

*Ю.С. ГРИЦУК*, канд. техн. наук,  
*Т.В. СУХОСТАВЦЕВА*

## МІКРОКОНТРОЛЕРНИЙ РОЗЧЕПЛЮВАЧ ДЛЯ АВТОМАТИЧНИХ ВИМИКАЧІВ

Проведено аналіз розчеплювачів автоматичних вимикачів. Запропонована схема та алгоритм роботи розчеплювача автоматичного вимикача на основі мікроконтролера MSP430F, що дозволяє значно підвищити його точність, швидкодію надійність, перешкодостійкість і зменшити енергоспоживання.

Проведен анализ расцепителей автоматических выключателей. Предложена схема и алгоритм работы расцепителя автоматического выключателя на базе микроконтроллера MSP430F, которая позволяет существенно повысить его точность, быстродействие надежность, помехоустойчивость и снизить энергопотребление.

**Вступ.** Захист низьковольтних електричних мереж постійного і змінного струму від ненормальних режимів роботи сьогодні виконується в основному автоматичними вимикачами. Швидкий ріст потужності сучасних мереж, їх високий рівень автоматизації викликають підвищення вимог до якості захисту, побудованого на автоматичних вимикачах. Під цією якістю звичайно розуміється:

стабільність параметрів захисту при впливі таких зовнішніх факторів, як температура, вологість, механічні впливи й т.д.;

збільшення видів захисту залежно від призначення вимикача, тобто сполучення максимального струмового захисту із захистом від неприпустимих коливань напруги, частоти із захистом від обриву фаз і т.д.;

можливість регулювання параметрів і характеристик захисту, що необхідно для забезпечення підстроювання захистів в експлуатації й спрощення калібрування в процесі виготовлення;

надійність і довговічність.

Функцію захисту в автоматичних вимикачах (АВ) виконують звичайно різноманітні типи розчеплювачів [2], які при виникненні ненормальних режимів роботи впливають на механізм АВ, викликаючи розмикання контактів і відключення кола, яке захищається.

Однією з найважливіших вимог до АВ в мережах до 1000 В являється забезпечення необхідної швидкодії при аварійних відключеннях. Цей час залежить від величини напруги і при фазній напрузі 220 В не повинен перевищувати 0,4 с. Норми перевірки АВ, які існують сьогодні потребують перевірки і забезпечення певної кратності струму короткого замикання по відношенню до номінальних струмів розчеплювачів автоматичних вимикачів. Така перевірка встановлює міру надійності відключення пошкоджень, але не гара-

нтує швидкого їх відключення. Між тим проведені дослідження виявили залежність ступеня дії електричного струму не тільки від величини напруги, а й від тривалості його дії.

Аналізуючи часо-струмові характеристики вітчизняних АВ для мереж до 1000 В, можна зробити висновок, що фактор часу відключення ушкоджень, м'яко говорячи, не вважався пріоритетним. Крім того, оскільки для кожного виду захисту використовувався певний розчеплювач – це призводило до збільшення габаритів АВ як наслідок його подорожчання і зменшення його надійності.

**Метою даної роботи** є розробка мікроконтролерного розчеплювача, який зможе замінити електромагнітний і тепловий розчеплювачі без зміни габаритних розмірів АВ. Упровадження такого розчеплювача знизить матеріалоемність, трудомісткість, собівартість, енергоспоживання і витрати при експлуатації, а також підвищить надійність АВ і їх швидкодію.

Час спрацьовування багатьох захисних автоматичних вимикачів, що випускаються в цей час, визначається тепловими розчеплювачами, що являють собою біметалічну пластину, яка складається із двох металів з різними коефіцієнтами теплового розширення. Пластини жорстко з'єднані між собою гарячою прокаткою або зварюванням. При токових перевантаженнях нагрів біметалічного елемента приводить до його вигину убік пластини з меншим температурним коефіцієнтом розширення. Пластина впливає на рейку механізму вільного розчеплювання. При цьому контакти розмикаються під дією пружини, що відключає. Тепловий розчеплювач характеризується тепловою інерцією. Швидкодія біметалічної пластини прямо пропорційна значенню струму. Після замикання автоматичного вимикача, який спрацював час наступного спрацьовування розчеплювача зменшується. Недоліком таких розчеплювачів є нестабільність часових характеристик, а також сильна залежність часу дії розчеплювачів від їхньої початкової температури й від температури навколишнього середовища. Наприклад, розкид часу спрацьовування автоматичного вимикача ВА 57-35 на 100 А при 6-кратному струмі (600 А) і початковому холодному стані розчеплювачів становить від 7 до 18с, а при гарячому стані розчеплювачів – від 0,7 до 4 с, що показано на рис.1. Таким чином, загальний можливий розкид часу спрацьовування вимикача при тому самому струмі становить від 0,7 до 18 с. При збільшенні номінального струму розчеплювачів цей розкид трохи знижується, а зі зменшенням, навпаки, збільшується. Очевидно, що при таких нестабільних характеристиках неможливо забезпечити необхідну швидкодію і селективність роботи АВ в системі електропостачання, оскільки безпосередньо перед відключенням, захисні апарати можуть перебувати в різних температурних режимах залежно від навантаження й температури зовнішнього середовища.

