

РЕЛЕЙНИЙ МІКРОПРОЦЕСОРНИЙ ЗАХИСТ СИСТЕМИ ТЯГОВОГО ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ, ОСНОВАНИЙ НА НОВІЙ ОЗНАЦІ.

2. СХЕМНЕ РІШЕННЯ

Структура системи збирання та обробки інформації

Зростання складності керування, контролю, вимірювання обумовило необхідність високого ступеня автоматизації процесів обчислення параметрів технологічного процесу. Всі ці, різноманітні по своїй фізичній суті, задачі можуть бути вирішені на основі використання автоматизованих систем збирання та обробки даних (ЗОД). Основна тенденція проектування сучасних ЗОД спрямована на створення систем, які базуються на застосуванні мікропроцесорної техніки.

Технічні засоби для реалізації автоматизованих систем ЗОД повинні містити комплекс пристроїв, які реалізують задачу введення інформації в мікропроцесор (МП) без участі людини. Ця задача вирішується на основі введення датчиків первинної інформації. На основі вищевикладеного можна зазначити, що автоматизована система ЗОД являє собою складний технічний пристрій, який в найбільш загальному випадку здійснює автоматичне обчислення сукупних параметрів управління контролю вимірювання об'єктів, реєстрації результатів обчислення, та прийняття рішення на виконання певної реакції.

Метою проведення збирання та обробки даних є отримання достовірної інформації про поточний стан об'єкта та раціональна організація процесів управління, контролю, вимірювання з високою ефективністю. Дійсно ефективність процесу повністю визначається множиною параметрів P_1, P_2, \dots, P_m об'єкта рис. 1 [1], числові значення яких формує об'єм первинної інформації, яка подається на вхід МП, за допомогою блоку введення первинної інформації (ВПІ), який виконує задачу збирання даних.

Множина можливих маніпуляцій з об'єктом передбачає необхідність організації зворотних зв'язків для впливу на об'єкт сигналами C_1, C_2, \dots, C_n , які формуються блоком виводу результатів обробки (ВРО). Сигнали внутрішнього стану системи ЗОД R_1, R_2, \dots, R_k також формуються та реєструються блоком ВРО. В залежності від цільової взаємодії об'єкта і ЗОД можливі різні варіанти формування узагальне-

ного математичного виразу зв'язку, наприклад (1) – (3).

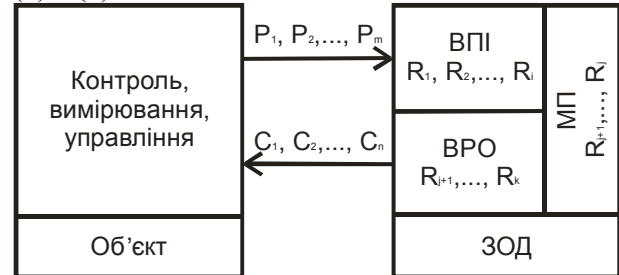


Рис. 1. Узагальнена структура зв'язку об'єкту з системою ЗОД

$$\begin{cases} C_1 = F_1(P_1, P_2, \dots, P_m, R_1, R_2, \dots, R_k); \\ C_2 = F_2(P_1, P_2, \dots, P_m, R_1, R_2, \dots, R_k); \\ \dots; \\ C_n = F_n(P_1, P_2, \dots, P_m, R_1, R_2, \dots, R_k). \end{cases} \quad (1)$$

$$\begin{cases} P_1 = f_1(C_1, C_2, \dots, C_n, R_1, R_2, \dots, R_k); \\ P_2 = f_2(C_1, C_2, \dots, C_n, R_1, R_2, \dots, R_k); \\ \dots; \\ P_n = f_n(C_1, C_2, \dots, C_n, R_1, R_2, \dots, R_k). \end{cases} \quad (2)$$

$$\begin{cases} R_1 = \varphi_1(P_1, P_2, \dots, P_m); \\ R_2 = \varphi_2(P_1, P_2, \dots, P_m); \\ \dots; \\ R_k = \varphi_k(P_1, P_2, \dots, P_m). \end{cases} \quad (3)$$

