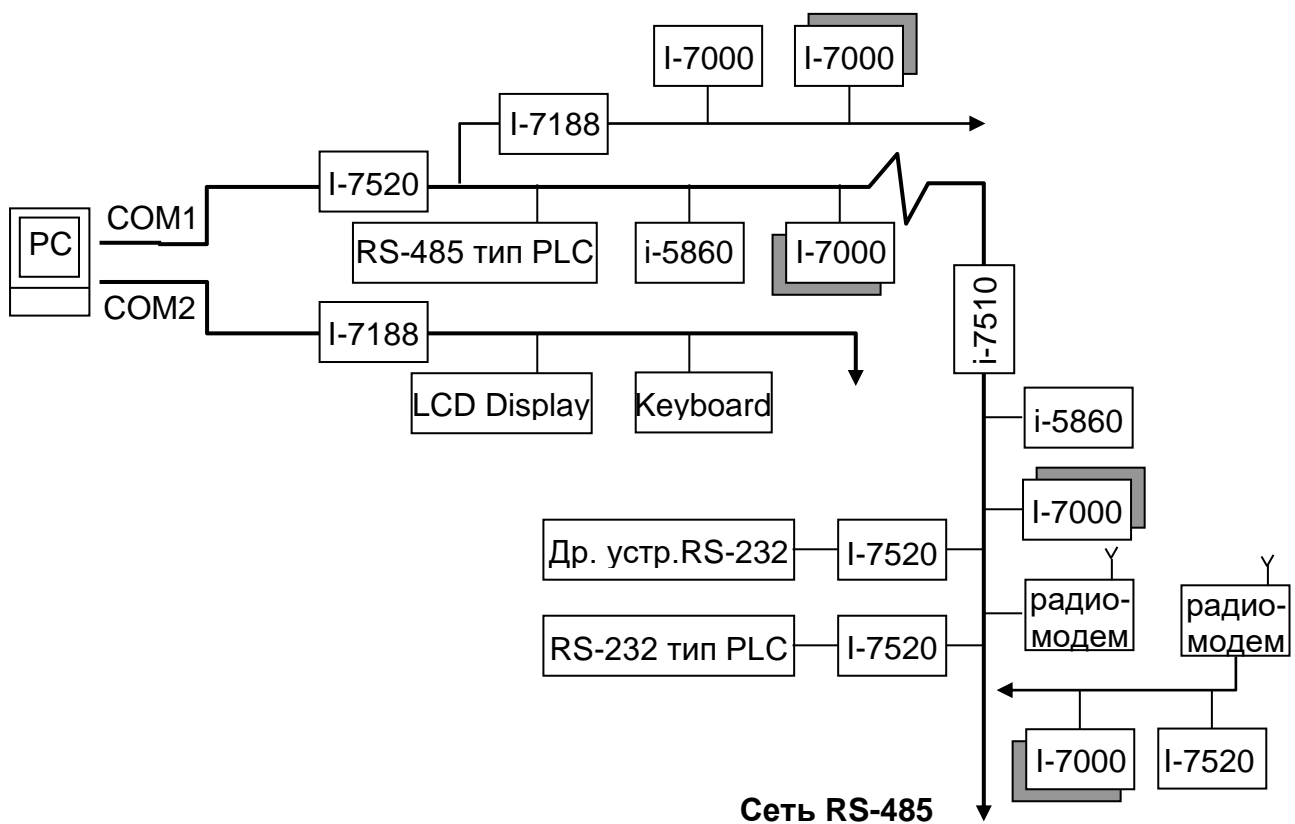


Рис. 2.4. Типова структура збору даних на основі модулів сімейства I-7000.

Крім того, існує сімейство модулів ADAM фірми Advantech. Наприклад, ADAM-4000 – модулі для розподілених систем збору даних та управління на базі RS-485.

Модулі сімейства ADAM-4000 (рис.2.5.) призначені для побудови розподілених систем збору даних та управління. Вони є компактними та інтелектуальними пристроями обробки сигналів датчиків.

Ці модулі були спеціально розроблені для застосування в промисловості. Наявність вбудованих мікропроцесорів дозволяє їм здійснювати нормалізацію та дискретизацію вводу-виводу.

Всі модулі мають гальванічну розв'язку по ланцюгах живлення та інтерфейсу RS-485.

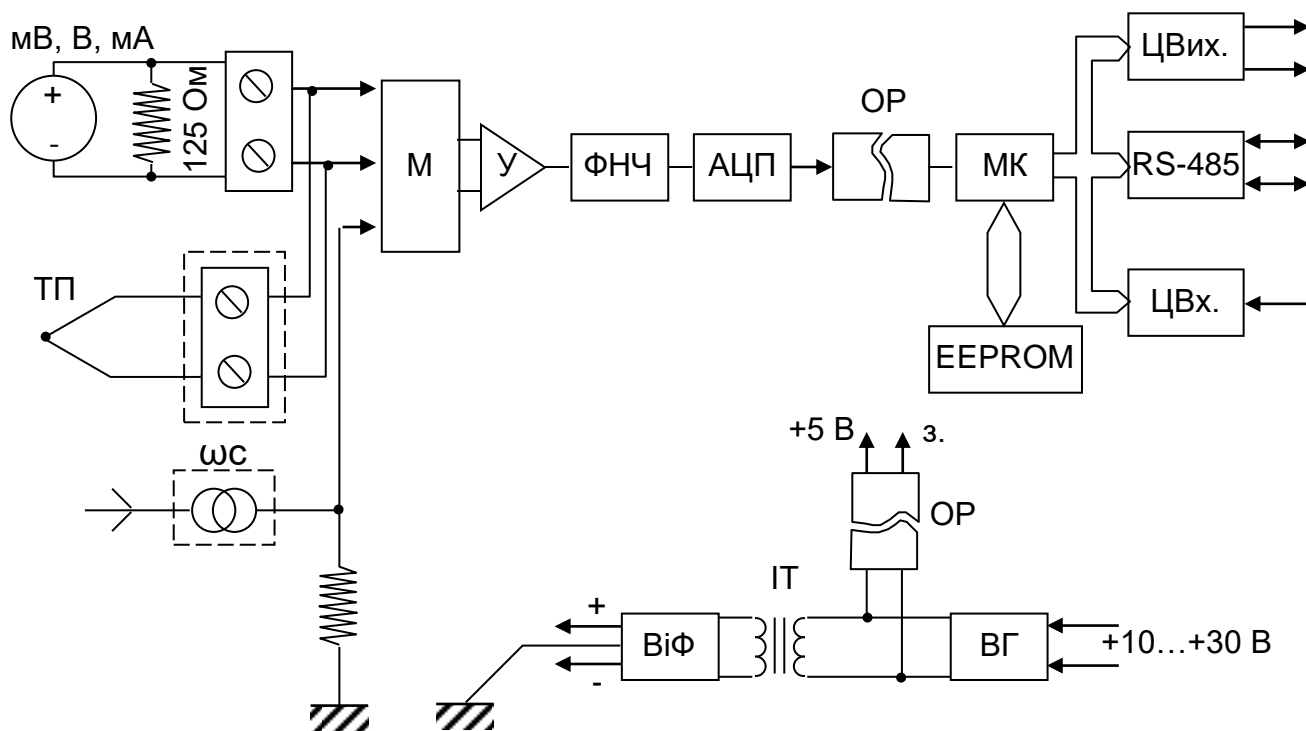


Рис. 2.5. Блок діаграми модуля аналогового входу ADAM-4011.

На схемі прийнято такі позначення:

ТТ – термопара; М – мультиплексор; У – вимірювальний підсилювач з програмованим (змінюваним) коефіцієнтом посилення; ФНЧ – фільтр низьких частот; АЦП – аналого-цифровий перетворювач (16-розрядний); ОР – оптична розв'язка; ВіФ – випрямляч та фільтр; ВГ – високочастотний генератор; ІТ – ізолюючий трансформатор МК – мікроконтролер; ЦВих. – Цифровий вихід (двох каналний); ЦВх. – Цифровий вхід (одноканальний);

Живлення модулів здійснюється нестабілізованою напругою 10...30 В постійного струму.

До складу сімейства ADAM-4000 (рис.2.6.) входять:

1. Модулі аналогового введення (зі світлодіодним дисплеєм, на 8 каналів для підключення термопар або з буфером даних).
2. Цифрового введення/виводу (у тому числі з гальванічною розв'язкою), цифрового введення на 16 каналів.
3. Модулі релейного цифрового виведення.
4. Перетворювача інтерфейсу RS-232 – CAN, повторювача інтерфейсу CAN.
5. Перетворювача RS-232 у RS-422/485 та повторювача.
6. Модуль перетворювача RS-485 на RS-232 з розв'язкою 1000 -232 до оптоволоконного кабелю.
7. Інтелектуального калібрувача для модулів серії ADAM-3000
8. IBM PC сумісний керуючий модуль. [17]

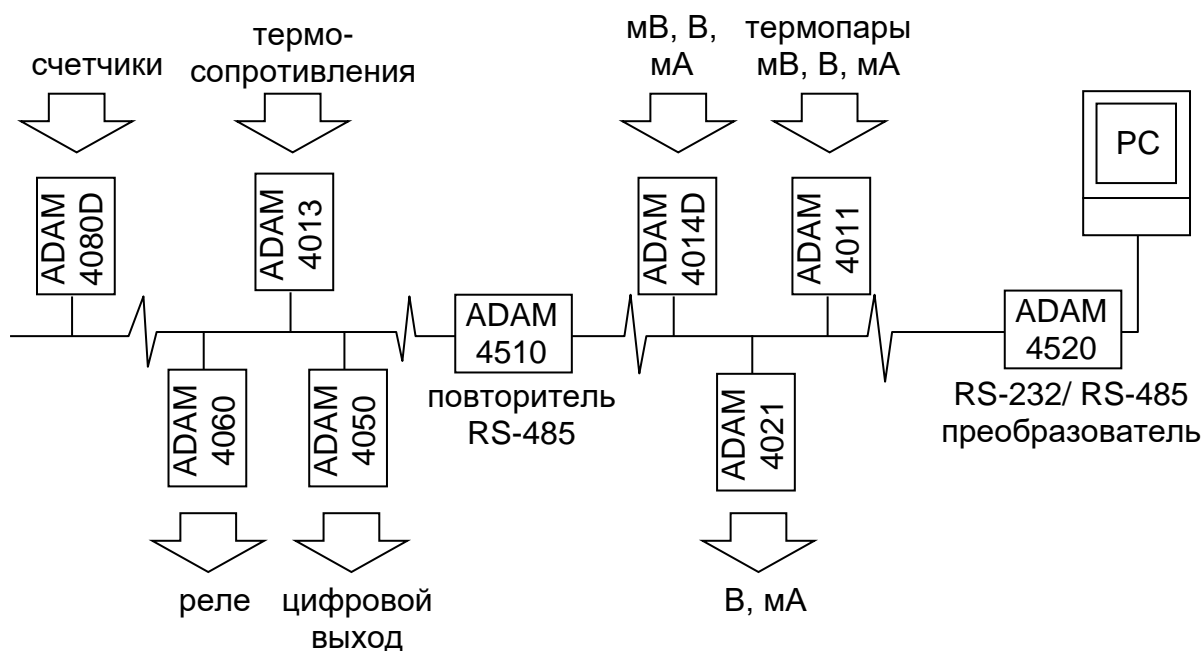


Рис. 2.6. Типова структура збору даних на основі модулів сімейства ADAM-4000.

А також існують інші покоління сімейства як ADAM-5000.

Пристрої серії ADAM-5000, призначені для побудови територіально розподілених систем збору даних та управління, забезпечують виконання наступних функцій:

1. Аналогове введення-виведення.
2. Дискретне введення-виведення.
3. Первинне перетворення інформації.
4. Прийом команд від віддаленої обчислювальної системи та передача

на її адресу перетворених даних з використанням інтерфейсу RS-485.

ADAM-5000 (рис.2.7.) складається із трьох модульних компонентів:

1. Процесор.
2. Крос-плата.
3. Модулі введення-виводу.

Кожен пристрій може містити до 4 модулів (64 канали введення-виводу). Є можливість гнучкого конфігурування системи та пристроїв залежно від кількості та виду контрольованих параметрів, а також від розташування контрольованих об'єктів. Пристрої серії ADAM-5000 поєднуються в багатоточкову мережу на основі інтерфейсу RS-485, що управляє центральним комп'ютером. Застосування модулів введення-виводу, дозволяє істотно знизити витрати на монтаж і забезпечує підвищені зручності в процесі обслуговування.

ADAM-5000 дозволяє налаштовувати діапазони та типи аналогових вхідних сигналів з віддаленого головного комп'ютера.

ADAM-5000 використовує 2-провідну лінію для зв'язку з керуючим комп'ютером по мультиабонентських мережах на базі інтерфейсу RS-485.

