

Михайлів Василь Іванович

*кандидат технічних наук, доцент,
доцент кафедри електроенергетики, електротехніки та електромеханіки
Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу*

Михайлив Василий Иванович

*кандидат технических наук, доцент,
доцент кафедры электроэнергетики, электротехники и электромеханики
Ивано-Франковский национальный технический университет нефти и газа*

Michailiv Vasyl

*PhD, Associate Professor,
Associate Professor of the Department Power Engineering,
Electrical Engineering and Electromechanics
Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas*

Люра Олег Петрович

*кандидат технічних наук,
викладач електротехнічних дисциплін
Державний вищий навчальний заклад
«Калузький фаховий політехнічний коледж»*

Люра Олег Петрович

*кандидат технических наук,
преподаватель электротехнических дисциплин
Государственное высшее учебное заведение
«Калужский профессиональный политехнический колледж»*

Liura Oleh

*Candidate of Technical Sciences,
Teacher of Electrical Engineering Disciplines
State Higher Educational Institution
«Kalush Professional Polytechnic College»*

**МЕТОДИ ЦИФРОВОГО ОПРАЦЮВАННЯ СИГНАЛІВ
МІКРОЕЛЕКТРОННИМ ПРИСТРОЄМ РЕЛЕЙНОГО ЗАХИСТУ
ВИСОКОВОЛЬТНИХ ЛІНІЙ ЕЛЕКТРОПЕРЕСИЛАНЬ**

**МЕТОДЫ ЦИФРОВОЙ ОБРАБОТКИ СИГНАЛОВ
МИКРОЭЛЕКТРОННЫХ УСТРОЙСТВ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ
ВИСОКОВОЛЬТНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ**

**METHODS OF DIGITAL SIGNAL PROCESSING
BY MICROELECTRONIC DEVICE OF RELAY PROTECTION
OF HIGH-VOLTAGE POWER LINES**

Анотація. Запропоновано алгоритми для виявлення та інваріантної ідентифікації перехідних процесів у лініях електропересилань типу накидів, коротких замикань, та пуску потужних електроприводів, за якими визначено функції пристрою релейного захисту високовольтних ліній електропересилань. Подано структуру малогабаритного мікроелектронного швидкодіючого пристрою релейного захисту з розширеними функціональними можливостями розпізнавання накидів та захисту високовольтних ЛЕП (ліній електропересилань) від коротких замикань, здійснено синтаксис його

функцій. Це дозволило успішно застосовувати розроблений метод та пристрій для одночасного розпізнавання накидів, коротких замикань та пуску потужних електроприводів. Викладено інформаційну технологію проектування структурних рішень спецпроцесора релейного захисту високовольтних ліній електропередач.

Ключові слова: накид, коротке замикання, спецпроцесор, електродвигун, перехідні процеси.

Анотація. Предложено алгоритмы выявления и инвариантной идентификации переходных процессов в линиях электропередач типа набросов, коротких замыканий и пуска мощных электроприводов, по которым определены функции устройства релейной защиты высоковольтных линий электропередач. Представлена структура малагабаритного микроэлектронного быстродействующего устройства релейной защиты с расширенными функциональными возможностями распознавания набросов и защиты высоковольтных ЛЭП от коротких замыканий, проведен синтаксис его функций. Это позволило успешно применять разработанный метод и устройство для одновременного распознавания набросов, коротких замыканий и пуска мощных электроприводов. Представлена информационная технология проектирования структурных решений спецпроцессора релейной защиты высоковольтных линий электропередач.

Ключевые слова: наброс, короткое замыкание, спецпроцессор, электродвигатель, переходные процессы.

Summary. The fast-acting algorithms of exposure and invariant authentication of transients are worked out in the lines of electricity transmission as load surge, short circuits and start of powerful electric engines on the basis of that the functions of device of relay defence of high-voltage lines of electricity transmission. The given structure of small, microelectronic fast-acting device of relay defence is with the extended functional possibilities of recognition of load surge and defence of high-voltage lines of electricity transmission from short circuits, the syntax of his functions is carried out. This device can be used for recognition of load surge and short circuits of invariant to the size of increase currents in the separate phases of electric lines. It allowed successfully to apply the worked out method and device for simultaneous recognition of load surge, short circuits and starting of powerful electromechanics engines. The information technology of designing structural solutions of relay protection special processor for high-voltage electricity transmission lines is presented.

Key words: load surges, short circuit, special processor, electric motors, transitional processes.

Вступ. Актуальною сучасною задачею є створення високопродуктивних спецпроцесорів, здатних розпізнавати накиди та короткі замикання (КЗ) у високовольтних електромережах. При побудові компонентів пристрою релейного захисту однією з найважливіших задач оптимізації їх системних характеристик є досягнення максимальної швидкодії.