Вираз (1) визначає маніпуляцію управління об'єктом, а функції F_1, F_2, \dots, F_n формують алгоритм управління. Вираз (2) є узагальненою математичною залежністю процедури контролю об'єкту, де функції f_1, f_2, \dots, f_n характеризують різні зовнішні прояви властивостей об'єкта. Вираз (3) дає можливість реалізувати задачу самоконтролю ЗОД, а функціональні залежності $\varphi_1, \varphi_2, \dots, \varphi_n$ утворюють контрольні тести ЗОД.

Зазвичай сукупність допустимих значень $C_1, C_2, \dots, C_n, P_1, P_2, \dots, P_m, R_1, R_2, \dots, R_k$ інтерпретується як багатовимірний простір у межах якого існування об'єкта і системи ЗОД має практичну цінність. В результаті аналізу математичного виразу зв'язків можлива раціональна побудова структури системи ЗОД, яка залежить від конкре-

тних умов задачі аналізу. Однак в загальному випадку, враховуючи вимоги до введення інформації в МП, вона повинна містити: перетворювачі первинної інформації (ППІ), блок перетворення аналогового сигналу ППІ в цифрові коди, цифрові і аналогові комутатори, обчислювальний пристрій, цифрові і аналогові канали зв'язку, блок перетворення цифрових сигналів в аналогові, цифрові реєструючі пристрої.

На рис. 2 показана структура, що реалізує принципи паралельної обробки аналогових сигналів, що надходять від перетворювачів ЗОД.

Дана структура дозволяє забезпечити максимальну продуктивність апаратури усіх каналів системи ЗОД і високу якість перетворення сигналів, як результат забезпечення необхідного рівня нормалізації сигналу на вході АЦП в кожному каналі. Незалежність окремих віток дає можливість просто реалізувати необхідні функції перетворення аналогових сигналів. Великою перевагою такої системи є усунення похибок, що виникають при комутаціях і вибірці-зберігання аналогових сигналів, які вносять основний внесок в сумарну похибку перетворення. Дуже важливим є те, що ця структура дозволяє значно підвищити захист від перешкод на основі використання цифрових каналів передачі даних.

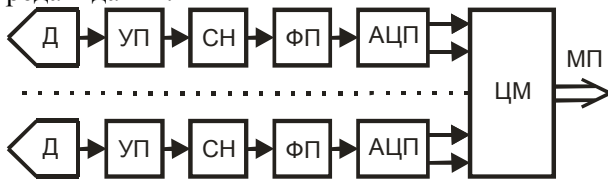


Рис. 2. Структура системи ЗОД з паралельними цифровими виходами:

Д - датчик; УП – узгоджуючий пристрій; СН – схема нормалізації; ФП - функціональний перетворювач; АЦП – аналогово-цифровий перетворювач; ЦМ - цифровий мультиплексор.

Загальна структура системи захисту.

Загальна структура системи моніторингу електромагнітного стану фідера на думку авторів повинна складатися з двох частин [2]: висковольтного обчислювального пристрою (ВОП) і низьковольтного обчислювального пристрою (НОП).

Таке розділення необхідне для забезпечення безпеки оперативного персоналу, який працює з даною системою. ВОП повинна бути розміщена у чарунці швидкодіючого вимикача (ШВ) і єдиний вплив на нього ззовні є сигнали від НОП по каналам зв'язку.

ВОП виконує аналіз режиму роботи тягової мережі, використовуючи алгоритми відповідних видів захисту і виконує управління роботою ШВ на основі результатів цього аналізу. На

порт мікроконтролера також підводяться сигнали, які вказують стан схеми включення ШВ.

В роботі [3] було розглянуто метод виявлення режиму короткого замикання системи електричної тяги оснований на новій ознаці: швидкості спадання напруги на затискачах тягової підстанції. У якості датчика первинної інформації, що ввімкнений в «схему захисту» передбачено застосування шунта ([3] схема рис.6).