Технічні характеристики:

1. Підключення до 256 систем одного послідовного порту;
2. До 64 каналів цифрового введення-виводу або 32 аналогових канали на ADAM-5000;
3. Діагностичні світлодіоди для мережі та каналів введення-виводу;

4. Вбудований 16-розрядний мікропроцесор та FIFO-буфер;
5. Віддалена настройка діапазонів та типів вхідних аналогових сигналів;
6. Гальванорозв'язка по входу/виходу/живленню та контроль за допомогою сторожового таймера;
7. 2-провідні мультиабонентські мережі на основі інтерфейсу RS-485;
8. Протокол обміну з урахуванням ASCII-кодів;
9. Швидкість передачі до 115 кбод;
10. Напруга живлення від +10 до +30 В;
11. Легке встановлення на DIN-рейку або панель;
12. Фронтальне підключення, притаманне програмованих логічних контролерів;
13. Програму налаштування включено в комплект постачання.

ADAM-5000 забезпечує повну розв'язку по входу/виходу, зв'язку та живленню. Це забезпечує найкращий захист системи.

Підвищені зручності монтажу та простота зміни конфігурації пристрою забезпечені застосуванням спеціальної панелі, призначеної для встановлення модулів. Можливість установки на окрему панель або DIN-рейку. Для підключення джерел сигналів використовується термінальний з'єднувач, що забезпечує можливість оперативного приєднання та підвищені зручності при обслуговуванні.

1. Віддалений збір даних;
2. Моніторинг процесів;
3. Керування промисловими процесами;
4. Автоматизація лабораторій та приміщень;
5. Контрольне керування;
6. Системи охорони;
7. Облік та управління споживанням енергоносіїв;
8. Системи КІА/КПА та стендові випробування.

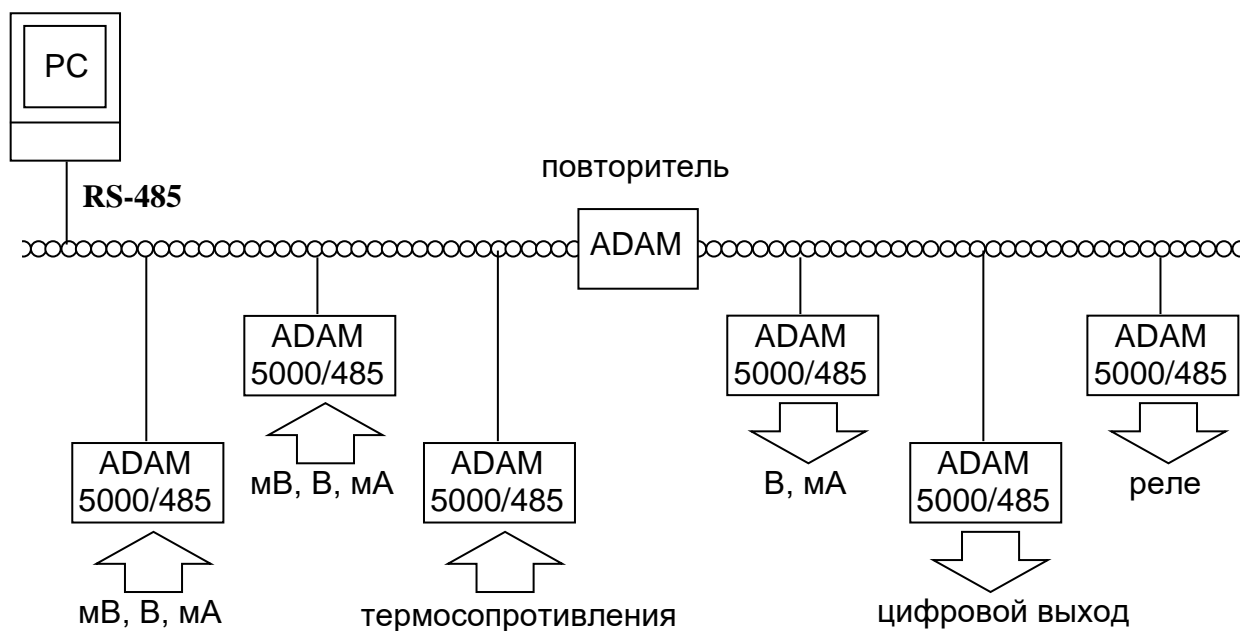


Рис. 2.7. Типова структура збору даних на основі модулів сімейства ADAM-5000/485 (розподілена система збору даних та управління).

Проведений огляд дозволяє зробити такі висновки: пропоновані на ринку кошти для АСУТП не задовольняють вимогам ТЗ щодо необхідної точності, перешкодозахищеності, швидкодії. З метою виконання вимог ТЗ розроблено структурну схему аналогового інтерфейсу для вимірювання температури АСУ котельні, представлену на рис.2.8.[17]

2.3. Опис структурної схеми

Основу проектованої АСУТП утворює промисловий комп'ютер ПК з платою вводу-виводу аналогових і дискретних сигналів типу А826 РG фірми ICPDAS, що сполучається з ISA шиною ПК. На цій платі розміщено 16-розрядний АЦП із швидкодією 100 кГц, 16-канальним паралельним адаптером ПА та програмованим таймером 8254.

Так як перераховані пристрої гальванічно не ізольовані від шин живлення комп'ютера, для збільшення придушення перешкод загального

вигляду вихідні сигнали паралельного адаптера ПА подаються на входи мультиплексорів MUX через оптрони ВП. Вхід АЦП також гальванічно ізолюваний за допомогою ізолюючого підсилювача ІЗУ.

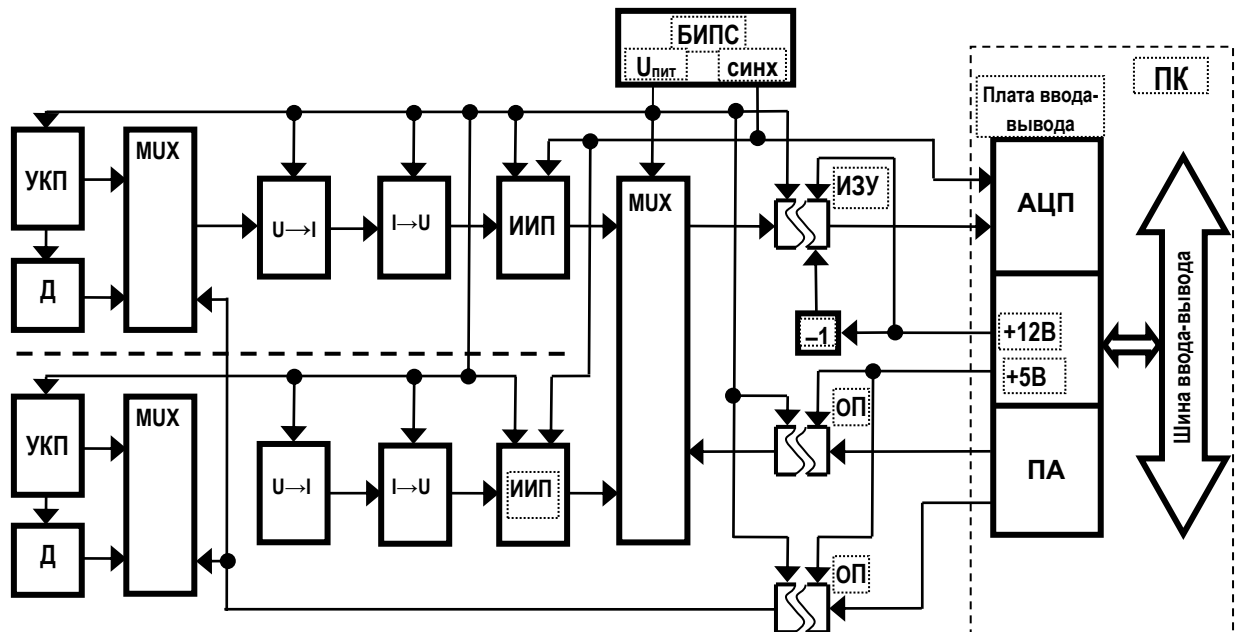


Рис.2.8. платою вводу-виводу аналогових і дискретних сигналів

На Рис.2.8. Зображено: Д – датчик; УКП – пристрій калібрування та живлення датчика; ИИП - ітераційний інтегруючий перетворювач; БПС – блок ізолюваного живлення та синхронізації; ИЗУ - ізолюючий підсилювач; ПА – паралельний адаптер.

Живлення резидентної частини аналогового інтерфейсу здійснюється від ізолюваного блоку живлення та синхронізації БПС. Цей блок здійснює також синхронізацію роботи АЦП та ітераційних інтегруючих перетворювачів ИИП. Останні використовуються для придушення перешкод нормального вигляду, при цьому частота синхронізації дорівнює частоті мережі (50 Гц), що забезпечує придушення мережних наведень. Для зменшення впливу опорів ліній зв'язку та зовнішніх перешкод

використовується аналоговий інтерфейс із струмовим сигналом. При цьому на приймальній частині інтерфейсу розташовується вимірювальний перетворювач струм-напруга $I \rightarrow U$, а на передавальній – вимірювальний перетворювач струм- $U \rightarrow I$. [12]

Для зменшення систематичних похибок вимірювального каналу реалізовано автоматичну корекцію похибки за методом зразкових заходів. Для цього в передавальній частині інтерфейсу розташовані мультиплексор MUX та пристрій калібрування та запитки датчика УКП. Живлення всіх пристроїв аналогового інтерфейсу утвореного 16 ідентичними вимірювальними каналами забезпечується блоком ізольованого живлення та синхронізації БПС, що дозволяє забезпечити час опитування всіх датчиків трохи більше 0,1 секунди, тобто. часу встановлення ітераційного інтегруючого перетворювача, що не перевищує 3 періоди сигналу синхронізації (60 мс). Таким чином, у розробленому інтерфейсі використовується архітектура централізованого типу з одночасною запиткою всіх вимірювальних каналів. По структурі всі вимірювальні канали аналогового інтерфейсу є класичну структуру послідовного типу, у якій, як відомо, сумарна похибка дорівнює сумі похибок ланок. Завдяки високій лінійності електричного тракту (всі ланки виконані на основі ОУ з глибоким негативним зворотним зв'язком) можливе здійснення методу зразкових заходів по двох точках. У цьому випадку скоригований результат вимірювання N_x буде обчислюватися за такою формулою:

$$N_x = \frac{I_x - I_1}{I_2 - I_1} (M_2 - M_1) + M_1, \quad (2.1)$$

де I_x – результат виміру вихідного сигналу датчика; I_1 – результат виміру зразкового заходу M_1 ; I_2 – результат виміру зразкового заходу M_2 ; M_1 – значення зразкової міри 1, що зберігається в пам'яті ПК; M_2 – значення зразкової міри 2, що зберігається у пам'яті ПК.

У рівнянні (1) значення зразкового заходу M_1 відповідає мінімальному значенню вихідного сигналу датчика, а значення зразкового міри M_2

відповідає максимальному значенню вихідного сигналу датчика ($M_2 > M_1$). Така корекція звільняє результат виміру від адитивних та мультиплікативних похибок всіх ланок вимірювального каналу. Залишкова похибка буде визначатися похибками зразкових заходів M_2 і M_1 , а також сумою похибок нелінійності всіх ланок вимірювального каналу і похибкою датчика.

2.4. Вибір датчика

Для вимірювання технологічних температур в АСУТП котельних установок, найважливішими з яких є температури мережевої води на вході та на виході котельної установки (максимальна температура до 150°C , тиск до 6 атм.), найбільшого поширення набули два типи датчика: хромель-алюмелеві термопари та термометри опору.

Хромель-алюмелева термопара (ХА). Хромель та алюмель – сплави на основі нікелю. Між їх легко розрізнити за допомогою постійного магніту: магнітним є тільки алюмель. Переваги термопари: широкий робочий діапазон температури (від 70°K до 1100°C), висока (40 мкВ/град) чутливість, що залишається майже постійною вище 0°C , низька теплопровідність та низька вартість, а також низький показник інерційності (постійна часу) близько 1-3 сек. Стабільність та відтворюваність оцінюється як хороші до 500°C і задовільні – за більш високих температур. Похибка вимірювання до 300°C – $0,1^{\circ}\text{C}$, вище – 1°C . До недоліків відноситься чутливість до деформацій, окиснення вище 1000°C , необхідність внесення поправки на температуру холодних спаїв, що погіршує метрологічні характеристики. Крім того, її не можна застосовувати у вуглецевих середовищах (науглероживание), [11]

Термометри опору. Залежність опору металевих провідників від температури може бути дуже високою точністю описана рівнянням третього ступеня. За звичайних вимог до точності обмежуються квадратичною або навіть лінійною залежністю

$$R(t) = R_0(1 + \alpha t) ,$$

Де R_0 – величина опору провідника у вихідному стані за температури 0°C ; $R(t)$ – величина опору провідника за температури $t^\circ\text{C}$; α – Лінійний температурний коефіцієнт опору $1/^\circ\text{C}$.

