

**П.Є. Михаліченко, канд. техн.наук**

*(Україна, Дніпропетровськ, Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна)*

## **МІКРОПРОЦЕСОРНА СИСТЕМА ЗАХИСТУ ФІДЕРІВ 3,3 КВ ТЯГОВОЇ ПІДСТАНЦІ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ**

Впровадження нових сучасних технологій в технічних засобах залізничного транспорту України є визначальним напрямком для покращення його функціонування та керування. Одним з основних питань залишається вдосконалення систем тягового електропостачання та систем її захисту від нестационарних аварійних режимів роботи (коротких замикань, перевантажень тощо). Водночас, необхідною умовою нормального функціонування системи тягового електропостачання є максимальне зменшення кількості помилкових відключень живлення і, як наслідок, забезпечення безперебійних перевезень вантажів та пасажирів.

Без суттєвих капіталовкладень підвищення ефективності роботи системи захисту може бути здійснено вдосконаленням методів вибору уставок автоматичних швидкодіючих вимикачів (ШВ) та дооснащенням існуючого обладнання тягових підстанцій мікропроцесорними системами захисту (МСЗ). Загальним підходом до використання мікропроцесорної техніки для керування системами захисту тягових підстанцій постійного струму є створення багатомашинних і багатопроцесорних децентралізованих комплексів, у яких промислові мікроЕОМ виконують різні за призначенням і складністю функції керування, у тому числі функції пристроїв автоматики і телемеханіки. Виконуючи їх, МСЗ забезпечують беззупинний контроль і підтримку заданого режиму роботи основного устаткування системи тягового електропостачання, прискорюють виконання поточних профілактичних та відбудовних робіт й тим самим підвищують експлуатаційну надійність і пропускну здатність електрифікованих ліній. На базі таких комплексів можна вирішувати нові завдання керування, у тому числі реалізацію адаптивних пристроїв системної і технологічної автоматики.

Враховуючи вищенаведене, головною метою роботи є створення багатопараметричних високочутливих селективних гнучких (параметри яких легко адаптуються до умов конкретного фідера з його типовими режимами роботи) систем захисту фідерів 3,3 кВ постійного струму. Основою такої системи є мікропроцесорні технології та сучасний рівень теоретичних знань, що базується на результатах математичного моделювання та на накопиченому досвіді експлуатації систем тягового електропостачання постійного струму.

Однією з причин помилкових спрацьовувань систем захисту є стрибкоподібна зміна струму навантаження в тяговій мережі під час короткого замикання у самій мережі та тяговій одиниці, при перегрупуваннях тягових двигунів електровозів в їх нормальних режимах роботи, а також у режимах «зняття-відновлення» напруги на струмоприймачі тощо [1]. Неселективні вимикання ШВ відбуваються за рахунок нескоординованої роботи систем захисту тягових

підстанцій та електрорухомого складу (ЕРС). У роботі [2] наведено аналіз типових причин спрацьовування ШВ фідерів 3,3 кВ тягових підстанцій постійного струму на прикладі шести дистанцій електропостачання Придніпровської залізниці (ЕЧ1-Нікополь, ЕЧ2-Нижньодніпровськ-Вузол, ЕЧ3-Верхівцево, ЕЧ4-Запоріжжя, ЕЧ6-Кривий-Ріг, ЕЧ7-Павлоград) за період 2000 – 2005 рр. У цій роботі було зазначено, що значну частку вимикань ШВ (~31 %) становлять пошкодження ЕРС і 30 % за невизначеними причинами. Усі ці спрацьовування в своїй більшості неселективні та нез'ясовані взагалі внаслідок недостатньої кількості інформації про режими роботи системи.