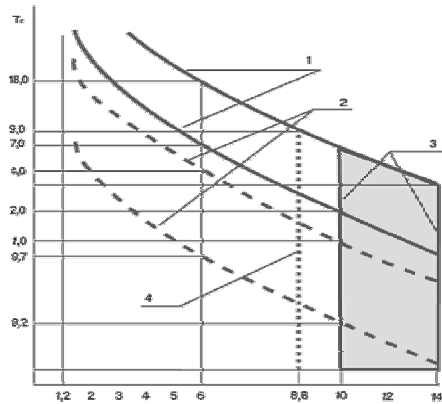


Рис. 1. Часо-струмові характеристики автоматичного вимикача ВА 57-35:

1. Часо-струмові характеристики з холодного стану.
2. Часо-струмові характеристики з нагрітого стану.
3. Зона роботи електромагнітного максимального розчеплювача.
4. Розрахунковий струм однофазного замикання на землю.

Для порівняння: час спрацювання теплових розчеплювачів автоматичних вимикачів фірми Siemens у гарячому стані лише на 25% менший часу спрацювання в холодному стані. В процесі роботи вимикача в номінальному режимі через термобіметалічну пластину і шунт теплового розчеплювача постійно протікає номінальний струм. Це приводить до нагріву і до відповідних енерговитрат, які пропорційні величині квадрату номінального струму. Крім того, виготовлення і експлуатація таких розчеплювачів потребує значних матеріальних і трудових затрат.

Крім теплових, автоматичні вимикачі мають ще електромагнітні розчеплювачі, які, як сказано в ряді інструкцій і каталогів, «працюють при коротких замиканнях без витримки часу». І може скластися помилкова думка, що при однофазних коротких замиканнях саме вони й забезпечують необхідну швидкодію. Однак у дійсності все виглядає не зовсім так, особливо в мережах промислових підприємств. Електромагнітний розчеплювач являє собою електромагніт, якор якого має вільний хід 5-10 мм. Через його котушку протікає струм навантаження, якор розчеплювача притягується і натискає на рейку механізму вільного розчеплювання. В результаті цього рейка обертається і защіпка виходить із щеплення і під дією поворотних пружин, рухомі контакти розмикаються і забезпечують автоматичне відключення в разі виникнення струму короткого замикання. Уставка струму спрацювання електромагнітна регулюється зміною натягу протидіючої пружини або зміною числа витків котушки.

Необхідно враховувати, що уставки струму спрацювання електромагнітних розчеплювачів автоматичних вимикачів повинні відрізнятися від струмів пуску й самозапуску електродвигунів, що становлять основну масу споживачів електроенергії на промислових підприємствах. Величина пускових струмів до-

сягає 6-7-кратних значень від номінальних струмів електродвигунів, а з урахуванням аперіодичної складової ця величина може бути ще більша. У зв'язку із цим уставка електромагнітного розчеплювача автоматичного вимикача на лінії до електродвигуна приймається на рівні 10-12 крат від номінального струму теплового розчеплювача. Але, як показують розрахунки, через великий опір ланцюга «фаза-нуль» струм замикання на землю наприкінці ділянки, що захищається, у цілому ряді випадків виявляється меншим уставки електромагнітного розчеплювача автомата і тоді електромагнітні розчеплювачі не спрацьовують і відключення може відбутися тільки за рахунок дії теплових розчеплювачів. Оскільки час відключення ушкоджень не регламентується, дія електромагнітних розчеплювачів була не обов'язковою, якщо струм короткого замикання перевищує не менш чим у три рази номінальний струм теплового розчеплювача рис. 1. Недоліками електромагнітного розчеплювача і мінімального розчеплювача являються значні енерговитрати за рахунок того що через їх котушки постійно протікає струм, а також затрати на їх виготовлення та ручне регулювання в процесі їх експлуатації.