Так як для більшості металів лінійне рівняння недостатньо точно виражає фактичну температурну залежність і, отже, коефіцієнт не є постійним, то визначають середню відносну зміну опору в діапазоні від 0 до 100°C

$$\alpha_{100} = \frac{R_{100} - R_0}{R_0 \cdot 100^\circ\text{C}} ,$$

де R_{100} і R_0 – значення опору, що визначаються в точці кипіння та в точці замерзання води.

Як матеріал для термометрів опору використовують метали з хорошою електропровідністю, такі як платина (Pt), нікель (Ni) та мідь (Cu). У ГОСТ 6651-94 наведено основні значення температурних характеристик термометрів опору з платини та міді, а також відповідні допустимі відхилення від них. Мідь як матеріал термометра опору застосовується тому, що залежність її опору від температури лінійна з дуже високою точністю. Однак хімічна активність міді не дозволяє застосовувати її при температурах понад 180°C , а також призводить до деградації характеристик термометра опору з часом. Часто залежність опору міді від температури може бути використана для визначення ступеня нагрівання обмоток електричних машин (генераторів, двигунів, трансформаторів) за величиною їхнього опору. В цьому випадку як датчик температури використовується сама обмотка з мідного дроту. Вимірюючи опір обмотки в холодному та нагрітому (робочому) стані, розраховують її робочу температуру. Область застосування лежить в інтервалі від -50 до $+150^\circ\text{C}$ [16]

Інтерес до нікелю насамперед зумовлений його високою чутливістю до температури. В інтервалі температур від 0 до 100°C його опір збільшується в 167 рази, тоді як у платини в 1385 рази (DIN 43760). Однак його хімічна активність (так само, як у міді, зокрема, здатність до окислення) може

призводити до зміни електричних властивостей. При цьому простота отримання плівкових нікелевих термометрів опору з малими постійними часами робили його застосування в АСУТП котельних установок досить доцільним. У той самий час відомо, що з можливості отримання платини дуже високої чистоти (99,999%) можна точно визначати її електричні характеристики. Хімічна пасивність платини та відсутність кристалічних змін забезпечують стабільність електричних властивостей (0,1 °C на рік). Завдяки високій точності визначення електричних характеристик та їх стабільності забезпечується взаємозамінність платинових термометрів опору. Донедавна значне зменшення постійної часу платинових термометрів опору шляхом використання технології виготовлення інтегральних схем, що дозволяє отримувати платинові опори у вигляді плівки, зменшувало чутливість таких датчиків на 30-80% порівняно з чутливістю дроту. Проте, останнім часом, завдяки сучасним технологіям, з'явилася можливість створювати платинову плівку як сенсор резистивного датчика температури з малим показником теплової інерції та стандартними ПСГ (зокрема АТЗТ «ТЕРА» та ВАТ «Електрометрія», м. Луцьк, поставляють в Україну продукцію німецького виробника платинових плівкових сенсорів фірми Heraeus Sensor Technology (GmbH). Унікальна технологія напилення платини на багат шарову керамічну підкладку дозволяє виробляти тонкоплівкові сенсори вкрай малих габаритів із мінімальною витратою платини. При цьому платина повністю зберігає свої властивості – електричні та хімічні, такі як термостабільність, стійкість до високих та низьких температур, практично лінійна залежність опору від температури у широкому діапазоні, хімічна інертність, малий коефіцієнт розширення (що було недосяжно раніше). Платинові термометри опору на основі плівкових сенсорів набули найбільшого поширення у промисловій практиці сьогодні у тих випадках, коли необхідні висока точність та швидкодія. Датчики на основі плівкових сенсорів відповідають ГОСТ 6651-94.

РОЗДІЛ 3

РОЗРОБКА СХЕМ ТА РОЗРАХУНОК ПОХИБОК

3.1. Розробка функціональної схеми і попередній аналіз похибок

3.1.1. Похибка датчика

Сумарна похибка датчика визначатиметься похибкою нелінійності, основною похибкою та похибкою через довготривалу нестабільність. Похибка нелінійності датчика обумовлена нелінійною залежністю (нелінійністю функції перетворення) опору датчика вимірюваної температури. Оцінити цю складову похибки можна, використовуючи інтерполяційне рівняння для платиного перетворювача опору $W_{100}=1,385$, наведене вДСТУ 2858-94 у необхідному діапазоні температур, де W_{100} дорівнює відношенню опору датчика при 100°C опору датчика при 0°C . Це рівняння має вигляд

$$W_t = 1 + At + Bt^2 ,$$

де $W_t = R(t)/R_0$ - відношення опору датчика при вимірюваній температурі $t^{\circ}\text{C}$ до опору датчика при 0°C ;

$$A = 3,90802 \cdot 10^{-3} \left[\frac{1}{^{\circ}\text{C}} \right];$$

$$B = -5,802 \cdot 10^{-7} \left[\frac{1}{(^{\circ}\text{C})^2} \right];$$

t – вимірювана температура у $^{\circ}\text{C}$.

При цьому опір датчика при температурі, що вимірюється.

$$R(t) = R_0 \cdot (1 + At + Bt^2) .$$

Абсолютна похибка нелінійності дорівнюватиме:

$$\Delta R_H = R_0 \cdot B \cdot t^2$$

Відносна похибка нелінійності:

$$\delta_H = \frac{Bt^2}{1 + At}$$

При $t=150^\circ\text{C}$ $\delta_H = 0,8\%$.

У зв'язку з тим, що автоматична корекція систематичної складової похибки вимірювального каналу не охоплює датчик (бо останній замінюється зразковими опорами на початку і в кінці діапазону вимірювання), слід також врахувати тимчасовий дрейф функції перетворення датчика та його основну похибку, обумовлену відхиленням опору датчика при 0°C від номінального значення (100 Ом). Відповідно до ДСТУ 2858-94 межа допустимих значень основної похибки термоперетворювача опору з класом допуску А не повинна перевищувати значень, що визначаються за формулою:

$$\Delta t^\circ\text{C} = 0,15 + 0,002 \cdot |t|,$$

Де t – значення температури, що вимірюється в $^\circ\text{C}$.

Відповідно до цього вираження значення абсолютної основної похибки датчика не перевищуватиме $0,45^\circ\text{C}$ в діапазоні вимірюваних температур - 150°C . Це буде відповідати наведеній похибці $\delta_0 \approx 0,3\%$. Враховуючи, що довготривала стабільність платинових термоперетворювачів опору перевищує $0,1^\circ\text{C}$ на рік, що відповідає наведеній похибці порядку $0,1\%$, сумарна наведена похибка датчика, що включає похибку нелінійності, основну похибку, похибку від тимчасової нестабільності, тобто.

$$\delta_{\text{прод}\Sigma} = \delta_0 + \delta_H + \delta_C = 1,2\% , \quad (3.1.)$$

Де $\delta_{\text{прод}\Sigma}$ - Сумарна наведена похибка датчика; δ_0 - Основна наведена похибка датчика; δ_H - Наведена похибка нелінійності датчика (інтегральна нелінійність); δ_C - Наведена похибка тимчасової нестабільності.

3.1.2. Розробка функціональної схеми передавальної частини аналогового інтерфейсу.

Функціональна схема передавальної частини аналогового інтерфейсу представлена на рис. 3.1.

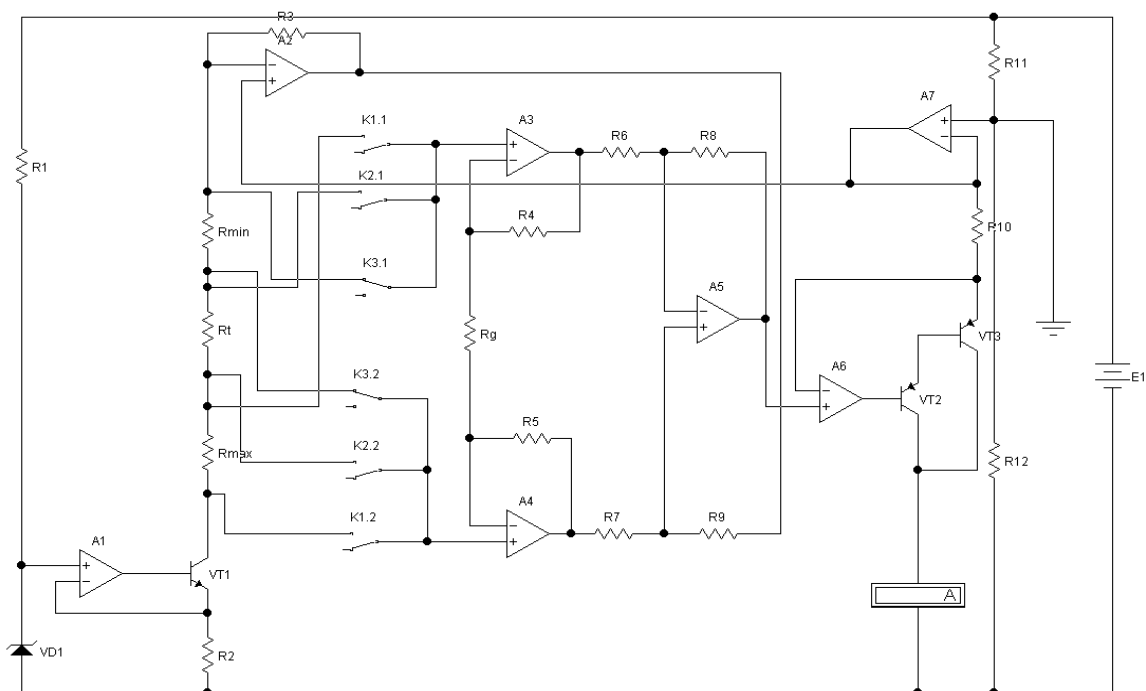


Рис.3.1. Функціональна схема передавальної частини аналогового інтерфейсу

Схема складається з джерела струму, реалізованого за схемою для незаземленого навантаження, виконаного на операційному підсилювачі А1, вихідному транзисторі VT1 і низьковольтному (2,5) стабілітроні VD1. Навантаженням цього джерела струму, що формує струм ініціалізації датчика ІД є послідовно з'єднані зразкові резистори Rmin , Rmax і опір датчика Rt . Для зменшення похибки, обумовленої струмом ІД, що протікає через датчик і змінює його температуру за рахунок ефекту Джоуля, ІД розраховують за формулою:

$$I_D \leq \sqrt{\frac{\Delta t_D}{R_\theta \cdot R_t}} , \quad (3.2.)$$

Де Δt_D - Зміна температури датчика, обумовлене саморозігрівом датчика через протікання по ньому струму ІД; R_θ – тепловий опір датчик-середовище; R_t - Електричний опір датчика.

Підставляючи у формулу (3.2) значення допустимої похибки через саморозігрів датчика $\Delta t_D = 0,015^\circ\text{C}$ (0,01%), значення теплового опору датчик-середовище для випадку, коли датчик знаходиться у спокійному

повітрі = 70°C/Вт, та значення електричного опору датчика порядку 100 Ом, розрахуємо струм датчика $I_D \leq 1,5\text{мА}$. Для випадку, коли датчик буде розташований в рідині, що рухається, тепловий опір $R_\theta = 2^\circ\text{C/Вт}$, тобто. у 35 разів менше. Це означає, що при цьому струм датчика I_D може бути збільшений майже в 6 разів, тобто до 9мА. Однак, враховуючи, що максимально допустимий струм плівкового платинового датчика не повинен перевищувати 1 мА, вибираємо струм датчика, що дорівнює 1мА. Це забезпечить максимальну похибку через саморозігрів менше 0,007°C (0,005%).

Струм датчика I_D перетворюється на напругу за допомогою перетворювача струм-напруга, виконаного на операційному підсилювачі А2. Ця напруга надходить на вхід вимірювального підсилювача, виконаного на операційних підсилювачах А3 ... А5. Входи вимірювального підсилювача за допомогою зведеного чотириканального низьковольтного мультиплексора типу MAX 4052А підключаються до потенційних затискачів зразкових опорів R_{\min} , R_{\max} та датчика. Вихідний перетворювач напруга-струм, що формує вихідний струм в діапазоні 0-16мА, виконаний на операційному підсилювачі А6 та транзисторах VT2, VT3. Живлення передавальної частини аналогового інтерфейсу здійснюється від стабілізатора постійної напруги 12 типу K142ЕН8Б (позначення на схемі – Е1) зі штучною нульовою точкою, що формується за допомогою операційного підсилювача А7 і резистивного дільника R11, R12.

$$U_{4\max} = I_D \left[(R_{\min} + 2R_{\max}) + \frac{K_{ИУ} - 1}{2} (R_{\min} + R_{\max}) \right], \quad (3.3)$$

Де $U_{4\max}$ – максимально допустима вихідна напруга операційного підсилювача А4.