Таким чином, у найближчий період пріоритетним напрямом роботи Головного управління електрифікації та електропостачання [3] є комплексна модернізація тягових підстанцій у питанні фідерної автоматики, із застосуванням сучасних МСЗ. Зокрема, на рис. 1 наведена структура системи, що зпроектована колективом науковців на чолі з автором. З цієї схеми випливає, що система складається з двох обчислювальних пристроїв: високовольтного (ВОП) і низьковольтного (НОП). Таке розподілення необхідне для створення безпечних умов оперативному персоналу, який працюватиме з даною системою. Розміщення ВОП передбачається у високовольтній комері. Єдиний вплив на нього ззовні по каналах керування можливий за допомогою чотирьох кнопок: увімкнути/вимкнути ШВ або саму систему захисту.

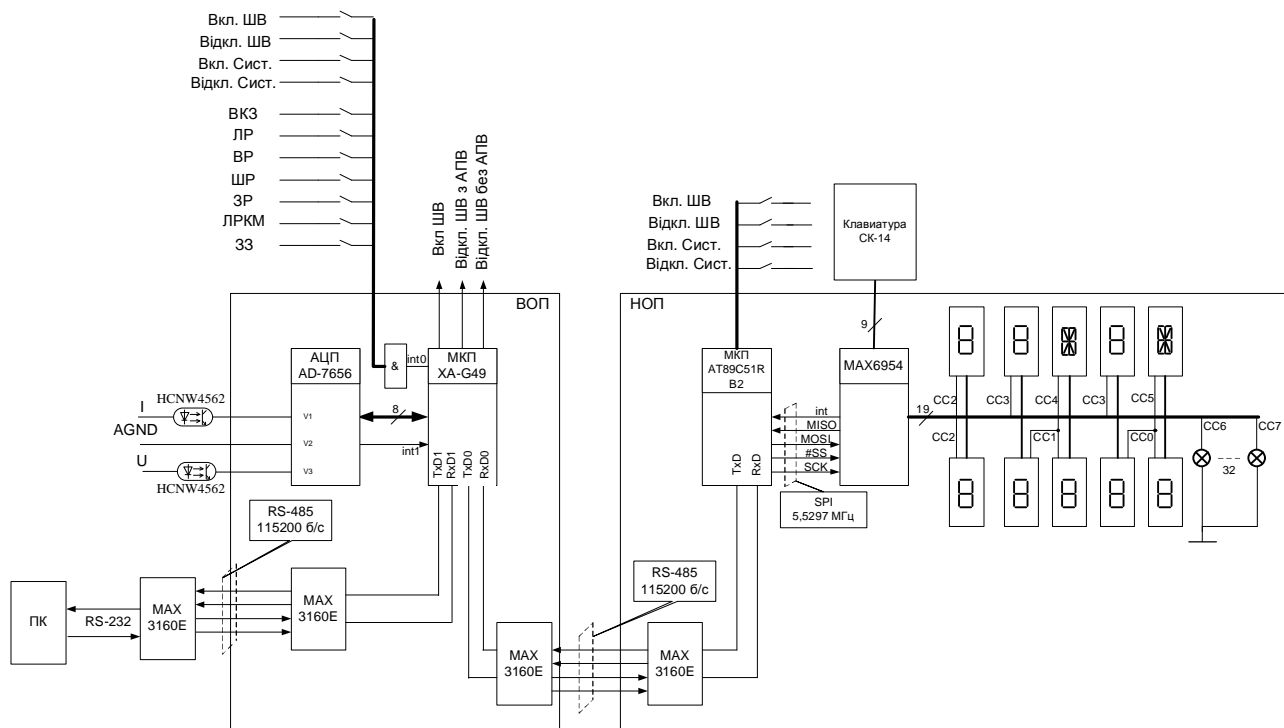


Рис. 1. Структура проектованої системи мікропроцесорної системи захисту

Пристрій ВОП здійснює аналіз результатів КЗ і виконує керування роботою ШВ за результатами цього аналізу. На порт мікроконтролера також подаються сигнали, які вказують стан схеми вмикання ШВ (сигнали блокування), наприклад ВКЗ – сигнал від випробувача коротких замикань. Після відключен-