Як правило, цифрові пристрої, які виконують функції реле та автоматики мають внутрішній опір $r_p \rightarrow \infty$ (рис. 3), тоді їх стала часу $T_p = L_p / r_p \rightarrow 0$. Тоді, в момент часу комутації короткого замикання системи тягового електропостачання отримаємо значення струму

$$i_p(t) \sim \frac{du_\phi}{dt}. \quad (1)$$

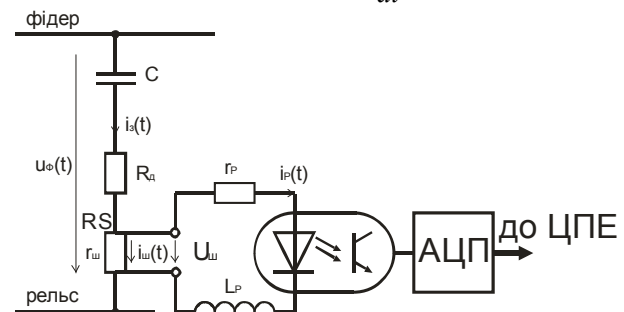


Рис. 3. Схема зняття струму з оптронам для гальванічної розв'язки

Оскільки, як у ізолюваних датчиків (наприклад, LEM), так і шунтів, вихідний сигнал виступає як аналоговий – необхідно передбачити пристрій, який здійснював би перетворення даного аналогового сигналу в цифровий для можливості подальшого використання в МПС. В якості такого пристрою виступає аналого-цифровий перетворювач (АЦП). Слід зауважити, що для коректного використання АЦП, насамперед, необхідно передбачити узгодження між аналоговим виходом вимірювального перетворювача і аналоговим входом вимірювального каналу АЦП, тобто застосувати УП (рис.2). В якості такого кола, можна використовувати підсилювач аналогового сигналу, оскільки потенційний рівень як у датчика, так і шунта – менше рівня аналогового входу вимірювального каналу АЦП.

Вибір пристрою узгодження.

Функції підсилення сигналу, а також гальванічної розв'язки виконують оптрони з джерелами аналогових вимірюваних сигналів рис. 3 [4].

Основні вимоги до оптрона:

- повинен пропускати аналоговий сигнал з мінімальною затримкою;
- забезпечувати захист від напруги мінімум 5000 В.

Для опторозв'язки авторами обрано оптрон HCNW4562 фірми Avago [5], структурна схема, а також типове підключення даного оптрона в коло вимірювання аналогового сигналу показані відповідно на рис. 4 і 5. Аналоговий оптрон HCNW4562 забезпечує широку смугу пропускання сигналу з високою ізоляцією. Висока лінійність (нелінійність 0,15 %) і малий фазовий зсув досягається завдяки використанню AlGaAs світлодіодного випромінювача і високошвидкі-

сного фотодетектор. HCNW4562 доступний в корпусі DIP-8-400. Його характеристики [6]:

- ширина смуги пропускання складає 9МГц;
- найбільший коефіцієнт посилення напруги - 3;
- протягом однієї хвилини витримує напругу 5000В.