У нашому випадку $U_{4\max} = 4\text{В}$, $R_{\min} = 100\text{Ом}$, $R_{\max} = 157,31\text{Ом}$, $I_D = 1\text{мА}$.

Підставивши ці значення (3.3) розрахуємо $K_{ВУ} = 28$. Враховуючи, що вихідна напруга вимірювального підсилювача розраховується за формулою:

$$U_{ИУ} = I_D \cdot \Delta R_D K_{ИУ}, \quad (3.4)$$

Де ΔR_D - Зміна опору датчика, викликане зміною вимірюваної температури;

У нашому випадку $\Delta R_{D \max} = 57,31$ Ом, звідки $U_{IIV \max} = 1,6$ В. З урахуванням того, що вихідний струм I_0 передавальної частини аналогового інтерфейсу визначається за формулою $I_0 = U_{IIV} / R_{10}$ та максимальні значення $I_0 = 16$ мА, а $U_{IIV} = 1,6$, розрахуємо $R_{10} = 100$ Ом.

Таким чином у передавальній частині аналогового інтерфейсу формується струмовий сигнал

$$I_0 = \frac{I_D \cdot (R_X - R_{\min}) K_{IIV}}{R_{10}},$$

Де R_X – одне з трьох значень опорів R_{\min} , R_{\max} або R_t , що підключаються за допомогою диференціального вхідного мультиплектора K_1 до входу вимірювального підсилювача. Завдяки такій схемі збільшується чутливість. За результатами трьох проміжних вимірів обчислюється скоригований результат вимірювання опору датчика R_t^* (основне рівняння вимірювання)

$$R_t^* = \frac{I_3 - I_1}{I_2 - I_1} (R_{\max} - R_{\min}) + R_{\min}, \quad (3.5)$$

Де I_1 – результат виміру опору R_{\min} ; I_2 – результат виміру опору R_{\max} ; I_3 – результат виміру опору датчика.

Можна показати, що в цьому випадку вплив неточності виготовлення зразкових резисторів R_{\min} , R_{\max} на залишкову похибку виміру дорівнюватиме їх класу точності. Як резисторів R_{\min} і R_{\max} вибираємо прецизійні резистори типу С5-61 класу точності 0,01.[8]

Як операційні підсилювачі $A_1 \dots A_7$ вибираємо підсилювачі фірми Linear Technology типу LT1490 з вхідними та вихідними каскадами, виконаними за схемотехнікою Rail-to-Rail, що забезпечують можливість працювати з вхідними та вихідними напругами, практично рівними напруги живлен[10]

3.2. Розробка та розрахунок принципової схеми (функціональної частини)

Одним з можливих методів побудови швидкодіючого усереднюючого пристрою є функціональна схема ІІІ, зображена на рис.3.2, де в якості елементів аналогової пам'яті використані два динамічні пристрої, що запам'ятовують, які працюють в протифазі.

А, щоб отримати значення коефіцієнта перетворення ІІІІ, врахуємо, що він є астатическую систему, тобто. у статичному стані середнє значення вхідного струму \bar{i}_1 у дорівнюватиме середньому значенню струму зворотного зв'язку \bar{i}_2 . Таким чином, отримуємо:

$$\bar{i}_1 = \bar{i}_2 ..$$

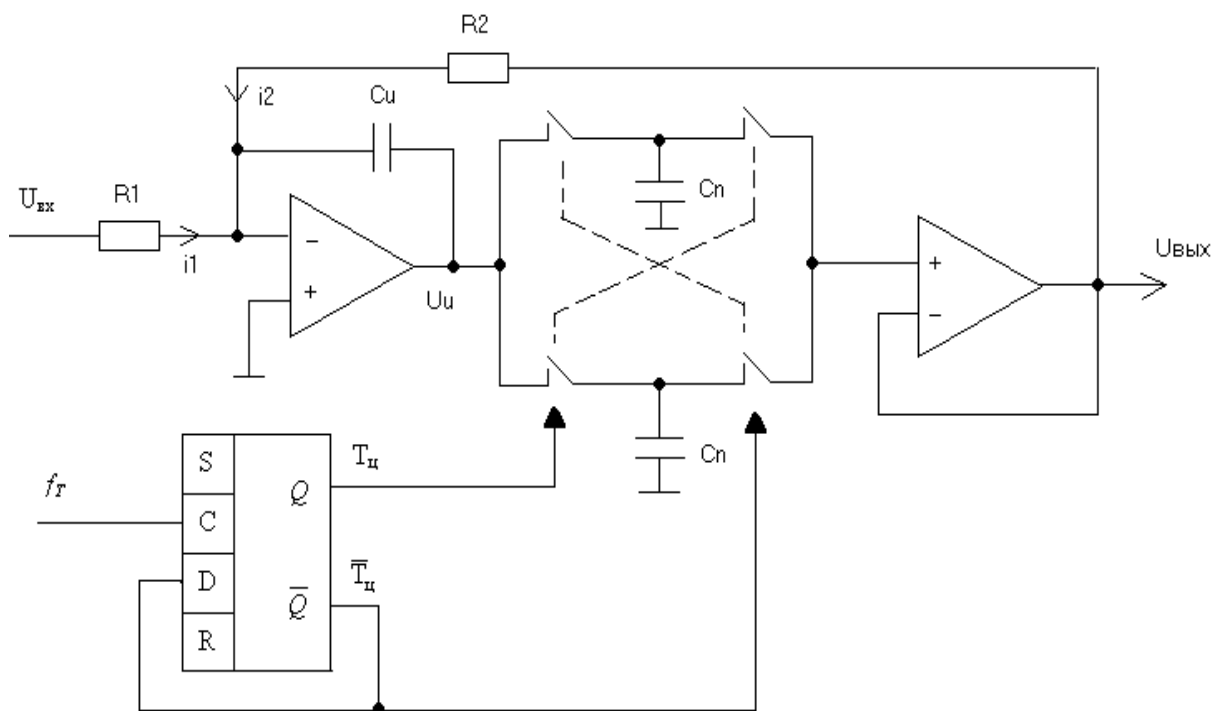


Рис. 3.2. функціональна схема ІІІ.

Підставляючи в це рівняння значення $\bar{i}_1 = \frac{\bar{U}_{ex}}{R_1}$ $\bar{i}_2 = -\frac{U_{вих}}{R_2}$, отримаємо:

$$\frac{\bar{U}_{\text{вх}}}{R_1} = -\frac{U_{\text{вих}}}{R_2}$$

Звідки:

$$U_{\text{вих}} = -\frac{R_2}{R_1} \cdot \bar{U}_{\text{вх}}$$

Для отримання перехідної характеристики ІІІ розглянемо перехідний процес, зображений на рис. 3.3 за нульових початкових умов ($U_u(-0) = 0$, $U_{\text{Сп}}(-0) = 0$).

На вхід надходить ступінчастий сигнал з амплітудою U_0 в момент часу $t = 0$ (рис. 3.3.а). Протягом часу від 0 до $T_{\text{ц}}$ напруга на виході інтегратора (рис. 3.3.г) буде змінюватися відповідно до наступного співвідношення, і в кінці цього інтервалу вона дорівнюватиме :

$$U_{u_1}(T_{\text{ц}}) = \frac{1}{R_1 C_u} \int_0^{T_{\text{ц}}} U_0 dt = \frac{U_0 T_{\text{ц}}}{R_1 C_u}$$

Протягом часу від $T_{\text{ц}}$ до $2T_{\text{ц}}$:

$$U_{u_2}(2T_{\text{ц}}) = \frac{1}{R_1 C_u} \int_0^{T_{\text{ц}}} U_0 dt + \frac{1}{R_2 C_u} \int_0^{T_{\text{ц}}} U_{u_1} dt + U_{u_1}$$

Звідки:

$$U_{u_2}(2T_{\text{ц}}) = U_{u_1}(T_{\text{ц}}) + U_{u_1}(T_{\text{ц}}) \cdot \left(1 - \frac{T_{\text{ц}}}{R_2 C_u}\right)$$

Отриманий вираз нагадує геометричну прогресію:

$$S_n = a + aq + aq^2 + \dots,$$

$$\text{Де } a = U_{u_1}(T_{\text{ц}}); \quad q = \left(1 - \frac{T_{\text{ц}}}{R_2 C_u}\right)$$

Для збіжності перехідного процесу необхідно, щоб $|q| < 1$.

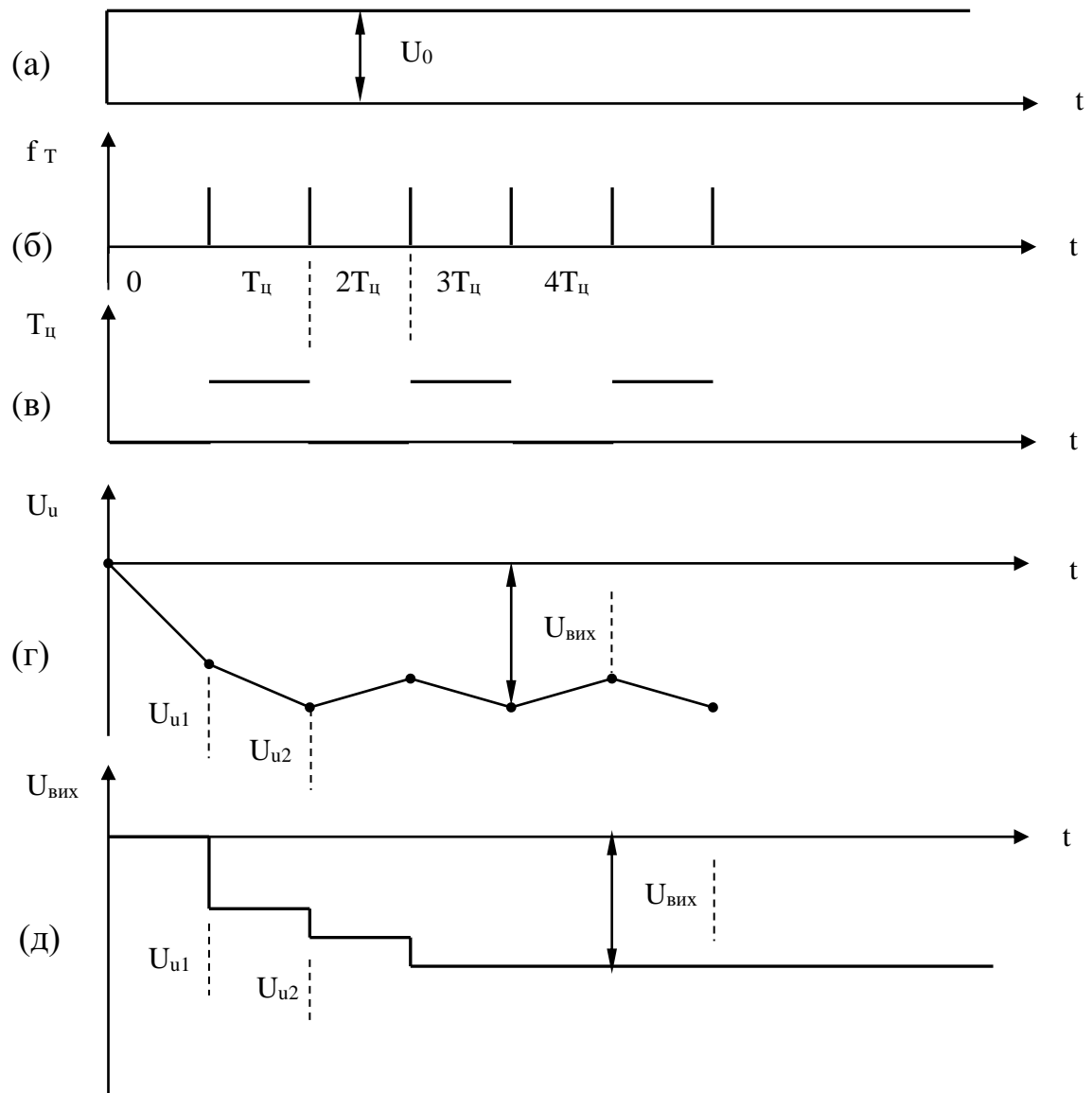


Рис. 3.3 Ступінчатий графік

Коли $q = 0$, маємо мінімальну тривалість перехідного процесу.

Підставимо в $q < 1$ значення $q = \left(1 - \frac{T_u}{R_2 C_u}\right)$, Отримаємо умови збіжності перехідного процесу в ПП:

$$0 < \frac{T_u}{R_2 C_u} < 2$$

З умови оптимальності $q = 0$ маємо $T_u = R_2 C_u$.

