

**МІНІСТЕРСТВО ВНУТРІШНІХ СПРАВ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ВНУТРІШНІХ СПРАВ
КРЕМЕНЧУЦЬКИЙ ЛЬОТНИЙ КОЛЕДЖ**

Циклова комісія авіаційного і радіоелектронного обладнання

ТЕКСТ ЛЕКЦІЇ

з навчальної дисципліни
«Мікроконтролерні пристрої електромеханічних систем»
обов'язкових компонент
освітньо-професійної програми першого(бакалаврського) рівня вищої освіти

***141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
(Електромеханіка)***

за темою № 4 – Застосування мікроконтролерів

Кременчук 2023

ЗАТВЕРДЖЕНО

Науково-методичною радою
Харківського національного
університету внутрішніх справ
Протокол від 30.08.2023 № 7

СХВАЛЕНО

Методичною радою
Кременчуцького льотного коледжу
Харківського національного
університету внутрішніх справ
Протокол від 28.08.2023 № 1

ПОГОДЖЕНО

Секцією Науково-методичної ради
ХНУВС з технічних дисциплін
Протокол від 29.08.2023 № 7

Розглянуто на засіданні циклової комісії авіаційного і радіоелектронного обладнання, протокол від 28.08.2023р № 1.

Розробник: викладач циклової комісії авіаційного і радіоелектронного обладнання, к.т.н., спеціаліст вищої категорії, викладач-методист Волканін Є.Є.

Рецензенти:

1. Доцент кафедри електричних станцій Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут», к.т.н. Шокарьов Д.А.
2. Викладач циклової комісії авіаційного і радіоелектронного обладнання КЛК ХНУВС, к.т.н., професор Гаврилюк Ю.М.

План лекції:

1. Застосування мікроконтролерів в електромеханічних системах.
2. Застосування мікроконтролерів в електроапаратобудуванні.
3. Застосування МК51 при випробуваннях електричних апаратів захисту.
4. Структурна схема АСУ ТПВ з паралельними АЦП.

Рекомендована література:

Основна:

1. Грищук Ю.С. Мікропроцесорні пристрої: Навчальний посібник. – Харків: НТУ «ХП», 2007. – 280с.
2. Основи електротехніки, електроніки та мікропроцесорної техніки: навч. посіб. / В. Ф. Болюх, В. Г. Данько, Є. В. Гончаров; за ред. В. Г. Данька; НТУ «ХП». – Харків: Планета-Прінт, 2019. – 248 с.

Допоміжна:

1. Мікроконтролерні пристрої: навч. посіб. для студ. спец. «Мікро- та наноелектроніка» / О. С. Тонкошкур, І. В. Гомілко, О. В. Коваленко; Дніпропетровський нац. ун-т ім. О. Гончара. – Д. : Вид-во ДНУ, 2011. – 264 с.
2. Мікропроцесорні пристрої: Методичні вказівки до виконання курсової роботи./ Ю.М.Трофімов К.: [ДЕТУТ],2007.-191с.
3. Електронні системи: навчальний посібник / Й. Й. Білінський, К. В. Огороднік, М. Й. Юкиш. — Вінниця: ВНТУ, 2011. — 208 с.

Інформаційні ресурси в Інтернеті:

1. <https://uk.wikipedia.org/wiki/Мікроконтролер>
2. http://elprivod.nmu.org.ua/ua/interesting/what_is_mp_mc_plc.php
3. <http://vozom.ho.ua/MP/page61.html>
4. <https://life-prog.ru/ukr/arhitektura.php>

Текст лекції

1. Застосування мікроконтролерів в електромеханічних системах

В даний час мікропроцесорні пристрої широко застосовуються для вирішення самих різних завдань практично у всіх областях діяльності людини. Можливі області застосування МК пов'язані з їх архітектурою і розрядністю: · 8-розрядні мікроконтролери сімейства МК51 застосовуються для управління різними технологічними процесами у виробництві, випробуваннях і дослідженнях устаткування, в пристроях управління транспортом, в службовій, комерційній, торговій і побутовій апаратурі, пристроях автоматичного управління вимірювальними приладами; · 16-розрядні МП використовуються в системах зв'язку, збору і обробки інформації, контрольно-розподільних системах, в системах навігації, аналого-цифрових перетворювачах, в мікроЕОМ широкого призначення; · 32-розрядні застосовуються в мікро- і міні-ЕОМ широкого призначення, МПС цільового призначення, спеціалізованих процесорах, цифрових фільтрах, автокореляторах. 64-розрядні - в мультимедійних, в 2D і 3D графічних системах.

В даний час МК широко використовуються в управлінні різними електромеханічними системами, використовуваними на транспорті, в енергетиці, різних галузях промисловості, електропобутовій техніці і т.ін.

Для управління потужними транспортними дизельними установками від 250 до 3000 кВт і більше використовується електронний регулятор фірми – «Хайнцман». Вказані найбільш відомі фірми-виробники таких регуляторів, як, «Бош», «Хайнцман», «Барбет», «Вудвард» і «Колман». Основою регуляторів такого класу є швидкодіючий, потужний МП. Власна програма регулятора зберігається в постійній FLASH пам'яті.

Регулятор визначає робочий стан дизеля по сигналах, які поступають від різних датчиків. У двигуна можуть контролюватися температураохолоджуючої рідини, тиск масла, число оборотів і інші параметри.

У літературі приведений приклад і функціональна схема з використанням мікроконтролера в структурі системи управління процесом рекуперативного гальмування, побудованої для електрорухомого складу постійного струму, експлуатованого на залізницях України. Ця система дозволяє істотно зменшити споживання енергії.

Приведена система управління технологічним процесом без вводу ЕОМ в контур регулювання, в якій керуюча програма знаходиться в ЕОМ, забезпечує задану послідовність виконання технологічних операцій, задану тривалість їх виконання в часі, темп прискорення і уповільнення, обробку сигналів від технологічних датчиків, а також датчиків аварійних ситуацій з відповідним відключенням. Виконавчим органом є електродвигун з його власною системою управління.

Там же приведені приклади застосування МК в системах управління технологічними процесами з частковим і повним включенням ЕОМ в контури регулювання технологічних параметрів і електроприводу.

Для реалізації системи векторного управління асинхронними і синхронними електроприводами, такими фірмами як «SIEMENS», «ABB», «MITSUBISHI» і ін. використовуються спеціалізовані мікросистеми фірм «TEXAS INSTRUMENT» або аналог «DEVICES».