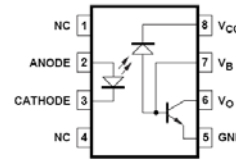


Рис. 4. Структурна схема оптрона

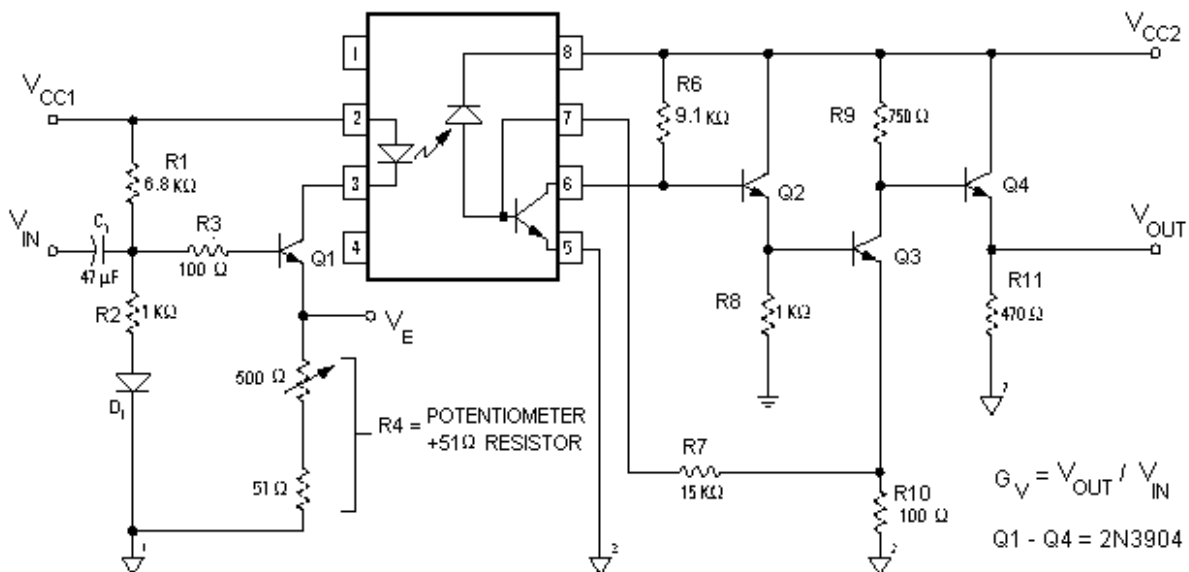


Рис. 5. Схема включення широкополосного оптрона для передачі аналогового сигналу

Вибір аналого-цифрового перетворювача.

АЦП ВОП повинен володіти наступними характеристиками:

- висока роздільна здатність і добре відношення сигнал/шум, для точних вимірів сигналів невеликого значення;
- одночасна багатоканальна оцифровка;
- малий час перетворення, оскільки за 800 мкс за допомогою нього потрібно виконати 16 вимірів струму, включаючи час обробки кожної вимірної величини;
- повинен володіти мінімум 3-ма каналами, оскільки окрім струму необхідно також вимірювати значення напруги і аналогового нуля;
- має бути біполярним для можливості вимірювання струму двох напрямків;
- розрядність має бути не менше 12 розрядів для забезпечення точності вимірювання до 20 А при вимірюванні струму у межах -5000...5000 А з урахуванням того, що, як правило, значеннями двох молодших розрядів необхідно нехтувати;

- бажаною є наявність вбудованого в АЦП пристрою вибірки і зберігання для підвищення точності перетворення, оскільки при її відсутності всередині АЦП необхідно буде її робити самостійно;
- наявність паралельного 8-розрядного інтерфейсу.

Всім цим вимогам, наприклад, задовольняє АЦП AD7656 фірми Analog Device [5].

АЦП AD7656 виготовляють за технологією іCMOS, що дозволяє сполучити субмікронну технологію CMOS і біполярні технології. Технологія іCMOS дає можливість виготовляти широкий спектр високоякісних інтегральних мікросхем, призначених для застосування у високовольтних схемах. На відміну від аналогічних інтегральних мікросхем, зроблених за стандартною технологією CMOS, компоненти, створені за технологією іCMOS, можуть працювати із вхідними сигналами обох полярностей, забезпечуючи високі характеристики і

сприяючи значному зниженню енергоспоживання і розмірів пристрою.

Оскільки аналогова величина перетворюється в цифрову не миттєво, то на протязі вищезазначеного часу сигнал на вході АЦП повинен підтримуватися сталим, тому аналоговий вхід має пристрій вибірки-зберігання (Track-and-Hold (Т/Н) – стеження-зберігання). Сигнал на виході Т/Н пропорційний сигналу на вході до тих пір, доки не поступить команда запам'ятовування, після якої сигнал на виході залишається сталим до тих пір доки не буде виконано перетворення.

Більш детально технічні характеристики, а також опис роботи даної АЦП представлено в роботі [7].