Для n - перших членів, при $n \ll \infty$:

$$S_n^* = \frac{a(1-q^n)}{1-q}$$

Похибка встановлення шукаємо як різницю S_n^* і $S_{n=\infty}$:

$$\gamma_{вст} = \frac{S_n^* - S_{n=\infty}}{S_{n=\infty}},$$

$$\text{де } S_{n=\infty} = \frac{a}{1-q}$$

Підставивши у вираз значення S_n^* , $S_{n=\infty}$ отримуємо:

$$\gamma_{вст} = q^n$$

У реальних умовах $q \neq 0$, тобто. $T_u \neq R_2 C_u$:

– за рахунок нестабільності керуючого циклу (похибка γ_{T_u}).

- за рахунок нестабільності R, C (похибка γ_τ).

Тоді $\gamma_{вст}$ буде:

$$|\gamma_{вст}| = (\gamma_\tau + \gamma_{T_u})^n$$

Звідки

$$n = \log_{(\gamma_\tau + \gamma_{T_u})} \gamma_{вст} = \frac{\lg \gamma_{вст}}{\lg(\gamma_\tau + \gamma_{T_u})}$$

n – кількість циклів урівноваження, тобто. тривалість процесу встановлення.

Наприклад, якщо припустити, що $\gamma = 0,01\%$, $a = 1\%$, то $n = 2$, тобто. перехідний процес закінчиться за час, що дорівнює $2T_u$. Можна показати, що в аналогічних умовах час встановлення перехідного процесу у фільтрі нижніх частот 1-го порядку буде у 1000 разів більшим. Таким чином, однією з основних переваг ІІ є висока швидкодія (1-2 періоди комутації), при T_u , що дорівнює постійному часу зворотного зв'язку, тобто. $T_u = R_2 C_u$. [10]

Як операційний підсилювач (ОУ) інтегратора ІІ вибираємо підсилювач ОР-27 фірми Analog Devices, який має великий коефіцієнт посилення і малими статичними похибками, тобто. є прецизійним. Вибір був

зроблений на підставі того, що похибки ОУ інтегратора визначають похибку ІІІ. А як ОУ для повторювача напруги вибираємо AD711 з польовими транзисторами на вході.

Основна вимога до ключів ДЗУ – малі струми витоку. Тому вибираємо ключі на КМОП-транзисторах типу 590КН4, які мають майже ідеальні характеристики, крім опору в замкнутому стані (не дорівнює нулю). Однак цей недолік усувається шляхом введення в схему ще одного паралельного каналу.

Для забезпечення коефіцієнта передачі ІІІ, що дорівнює одиниці (за модулем), вибираємо резистори R1 і R2, рівними 200 кОм типу С2-29 класу точності 0,1%. Конденсатор С1 вибираємо рівним 0,1 мкФ типу К31-10 класу точності 0,25%. Такий вибір забезпечить максимальне відхилення постійного часу ланцюга зворотного зв'язку інтегратора R2С1 від номінального значення періоду напруги мережі, рівного 20 мсек. ($\pm 1\%$), трохи більше 1,5%. Як буде показано в розділі 7, цього достатньо для того, щоб перехідний процес в ІІІ закінчувався за час, що не перевищує 60 мсек (40 мсек - режим синхронізації мультиплектора вибору вимірювального каналу з сигналом синхронізації ключів ІІІ). Резистор R3 вибираємо рівним 100 кОм типу С2-23 класу точності 5% для мінімізації похибок через вхідні струми ОУ DA1. Конденсатори С2, С3 вибираємо типу К73-17-63В ємністю 4, 7 мкФ для мінімізації похибки через «сколу» аналогової пам'яті ДЗУ ІІІ. Для реалізації тригера з рахунковим входом (дільник частоти на 2) формуючим сигнали управління (типу «меандр») ключами ДЗУ використано мікросхему типу К561ТМ2, що містить два D-ТРИГЕ[14]

3.3. Аналіз похибок

3.3.1. Похибка ІІІ

Основне рівняння перетворення ІІІ має вигляд:

$$U_{\text{вих}} = -\frac{R_2}{R_1} \cdot \bar{U}_{\text{вх}}, \quad (3.3.1.1)$$

тобто. коефіцієнт передачі ітераційного інтегруючого перетворювача:

$$K_{\text{ІІІІ}} = -\frac{R_2}{R_1} = -\frac{2 \cdot 10^5}{2 \cdot 10^5} = -1 \quad (3.3.1.2)$$

Тоді похибки ІІІ становитимуть:

мультиплікативна похибка: $\gamma_{\text{ІІІ}} = 2 \cdot \gamma_R = 2 \cdot 0,1 = 0,2\%$;

враховуючи, що основною частиною сумарної мультиплікативної похибки ІІІ буде похибка, спричинена нестабільністю резисторів зворотного зв'язку R1 та R2, тобто.

$$\gamma_{\Sigma}(\partial R_1, \partial R_2) = \sum_{i=1}^2 \frac{\partial K_{\text{ІІІІ}}}{\partial R_i} \cdot \frac{\Delta R_i}{K_{\text{ІІІІ}}} = \pm \frac{\Delta R_1}{R_1} \pm \frac{\Delta R_2}{R_2} = \gamma_{R_1} + \gamma_{R_2} = 2 \cdot \gamma_R,$$

а також те, що резистори R1 та R2 вибрали типу С2-29 класу точності 0,1.

Адитивна похибка, наведена до кінця діапазону:

$$\delta_{\text{ІІІІ}} = \frac{E_{\text{см}} + R_3 \cdot \Delta I_{\text{см}}}{U_{\text{ВЫХ}}} \cdot 100\% = \frac{10^{-5} + 10^5 \cdot 7 \cdot 10^{-9}}{5} \cdot 100 = 0,014\%$$

Враховуючи, що обраний операційний підсилювач (ОУ) ОР-27 фірми Analog Devices, у якого напруга зміщення $E_{\text{см}} = 10$ мкВ, струм зміщення $\Delta I_{\text{см}} = 7$ нА, а резистор $R_3 = R_1 \parallel R_2 \approx 100$ кОм включений для зменшення впливу струмів зміщення на адитивну похибку. При цьому температурний дрейф похибки становитиме

$$\begin{aligned} \delta_{\text{оп}} &= \frac{E_{\text{оп}} \cdot 10^{\circ\text{C}} + R_3 \cdot \Delta_{\Delta} I_{\text{см}} \cdot 10^{\circ\text{C}}}{U_{\text{ВЫХ}}} \cdot 100\% = \\ &= \frac{2 \cdot 10^{-7} \cdot 10 + 10^5 \cdot 10^{-10} \cdot 10}{5} \cdot 100 \approx 0,002(\%) \end{aligned}$$

т.к. у ОР-27 напруга дрейфу нуля $E_{др} = 0,2 \text{ мкВ/}^\circ\text{С}$, а дрейф струму зміщення $\Delta\Delta I_{см} = 0,1 \text{ нА/}^\circ\text{С}$.

Похибка нелінійності ІІ складається з похибки нелінійності інтегратора $\gamma_{інт}$ і похибки нелінійності динамічного пристрою (ДЗУ) $\gamma_{нел_{дзу}}$,

тобто:

$$\gamma_{нел} = \gamma_{нел_{дзу}} + \gamma_{нел_{инт}} = 0,003 + 0,00003 \approx 0,003 (\%),$$

оскільки

$$\gamma_{нел_{инт}} = \frac{T_{ц}}{2 \cdot K_{ОУ} \cdot \tau_{инт}} \cdot 100\% = \frac{20 \cdot 10^{-3}}{2 \cdot 1,8 \cdot 10^6 \cdot 20 \cdot 10^{-3}} \cdot 100 \approx 0,00003 (\%),$$

де $T_{ц} = 20 \text{ мс}$ - час циклу (рівне періоду перешкоди);

$\tau_{инт} = T_{ц} = 20 \text{ мс}$ - постійна часу інтегратора;

$K_{ОУ} = 1,8 \cdot 10^6$ - коефіцієнт посилення ОР-27.

$$\gamma_{нел_{дзу}} = \frac{2 \cdot I_{ут} \cdot T_{ц}}{U_{вх_{ном}} \cdot C_{нам}} \cdot 100\% = \frac{2 \cdot 20 \cdot 10^{-9} \cdot 20 \cdot 10^{-3}}{5 \cdot 4,7 \cdot 10^{-6}} \cdot 100 \approx 0,003 (\%),$$

де $I_{ут} = 20 \text{ нА}$ - струм витоку ОУ;

$U_{вх_{ном}} = 5$ – номінальна вхідна напруга.

3.3.2. Аналіз залишкової похибки у вимірювальному каналу

Сумарна наведена залишкова похибка вимірювального каналу визначатиметься некомпенсованими похибками датчика та похибками нелінійності всіх ланок вимірювального каналу за формулою:

$$\delta_{\Sigma} = \sum_{i=1}^{i=9} \delta_i, \quad (3.3.1.3)$$

Де $\delta_1 = 0,01\%$ - Похибка, обумовлена неточністю зразкових резисторів R_{\min} і R_{\max} ; $\delta_2 = 0,01\%$ - Похибка, обумовлена нелінійністю ізолюючого підсилювача ISO122; $\delta_3 = 0,033\%$ - Похибка, обумовлена нестабільністю датчика; $\delta_4 = 0,013\%$ - Похибка апроксимації датчика; $\delta_5 = 0,003\%$ - Похибка, обумовлена нелінійністю ІП; $\delta_6 = 0,002\%$ - похибка, обумовлена нелінійністю вимірювального перетворювача струм-напруга RCV420; $\delta_7 = 0,005\%$ - Похибка нелінійності АЦП; $\delta_8 = 0,02\%$ - Похибка нелінійності вимірювального перетворювача напруга-струм; $\delta_9 = 0,005\%$ - Похибка, обумовлена саморозігрівом датчика; [10]

Підставляючи (6.3) чисельні значення складових отримаємо систематичну залишкову сумарну похибку вимірювального каналу:

$$\delta_{\Sigma} = 0,1\%$$

РОЗДІЛ 4

РЕЗУЛЬТАТИ МОДЕЛЬНОГО ЕКСПЕРИМЕНТУ

Однією з основних завдань модельного експерименту було визначення похибки нелінійності вимірювального перетворювача напруга струм. Для вирішення цього завдання була створена модель вимірювального перетворювача напруги струму в програмному середовищі Electronics Workbench, представлена на рис. 6.1.

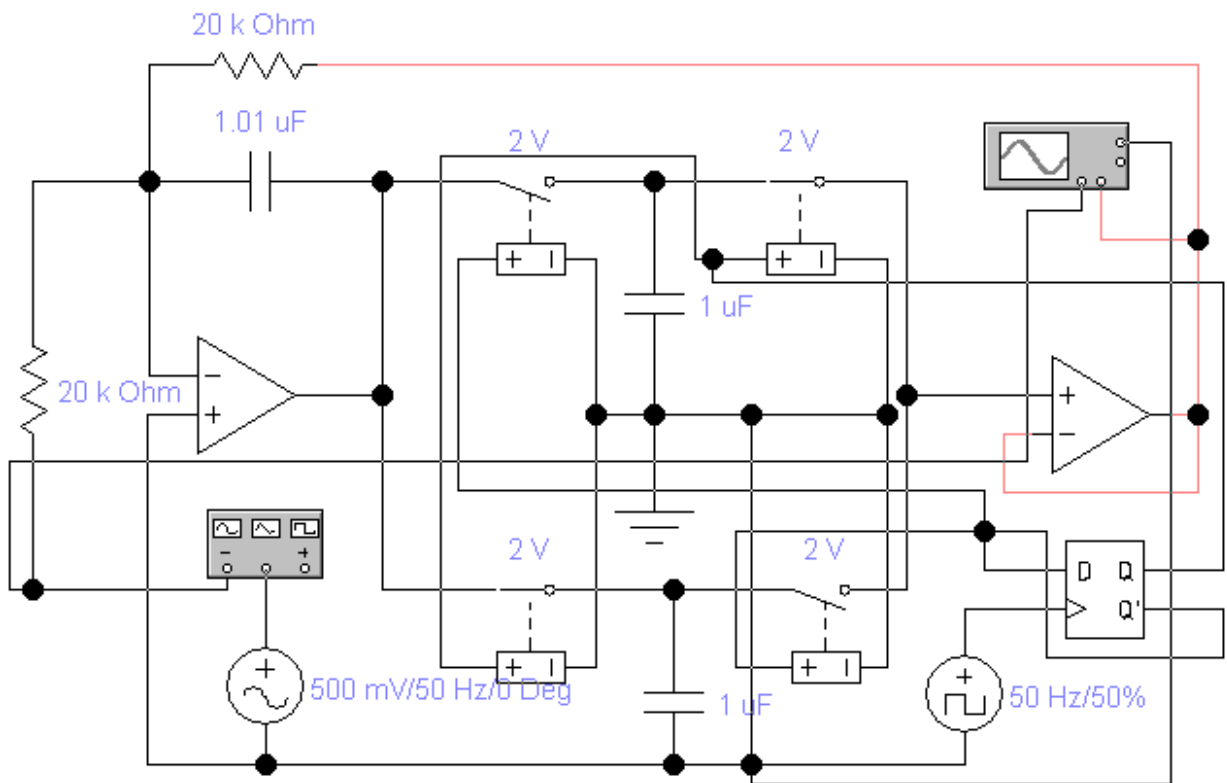


Рис. 6.1 модель вимірювального перетворювача напруги струму в програмному середовищі Electronics Workbench

При цьому вхідний сигнал ІІІ формувалася у вигляді суми вихідних напруг двох генераторів – генератора імпульсної напруги прямокутної форми типу «меандр» частоти 1 Гц з амплітудою 1 В і генератора синусоїдальної напруги (напруги перешкоди) частоти 50 Гц з амплітудою $\approx 0,7$ В. ІІІ формувалося за допомогою генератора прямокутних імпульсів із частотою 50

Гц. На рис.6.2 представлені часові діаграми перехідних процесів в ІІІ при різних відхиленнях постійного часу ланцюга зворотного зв'язку ІІІ від періоду сигналу синхронізації, що дорівнює 20 мсек.

