

УДК 004.75

І. О. Сабадаш*, канд. техн. наук, доцент,

О. П. Люра**, аспірант

* Національний університет «Львівська політехніка», м. Львів,

** Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, м. Івано-Франківськ

АЛГОРИТМ ОПРАЦЮВАННЯ ДАНИХ ТА КОМПОНЕНТИ СПЕЦПРОЦЕСОРА РЕЛЕЙНОГО ЗАХИСТУ ВИСОКОВОЛЬТНИХ ЛІНІЙ ЕЛЕКТРОПЕРЕСИЛАНЬ

Викладена інформаційна технологія проектування структурних рішень спецпроцесора релейного захисту високовольтних ЛЕП. Систематизовані існуючі засоби релейного захисту на основі апаратних та програмно-апаратних мікропроцесорних контролерів цифрового захисту. Класифіковані компоненти спецпроцесора та обґрунтовані їх характеристики, орієнтовані на лінії електропересилань 6 кВ.

Ключові слова: *високовольтні лінії електропересилання, збурення, спецпроцесор розпізнавання коротких замикань.*

Вступ. Існуючі електроенергетичні системи є складними комплексами електротехнічного обладнання, в яких з великою ймовірністю виникають збурення та вихід з ладу промислових засобів генерування, транспортування та споживання електроенергії.

Найбільш небезпечним в ЛЕП є замикання на землю, які можуть приводити до: виведення з ладу електротехнічного обладнання шляхом його дугового руйнування; виведення з ладу обладнання електроспоживання; пониження рівня напруги чи робочого струму, що спричиняє порушення технологічних процесів на підприємствах.

Успішний розвиток мікроелектроніки створив умови розвитку та широкого впровадження мікроконтролерних мікропроцесорних та спецпроцесорних засобів захисту обладнання ЛЕП від коротких замикань та накидів. В останні два десятиліття років в Україні впроваджені засоби релейного захисту, виконані на основі цифрових принципів опрацювання сигналів та розпізнавання образів. Відомі зарубіжні фірми: ABB, Siemens, Alstom, General Electric, Schneider, Areva, Nari, Vamp, Релсіс та інші серійно випускають та масово впроваджують мікроконтролерні засоби релейного захисту ЛЕП.

1. Систематизація засобів релейного захисту високовольтних ЛЕП. Одним з найпоширеніших пристроїв захисту високовольтного електротехнічного обладнання є реле струму (РС) [1]. На практиці існують і розрізняють реле максимальної дії $k_p < 1$ та реле мінімаль-

ної дії $k_p > 1$. В Україні виробниками мікроконтролерних засобів релейного захисту є: Київприлад, Радіус Автоматика, ІМСКОЕ та ін.

Мікроконтролерні засоби релейного захисту мають наступні основні переваги: вища точність (до 2 %) відтворення заданих характеристик функціонування засобу релейного захисту; забезпечення коефіцієнта повернення (до 0,99), що потребує складних технічних рішень в інших типах пристроїв релейного захисту; реалізація програмним шляхом характеристик спрацювання будь-якої складності; запам'ятовування координат режиму під час спрацювання цифрового пристрою; можливість оперативного, в тому числі дистанційного, алгоритму опрацювання сигналів; універсальність застосування при вирішенні різних задач захисту від перевантажень та коротких замикань у технологічному обладнанні ЛЕП; менші габарити та монтажні затрати; можливість самодіагностики та моніторинг надійності; менше споживання енергії, що істотно зменшує потужність джерел енергії оперативного струму; менші експлуатаційні затрати на профілактичні роботи, які виконуються шляхом тестування програмного забезпечення.

2. Мікроконтролерні засоби цифрового релейного захисту.

Всі цифрові пристрої релейного захисту, незалежно від призначення мають схожу структуру, яка наведена на рис. 1.

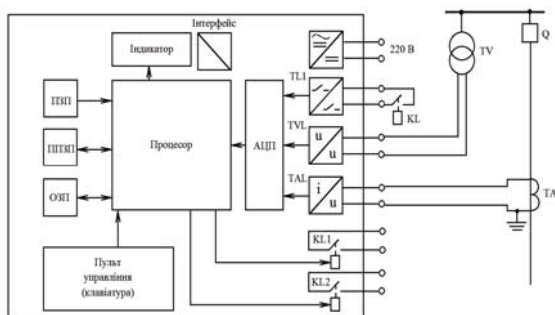


Рис. 1. Структурна схема цифрового захисту

На структурній схемі цифрового захисту використано наступні позначення: ТА — трансформатор струму; TV — трансформатор напруги; Q — вимикач; KL — вихідне реле іншого пристрою; TL1 — перетворювач бінарних сигналів; TVL, TAL — входні перетворювачі аналогових сигналів, напруг та струмів; АЦП — аналогово-цифровий перетворювач; ПЗП — постійний запам'ятовувальний пристрій; ОЗП — оперативний запам'ятовувальний пристрій; ППЗП — перепрограмований запам'ятовувальний пристрій; KL1, KL2 — вихідні реле.