Для забезпечення вимоги щодо періодичності вимірювання передбачено пристрій, який виконує функцію таймера для відліку необхідного інтервалу часу, а також передбачено можливість видачі даним пристроєм керуючого сигналу, який інформує центральний процесорний елемент (ЦПЕ) про закінчення відліку.

Налаштування основних параметрів функціонування в т.ч. кількість працюючих каналів і межі значення вхідної аналогової напруги, АЦП виконувати конфігурацією його ніжок, або програмно за допомогою 8-розрядного регістра настроювання. У проектованій авторами системі використовується програмне настроювання.

Алгоритм роботи АЦП.

У даному обробнику виконується зчитування даних результату перетворення. Для здобуття поточне значення струму $I_{ТЕК} = i_p$ підряд знімаються його 16 значень. Кількість запусків АЦП для отримання $I_{ТЕК}$, з міркувань скорочення часу виконання програми, вибирається кратне ступеню двійки, щоб їх середнє можна було розрахувати шляхом логічного зсуву вліво. Так, при вибраних 16-ти зчитуваннях значень струму, їх середнє розраховується логічним зсувом вліво на чотири розряди. Слід зазначити, що розроблений алгоритм роботи АЦП дозволяє отримувати не тільки чисельні значення поточного струму в схемі захисту (рис. 3.). Багатоканальне АЦП використовується також для визначення струму та напруги фі-

дера, які необхідні для реалізації інших видів захисту: максимального струмового, захисту за приростом струму тощо. Алгоритм представлений на рис. 6.

Блок 4: виконується читання з АЦП значень струму, напруги і аналогового нуля для контролю правильності роботи АЦП.

Блок 5: виконується коректування набутого значення струму щодо аналогового нуля.

Блок 6: підраховуються суми зчитаних значень струму і напруги – Sum_Ri і Sum_Ru.

Блок 7: лічильник кількості зчитаних значень Amount_Read зменшується на «1».

Блок 8: перевіряється, чи прочитані вже всі 16 значень для струму і напруги: якщо Amount_Read відмінно від нуля, означає ще не отримано всіх значень і робиться перехід по вітці «ні» до виходу з обробника переривань; інакше виконується обробка отриманих сум струму і напруги Sum_Ri і Sum_Ru – перехід по вітці «так» до блоку 9.

Блок 9: розраховується середнє прочитаних значень струму та напруги Amount_Read зсувом Sum_Ri і Sum_Ru управо на 4 розряди.

Блоки 10-14: підрахунок значення струму для аналізу по імпульсному алгоритму захисту. Отримане середнє значення струму записується в робочий масив.

Блок 16: Sum_Ri і Sum_Ru записуються в змінні $I_{ТЕК}$, $U_{ТЕК}$ для їх обробки у фоновій програмі та для передачі в НОП.

Блок 17: установка в «1» прапора Flag_NewData указує фоновій програмі, що готове нове значення поточного струму для аналізу на КЗ.

Блок 18: якщо Flag_control=«1» – зараз йде процес заповнення робочого масиву V_I^p після ручного включення системи. Оскільки процес цей займає декілька мілісекунд, то необхідно вести контроль за значенням струму тягової мережі по алгоритму максимального струмового захисту – блоки 21-32. Якщо Flag_control=0, то проводиться підготовка до набуття наступних значень струму і напруги установкою змінних Sum_Ri, Sum_Ru і Amount_Read в початковий стан.