Для цифрового управління електродвигунами і для вирішення ряду інших завдань фірма «TEXAS INSTRUMENT» розробила сімейство цифрових сигнальних процесорів (ЦСП) TMS320C20x (платформа C2000) з розвиненою периферією і невисокою вартістю. Розроблені фірмою триплатформи – C2000, C5000, C6000 за запатентованою технологією виробництва кремнію TimeLine™ з роздільною здатністю 0,18 мкм дозволяють забезпечити весь діапазон можливих застосувань ЦСП. Цим забезпечується можливість найширшого вибору процесора по критерію “продуктивність/вартість/споживана потужність”. Ці мікросистеми дозволяють реалізувати складні обчислювальні алгоритми з необхідною швидкодією. Інтервал повторення основних обчислень складає 25 мкс.

Платформа C5000 орієнтована на застосування в портативних пристроях і в мобільному зв'язку. Використання 0,18 мкм технології дозволяє досягти продуктивності (до 800 MIPS) при зниженні енергоспоживання до 0,05 мВт/MIPS і вартості окремих ЦСП до 5\$.

Платформа C6000 покликана забезпечити максимальну продуктивність в системах управління, що вимагають граничних швидкостей обчислень як з фіксованою, так і плаваючою крапками. Вона включає дві гілки 32-розрядних ЦСП з фіксованою і плаваючою крапками. До сімейств процесорів з фіксованою крапкою відносяться C62x з продуктивністю від 1200 до 2400MIPS і нові процесори сімейства C64x з продуктивністю від 4800 до 8800 MIPS. Процесори сімейства C67x відносяться до пристроїв з плаваючою крапкою і продуктивністю до одного мільярда операцій з плаваючою крапкою в секунду (1 GFLOPS) при тактовій частоті 167 МГц.

Висока продуктивність процесорів цієї платформи досягається за рахунокнової архітектури VelociTITM з “дуже довгим командним словом” (VLIW) і з новітніми апаратними рішеннями. На виконання видається вісім 32- розрядних команд, кожна з яких виконується одним з восьми незалежних функціональних пристроїв, згрупованих в 2 блоки. Процес виконання команд конвеєризований і розпадається на етапи вибірки, розпаковування, декодування і виконання. C6000 застосовується в модемних пулах, базових станціях і відеосистемах.

2. Застосування мікроконтролерів в електроапаратобудуванні

МП пристрої використовуються в управлінні електричними апаратами, комплектними розподільними пристроями (КРП), технологічними процесами виробництва, випробувань і досліджень, гнучкими системами релейного захисту (ГСПЗ) і т.ін. [29, 30, 31, 32]. Нижче наводяться приклади використання МП в комплектних розподільних пристроях з високовольтними електричними апаратами [31], в системах автоматичного управління процесами випробувань і досліджень електричних апаратів і в ГСПЗ.

У [31] приведено КРП з мікропроцесорним управлінням і релейним захистом, що випускає АТ “Рівненський завод високовольтних апаратів” (РЗВА). У шафах КРП серії КУ-10Ц як основну комплектуючу апаратуру застосовують:

- високовольтний вакуумний вимикач ВВКЭ-10 (VMIS);
- трансформатор струму ТЛК-10, ТВЛ;
- трансформатори струму нульового захисту ТЗЛМ;
- трансформатори напруги ЗНОЛ-06, НОЛ-08, НАМИ;
- обмежувачі перенапруження ОПНС, розрядники РВО;
- запобіжники силові ПКНТ;
- запобіжники трансформаторів напруги ПКН.

КРП серії НКАИ670049.003 з мікропроцесорним управлінням мають порівняно з КРП інших серій аналогічного призначення ряд переваг, саме:

1. Наочність процесу роботи КРП за рахунок більшої кількості вимірювань і

сигналізації, а також показу інформації на динамічних екранах, які дають можливість оператору своєчасно реагувати для запобігання аварії;

2. Дистанційне керування, як терміналами релейного захисту, так і первинним устаткуванням підстанцій (порівняно з місцевим управлінням у разі використання традиційного устаткування);

3. Постійну діагностику устаткування, що дозволяє проводити передаварійну профілактику устаткування (порівняно з поставарійним або періодичним технічним обслуговуванням традиційного устаткування);

4. Можливість покрокового нарощування системи, як релейного захисту, так і систем вимірювання і управління, зміни їх функцій шляхом перепрограмування;

5. Можливість реєстрації і збереження всіх величин, контрольованих параметрів в передаварійних і аварійних режимах роботи, що дозволяє провести точний поставарійний комп'ютерний аналіз причин аварії (така можливість повністю відсутня в традиційному устаткуванні);

6. Можливість реалізації ряду допоміжних функцій управління і контролю.

Приведені вище переваги, забезпечуються застосуванням в новому КРП мікропроцесора типу « SPAC» фірми АББ – Чебоксари (Росія) або REF-542 АБВ. Докладніший виклад особливостей застосування МП « SPAC» і REF-542 АБВ в КРП.

Застосування МП в гнучких системах релейного захисту (ГСРЗ) забезпечує ефективне запобігання і (або) локалізацію аварій.

Кінцевою метою функціонування релейного захисту (РЗ) є забезпечення безаварійності об'єктів захисту (ОЗ) (електричних станцій, ліній електропередачі, електроенергетичних установок і т.п.), тобто можливості системи РЗ шляхом відключення ОЗ своєчасно запобігати розвитку аварійних ситуацій, небезпечних для устаткування і обслуговуючого персоналу. Попереднє покоління пристроїв РЗ було створено на базі електромеханічних реле, напівпровідникових елементів і аналогових інтегральних мікросхем (ІМС). Створені на основі таких не програмованих елементів, вони функціонально є кінцеві автомати другого роду з незмінною (жорсткою) архітектурою і знаходять застосування в даний час при реалізації простих алгоритмів виявлення пошкоджень. На відміну від них ГСРЗ володіють можливістю перепрограмування на реалізацію тих або інших функцій без зміни складу комплексу технічних засобів і реалізації алгоритмів виявлення пошкоджень підвищеної складності з використанням принципів

адаптації і автоматизації процесів діагностики і настройки апаратури. Це дозволяє понизити збиток від пошкодження ОЗ, підвищити якість електроенергії і скоротити витрати на обслуговування, контроль, розробку і проектування РЗ. Наприклад, застосування МП релейного захисту на базі МП серії K589 дозволяє забезпечити комплексний захист генератора (КЗГ) автономної електростанції [32]. Вказаний захист здійснює виявлення перевантажень первинного двигуна (наприклад, турбіни) генератора,

зовнішніх і внутрішніх коротких замикань (КЗ), зниження напруги, переходу генератора в руховий режим. Перевантаження генератора, що викликає перегрів його обмоток, виявляється по параметру “квадрат діючого значення струму”. КЗГ контролює струми всіх трьох фаз. Допустима тривалість перевантаження визначається фазою з максимальним значенням струму. Цей же інтегральний параметр, використовується для захисту від зовнішніх КЗ.