Розглянемо схему живлення електродвигуна. Припустимо, що номінальному струмі електродвигуна 85 А потужність 45кВт – номінальний струм теплового розчеплювача прийнятий 100 А, при цьому уставка електромагнітного розчеплювача згідно інформації заводу-виготовлювача становить 1250 А. Струм однофазного короткого замикання наприкінці ділянки, що захищається розрахуємо згідно ГОСТ-28249-93 за формулою:

$$I_{\text{окз}} = \frac{U_{\text{л}} \sqrt{3}}{(2R_1 + R_0)^2 + (2X_1 + X_0)^2},$$

де  $R_1$  і  $R_0$ ,  $X_1$  і  $X_0$  – активні і реактивні опори прямої і оберненої послідовностей елементів мережі.

В даному випадку  $I_{\text{окз}}$  складає лише 879 А. Очевидно, що електромагнітний розчеплювач при цьому струмі працювати не буде, а тепловий розчеплювач при кратності струму  $K = 879/100 = 8,79$  спрацює за час  $t$  від 3 до 9 с (рис. 1). Таким чином, вимога відносно часу відключення пошкоджень (0,4 с) не виконується і немає ніякої гарантії, що час відключення не перевищить 5 с. Час роботи теплового розчеплювача при струмі однофазного короткого замикання не можна зменшити, навіть якщо це було б технічно можливо. Адже при пусковому струмі час роботи теплового розчеплювача повинен бути завідомо більший часу пуску електродвигуна, тобто бути 4-5 с.

Усунути недоліки вищевказаних розчеплювачів можливо якщо розробити розчеплювач на базі сучасних високопродуктивних мікроконтролерів з низьким енергоспоживанням. Він має значно кращі характеристики і не залежить від температури. При використанні в мережах змінного струму автоматичних вимикачів, оснащених мікроконтролерними розчеплювачами функції, що забезпечують, захист, гарантують високий рівень надійності, точність спрацювання й нечутливість до електромагнітних перешкод, відповідно до діючих стандартів.

Структурна схема розчеплювача на базі МК MSP430F представлена на рис. 2. Вона містить у собі МК MSP430F, три датчики струму у вигляді трансформаторів струму ТА1-ТА3, джерела живлення у вигляді трансформатора TV, первинна обмотка якого включена між однією з фаз і нулем. Одна вторинна обмотка підключена до випрямного мосту U1 на виході до якого підключена ємність C1, а друга вторинна обмотка служить джерелом живлення для котушки електромагніта відключення YA.