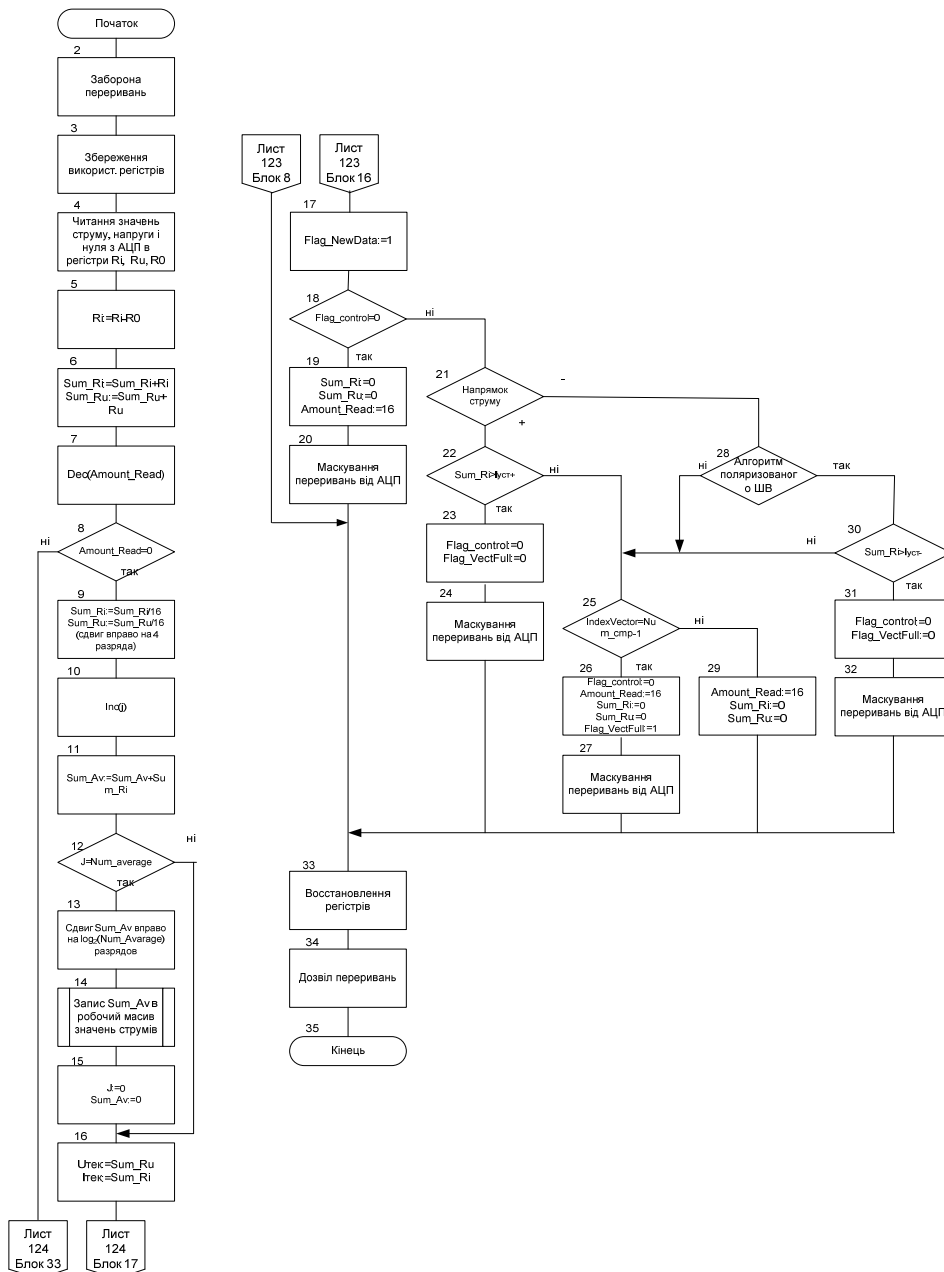


Рис. 6. Алгоритм обробки переривань від АЦП з додатковою перевіркою значення струму

Блок 22: при перевищенні значенням в Sum_Ri значення уставки для позитивного напрямку струму, виконується скидання прапора $Flag_control$ в «0» і маскування переривань від АЦП для того, щоб фонові програми почали своє виконання і провели відключення ШВ. Аналогічно робиться і для випадку, коли перевищується значення уставки для негативного струму $I_{уст-}$, якщо використовується направлений алгоритм МКСЗ.