ня ШВ блок ВКЗ виконує опитування тягової мережі на наявність стійкого короткого замикання і якщо воно присутнє, то цим сигналом забороняється вмикання ШВ, ШР – шинний роз'єднувач. Нормальний стан – увімкнений; ЛР – лінійний роз'єднувач. Нормальний стан – увімкнений; ЗР – земляний роз'єднувач. Нормальний стан – вимкнений; ЛРКМ – лінійний роз'єднувач контактної мережі. Нормальний стан – увімкнений; ОР – роз'єднувач відсмоктування. Нормальний стан – включений; ЗЗ – земляний захист. Нормальний стан – увімкнений. Таким чином, перед кожною спробою увімкнення ШВ обов'язково необхідно перевірити стани цих сигналів: увімкнення ШВ можна здійснювати тільки при одному конкретному дозволяючому стані цих сигналів.

Аналіз проводиться за двома алгоритмами захисту: максимальний струмовий захист (МКСЗ) і захист за приростом струму (ЗПС). Як відомо, МКСЗ буває поляризованим і неполяризованим. У розробленій системі реалізована можливість вибору типу цього захисту шляхом її налаштування оператором. Програмна реалізація цього захисту проста: у певних елементах пам'яті містяться значення уставок спрацьовування ШВ для позитивного напрямку струму і негативного (в разі поляризованої МКСЗ). Ці уставки порівнюватимуться із значенням поточного струму в тяговій мережі. Для його одержання проводиться підряд шістнадцять запусків АЦП з подальшим читанням результату перетворення, і на базі цих шістнадцяти значень обчислюється їх середнє, яке надалі і використовуватиметься фоновією програмою як поточне значення струму тягової мережі для здійснення порівняння із уставками.

У ЗПС аналіз складніший і виконується тільки для позитивного напрямку струму. Кожний ШВ має свою характеристику спрацьовування. У роботах [4, 5] було дано визначення і вид оптимальної захисної характеристики (ОЗХ) і показано, що ШВ мають характеристики спрацьовування (ХС) у вигляді прямої лінії і не можливо отримати ОЗХ шляхом налаштування самих ШВ. Максимально близьку ХС до ОЗХ можна отримати шляхом застосування МСЗ. Для можливості проведення аналізу необхідно: близьку до оптимальної ХС (значення струму і відповідне йому значення уставки стрибка струму) записати в пам'ять мікроконтролера у вигляді таблиці  $V_{\Delta I}$  (це і деякі нижченаведені позначення автор застосовує в алгоритмах функціонування МСЗ). Для підвищення швидкості пошуку уставки в даній таблиці і підвищення її точності необхідно, щоб кожному кодовому значенню поточного струму фідера, зчитаному з АЦП, в пам'яті було значення уставки. Таким чином в пам'яті необхідно мати  $2^N$  значень уставок, де  $N$  – кількість значущих розрядів АЦП (без знакового розряду і нестійких молодших розрядів). У АЦП розробленої системи таких розрядів тринадцять. При налагодженні системи оператор повинен задати точками вид кривої ХС, а потім за цими точками, застосовуючи алгоритм інтерполяції, набути значень уставок  $\Delta I$  для решти значень струму. Тепер пошук уставки  $\Delta I$  для значення поточного струму тягової мережі  $I_{ТЕК}$ , зводиться до вибірки значення з пам'яті за адресою  $(Base\Delta I + I_{ТЕК})$ , де  $Base\Delta I$  – базова (початкова) адреса таблиці значень уставок  $\Delta I$ . Кожен елемент цієї таблиці займає два байти. Для обробки потрібні робочий масив вимірних струмів  $V_f^P$ . Розмір кожного

елемента масиву – 2 байти. Масив  $V_I^p$  – це «історія» значень виміряних струмів за час, відповідний найповільнішому перехідному процесу КЗ (таким є віддалене КЗ). Між заповненнями двох сусідніх елементів цього масиву проходить інтервал часу  $t_{обр}$ , тобто, знаючи час перехідного процесу і час  $t_{обр}$ , можна розрахувати довжину цього буферного масиву  $k$ . Масив  $V_I^p$  є закріпленим: якщо поточне значення виміряного струму було занесене в елемент з номером  $(N-1)$ , нумерація ведеться з нуля, то наступне значення струму буде записано в елемент з номером нуль  $(N - \text{кількість елементів масиву})$ .