Перевантаження приводного двигуна виявляється по двох параметрах – частоті напруги на виведеннях генератора і активної потужності, що віддається ним. Якщо зниження частоти не перевищує заданого значення, допустима тривалість перевантаження визначається тільки активною потужністю. Для забезпечення можливості збереження генератора в роботі у разі перевантажень в комплексному захисті генератора (КЗГ) передбачені два ступені розвантаження (шляхом відключення невідповідальних споживачів).

Зниження напруги виявляється по параметру “квадрат діючого значення напруги”, а перехід генератора в режим двигуна (що є неприпустимим навантаженням для паралельно працюючих з ним генераторів), по параметру “зворотна активна потужність”. Детальніше питання застосування МП і МК в ГСРЗ.

3. Застосування МК51 при випробуваннях електричних апаратів захисту

Аналіз вимог, що пред'являються до електричних апаратів захисту (автоматичних вимикачів (АВ) і швидкодіючих запобіжників (ШЗ) і ін.) і методів їх випробувань, указує на вельми широкий перелік параметрів, які повинні перевірятися і досліджуватися при проведенні різних випробувань і досліджень. До таких параметрів відносяться: номінальний струм, струм перевантаження, струм короткого замикання, напруга на дузі, Джоулевий інтеграл, час відключення, температура на виводах, температура в центрі плавкого елемента, температура контактів, швидкість руху дуги в дугогасних решітках і т.ін. Все це указує на необхідність використання вельми широкого спектру, відповідних датчиків, що дозволяють з необхідною точністю відстежувати зміну цих параметрів в процесі досліджень.

При проведенні комутаційних досліджень на постійному струмі таких електричних апаратів, як швидкодіючі запобіжники, автоматичні вимикачі та інші використовуються експериментальні установки, які включають головний ланцюг і ланцюг управління. Схема однієї із таких установок представлена на рис.

Головний ланцюг установки складають ударний генератор (УГ) ($U_n = 880$ В, $I_{уд} = 70$ кА), регульовані реактори L, регульований опір R_a , захисний вимикач (ЗВ), вмикаючий апарат (ВА), макет апарату (МА).

Проведення досліджень здійснюється за допомогою пульта електронного управління (ПЕУ) і електромеханічного або електронного осцилографа (ЕО).

Вимірювання струмів проводиться за допомогою шунта з опором $R_{ш}=0,7 \times 10^{-5}$ Ом. Напруга на дузі вимірюється по схемі дільника напруги.

Криві струму і напруги в стандартних експериментах записувалися на світлочутливий папір за допомогою світлопроменевого осцилографа. В цьому випадку обробка осцилограм проводиться графічним методом, що вимагає великих трудових витрат і часу і знижує точність вимірювань.

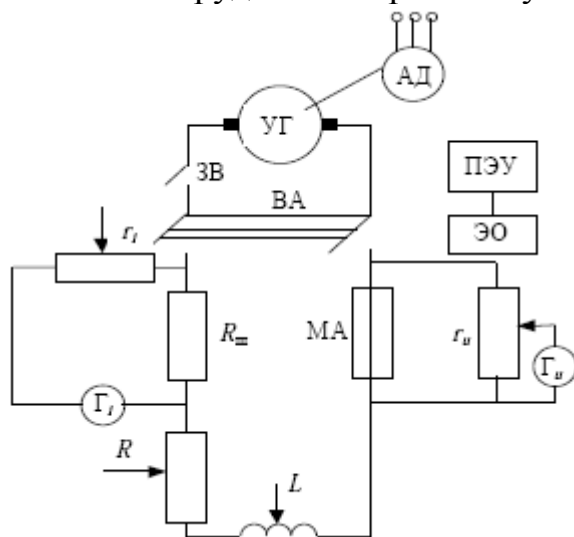


Схема експериментального стенду для комутаційних досліджень електричних апаратів

При дослідженні маловивчених процесів для того, щоб забезпечити реєстрацію можливих гострих піків перенапруження, для запису кривих струму і напруги необхідно використовувати електронний осцилограф і здійснювати фотографування за допомогою фотоприставки. У випадках, коли потрібна підвищена точність, обробка осцилограм проводиться за допомогою вимірювального мікроскопа. Все це також приводить до додаткових матеріальних, тимчасових і трудових витрат. Скоротити терміни проведення комутаційних досліджень, підвищити точність вимірювань, понизити їх вартість можна, застосувавши розроблену автоматизовану систему управління технологічним процесом досліджень (АСУ ТПВ) із застосуванням однокристального мікроконтролера.

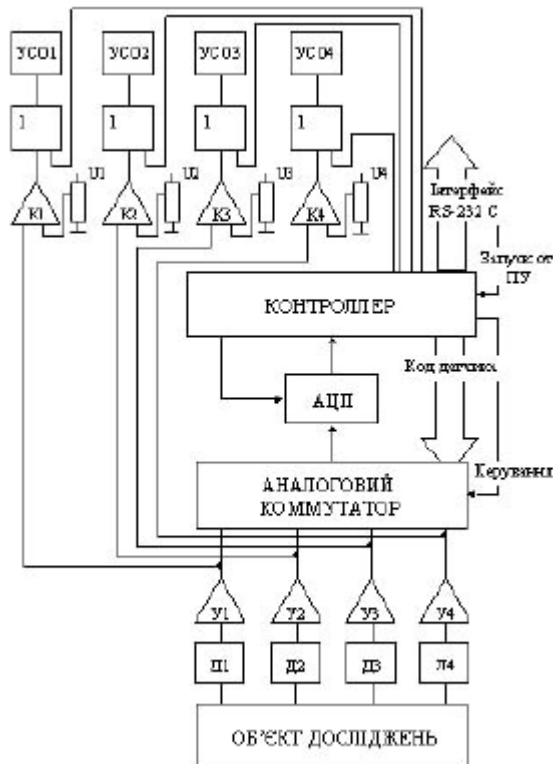
Структурна схема АСУ ТПВ, представлена на рисунку, виконана на базі мікроконтролера серії МК1816ВЕ51. Схема включає: датчики контрольованих параметрів (струму, напруги, температури, Джоулевого інтеграла) Д1–Д4 (первинні перетворювачі); нормуючі підсилювачі У1–У4; · чотирьохканальний комутатор аналогових сигналів типу КР590КИ6; · аналого-цифровий перетворювач типу К1113ПВ1; · мікроконтролер, що містить вбудований генератор тактових сигналів, пам'ять команд, ОЗП, вбудовані 3 порти і послідовний канал зв'язку; · компаратори К1–К4 типу К554 СА3, виходи яких по «АБО» об'єднані з вихідними сигналами мікроконтролера, що управляють; · пристрої узгодження і обміну УСО1-

УСО4, які включають виконавчі пристрої силової установки, які задають режим випробувань або досліджень.