Блоки 25-27: перевіряється чи заповнені повністю робочі масиви. Якщо заповнені, то перехід по вітці «так» на блок 26, в якому скидається прапорець $Flag_control$, проводиться підготовка до набуття наступних значень струму і напруги установкою змінних Sum_Ri , Sum_Ru і $Amount_Read$ в початковий стан і

встановлюється прапорець $Flag_VectFull$ в «1», що показує, що робочі масиви заповнені повністю (тобто під час їх заповненню не сталося ніяких аварійних ситуацій). Для роботи фонові програми маскуються переривання від АЦП.

Блок 31: при негативному напрямі струму і направленому алгоритмі МКСЗ окрім скидання прапора $Flag_control$ і маскування переривання від АЦП, виконується установка прапора $Flag_VectFull$ в «0» для нормальної роботи МКСЗ по негативному струму.

Вибір мікроконтролера ВОП.

До мікроконтролера, що використовується у ВОП висуваються наступні вимоги:

– повинен мати 16-розрядне АЛУ, оскільки від АЦП надходять 16-розрядні коди значення

струму, напруги і аналогового нуля. Це дозволяє виконувати їх обробку набагато швидше, ніж на базі 8-розрядного мікроконтролера;

– бажаною є наявність в ньому двох УАПП для того, щоб не використовувати додаткову зовнішню БІС синхронно-асинхронного передавача. Як видно із структурної схеми, один УАПП використовується для зв'язку з НОП, другий для зв'язку з ПК;

– повинен володіти як можна меншим часом виконання команд. Ця вимога особлива важлива, оскільки даний мікроконтролер повинен забезпечувати мінімальний час реакції на аварійні режими роботи тягової мережі при аналізі по МКСЗ при виникненні близького короткого замикання;

– бажаною є наявність в ньому мінімум 3-х таймерів: один для відліку часу між запусками АЦП на перетворення, другий для завдання частоти передачі по УАПП, третій для вимірювання триваліших інтервалів, таких як інтервали часу перед АПВ, власні часи включення/відключення ШВ тощо.

– наявність великого об'єму флеш-пам'яті програм, оскільки в ній розміщуватиметься таблично задана захисна характеристика для алгоритму імпульсного захисту. Для однієї такої таблиці необхідно 16 Кбайт пам'яті;

– повинен підтримувати внутрішньосистемне програмування (ISP) для полегшення процесу перенастроювання даної таблиці;

– бажаний об'єм оперативної пам'яті не менше 512 байт.

Цим вимогам задовольняє мікроконтролер ХА-G49 фірми Philips [5].

Особливістю контролера ХА є досить гнучка система переривань. Він підтримує 38 джерел переривань і 8 рівнів пріоритету. Всі переривання діляться на 4 групи:

– переривання виключення – це внутрішньосистемні переривання, такі як ділення на нуль, переповнювання стека, скидання тощо;

– подієві переривання – переривання від пристроїв, таких як УАПП, таймери, зовнішні переривання. Є маскованими;

– програмні переривання – те ж саме, що і подієві (апаратні), але викликаються з програми;

– переривання перехоплювачі – зазвичай використовуються для виклику системних сервісів в багатофункціональних системах.

Якщо переривання має більший пріоритет, ніж програми, що виконується в даний момент, то виконуються наступні дії [8]:

– у стек зберігається значення лічильника команд, яке вказує на наступну виконувану команду і поточне значення слова стану PSW. Це так званий стековий кадр (stack frame).

– кожне переривання має свій вектор в таблиці векторів переривання, що складається з чотирьох байт: адреса програми обробника і нове значення регістра стану PSW. Це PSW визначає режим виконання обробника.

Важливо, щоб пріоритет запиту на переривання ніколи не перевищував пріоритету його обробника, оскільки це загрожує нескінченною вкладеністю переривання, оскільки обробник буде відразу після того як він отримає управління перерваний тим же самим прапором запиту, що приведе до переповнювання стека і, як наслідок, виникнення виключення. У його обробнику здійснюється перезавантаження системи.

В процесі роботи мікропроцесорної системи пріоритети змінюватимуться залежно від місця виконання програми, оскільки в деяких ситуаціях необхідно, щоб менш пріоритетне переривання могло перервати виконання обробника переривання з вищим пріоритетом.