Досвід експлуатації пристроїв релейного захисту дозволив встановити також ряд негативних особливостей та функціональних обмежень:

- зниження надійності та довговічності, обумовлене характеристиками безвідмовності базових компонентів мікроконтролерних реалізацій: АЦП, мікропроцесора, інтерфейсів вводу/виводу та живлення;
- значна концентрація в одному пристрої багатьох важливих функцій моніторингу стану промислового обладнання ЛЕП, наприклад потужних трансформаторів.

3. Методи виявлення, розпізнавання та ідентифікації збурень у високовольтних лініях електропересилання.

3.1. Метод інтегрального диференціально-різницевого розпізнавання накидів.

Розглянемо моделі накиду та коротких замикань в ЛЕП (рис. 2) Характерними ознаками накиду є:

1. Незмінність якісних характеристик гармонічного сигналу при $t < t_0$ та $t \geq t_0$;
2. Стрибок струму у будь-який момент фази струму від значення $A_1 (t < t_0)$ до значення $A_2 (t > t_0)$. (Цей стрибок може на 1–2 порядки перевищувати початкове значення A).

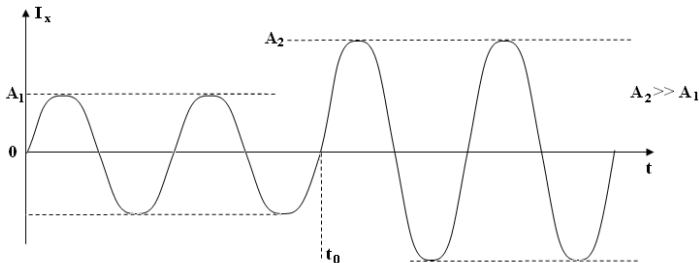


Рис. 2. Модель накиду струму при включенні у момент t_0 потужного споживача

3. До накиду чи спаду навантаження амплітуди струмів є постійні, тобто
 - накид $A_1 = const$; $A_2 = const$; $A_1 \ll A_2$;
 - спад $A_1 = const$; $A_2 = const$; $A_1 \gg A_2$.

Задача розпізнавання такого збурення у ЛЕП може бути успішно вирішена цифровим опрацюванням гармонічних сигналів $X_i = A_i \cos \omega_0 t$ згідно наступного алгоритму, коли на виході АЦП на інтервалі одного періоду гармонічного сигналу формується потік цифрових центрованих відліків $(\dot{x}_1, \dot{x}_2, \dots, \dot{x}_i, \dots, \dot{x}_n)$, де $M_x = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \dot{x}_i = 0$;

$$-A \leq x_i \leq A .$$

З метою спрощення рішення задачі подамо \dot{x} у вигляді $|\dot{x}|$, тобто це можна зробити на виході АЦП шляхом відкидання знаку або до входу АЦП шляхом випрямлення гармонічного сигналу $|\dot{x}|$.

Опрацювання даних такої моделі виконується з кроком $\Delta t = \frac{\pi}{2}$, тобто у ковзному режимі через півперіод гармонічного сигналу.

Для виконання різницевого імпульсно-квадратичного методу необхідно рекурентно (у стековому режимі) запам'ятовувати цифрові відліки x_i у регістрі пам'яті $x_i \rightarrow x_{i-1} \rightarrow x_{i-2} \dots \rightarrow x_{i-j} \dots \rightarrow x_{i-n}$ і різницево порівнювати ці запам'ятовувані значення з поточними відліками x_i . Тобто згідно схеми $\rightarrow x_i \rightarrow x_{i-1} \rightarrow x_{i-2} \dots \rightarrow x_{i-j} \dots \rightarrow x_{i-n} \Rightarrow x_i - x_{i-n}$.

Це означає, що операція віднімання буде виконуватися над даними гармонічного сигналу у наступні моменти зміщені на $\frac{\pi}{2}$.