Через послідовний інтерфейс RS232C АСУТПВ пов'язана з ПЕОМ, яка може змінювати режими випробувань або досліджень, а також приймати, запам'ятовувати, відображати і документувати результати випробувань або досліджень. До об'єкту дослідження підключені відповідні датчики. Датчики контрольованих параметрів Д1–Д4 є первинними перетворювачами струму, напруги, температури, Джоулевого інтеграла в напругу. Нормуючі підсилювачі погоджують вихідну напругу датчиків з необхідним вхідним сигналом АЦП 0–10 В і забезпечують низький вихідний опір.

Комутатор аналогових сигналів перемикає один з входів на вихід залежно від керуючого коду, що поступив від мікроконтролера.

АЦП є швидкодіючим десятирозрядним перетворювачем вхідної напруги в паралельний двійковий код. Запуск перетворювача проводиться мікроконтролером, закінчення перетворення викликає сигнал готовності, який є командою для прочитування даних.



Структурна схема автоматизованої системи управління технологічним процесом досліджень електричних апаратів

Мікроконтролер як мікропроцесорний пристрій, відповідно до записаної в пам'ять програми, управляє процесом досліджень або випробувань шляхом опиту із заданою періодичністю датчиків Д1–Д4 відповідно до алгоритму управління. Вихідні сигнали датчиків унаслідок їх різної фізичної природи можуть потребувати посилення і проміжного перетворення на АЦП або на схемах формувачів сигналів (ФС), які найчастіше виконують функції гальванічної розв'язки і формування рівнів двійкових сигналів стандарту

ТТЛ. Мікроконтролер з необхідною періодичністю оновлює слова, що управляють, на своїх вихідних портах.

Деяка частина слова, що управляє, може інтерпретуватися як сукупність прямих двійкових сигналів управління (СУ), які через схеми формувачів сигналів, (підсилювачі потужності, реле, оптрони і т.ін.) або пристрої зв'язку з об'єктом (УСО1–УСО4) поступають на виконавчі механізми (ВМ).

Компаратори К1–К4 є паралельним апаратним контуром для захисту від аварійних режимів. УСО1–УСО4 є підсилювачі потужності, які управляють виконавчими пристроями ВМ силової установки.

Обґрунтування вибору мікропроцесорної системи приведене на прикладі для досліджень швидкодіючих запобіжників.

Мікропроцесор для описаної вище системи вибирається виходячи з характеру досліджуваних процесів і умов досліджень:

- швидкості протікання процесів;
- кількості досліджуваних параметрів і частоти опиту датчиків;
- завдань по переробці інформації;
- умов експлуатації і вимог по надійності.

Аналіз вихідних даних цього завдання показує, що його рішення може бути здійснено на базі мікроконтролера серії МК51.

Система на базі цього мікроконтролера здатна опитувати датчики з частотою 100 мкс, тобто за час відключення запобіжника $t_{\text{відкл}} \leq 10$ мкс система встигне опитати датчики 100 разів, чого цілком достатньо для зняття і побудови характеристик запобіжника з необхідною точністю.

Найбільш прийнятним для дослідження характеристик швидкодіючих запобіжників і автоматичних вимикачів є мікроконтролер типу МК1816BE51, що має наступні технічні показники:

- тип – паралельний;
- розрядність паралельно оброблюваної інформації – 8 двійкових розрядів;
- форма представлення чисел – двійковий додатковий код;
- методи адресації – регістрова, пряма, непряма-регістрова безпосередня;
- одиниця, що адресується, – байт;
- кількість команд – 111, включаючи команди арифметичних і логічних операцій, стекових операцій, складання слів двійкової довжини, операції управління;
- формат команд – одnobайтна, двобайтова, трьохбайтна;
- час виконання команд – 1–4 мкс;
- 32 РОН і набір регістрів спеціальних функцій;
- 128 визначуваних користувачем програмно-керованих прапорів;
- послідовний інтерфейс;
- чотири 8-розрядні програмовані канали вводу-виводу;
- два 16-бітові багаторежимні таймери/лічильники;

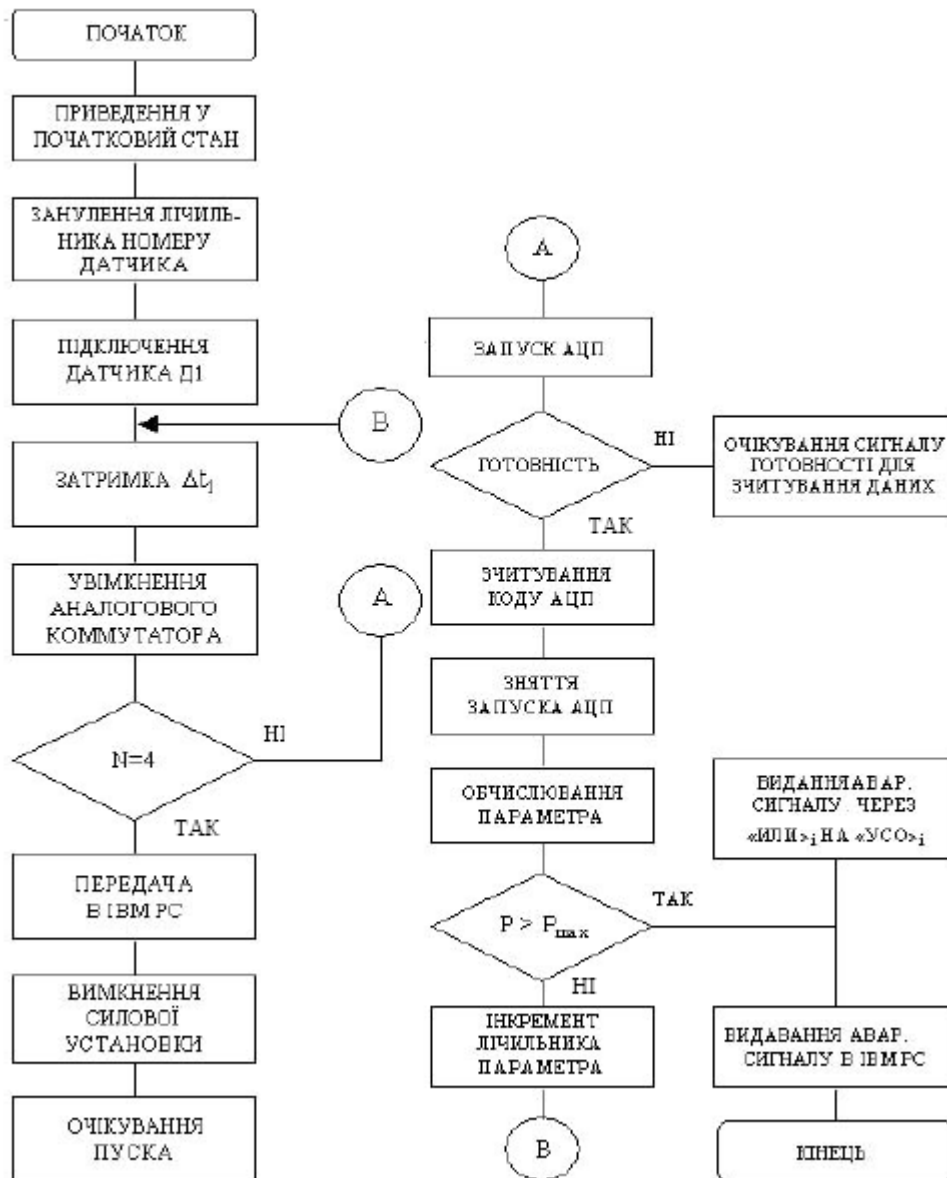
- система переривання з п'ятьма векторами і двома рівнями з програмною установкою пріоритету;
- місткість внутрішнього ОЗП – 128 байтів, ПЗП – 4 кбайта.