Ситуації, в яких виникає необхідність зміни пріоритетів наступні:

– якщо ВОП отримує команду від НОП, то він зобов'язаний як можна швидше відповісти НОП підтвердженням. Тому після того, як ВОП отримає другий байт команди, він підвищує пріоритет запиту на переривання. Пріоритет повертається до початкового значення після отримання від НОП команди «Виконати»;

– при виконанні коду вимикання/вмикання ШВ в обробнику, необхідно, щоб його міг переривати таймер 1, який відраховує час власний час вимикання/вмикання ШВ (час, який необхідно витримувати перш, ніж знімати керуючі сигнали).

Загальний опис алгоритму аналізу на коротке замикання за новою ознакою.

Аналіз проводиться по аналогії з алгоритмах максимального струмового захисту. Програмна реалізація цього захисту проста: у певних елементах пам'яті містяться значення уставок $I_{p\text{уст}}$, яке згідно умови (1) буде відповідати критичному значенню швидкості спаду напруги на затискачах тягової підстанції $\frac{du_{\phi}}{dt}$ («вітки захисту») в момент короткого замикання в тяговій мережі. Ці уставки порівнюватимуться із значенням поточного струму i_p (рис.3). Для його отримання проводиться підряд шістна-

дцять запусків АЦП з подальшим прочитанням результату перетворення і на базі цих шістнадцяти значень обчислюється їх середнє, яке надалі і використовуватиметься фоновою програмою як поточне значення струму i_p для проведення порівняння із уставками.

Висновок

Поглиблене вивчення перехідних електромагнітних процесів дозволяє встановити нові ознаки режимів роботи системи електричної тяги, як, наприклад, швидкості спаду напруги на затискачах тягової підстанції. Подальшою задачею інженера-електрика є лише технічна реалізація (спроєктувати та виготовити) системи захисту тягових підстанцій із застосуванням сучасної цифрової елементної бази, основану на цій ознаці.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Микропроцессоры. Средства сопряжения. Контролирующие и информационно-управляющие системы: учебн. для втузов [Текст] / за ред. Л.Н. Преснухина. – М.: Высш. школа, 1986. – 383 с.
2. Михаліченко, П.Є. Мікропроцесорні системи захисту фідерів 3,3 кВ тягової підстанції постійного струму [Текст]/ П.Є. Михаліченко // Гірнична електромеханіка та автоматика. – 2009. – Вип. 83. – С. 66-71
3. Костін, М.О. Релейний мікропроцесорний захист системи тягового електропостачання, оснований на новому ознаку. 1. Теорія ро-

боти. [Текст]/ М.О. Костін, П.Є. Михаліченко // Вісник ДНУЗТ. – 2011. – Вип. 37. – С. 96-100

4. Электрические измерения. Средства и методы измерений (общий курс) / Под редакцией Е.Г.Шрамкова. – М.: Высшая школа, 1972. – С. 106–110.

5. Михаліченко, П.Є. Схемотехнічна база сучасних мікропроцесорних комплексів захисту фідерів тягової мережі залізниць України [Текст]/ П.Є. Михаліченко // Гірнична електромеханіка та автоматика. – 2009. – Вип. 84. – С. 58-63

6. HCPL-4562. HCNW4562. High Bandwidth, Analog/Video Optocouplers. <http://www.avagotech.com/assets/downloadDocument.do?id=1723&Source=SearchResultPage>.

7. AD7656_7657_7658_6_chan_16_bit. http://www.analog.com/UploadedFiles/Data_Sheets/AD7656_7657_7658.pdf.

8. XA-G49. XA 16-bit microcontroller family. http://www.nxp.com/acrobat_download/datasheets/XA-G49_5.pdf.

Ключові слова: коротке замикання; напруга фідера, швидкість зміни напруги.

Ключевые слова: короткое замыкание; напряжение фидера; скорость изменения фидера.

Keywords: short circuit; tension of fydera; speed of change of fydera.