У результаті виконання такої операції у ковзному режимі з кроком Δt отримаємо $Z_i = |x_i - x_{i-n}|$, де модульна операція враховує симетрію зміни амплітуд струмів у напрямі зростання при накиді та спадання при скиді навантаження в електромережі.

При цьому реакція процесора буде мати зміну амплітуди струму у момент стрибка: $A_1 \rightarrow A_2$; $A_1 \ll A_2$ на інтервалі півперіоду, але є інваріантна до можливих інших більших чи менших стрибків амплітуди струму у інші моменти часу, тобто

$$Z_i = \begin{cases} 0, t \leq t_0; \\ (A_2 - A_1) \sin \omega t, t_0 \leq t \leq t + \frac{\pi}{2}; \\ 0, t > t_0 + \frac{\pi}{2}. \end{cases}$$

3.2. Метод розпізнавання коротких замикань у високовольтних ЛЕП.

Експериментальні дослідження та реєстрація збурень в електромережах за допомогою пристроїв «Альтра» та їх модифікацій показують, що при виникненні коротких замикань різної природи спостерігається наближення до експоненціального затухання або спотворення форми гармонічного сигналу на кількох періодах синусоїди струму на інтервалі часу $t > t_0$.

При виникненні такого роду збурення в електромережах у результаті різницево-імпульсного опрацювання гармонічних сигналів в околі часу t_0 . На основі запропонованого модульно-різницевого ме-

тоту факт виникнення збурення в електромережі буде зареєстрований на інтервалі часу $t_0 + \pi/2$ або навіть на інтервалі $t_0 + \pi/4$.

Виникнення короткого замикання згідно розробленого методу можна ідентифікувати на інтервалі часу $t_0 + \pi/4 < t < t_0 + \pi/2 < t_0 + \pi$. Тобто на інтервалі чверть або півперіода після реєстрації збурення в електромережі [2].

З метою підвищення чутливості та дозволяючої здатності ідентифікації факту короткого замикання на початковій стадії його розвитку, а також спрощення алгоритму обчислень та структури спецпроцесора, на інтервалі часу $t > t_0 + \pi/2$ доцільно застосувати квадратично-імпульсний метод цифрового опрацювання даних Z_i згідно виразу:

$$S_{к.з.} = \begin{cases} 1, Z_i^2(t > t_0 + \frac{\pi}{2}) > P_0; \\ 0, Z_i^2(t > t_0 + \frac{\pi}{2}) < P_0, \end{cases}$$

де P_0 — порогове значення, яке вибирається експертним шляхом або у процесі багаторазових випробувань на реальних прикладах. Даний поріг P_0 є інваріантний до величини стрибка струму $A_2 \gg A_1 = \text{var}$, тобто не залежить від можливої різниці $\Delta = |A_2 - A_1|$ у момент виникнення збурення t_0 . Оскільки у випадку накиду коефіцієнт експоненти $\alpha \approx 0$ і на інтервалі часу $t_0 > t_0 + \pi/2$, $Z_i \approx 0$.

У той же час очевидно, що процеси розвитку коротких замикань можуть мати більш складний характер. У процесі пробоїв ізоляції у високовольних кабелях можуть спостерігатися кілька наростаючих стрибків чи випадково амплітудних стрибків струму. У цьому випадку може з'явитися необхідність більш потужного опрацювання серій ідентифікованих коротких замикань, що є предметом більш глибоких теоретичних, експериментальних та промислових досліджень на основі теорії Марківських моделей ідентифікації станів квазістаціонарних об'єктів управління та джерел інформації.

3.3. Метод розпізнавання накидів при запуску потужних електроприводів Пристрій ідентифікації накидів та коротких замикань.

Для розробки алгоритмів розпізнавання накидів при запуску потужних електроприводів (ПЕД) після оцифрування цифrogram необхідно виконувати частотну фільтрацію сигналів з метою виділення низькочастотної огинаючої та огинаючої високочастотних складових, які виникають при запуску ПЕД.

На рис. 3 показана структурна схема пристрою, який оснащений трансформаторами напруги (T_1) та струму (T_2), двохпівперіодними випрямлячами, аналого-цифровими перетворювачами (АЦП), ідентифікатором різниці фаз, пристроєм ідентифікації накидів та к.з. і логічною схемою (ЛС), три виходи якої відповідають: N — накид, C — к.з., Z — запуск ПЕД.