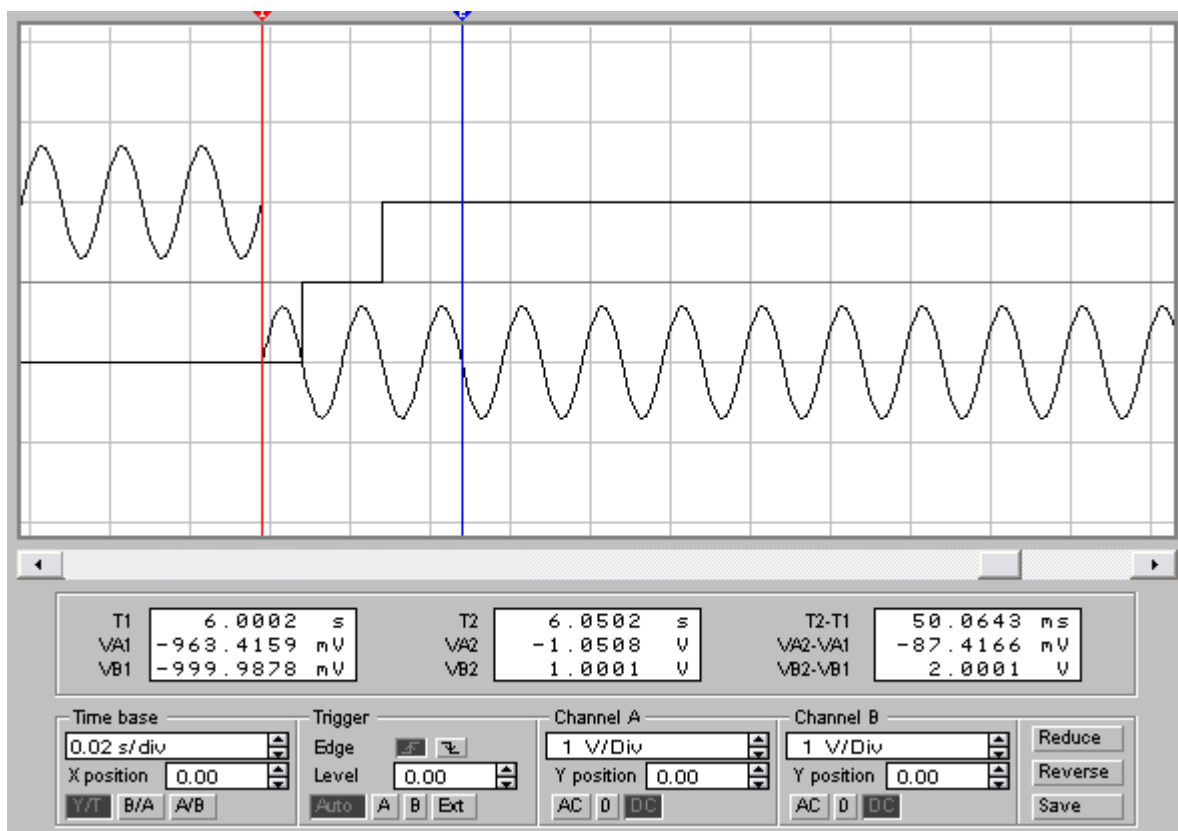


Рис.6.2, а часові діаграми

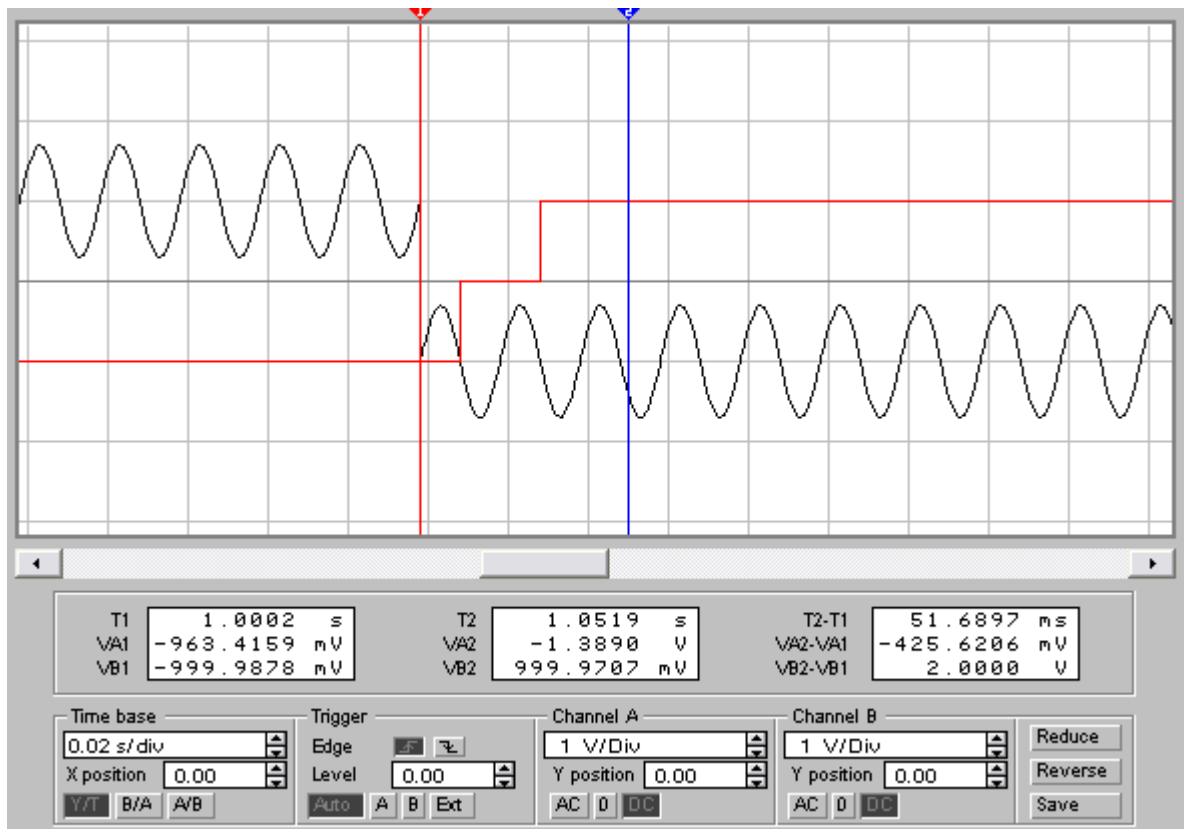


Рис.6.2,б часові діаграми

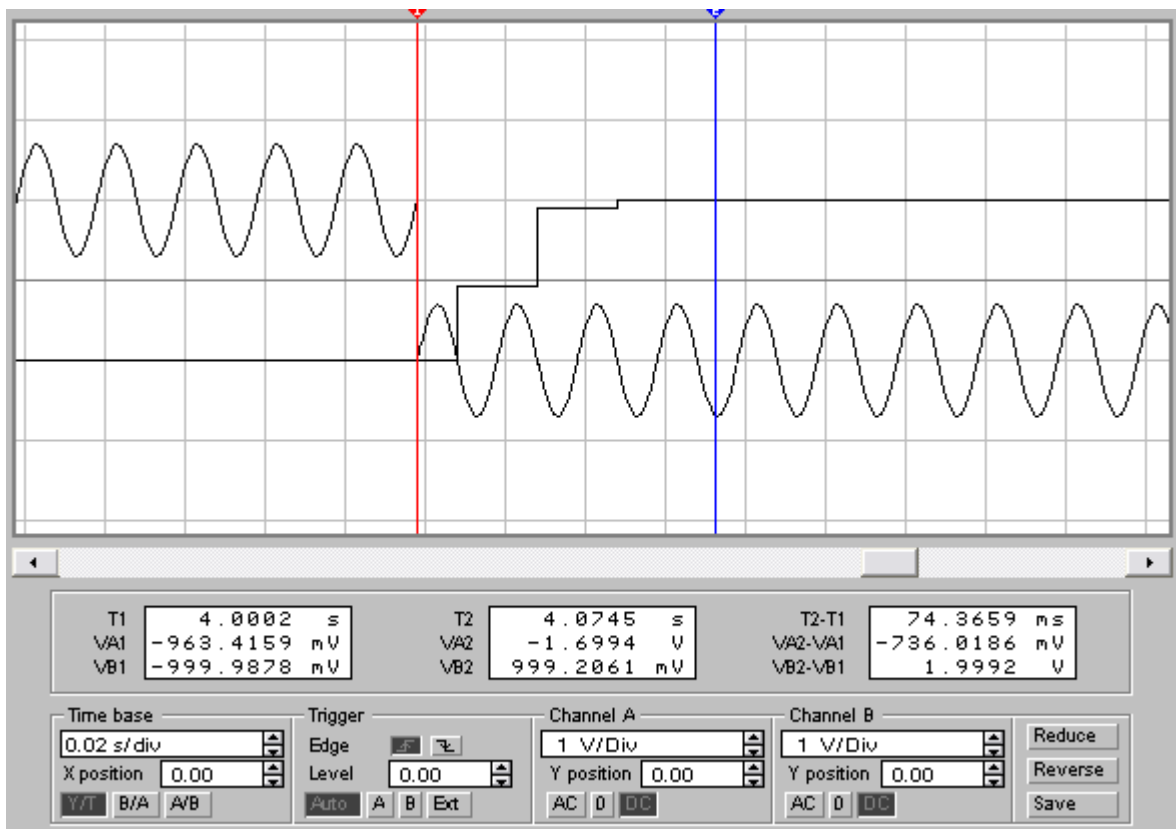


Рис. 6.2, в часові діаграми

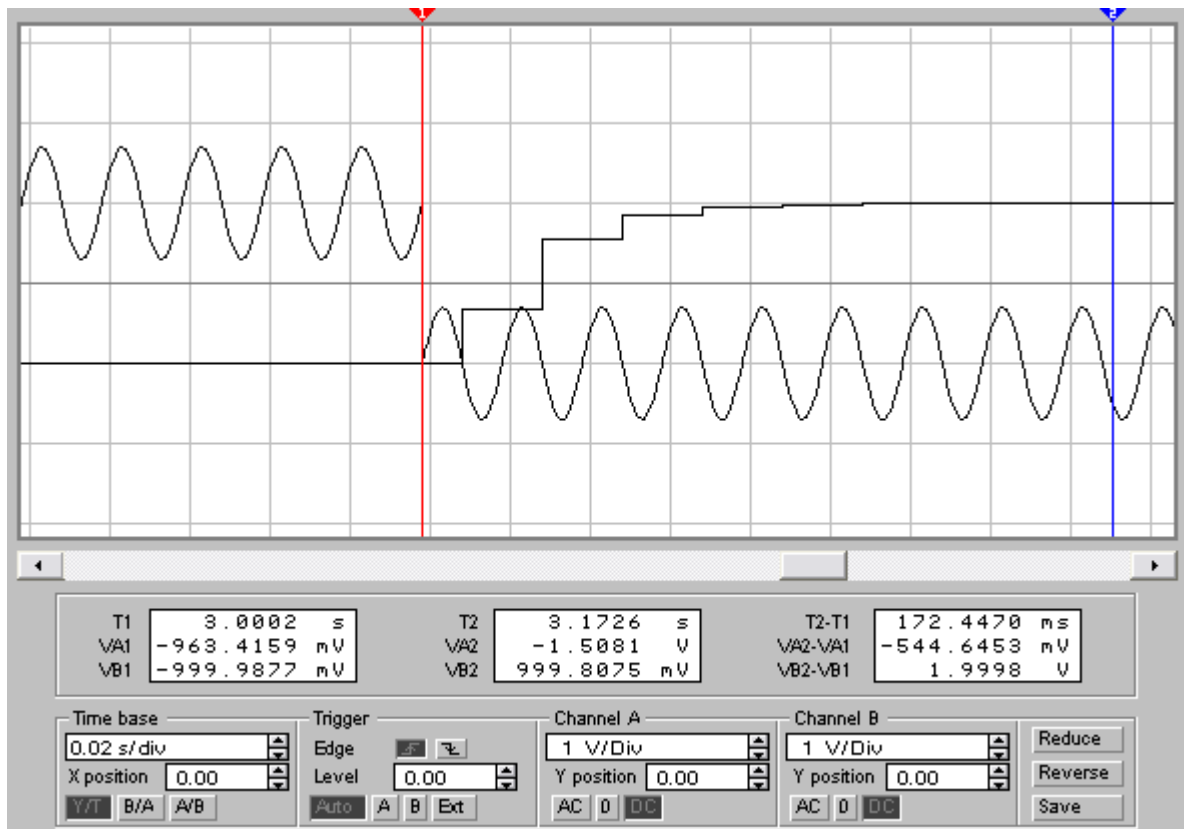


Рис. 6.2, г часові діаграми

На рис.6.2,а представлена тимчасова діаграма перехідного процесу в ІІІ для випадку, коли різницю між постійним часом ланцюга зворотного зв'язку ІІІ і періодом сигналу синхронізації (перешкоди) дорівнює 0,1%. Ця різниця моделювалася зміною значення ємності конденсатора інтегратора. Відповідно до рис. 6.2,б,в,г ця відмінність становила 1,5%, 10% і 50%. Як випливає з представлених діаграм, час встановлення ІІІ з похибкою менше 0,01% не перевищувало трьох періодів сигналу синхронізації (60мсек) у випадках, коли відхилення постійного часу ланцюга зворотного зв'язку ІІІ від періоду сигналу синхронізації не перевищувало 1,5%

4.1. Основи стандартизації, сертифікації та контролю якості

Метою написання цього під-розділу дипломного проекту є визначення відповідності вимірюваної системи, що відповідає вимогам стандартів, метрологічного забезпечення і підтвердження відповідності декларованим технічним характеристикам.