Аналіз на коротке замикання проводиться таким чином: отримане з АЦП поточне усереднене значення струму  $I_{ТЕК}$  і записане в  $i$ -й елемент масиву  $V_I^p$ , через проміжок часу  $k \cdot t_{обр}$  в елемент масиву  $V_I^p$  з номером  $i+k$  буде записаний виміряний у той момент струм. Оскільки  $k$  відповідає найбільш повільному процесу КЗ, то необхідно виконати  $k$  операцій віднімання елемента  $i+k$  масиву  $V_I^p$  з попередніми елементами до елемента з номером  $i$ , починаючи з  $i+k-1$ -го. Після кожного віднімання з  $j$ -им елементом його результат  $DI_j$  необхідно порівняти із значенням уставки  $\Delta I_j^y = V_I \cdot [V_I^p \cdot [j]]$ . Так гарантується фіксація більш швидкоплинних процесів КЗ, у порівнянні з найвіддаленішим КЗ, час якого закладений в число  $k$ . Якщо  $\Delta I_j > \Delta I_j^y$ , то видається команда на відключення ШВ. Пояснення всіх часових інтервалів подано на рис. 2.

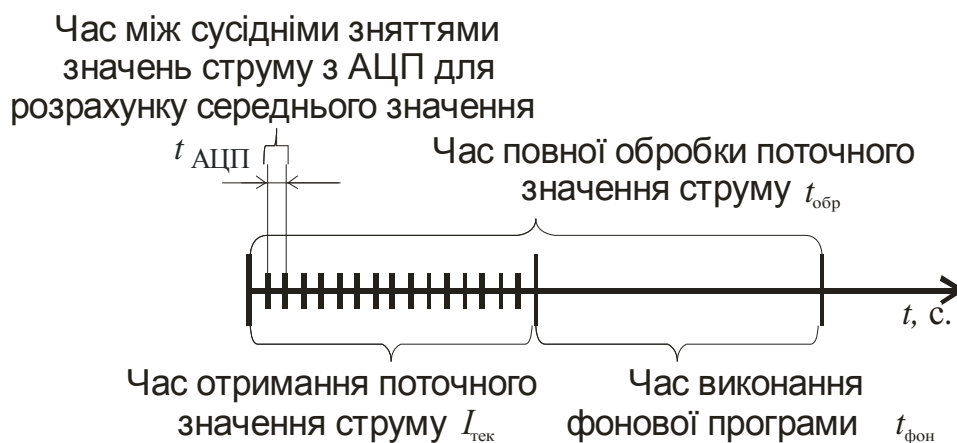


Рис. 2. Пояснення позначень часових інтервалів

На рис. 2 час  $t_{АЦП}$  включає час запуску АЦП на перетворення, час перетворення, яке визначається швидкодією АЦП, і час виконання обробника переривання від АЦП.

Тепер необхідно визначити значення  $t_{обр}$ . Час виконання фонові програми  $t_{фон}$  залежить від того, скільки їй доведеться виконувати віднімань і порівнянь та є фіксованим для даного настроювання системи. Кількість віднімань встановлюється часом перехідного процесу найбільш повільного КЗ –  $T_{max}$ .