Діалог з МК здійснюється за допомогою послідовного інтерфейсу RS-232C через ПЕОМ або пульт управління.

Важливою особливістю арифметико-логічного пристрою (АЛП) мікроконтролера сімейства МК51 є його здатність оперувати не тільки байтами, але і бітами. Окремі програмно-доступні біти можуть бути встановлені, скинуті, інвертовані, передані, перевірені і використані в логічних операціях. Це дозволяє при керуванні об'єктами часто застосовувати алгоритми, що містять операції над вхідними і вихідними мулевими змінними. АЛП являє собою паралельний 8-розрядний пристрій, що забезпечує виконання арифметичних і логічних операцій, а також операцій зсуву, обнуління тощо. АЛП може оперувати чотирма типами інформаційних об'єктів: булевими (біт), цифровими (4 біта), байтними (8 біт) і адресними (16 біт). У АЛП виконується 51 різна операція пересилки або перетворення цих даних. Оскільки використовується 11 режимів адресації (7 для даних і 4 для адрес), то шляхом комбінування «операція/режим адресація» базове число команд 111 розширюється до 255. В АЛП реалізується механізм каскадового виконання простих операцій для реалізації складних команд, наприклад таких як команда умовної передачі управління за результатами порівняння.

Робота схеми здійснюється по розробленому алгоритму і програмі.

Алгоритм роботи схеми представлений на рис.



Алгоритм роботи схеми автоматизованої системи управління технологічним процесом дослідження швидкодіючих запобіжників

Розроблена АСУ ТПВ дозволяє скоротити терміни проведення досліджень, підвищити достовірність і економічну ефективність.

4. Структурна схема АСУ ТПВ з паралельними АЦП

При дослідженні багатьох різних за природою фізичних процесів (горіння дуги, нагрів, електродинамічні зусилля, електромагнітне поле і ін.), що протікають при комутації в електричних апаратах захисту виникає необхідність у визначенні їх характеристик і параметрів. Ці процеси при відключенні аварійних струмів вельми короткочасні і мають тривалість від 1 до 10 мс. Для дослідження таких процесів можуть бути використані установки, приведена на рис. Управління і проведення досліджень в таких установках здійснюється за допомогою пульта електронного

управління і електромеханічного або електронного осцилографа, що надалі при графічній обробці осцилограм приводить до погрішностей, додатковим матеріальним, часовим і трудовим витратам і стають малоефективними.

Запропонована структурна схема АСУ ТПВ на базі МК51 з послідовним АЦП у ряді випадків також не забезпечує ефективного рішення цих задач зважаючи на низьку швидкодію МК, велике число датчиків і частоти їх опиту. Це завдання можна вирішити, використовуючи схему АСУ ТПВ з паралельними АЦП, включивши до неї швидкодіючий МК серії MCS251.

Для захисту електроустановок в аварійних режимах найширше використовуються такі електричні апарати захисту, як автоматичні вимикачі і швидкодіючі запобіжники. Тому розробку структурної схеми АСУ ТПВ доцільно виконати для одного з цих апаратів захисту. АСУ ТПВ для інших апаратів може відрізнятися тільки кількістю і найменуваннями контрольованих параметрів і відповідними датчиками, які будуть підключені до досліджуваного апарату.

Розглянемо на прикладі технічного завдання на створення мікроконтролерної системи управління стендом для випробувань швидкодіючих запобіжників з нижче наступними початковими даними:

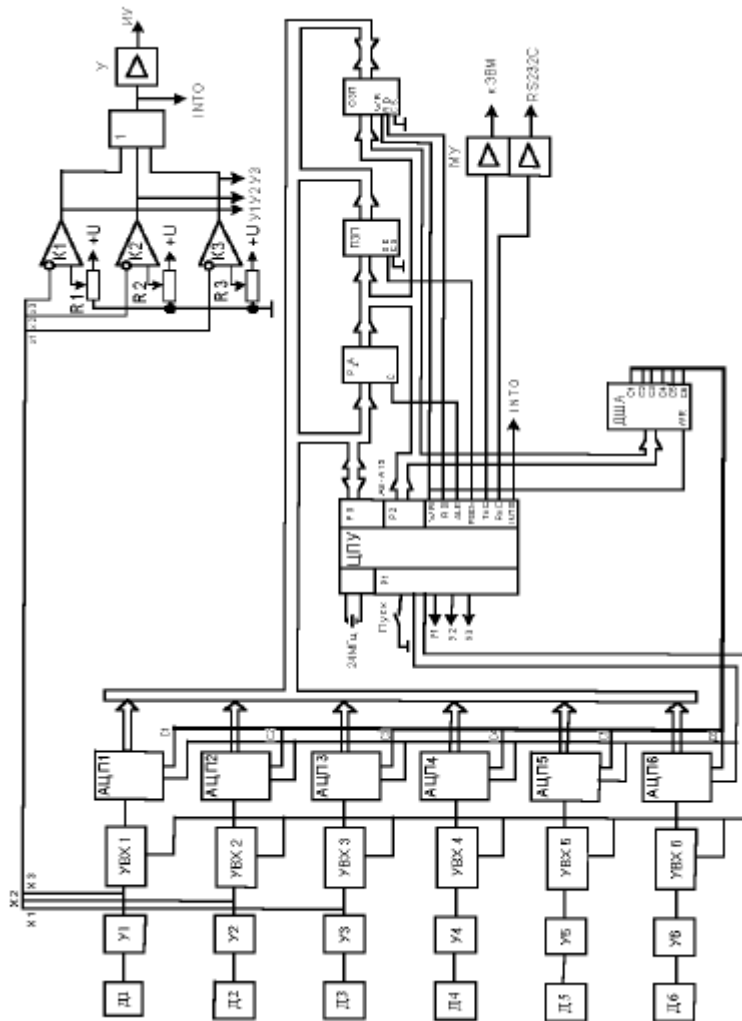
кількість контрольованих параметрів (датчиків) – 6, зокрема:

- струм (захист);
- напруга (захист);
- температура в центрі плавкого елемента (захист);
- температура на виводах;
- Джоулевий інтеграл і інтеграл горіння дуги;
- тривалість одного опиту – 4 мкс;
- кількість розрядів перетвореної інформації – 8;
- зовнішній інтерфейс обміну – RS232C;
- кількість опитувань датчиків (не менше) – 1000.

Вирішити це завдання і скоротити терміни проведення комутаційних досліджень, підвищити точність вимірювань, понизити їх вартість дозволяє АСУ ТПВ з паралельними АЦП, яка розроблена на базі високопродуктивного МК сімейства MCS251 8XC251SB і представлена на рис. Схема СУ ТПВ включає:

- датчики контрольованих параметрів (струму, напруги, температури в центрі і на виводах, Джоулевого інтеграла, інтеграла горіння дуги) Д1-Д6;
- нормуючі підсилювачі У1-У6;
- 8-канальний комутатор аналогових сигналів;
- АЦП типу К1108ПВ1 (А, Б);
- МК, що містить вбудований генератор тактових сигналів, пам'ять команд, ОЗП, вбудовані 4 порти і послідовний канал зв'язку;
- компаратори К1-К3 типу КР554СА3, виходи яких по «АБО» об'єднані з вихідними сигналами мікроконтролера, що управляють;
- пристрої зв'язку з об'єктом У, які включають виконавчі пристрої силової установки, які задають режим випробувань або досліджень.

Через послідовний інтерфейс RS232C, АСУ ТПВ пов'язана з ЕОМ, яка може змінювати режими випробувань або досліджень, а також приймати, запам'ятовувати, відображати і документувати результати випробувань або досліджень. Для виходу на послідовний інтерфейс необхідно вирішити такі проблеми: узгодження рівнів сигналів RS232 і МК-51 (TTL); підтримання стандартної швидкості прийому передачі; підтримання стандартних форматів посилки; підтримання стандартних протоколів обміну.



Структурна схема АСУТПВ з паралельними АЦП

Вибір мікроконтролера Основним елементом системи управління є мікроконтролер 80C251SB фірми Intel. Даний мікроконтролер вибраний виходячи з таких умов: мікропроцесор цього типу (251) є подальшою розробкою широко відомого в світі мікропроцесора серії MCS51, програмно сумісний зверху, але із значно вищою швидкодією (одна операція виконується за 100 нс).

Мікроконтролер вибирають виходячи з умови забезпечення тривалості циклу АЦП – перетворення вхідних сигналів і запису їх в пристрій (ОЗП) мікроконтролером, що оперативно запам'ятовує. Загальна кількість операцій дорівнює $5 \cdot 6 + 5 = 35$ команд. Для забезпечення необхідної швидкодії схеми

вимірювання (відповідно до завдання 4 мкс) тривалість однієї команди розраховується як $tk/35=114$ нс. Таку швидкодію може забезпечити МК 80C251SB.

Опис архітектури мікроконтролера 8XC251SB – перший МК в сімействі MCS251 компанії Intel. Нове сімейство 8-бітових мікроконтролерів підвищує функціональність і продуктивність широко поширених мікроконтролерів MCS51 при збереженні сумісності на рівні двійкових кодів. Завдяки сумісності по контактах з 8XC51FX МК 8XC251SB може служити засобом підвищення продуктивності існуючих апаратно-програмних систем. До типових областей застосування 8XC251SB можна віднести системи управління.

Всім МК сімейства MCS251 властиві такі загальні особливості:

- 24-бітова лінійна адресація до 16 Мбайт пам'яті;
- ЦПУ регістрової архітектури з регістрами, що адресуються як байти, слова і подвійні слова;
- сторінковий режим, прискорюючий вибірку команд із зовнішньої пам'яті;
- конвеєр команд;
- розширена система команд, що включає 16-бітові арифметичні і логічні команди;
- 64-кбайтовий зовнішній стек;
- мінімальний час виконання команд (2 такти в порівнянні з 12 тактами у МК MCS51);
- двійкова сумісність з МК MCS51;

Перерахуємо деякі переваги, пов'язані з цими особливостями:

- збереження програм, написаних для МК MCS51;
- значно вища швидкість обробки, чим у МК MCS51 при тій же тактовій частоті;
- підтримка програм і даних великого розміру;
- підвищена продуктивність програм на мові С.