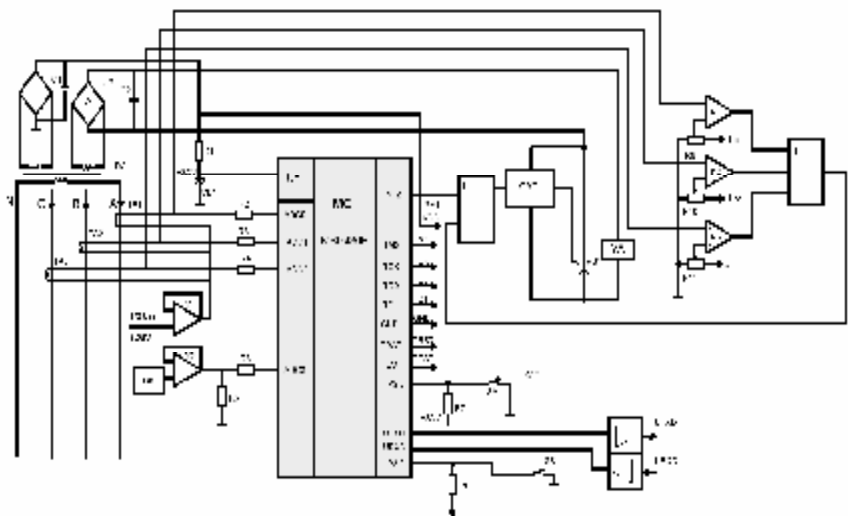


Рис. 2. Структурна схема мікроконтролерного розчеплювача на базі МК MSP430F

Напруга з ємності C1 подається на вхід живлення МК MSP430F  $U_{п}$  і на мікросхему підсилювача потужності DA, вхід якого приєднаний до одному з розрядів порту, наприклад P1.0. Вихід підсилювача потужності DA приєднаний до схеми керування тиристором СУТ, що шляхом подачі напруги на керуючий електрод тиристора VS1 відкриває його й забезпечує протікання струму через котушку електромагніта відключення. До незалежного розчеплювача АВ і замикає його після відключення. Коли спрацьовує захист, автоматичний вимикач розмикається з допомогою електромагніта відключення, при цьому змінюється стан контакту сигналізації спрацьовування КСС розчеплювача АВ. Скидання сигналізації механічний і здійснюється переключенням важеля керування в нижнє положення. Котушка розчеплювача не вимагає зовнішнього живлення, тому що вона харчується від трансформатора TV, через випрямний міст U2 і ємність C2. МК розчеплювача може використати додаткове живлення від портативного блоку батарей, що дозволяє встановлювати параметри захисних функцій при відсутності живлення АВ.

Розчеплювач може забезпечувати наступні захисні функції: захист від струмів перевантаження; селективний захист від короткого замикання; мит-

тевий захист від короткого замикання; захист від замикання на землю; захист від перевищення температури. Крім звичайних захисних функцій він може мати й багато інших додаткових функцій. При добавленні блоку обміну даними й блоку сигналізації кількість функцій може бути збільшено. Якщо температура зміниться настільки, що можуть виникнути короткочасні або тривалі несправності мікроконтролера, включається аварійна сигналізація. У меню керування є можливість перевірки коректності роботи дисплея, світлодіодів і інших пристроїв.

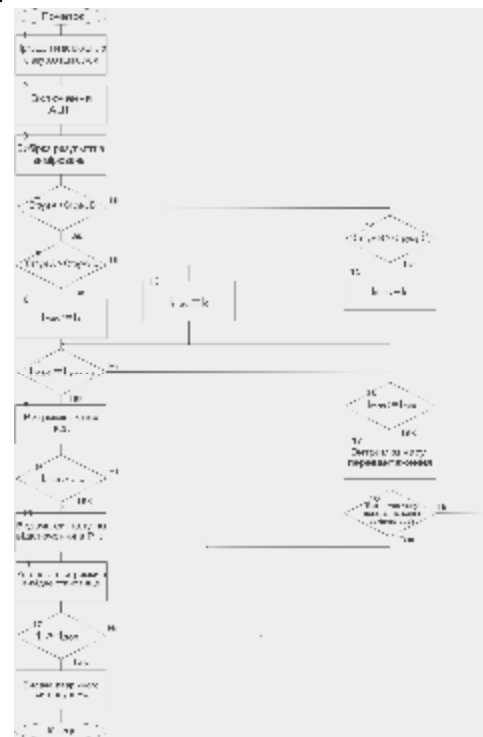


Рис. 3. Алгоритм роботи мікроконтролерного розчеплювача

Алгоритм роботи мікроконтролерного розчеплювача зображений на рис. 3. На початку алгоритму приводиться приведення до вихідного стану зовнішніх схем (1). В головному циклі алгоритму (2-12) виконується включення АЦП (2), проводиться вибірка результатів вимірювання (3). Далі порівнюється величина струму фази А і величина струму фази В (4). Якщо величина струму фази А більша за величину струму фази В, то відбувається порівняння величини струму фази А і величини струму фази С (5). Якщо величина струму фази А більша за величину струму фази С, то величина струму фази А визначається, як максимальна (6). Величина максимального струму порівнюється з

величиною граничного струму короткого замикання (7). Якщо витримка часу  $t_{к.з.}$  відповідає  $t_{дон.}$  (8), то порівнюємо час короткого замикання з часом витримки заданим програмно (9). Якщо витримка часу короткого замикання закінчилась видаємо сигнал на відключення в порт Р 1.0 (10). Витримка встановлюється в вихідне становище (11) і знову час порівнюється з заданим (12). Якщо час більший часу заданого програмно, то відбувається відключення вимикача. У випадку коли величина струму фази А менша величини струму фази В (4), порівнюються величини струмів фаз В і С (14). Якщо величина струму фази В більша за величину струму фази С, то величина струму фази В визначається, як максимальна (15). Далі повторюються дії (7-12). Якщо величина струму фази А менша за величину струму фази С, то максимальною визначається величина струму фази С (13) і далі повторюються дії (7-12). Якщо величина максимального струму не дорівнює величині граничного струму короткого замикання (7), то вона дорівнює величині граничного струму (16) і відбувається витримка часу перевантаження (17). Коли витримка часу перевантаження закінчується, то повторюються дії (10-12), а якщо витримка часу перевантаження не закінчилась, то повторюються дії (2-12).