Цей час встановлюється характеристиками окремо взятої тягової мережі кожного фідера. Нехай  $t_{фон}^1$  – час виконання одного віднімання і порівняння отриманої різниці із значенням уставки з виробленням сигналу на відключення ШВ. Якщо фонова програма повинна виконати  $k$  віднімань, то час:

$$t_{обр} = t_{АЦП} + k \cdot t_{фон}^1 \quad (1)$$

Кількість віднімань  $k$  повинна покрити час  $T_{max}$ . Також у цей час треба врахувати час виконання  $m$  обробників переривання від таймера 0 та час передачі 2-х байтів повідомлення від ВОП в НОП. За нормальних умов функціонування – це максимальна кількість байтів інформації від ВОП до НОП за час  $t_{обр}$ , причому робиться це наприкінці цього інтервалу, бо припускається, що до цього часу вся обробка по ЗПС закінчена. Для цього треба за формулою (1) розрахувати час  $t_{обр}$  і поділити його на період таймера 0 і від отриманого значення відняти 16, бо вони входять в 0,8 мс, що відведені на АЦП. Тобто,  $m$  розраховується за формулою:

$$m = \frac{t_{обр}}{T_{timer0}} - 16, \quad (2)$$

де –  $T_{timer0}$  – період переривання таймера 0.

Для гарантії того, що часу  $t_{обр}$  буде достатнім для виконання всього аналізу, знайдену величину часу треба помножити на 1,5.

Таким чином, для знаходження кількості віднімань потрібно розв'язати квадратне рівняння вигляду:

$$k \cdot \left( t_{АЦП} + k \cdot t_{фон}^1 \right) = \frac{T_{max}}{n}. \quad (3)$$

Негативний корінь відкидається, тому значення  $k$  розраховується за такою формулою:

$$k = \frac{-t_{АЦП} + \sqrt{\left( t_{АЦП} \right)^2 + 4 \cdot t_{фон}^1 \cdot \frac{T_{max}}{n}}}{2 \cdot t_{фон}^1}. \quad (4)$$

За результатами роботи можна виділити такі основні переваги МСЗ перед існуючими, основаними на принципах електромеханічної релейної автоматики: висока швидкодія, яка пов'язана з великою швидкістю обробки інформації в МК, що досягає кілька сот мільйонів операцій за секунду; висока точність сприйняття виміральної інформації за рахунок використання високорозряд-

них АЦП; гнучкість систем, які легко пристосовуються до умов роботи кожного окремого фідера і переналаштовуються на певні умови експлуатації електротягової мережі; сучасна елементна база мікропроцесорних систем, яка вирізняється високими показниками експлуатаційної надійності; дозволяє проводити моніторинг роботи електротягової мережі, видавати поточну інформацію на верхні рівні керування, що є досить зручним з точки зору інформативності для прийняття оперативних рішень.

### Список літератури

1. Костін Н.А., Мищенко Т.Н., Гилевич О.І. Імовірнісний аналіз перехідних процесів в силових електричних колах електровоза ДЕ1// Технічна електродинаміка.–2005. – №3. – С. 54 – 61.
2. Михаличенко П. Е., Дзюман В.Г. Характеристики видів і кількості вимикань швидкодіючої апаратури захисту фідерів 3,3 кВ тягових підстанцій постійного струму// Залізничний транспорт України. – 2007. – № 5 – С. 90–92.
3. Корниенко В.В. Тенденции развития хозяйства электрификации и электроснабжения железных дорог Украины// Материалы международного симпозиума eltrans 2001. Электрификация и развитие железнодорожного транспорта России. Традиции, современность, перспективы. – С. Пб, 2002. – С. 41 – 45.
4. Пупынин В.Н. Полная теория работы и характеристики параллельных индуктивных шунтов быстродействующих выключателей типов ВАБ-2, АБ-2/3, АБ-2/4 и реле дифференциальных шунтов выключателей ВАБ-28// Тр. МИИТа. – 1965. – Вып. 213. – С. 61 – 85.
5. Пупынин В.Н. Реализация оптимальных защитных характеристик быстродействующего выключателя постоянного тока// Тр. МИИТа. – 1971. – Вып. 380. – С. 26 – 44.