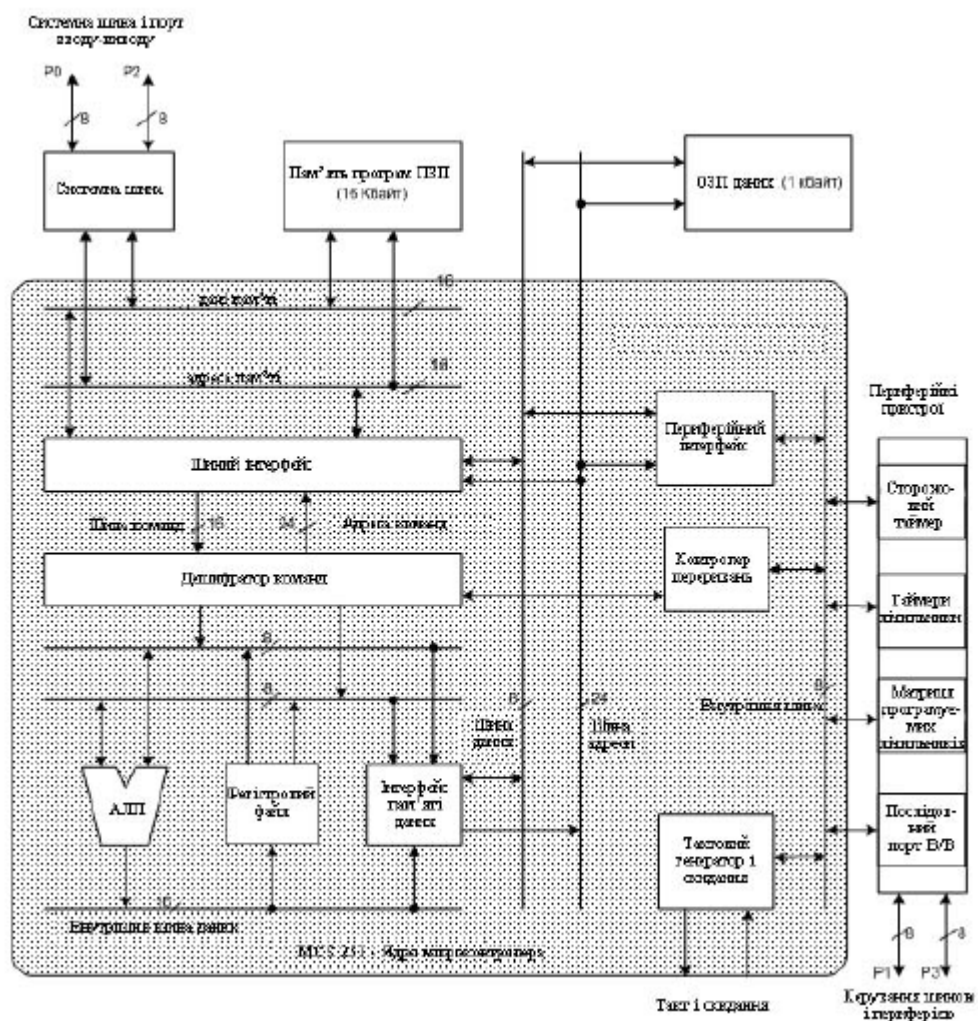
Функціональна блок-схема МК 8XC251SB, представлена нижче на рис. має наступну структуру. Ядро процесора, загальне для всіх мікроконтролерів MCS251. Окремі контролери сімейства відрізняються по набору периферійних блоків на кристалі, портів вводу-виводу, по зовнішній системній шині, розміру ОЗП на кристалі, а також по типу і об'єму внутрішньої пам'яті програм. До складу периферійних пристроїв 8XC251SB входять виділений сторожовий таймер, таймер-лічильник, матриця програмованих лічильників і порт послідовного вводу-виводу. МК 8XC251SB має чотири 8-бітові порти вводу-виводу, P0–P3. Кожну лінію порту вводу-виводу можна окремо запрограмувати або як сигнал загального призначення, або як сигнал спеціальної функції, який підтримує або зовнішню шину, або вбудований периферійний пристрій. Порти P0 і P2 утворюють зовнішню шину, що має 16 ліній для мультиплексування 16-бітової адреси і 8-бітових даних. (МК 8XC251SB дозволяє також

конфігурувати 17-й біт зовнішньої адреси). Порти P1 і P3 утворюють сигнали управління шиною і периферією.

МК 8XC251SB, функціональна блок-схема якого представлена на рис. має два режими зниженого споживання. У холостому режимі тактові сигнали ЦПУ зупиняються, але підтримується синхронізація периферії. У режимі мікроспоживання внутрішній тактовий генератор зупиняється, і весь кристал переходить в статичний стан. По дозволеному перериванню або апаратному скиданню кристал може вийти з холостого режиму або режиму низького споживання і повернутися в нормальний режим.

Мікроконтролери MCS251 мають розширену систему команд, доповнену новими операціями, режимами адресації і операндами.

Багато команд можуть працювати з 8-, 16- і 32-бітовими операндами що забезпечують зручне і ефективне програмування на мовах високого рівня типу С. Включені такі нові можливості, як команда TRAP, новий режим адресації із зсувом і ряд команд умовного переходу. Аналіз опису системи команд і її порівняння з системою команд мікроконтролерів MCS51 показує, що 8XC251SB можна конфігурувати для роботи в двійковому або початковому режимах. У будь-якому режимі 8XC251SB може виконувати всі команди архітектури MCS51 і MCS251.



Функціональна блок-схема 8XC251SB

Проте початковий режим найбільш ефективний для виконання командархітектури MCS251, а двійковий – для команд архітектури MCS51.

У двійковому режимі об'єктні коди MCS51 можна виконувати на мікроконтролері 8XC251SB без перекомпіляції.

Якщо система спочатку була спроектована для MCS51, а новий МК 8XC251SB виконуватиме код, написаний для MCS51, то продуктивність буде вища, якщо 8XC251SB працює в двійковому режимі. Об'єктний код, написаний для MCS51, працює швидше на 8XC251SB. Проте, якщо велику частину коду переписати в новій системі команд, то продуктивність буде вища, якщо 8XC251SB працює в початковому режимі. В цьому випадку 8XC251SB може працювати значно швидше, ніж мікроконтролер MCS51.

Мікроконтролери MCS251 для зберігання команд і даних використовують єдину, лінійну 16-Мбайтову область адресації пам'яті.

8XC251SB може адресувати до 128 кбайт фізичної зовнішньої пам'яті.

Регістри спеціальних функцій і регістровий файл мають окремі області адресації.

Вибір АЦП. У схемі, що розробляється, застосовується 8-бітове перетворення.

Кількість розрядів АЦП вибрана виходячи з приведеної погрішності аналогових датчиків Д1–Д6, що не перевищує 0,5 %. Погрішність перетворень АЦП Δ визначається значенням молодшого розряду одержуваного коду, і рівна $1/2n$, де n – кількість розрядів. Вона не повинна перевищувати погрішності вхідного аналогового сигналу. При $n=8$, $\Delta = 1/256 = 0,004 = 0,4\%$, що цілком прийнятно для нашого випадку. Вибирати АЦП з великою розрядністю не має сенсу, оскільки молодші розряди не будуть достовірними. Крім того, швидкодіючі АЦП (у нашому випадку час перетворення менше 1 мкс) достатньо дорогі, і із збільшенням розрядності ціна їх різко зростає. У даній схемі потрібно шість АЦП для забезпечення одночасного зняття аналогового сигналу з подальшим послідовним прочитуванням результатів і записом їх в ОЗП. Даним вимогам задовольняє АЦП К1108ПВ1 (А, Б). Мікросхема 10-розрядного швидкодіючого функціонально закінченого АЦП послідовного наближення К1108ПВ1 (А, Б) призначена для перетворення аналогового сигналу в двійковий паралельний цифровий код.