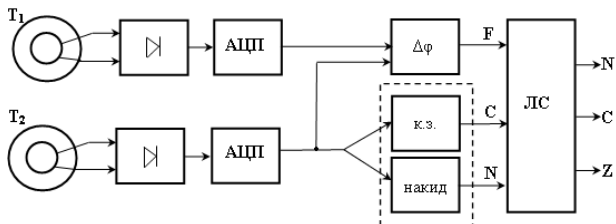


Рис. 3. Структурна схема пристрою ідентифікації накидів, замикань на землю та запусків потужних електроприводів в ЛЕП

Дана схема потребує застосування двох трансформаторів струму, що ускладнює її монтаж на електричних підстанціях.

На рис. 4 запропонована схема пристрою релейного захисту високовольтних ліній електропередач з одним трансформатором струму [3].

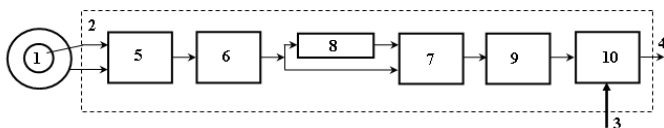


Рис. 4. Схема пристрою релейного захисту високовольтних ліній електропередач

Пристрій містить (рис. 4): 1 — трансформатор струму, 5 — випрямляч, 6 — аналого-цифровий перетворювач з вихідним унітарним кодом, вихід якого з'єднаний з додатково введеними: 7 — логічний елемент «виключаюче АБО», 8 — реєстр зсуву, 9 — інтегруючий квадратор, 10 — елемент порівняння, 3 — шина порогової уставки, 4 — вихід управління силовим вимикачем.

Висновки. Розроблені методи розпізнавання дискретизованих гармонічних сигналів та структури пристрою релейного захисту високовольтних ліній електропередач, який виконує розпізнавання та ідентифікацію накидів та коротких замикань в ЛЕП дозволяє успішно його застосувати для одночасного розпізнавання накидів, коротких замикань та пуску потужних електроприводів.

Список використаних джерел:

1. Кідиба В. П. Релейний захист електроенергетичних систем: навч. посібник. Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2015. 504 с.

2. Люра О. П., Николайчук Я. М. Дослідження алгоритму розпізнавання накидів та коротких замикань у промислових електромережах. *Матеріали IV Всеукраїнської школи-семінару молодих вчених і студентів АСІТ'2014*. Тернопіль: ТНЕУ, 2014. С. 157–158.
3. Патент 103938 Україна МПК H02H 9/00 (2015.01) Пристрій релейного захисту високовольтних ліній електропередач. Николайчук Я. М., Возна Н. Я., Люра О. П., Островка І. І., Сабадаш І. І. №u201505713; заявлено 09.06.2015; опубліковано 12.01.2016, Бюлетень №1/2016.

Presented information technology project of structural solutions special processor of relay protection in high-voltage lines of transfer electricity. Systematized existing means of relay protection based on hardware and software and hardware microprocessor controllers, digital protection. Classified components special processor and informed them of the characteristics, focused on line transfer electricity 6 kV.

Keywords: *high-voltage lines of transfer electricity, disturbance, speсprocessor recognition of short circuits.*

Одержано 16.02.2017

УДК 519.23

А. І. Сегін, канд. техн. наук, доцент

Тернопільський національний економічний університет м. Тернопіль

ВИЗНАЧЕННЯ ОЦІНКИ СУМАРНОГО КОРЕЛЯЦІЙНОГО ВЗАЄМОВПЛИВУ ПЕРІОДИЧНИХ ПРОЦЕСІВ З БАГАТОКРАТНИМ ПОВТОРЕННЯМ ТА ПРЕДСТАВЛЕННЯМ В ПОЛЯРНІЙ СИСТЕМІ КООРДИНАТ

Запропонована сумарна оцінка кореляційних взаємовпливів періодичних процесів з врахуванням багатократного повторення та представлення кореляційних функцій в полярній системі координат.

Ключові слова: *кореляційна функція, полярна система координат, періодичні процеси.*

Вступ. Сучасний рівень інформаційно-обчислювальної техніки дав значний поштовх розвитку та реалізації складних алгоритмів прогнозування та аналізу поведінки об'єктів і процесів у промисловості, радіоелектроніці, наукових дослідженнях, техніці, економіці та інших галузях. Водночас, потужність та швидкодія комп'ютерної техніки обумовили подальший розвиток класичних методів досліджень та аналізу складних систем. Одним з таких методів є кореляційний аналіз, який для певного класу об'єктів залишається незамінним потужним математичним апаратом для вирішення ряду прикладних задач [1, 2].