За законом України «Про метрологію та метрологічну діяльність» засоби вимірювальної техніки, на які поширюється державний метрологічний нагляд, що не занесені до Державного реєстру, перед введенням в експлуатацію підлягають державній метрологічній атестації з метою здійснення контролю і періодичної перевірки засобів вимірювальної техніки відповідно до Закону «Про метрологію та метрологічну діяльність» від 15 червня 2004 р.

Розглянемо особливості метрологічної діяльності у сфері наукових досліджень та розробок (витяг з постанови Кабінету Міністрів України від 1 квітня 1999 р. № 528).

Напрямом метрологічної діяльності у сфері наукових досліджень та розробок є науково-методична діяльність, спрямована на поширення метрологічних методів на нові досліджувальні об'єкти та галузі суспільно корисної діяльності.

Основним завданням метрологічної діяльності у сфері наукових розробок і досліджень, що проводяться в академіях, наукових установах та вищих навчальних закладах, є здійснення заходів для визначення наукової, нормативної, організаційної і технічної бази, досягнення та підтримки єдності вимірів.

Загальна теорія вимірювань із застосуванням методів, що базується на використанні сучасного математичного апарату є науковою базою метрологічного забезпечення наукових досліджень та розробок

Нормативною базою метрологічної діяльності у сфері наукових досліджень та розробок є методичні та рекомендаційні документи, які розробляються та удосконалюються академіями, науковими установами, вищими навчальними закладами та державними науковими метрологічними центрами, що належать до сфери управління Держспоживстандарту.

Організаційною базою метрологічної діяльності у сфері наукових досліджень та розробок є метрологічна служба академії, наукової установи та вищого навчального закладу.

Технічною базою метрологічного забезпечення наукових досліджень та розробок державні, робітники, вихідні зразки, стандартні довідкові дані про фізичні сталі та властивості речовин і матеріалів, стандартні зразки складу та властивостей речовин та матеріалів, засоби вимірювальної техніки.

Вимірювання у сфері наукових досліджень та розробок можуть здійснюватися із застосуванням будь-яких існуючих теорій та методів вимірювань.

У разі коли вид і параметри моделі об'єкта дослідження визначаються під час вимірювального експерименту, а точність, досягнута в процесі експерименту, встановлюється після його закінчення, цей експеримент проводиться відповідно до загальної теорії вимірювань.

У процесі державного метрологічного нагляду за забезпеченням єдності вимірів в академіях, наукових установах та вищих навчальних закладах проводиться перевірка:

1. Стану та застосування вихідних та робочих еталонів;
2. Стану та застосування засобів вимірювальної техніки, що використовуються під час проведення наукових досліджень та розробок щодо об'єктів, що належать до сфери державного метрологічного нагляду;
3. Дотримання умов метрологічних робіт атестували лабораторіями для інших підприємств та організацій.

Процедура підтвердження відповідності у законодавчо регульованій сфері є обов'язковою для виробника, постачальника чи уповноваженого органу сертифікації.

Підтвердження відповідності у законодавчо нерегульованій сфері здійснюється на добровільних засадах.

Відповідність продукції вимогам, встановленим законодавством, засвідчується декларацією про відповідність або сертифікатом відповідності.

Державна політика у сфері підтвердження відповідності базується на таких основних засадах:

1. Координація дій органів виконавчої влади у сфері підтвердження відповідності, розмежування їх повноважень та уникнення дублювання;
2. Безсторонність, прозорість та доступність процедур підтвердження відповідності;
3. Застосування з урахуванням існуючої міжнародної практики способів підтвердження відповідності залежно від потенційного ризику;
4. Забезпечення ідентичних процедур підтвердження відповідності продукції вітчизняного та іноземного походження;
5. Гармонізація національних нормативно-правових актів з підтвердження відповідності з міжнародними та європейськими;
6. сприяння розвитку сфери підтвердження відповідності у законодавчо нерегульованій сфері;
7. дотримання вимог щодо конфіденційності інформації, отриманої внаслідок робіт з підтвердження відповідності;
8. забезпечення повного та всебічного інформування з питань підтвердження відповідності всіх зацікавлених сторін.

Підтвердження відповідності – діяльність, наслідком якої є гарантування того, що продукція, системи якостей, системи управління якість, системи управління навколишнім середовищем, персонал відповідають встановленим законодавством вимогам.

Сертифікація – процедура, за допомогою якої орган, що визнаний у встановленому порядку, документально засвідчує відповідність продукції, систем якостей, систем управління якістю, систем управління навколишнім середовищем, персоналу встановленим законодавством вимогам.

Головним завданням дипломного проекту є модернізація інформаційно-вимірювальної апаратури існуючих АСУТП модульних котелень у частині підвищення точності та швидкодії отримання технологічних даних.

Система передбачає:

1. Контроль параметрів системи;
2. Виконання блокувань та захисту;
3. Автоматичне регулювання параметрів;
4. Дистанційне керування механізмами;
5. Архівування всіх регламентних параметрів системи.

Операторські станції відображають роботу об'єктів. значення контрольованих параметрів виводиться на мнемосхеми. Порухення технологічних режимів об'єкта показується зміною кольору аварійних параметрів на мнемосхемі ОС, виведенням на екран та занесенням до журналу аварійного повідомлення та звуковим сигналом. Управління здійснюється контролером через цифрові виходи. Технічні засоби системи забезпечують виконання функцій відповідно до «Правил пристрою та безпечної експлуатації парових та водогрійних котлів. від 19.06.2003 р. із змінами та доповненнями».

В автоматичному режимі система виконує такі функції:

1. Ідентифікація передаварійних та аварійних ситуацій;
2. Сигналізація передаварійних та аварійних ситуацій;
3. Вимірювання значень технологічних параметрів;
4. Регулювання основних технологічних параметрів;
5. Сигналізація відхилень параметрів від регламентних норм;
6. Розрахунок значень параметрів, що обчислюються;

7. Друк технологічного журналу за зміну в автоматичному режимі або на виклик.

Контроль здійснюється безперервно з періодом трохи більше 0,1 секунди.

Обчислення впливів, що управляють, здійснюється за цифровою формою традиційного ПД-закону регулювання.

Для управління роботою, забезпечення безпечних умов та розрахункових режимів експлуатації котли мають бути оснащені:

- а) пристроями, що оберігають від підвищення тиску (запобіжними пристроями);
- б) вказівниками рівня води;
- в) манометр;
- г) приладами для вимірювання температури середовища;
- д) запірною та регулюючою арматурою;
- е) приладами безпеки;
- ж) живильними пристроями.

Крім зазначеного у проекті має бути передбачена така кількість апаратури, засобів вимірювання, автоматики та захисту, яка необхідна для забезпечення регулювання режимів, контролю параметрів, відключення котла, надійної експлуатації, безпечного обслуговування, ремонту.

Питання оснащення контрольно-вимірювальними приладами котлів теплових електростанцій вирішуються на підставі НД, погодженої із Держгіртехнаглядом України.

У водогрійних котлів повинен бути передбачений пробний кран, встановлений у верхній частині барабана котла, а за відсутності барабана - на виході води з котла магістральний трубопровід до запірної пристрою.

Висота прозорого елемента вказівника рівня води повинна перевищувати допустимі межі рівня води не менше ніж на 25 мм з кожного боку.

На кожному вказівнику рівня води прямої та непрямої дії повинні бути зазначені допустимі верхній та нижній рівні.

При встановленні вказівників рівня води, що складаються з декількох окремих водовказівних пластин, останки повинні бути розміщені так, щоб вони постійно показували рівень води в котлі.

На водогрійних котлах манометри встановлюються на вході води в котел і на виході нагрітої води з котла до запірного органу, на всмоктувальній та нагнітальній лініях циркуляційних насосів з розташуванням на одному рівні за висотою, а також на лініях живлення котла або підживлення тепломережі.

Клас точності манометрів повинен бути не нижче:

- а) 2,5 – при робочому тиску до 2,5 МПа (25 кгс/см²);
- б) 1,5 – при робочому тиску понад 2,5 до 14 МПа (25 до 140 кгс/см²);
- в) 1,0 - при робочому тиску понад 14 МПа (140 кгс/см²).

Шкала манометра вибирається виходячи з умови, що при робочому тиску стрілка манометра повинна знаходитись у середній третині шкали.

На шкалі манометра повинна бути нанесена червона характеристика на рівні поділу, що відповідає робочому тиску і даного елемента з урахуванням додаткового тиску від ваги стовпа рідини.

Замість червоної риси допускається прикріплювати до корпусу манометра металеву пластинку, пофарбовану в червоний колір і щільно прилеглу до скла манометра.

Манометр повинен бути встановлений так, щоб його показання були чітко видно обслуговуючому персоналу, при цьому його шкала повинна бути розташована вертикально або з нахилом вперед до 30° для поліпшення видимості показань.

Номинальний діаметр манометрів, що встановлюються на висоті до 2 м від рівня майданчика спостереження за манометром, повинен бути не менше 100 мм, на висоті від 2 до 5 м – не менше 160 мм, на висоті понад 5 м – не

менше 250 мм. При встановленні манометра на висоті понад 5 м повинен бути встановлений знижений манометр як дублюючий.

Перед кожним манометром повинні бути встановлені триходовий кран або інший аналогічний пристрій для продування, перевірки та вимкнення манометра; перед манометром, призначеним для вимірювання тиску пари, крім того, має бути сифонна трубка умовним діаметром не менше ніж 10 мм.

На котлах з тиском 4 МПа (40 кгс/см²) і вище замість триходового крана повинні встановлюватися вентиля, що дозволяють відключати манометр від котла, забезпечувати його повідомлення з атмосферою і проводити продування сифонної трубки.

Манометри не допускаються до застосування у таких випадках:

а) якщо на манометрі відсутня пломба або тавро з відміткою про проведення перевірки;

б) якщо закінчився термін перевірки манометра;

в) якщо стрілка манометра при його відключенні не повертається до нульової позначки шкали на величину, що перевищує половину похибки для даного манометра;

г) якщо розбите скло або інші пошкодження манометра, які можуть позначитися на правильності його показань.

Прилади для вимірювання температури

У котлів, що мають пароперегрівач, на кожному паропроводі до головної засувки повинен бути встановлений прилад для вимірювання температури перегрітої пари. У котлів з проміжним перегрівом пари прилади для вимірювання температури повинні встановлюватися на вході та виході пари.

У котлів з природною циркуляцією з перегріванням пари паропродуктивністю більше 20 т/год, прямоточних котлів паропродуктивністю більше 1 т/год крім показуючих приладів повинні встановлюватися прилади з безперервною реєстрацією температури перегрітої пари.

На пароперегрівачах з декількома паралельними секціями крім приладів для вимірювання температури пари, що встановлюються на загальних паропроводах перегрітої пари, повинні бути встановлені прилади для періодичного вимірювання температури пари на виході кожної секції, а для котлів з температурою пари вище 500 °С - на вихідній частині змійовиків по одній термопарі (датчику) на кожний метр ширини газоходу.