До складу функціональної схеми перетворювача входять: джерело опорної напруги (ДОН), генератор тактових імпульсів (ГТІ), вихідний регістр з трьома логічними станами і функцією зберігання інформації протягом одного циклу перетворення, вихідний регістр (ВРг) регістр послідовного перетворення (РПП), цифро-аналоговий перетворювач (ЦАП), багатовхідний компаратор напруг (КН) з вхідним віднімаючим пристроєм, дешифратор рівнів струму і ін.

Мікросхема розрахована на перетворення однополярної вхідної напруги в діапазоні від 0 до 3 В, що подається на вхід через зовнішній операційний

підсилювач (ОУ) або пристрій вибірки і зберігання (УВХ) при максимальній частоті перетворення 1,1 МГц для 10-розрядного режиму і 1,33 МГц для 8-розрядного режиму.

Для роботи АЦП К1108ПВ1 потрібно декілька зовнішніх керамічних конденсаторів і джерело напруги $U_{cc1}=5 \text{ В} \pm 5\%$ і $U_{cc2}=5,2 \text{ В} \pm 5\%$. Номінальне значення напруги внутрішнього ДОН складає 2,5 В. Потужність, споживана від джерела живлення, не перевищує 0,85 Вт.

Опис роботи схеми АСУ ТПВ, приведеної на рис.

Сигнали, що поступають з аналогових датчиків Д1–Д6, нормуються підсилювачами У1–У6, виконаними на базі прецизійних операційних підсилювачів КР140УД26Б. Після цього вони поступають на пристрій вибірки і зберігання УВХ1–УВХ6, виконані на базі мікросхем КР1100СК2.

По команді МК УВХ1–УВХ6 одночасно запам'ятовують аналогові сигнали від відповідних підсилювачів У1–У6 на якийсь час, необхідний для роботи ВІС АЦП. Наступна команда МК запускає аналого-цифрові перетворювачі АЦП1–АЦП6, відбувається паралельне в часі перетворення вхідних аналогових сигналів в 8-розрядний двійковий код. Потім знімаються сигнали управління УВХ1–УВХ6 і АЦП1–АЦП6. Перетворена інформація зберігається у вихідних регістрах АЦП1–АЦП6. У циклах адресного читання МК послідовно прочитує перетворену інформацію з АЦП1–АЦП6.

Перетворений сигнал, записується в ОЗП статичного типу, виконаного на базі мікросхеми IDT7164S20T місткістю 8кх8 біт фірми NSC, час доступу 20 нс.

Сигнали дозволу роботи УВХ і АЦП видаються мікроконтролером. АЦП стробується імпульсами, виданими дешифратором адреси (ДША). У якості ДША застосовується демультіплексор 3 на 8 із сторобуванням, мікросхема КР1533ИД7 або КР1554ИД7. Тактова частота мікроконтролера в 24 МГц забезпечується вбудованим в МК генератором при підключенні до контролера зовнішнього кварцевого резонатора. Програма роботи пристрою розміщена в програмованому постійному запам'ятовуючому пристрої (ППЗП), з ультрафіолетовим стиранням типу D27C64A1 фірми Intel місткістю 8кх8 біт, час вибірки 20 нс. ВІС ППЗП встановлюється на сокеті, що дозволяє багато разів міняти роботу пристрою, пристосовувавши його до різних типів випробовуваних запобіжників, тим самим, забезпечуючи гнучкість побудови системи автоматичного управління. Після закінчення одного циклу випробувань МК проводить настройку зв'язку з IBM PC, після чого відбувається передача масиву даних результатів випробувань, що містяться в ОЗП, для подальшої обробки і аналізу. Передача проводиться в "старт-стопному" режимі для RS232C з контролем на парність або непарність кожної посилки і перевірки за допомогою контрольної суми масиву.

При виникненні аварійної ситуації на входах 1–3 аварійний сигнал, посилений компараторами К1–К3, подається на елемент АБО, який в свою чергу видає імпульс на відключення всієї установки. У якості компараторів К1–К3 вибираємо широко використовувані інтегральні схеми КР554СА3 з

відкритим колектором, що полегшує узгодження з логічними рівнями мікроконтролера і цифрових інтегральних схем. Установка схеми захисту виставляється резисторами R1–R3. При аварії МК переходить в режим переривання, виконання основної програми припиняється і МК видає повідомлення про аварійну ситуацію в ПЕОМ.

Основний алгоритм роботи схеми АСУ ТПВ

На початку алгоритму проводиться установка початкового стану всіх керуючих сигналів: управління УВХ, управління АЦП, програмується всі параметри для настройки послідовного порту вводу-виводу RS232C. Потім проводиться очікування команди "пуск" (2) від зовнішньої схеми. У головному циклі алгоритму (3–14) проводиться включення УВХ1–УВХ6 (3), включення АЦП1–АЦП6 (4), встановлюється лічильник параметрів $i=1$.

Виключення УВХ1–УВХ6 відбувається через час затримки, рівний 0,8 мкс, необхідний для перетворення аналогового сигналу в цифровий код, після чого знімається сигнал дозволу роботи АЦП (7). Внутрішній цикл знімання інформації і запису в ОЗП виконується 6 разів (8–12), інкрементується номер вибраного АЦП і адреса ОЗП. Блок 13 резервує дві адреси ОЗП для збільшення (у разі потреби) кількості датчиків до восьми, блок 14 аналізує стан, коли проведено 1000 опитувань і вихід "І" означає закінчення процесу опитування всіх параметрів.

Підраховується контрольна сума всього масиву (15) по модулю 256 і 261 записується у відповідну комірку ОЗП. Потім відбувається настройка зв'язку з IBM PC (17–18), відбувається передача масиву з контролем норми передачі (19–20). Якщо інформація передана достовірно, то відбувається вихід з алгоритму, у разі недостовірності переданої інформації відбувається повторна передача масиву (21).

Алгоритм переривання Переривання по аварії відбувається по входу INT0. У блоці 1 підпрограма мікроконтролера прочитує сигнали, які вказують на причину аварії. Ознака причини аварії передається через послідовний порт вводу- виводу RS232C у ПЕОМ аналогічно блокам 17–21 основного алгоритму.

Робота схеми АСУ ТПВ з паралельними АЦП здійснюється по викладених вище алгоритмам, що дозволяють набагато скоротити терміни проведення досліджень комутаційних електричних апаратів захисту, підвищити достовірність результатів досліджень і їх економічну ефективність. Розроблені АСУ ТПВ і алгоритми можуть використовуватися при проведенні випробувань або досліджень і інших електричних апаратів і пристроїв електропобутової техніки.