**Список літератури:** 1. *Алиев И.И., Абрамов М.Б.*, Электрические аппараты. Справочник – 3-е изд. – М.: Высшая школа, 2003. – 251с. 2. *Могилевский Г.В., Райнин В.Е., Сосков А.Г., Устименко Б.Ю.* Бесконтактные устройства защиты для низковольтных электрических аппаратов. – М., Энергия, 1971. – 88с. 3. *Грицук Ю.С., Ржевский А.Н., Грицук С.Ю.* Автоматизированная система управления для коммутационных исследований и испытаний электрических аппаратов // Вестник НТУ "ХПИ". – Харьков: НТУ "ХПИ". – 2001. – Вып. 17.– С. 48-50. 4. *Грицук Ю.С., Кузнецов А.И., Ржевский А.Н., Грицук С.Ю.* Применение микроконтроллеров в схемах автоматизированного управления испытаниями электрических аппаратов // Вісник НТУ "ХПИ". – Харків: НТУ "ХПИ". – 2005. – Вип. 35. – С. 63-68. 5. *Грицук Ю.С.* Микропроцессорные устройства: Уч. пособие – Харьков: НТУ "ХПИ", 2007. – 280 с. 6. Семейство микроконтроллеров MSP430x1xx. Руководство пользователя: Пер. с англ. – М.: Серия "Библиотека Компэла". ЗАО "Компэл", 2004. – 368с. 7. <http://ielectro.ru>. 8. <http://eneq.ru>.

*Поступила в редколлегию 27.05.2008*

УДК 622. 24

*А.Г. ГУРИН*, д-р техн. наук,  
*С.П. МОСТОВОЙ*, канд. физ.-мат. наук,  
*О.Н. ЯРМАК*,  
*П.Е. КОВАЛЕК*

## **ФОРМИРОВАНИЕ СПЕКТРА ГИДРОАКУСТИЧЕСКИХ ИМПУЛЬСОВ ПРИ ИЗУЧЕНИИ СТРУКТУРЫ ДОННЫХ ОСАДКОВ НА ШЕЛЬФЕ МОРЯ ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКИМИ ИЗЛУЧАТЕЛЯМИ**

Розглянуто процес формування гідроакустичних імпульсів у дальній зоні мембранних гідроакустичних випромінювачів при вивченні структури донних шарів ґрунту на шельфі моря в районі нафтових родовищ та експлуатації бурових платформ. Наведено аналіз завад, що спричиняють появу повторних відбиттів та спотворення сейсмограм.

Рассмотрен процесс формирования гидроакустических импульсов в дальней зоне мембранных гидроакустических излучателей при изучении структуры донных слоев грунта на шельфе моря в районе нефтяных месторождений и эксплуатации буровых платформ. Представлен анализ помех, которые создают появление повторных отражений и искажение сейсмограмм.

**Постановка задачі.** Поиски полезных ископаемых на шельфе моря, контроль за динамикой пород в зоне буровых платформ на шельфе моря, строительство инженерных сооружений связано с детальным изучением донных осадков, их структуры и мощности пластов. Наиболее пригодны для этих целей электродинамические излучатели мембранного типа, позволяющие излучать мощные гидроакустические импульсы со спектром 1-8 кГц и амплитудой, достаточной для проникновения этого импульса на глубину до 400-500 м по донным осадкам [1, 2]. Стабильность амплитуды и широкий диапазон спектра излучаемых импульсов являются их отличительной особенностью от применяемых в настоящее время пневматических и электрогидравлических излучателей [2]. Если первые имеют низкочастотный спектр излучения, то вторые - большой разброс спектра излучаемых частот из-за влияния условий возбуждения и состава среды. Высокая точность включения электродинамических излучателей позволяет их группировать, тем самым создавать более мощные акустические импульсы заданной направленности. Для этого необходимо, чтобы каждый излучатель в группе имел идентичные спектральные характеристики. Цель работы – изучить причины, влияющие на этот процесс путем анализа расчетных и экспериментальных данных, полученных в реальных условиях эксплуатации излучателей.

**Формирование амплитуды гидроакустического импульса и его час-**