Для котлів паропродуктивністю понад 400 т/год прилади для вимірювання температури пари на вихідній частині змійовиків пароперегрівачів повинні бути безперервної дії з пристроями, що реєструють.

За наявності на котлі пароохолоджувача для регулювання температури перегріву пари до пароохолоджувача та після нього повинні бути встановлені прилади для вимірювання температури пари.

На вході води в економайзер та на виході з нього, а також на живильних трубопроводах парових котлів без економайзерів повинні бути встановлені прилади для вимірювання температури живильної води.

Для водогрійних котлів прилади для вимірювання температури води повинні бути встановлені на вході та виході води.

Допустима температура гарячої води повинна бути відзначена на шкалі термометра червоною межею.

Для котлів теплопродуктивністю понад 4,19 ГДж/год (1 Гкал/год) прилад для вимірювання температури на виході з котла має бути реєструючим.

При роботі котлів на рідкому паливі на паливопроводі поблизу котла повинен бути встановлений термометр для вимірювання температури палива перед форсунками.

Допускається дистанційний контроль цієї температури із встановленням вторинного приладу на щиті керування котлом.

Для контролю за температурою металу та попередження підвищення її понад допустимих значень при розпалюванні, зупинках та маневрених режимах котла повинні бути передбачені прилади для вимірювання

температури стінки його елементів: барабанів, трубних ґрат та ін. Необхідність установки приладів, їх кількість та розміщення повинні визначатися організацією, проектує котел.

У водогрійних котлів слід встановлювати запірний орган на вході води в котел і на виході води з котла.

У котлів з тиском більше 0,8 МПа (8 кгс/см²) на кожному продувному, дренажному трубопроводі, а також трубопроводі відбору проб води (пара) має бути встановлено не менше двох запірних органів або один запірний та один регулюючий. У котлів із тиском понад 10 МПа (100 кгс/см²) на цих трубопроводах, крім того, допускається встановлення дросельних шайб. Для продування камер пароперегрівачів допускається встановлення одного запірного органу. Умовний прохід продувних трубопроводів та встановленої на них арматури повинен бути не менше 20 мм для котлів з тиском до 14 МПа (140 кгс/см²) та не менше 10 мм для котлів з тиском 14 МПа (140 кгс/см²) та більше.

На живильних лініях кожного котла має бути встановлена регулювальна арматура.

При автоматичному регулюванні живлення котла повинен бути передбачений дистанційний привід для керування живильною арматурою з робочого місця машиніста котла.

Водогрійні котли з багаторазовою циркуляцією і камерним спалюванням палива повинні бути обладнані приладами, що автоматично припиняють подачу палива до пальників, а з шаровим спалюванням палива - приладами, що відключають тягудутьові пристрої при зниженні тиску води в системі до значення, при якому створюється небезпека гідравлічних підвищення температури води вище за встановлену межу.

Водогрійні котли з камерним спалюванням палива повинні бути обладнані автоматичними приладами, що запобігають подачі палива в топку котла, а при шаровому спалюванні палива - що відключають тягудутьові пристрої та паливні механізми топки у випадках:

а) підвищення тиску води у вихідному колекторі котла більш ніж на 5% розрахункового чи дозволеного тиску;

б) зниження тиску води у вихідному колекторі котла до значення, що відповідає тиску насичення за максимальної температури води на виході з котла;

в) підвищення температури води на виході з котла до значення, вказаного заводом-виробником в інструкції з монтажу та експлуатації. За відсутності таких вказівок ця температура приймається на 20 °С нижче за температуру насичення при робочому тиску у вихідному колекторі;

г) зменшення витрати води через котел до мінімально допустимих значень, що визначаються заводом-виробником, а у разі їх відсутності - за формулою

$$G_{\min} = \frac{Q_{\max}}{c[(t_s - t_1) - t_1]} \left[\frac{\text{кг}}{\text{год}} \right],$$

де G_{\min} - мінімально допустима витрата води через казан, кг/год;

Q_{\max} – максимальна теплопродуктивність котла, МВт (ккал/год);

c - питома теплоємність, КДж/кг-С (ккал/кг-С);

t_s - температура кипіння води при робочому тиску, значення якого приймається на виході з казана, °С;

t_1 – температура води на вході в котел, °С.

На котлах повинні бути встановлені автоматичні звукові та світлові сигналізатори верхнього і нижнього граничних положень рівнів води.

Аналогічна сигналізація повинна виконуватися за всіма параметрами, за якими спрацьовує на зупинку автоматика безпеки (прилади безпеки).

Парові та водогрійні котли при камерному спалюванні палива повинні бути обладнані автоматичними пристроями для припинення подачі палива у топку у випадках:

а) згасання факела у топці;

б) відключення всіх димососів;

в) відключення всіх дутьових вентиляторів.

На котлах з пальниками, обладнаними індивідуальними вентиляторами, повинен бути захист, який припиняє подачу палива до пальника при зупинці вентилятора.

Необхідність обладнання котлів додатковими приладами безпеки визначається розробником проекту котла.

Реєстрація. Небезпечні виробничі об'єкти, на яких використовуються парові та водогрійні котли, повинні бути зареєстровані у Державному реєстрі небезпечних виробничих об'єктів у порядку, встановленому Правилами реєстрації об'єктів у Державному реєстрі небезпечних виробничих об'єктів, затверджених Постановою Уряду України від 24.11.98 N 1371. Реєстрації в органах України до пуску в роботу підлягають котли всіх типів, перелічені у п. 1.1.2 Правил «Правилами влаштування та безпечної експлуатації парових та водогрійних котлів. від 19.06.2003 р. із змінами та доповненнями».

Кожен котел повинен піддаватися технічному огляду до пуску в роботу, періодично в процесі експлуатації та у необхідних випадках – позачерговому огляду.

Технічний огляд котла здійснюється спеціалістом спеціалізованої організації, що має ліцензію Держгіртехнагляду України на провадження діяльності з експертизи промислової безпеки технічних пристроїв, що застосовуються на небезпечному виробничому об'єкті.

Технічний огляд котлів, які не реєструються в органах Держгіртехнагляду України, проводиться особою, відповідальною за справний стан та безпечну експлуатацію котлів.

Огляд (метрологічна атестація) аналогового інтерфейсу температури, що представляє з казаном єдиний агрегат, проводиться одночасно з казаном. Метрологічна атестація виконується шляхом комплексної перевірки аналогового інтерфейсу температури заміною датчика магазином опорів класу 0,02 (типу Р 4853). При цьому значення опорів, що встановлюються на магазині, відповідають вимірюваним температурам у п'яти точках діапазону, що перевіряється відповідно до ГОСТ 6651-94 (ДСТУ 2858-94)

Термоперетворювачі опору. Загальні технічні вимоги та методи випробувань. На заміну ГОСТ 4.174-85 у частині термоперетворювачів опору, ГОСТ 6651-93.

Цей стандарт поширюється на термоперетворювачі опору (ТЗ), призначені для вимірювання температури в діапазоні від -260 до $+1100$ °С, та встановлює номінальні статичні характеристики перетворення їх чутливих елементів (ЧЕ), тобто залежність опору ТЗ від температури.

Цей стандарт розроблено на підставі Міжнародної температурної шкали 1990 року (МТШ-90) у межах цієї шкали. Температура у цій шкалі виявляється у градусах Цельсія (°С), опір – в Ом.

Стандарт відповідає міжнародному стандарту ІЕС 584-1.

ВИСНОВКИ

У цьому дипломному проекті вирішено актуальне завдання розробки аналогового інтерфейсу для вимірювання технологічних температур АСУТП модульних котелень з покращеними техніко-економічними показниками, метрологічні характеристики якого відповідають сучасним вимогам .

В цьому дипломному проекті було проаналізовано та знайдено всі недоліки в датчиках та елементах вимірювання показань які надавали провести точні вимірювання що не дозволяло провести точне дослідження даної системи. Після заміни даних елементів були проведені розрахунки похибок які показали точність та доцільність заміни всіх елементів. Проаналізувавши всі розрахунки похибок $\delta_1=0,01\%$ – похибка, обумовлена неточністю зразкових резисторів R_{min} та R_{max} ; $\delta_2=0,01\%$ – похибка, обумовлена нелінійністю ізолюючого підсилювача ISO122; $\delta_3 = 0,033\%$ - похибка, обумовлена нестабільністю датчика; $\delta_4=0,013\%$ – похибка апроксимації датчика; $\delta_5 = 0,003\%$ - похибка, обумовлена нелінійністю ШП; $\delta_6=0,002\%$ – похибка, обумовлена нелінійністю вимірювального перетворювача струм-напруга RCV420; $\delta_7 = 0,005\%$ - похибка нелінійності АЦП; $\delta_8=0,02\%$ – похибка нелінійності вимірювального перетворювача напруга струм; $\delta_9=0,005\%$ – похибка, обумовлена саморозігрівом датчика; можна зробити такий висновок що заміна елементів системи була правильною.

В даному дипломному проекті також вирішене дуже важлива проблема, а саме економії та використання вітчизняних систем, що дозволяє підтримати вітчизняного виробника, що в свою чергу дасть можливість стати нашому вітчизняному виробнику більш конкурентно спроможним.

10. СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Бабак В.П. Сучасні технології вимірювальної техніки./ Бабак, С.Ф. Філоненко, Ю.В. Куц. Методичні вказівки Частина 2. - До.: НАУ, 2003. - 64с.
2. Губар В.І. Методичні вказівки для виконання лабораторних робіт з курсу «Аналогові вимірювальні прилади» для студентів спеціальності «Інформаційно-вимірювальні системи» / В.І. Губар, І.Є. Мозговий, Д.П. Орнатський, Ю.С. Шумків. Частина 2. - К.: НТУУ «КПІ», 2000. - 74 с.
3. Елемент введення сигналів постійного струму ГСП КТС ЛІУС-2 КС31.36. Технічний опис та інструкція з експлуатації. ГШЗ.082.732 ТО. - 1987. - 58 с.
4. Електронні компоненти та системи. № 9 (25) вересень 1999, ст. 24. «Модулі аналогових інтерфейсів».
5. Werthschutsry R. Основні досягнення та тенденції розвитку у створенні електромеханічних ІІ фізичних величин КІТ № 16, 1996, ст.10.
6. Fisher R. Erb K. Підвищення метрологічних характеристик вимірювальних перетворювачів методом цифрової компенсації похибок КІТ №42, 1990 р., ст. 22.
7. Комплекс технічних засобів для локальних інформаційно-керуючих систем – КТС Ліус. Номенклатурний список виробів. Редакція 2.91. – Харків ХНТІ САУ, 1991. - 38 с.
8. Куликовський К.Л. Методи та засоби вимірювань./ Куликовський К.Л., Купер В.Я - М.: Вища школа, 1986. - 448 с.
9. Модулі збирання даних I-7000 для розподілених систем на основі інтерфейсу RS-485. - Прайс-каталог «Вимірювання, контроль, діагностика», січень 1999. - с. 10 – 14.
10. Орнатський Д.П. «Основи метрології, вимірювальної техніки та автоматизації експерименту»./ Орнатський Д.П., Гріхова Є.Г Методичні вказівки до лабораторних робіт - К.: КПІ, 1993. - 64 с.
11. Полуянов Ю.Л. Цифрові вимірювально-керуючі пристрої тензометричних ваг та дозаторів./ Полуянов Ю.Л., Гальченко В.Д. - М., Видавництво, 1986 р.

12. Звіт про науково-дослідницьку роботу «Розробка технічного масовимірювального комплексу» пар. 3, 4, 5. №01924034436.
13. У. Томпкінса. Поєднання датчиків та пристроїв введення даних з комп'ютерами IBM PC./ У. Томпкінса та Дж. Уєбстера - М.: "Світ", 1992. - 592 с.
14. Тензо-резисторний вимірювальний перетворювач. Опис до патенту №UA 7279A.
15. Тітце У. Напівпровідникова схемотехніка: Довідкове керівництво./ Тітце У., Шенк К - М.: Світ, 1982. - 512 с.
16. Цапенко М.П. Вимірювальні інформаційні системи: структури та алгоритми, системотехнічне проектування. - М.: Вища школа, 1985. - 440 с.
17. ADAM-4000 – модулі для розподілених систем збирання даних та управління на базі RS-485. - Каталог №2 «ProSoft. Все необхідне для індустріальних, бортових та вбудованих систем управління, контролю та збору даних», 2000. - с. 22 – 25.
18. Analog Devices 1999 CD-ROM. Catalog software and database.
19. Burr-Brown 1998 p. CD-ROM. Catalog software and database.
20. Digital Instrument Course. By MH van Erk та HG Onstee. Digital Voltmeters та Multimeters. – □ Philips. - 60 p.
21. Honeywell 2000 CD-ROM. Catalog software and database.
22. Linear Technology Corporation 2000 CD-ROM. Catalog software and database.
23. Maxim 1999 CD-ROM. Fullline Data Catalog.
24. RS Components Catalogue 1999.