У зв'язку з широким розвитком мікропроцесорної техніки, пристрої релейного захисту, виконані за цифровими принципами широко використовують в енергосистемах нашої та іноземних держав. Істотні переваги, якими володіють цифрові пристрої в порівнянні з традиційними електромеханічними пристроями релейного захисту робить їх застосування в енергетичних системах практично безальтернативним [1].

При експлуатації високовольтних ліній електропередач можуть виникати особливі перехідні режими та пошкодження електрообладнання підстанцій. Такі пошкодження приводять до виводу з ладу технологічного обладнання струмами КЗ або дугою, яка виникає у місці пошкодження. Також є небезпечним пониження напруги у вузлових точках електроенергетичної системи внаслідок коротких замикань, що впливає на порушення технологічних процесів споживачів електроенергії та стійкості генераторів енергосистеми [2].

Висока швидкодія перехідних режимів у лініях електропередач (ЛЕП) на протязі кількох періодів частоти 50 Гц потребує адекватної швидкодії

перетворювачів, пристроїв автоматики релейного захисту (РЗ) та спеціалізованих обчислювальних засобів — контролерів, які опрацьовують режими електропостачання у реальному часі. Тому актуальною є задача розробки нових ефективних методів та технічних засобів захисту електрообладнання від перевантажень та коротких замикань [1].

Основними перевагами цифрових пристроїв є: висока точність відтворення заданих характеристик функціонування пристрою; отримання характеристик будь-якої складності; запам'ятовування координат режиму під час спрацювання цифрового пристрою; можливість зміни конфігурації пристрою; універсальність; малі габарити, та менші використання електротехнічних матеріалів; можливість самодіагностики; менше споживання енергії для функціонування [3].

Традиційні пристрої релейного захисту, особливо електромеханічні, не мають функції самодіагностики і є багато випадків в експлуатації коли під час виникнення аварії ці пристрої не спрацьовували і після аналізу виявилось, що вони були не справними про що оперативний персонал і не здогадувався [4].

Також в результаті експлуатації цифрових пристроїв РЗ у вітчизняних та закордонних енергосистемах виявились і їхні негативні особливості. До них належать: відмови процесорів; слабкий захист цифрових пристроїв РЗ від електромагнітних завад; можливість виведення з ладу хакерами цифрових пристроїв РЗ через загальні інформаційні

мережі; відсутність єдиних національних стандартів щодо конструкції цифрових пристроїв РЗ, їх програмного забезпечення методики налагодження та умов експлуатації [2].

Мета роботи полягає в розробці теоретичних засад методів та алгоритмів розпізнавання збурень у промислових високовольтних електромережах та також застосування цифрових пристроїв РЗ в енергосистемах з метою захисту високовольтного обладнання ЛЕП на основі цифрового опрацювання сигналів.

Особливо важливою задачею розпізнавання гармонічних сигналів є ідентифікація їх спотворень у високовольтних енергетичних системах при виникненні коротких замикань, що приводить до зміни їх кореляційних та спектральних характеристик. Успішне рішення такої задачі може бути досягнуте на основі квадратично-імпульсного перетворення гармонічних сигналів спецпроцесорами з нейрокомпонентами [5]. Структура кореляційного нейропроцесора для розпізнавання гармонічних сигналів на основі моделі рекурентного нейрона наведена на рис. 1.

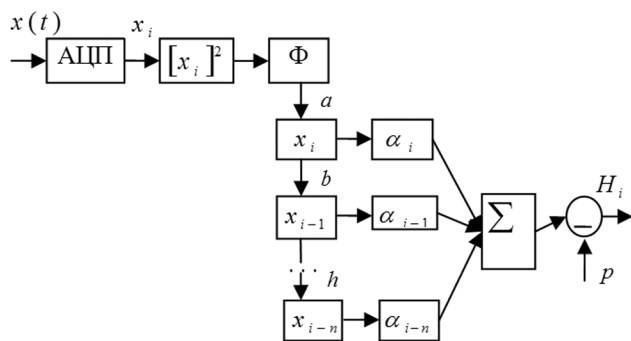


Рис. 1. Структура кореляційного нейропроцесора для розпізнавання гармонічних сигналів на основі моделі рекурентного нейрона

На цьому рис. 1: $x(t)$ — вхідний гармонічний сигнал; x_i — цифровий вхідний сигнал; АЦП — аналогово-цифровий перетворювач; Σ — суматор; Φ — пристрій формування імпульсів [1]; α_i — ваговий коефіцієнт; a, b, \dots, h — моменти часу формування імпульсів; p — порогове значення; H_i — вихідний сигнал.

Вихідний сигнал

$$H_i = \begin{cases} 1, & Z_i \geq p \\ 0, & Z_i < p \end{cases}, \quad Z_i = \sum_{i=1}^n \alpha_i \cdot x_i,$$

де Z_i — функція реакції нейрона на сигнал x_i ;

Недоліком такого методу є велика обчислювальна та апаратна складність, а також в залежності від набору α може розпізнавати лише накид або коротке замикання.

1. Удосконалення методу рандомізації та кореляційної оцінки збурень у високовольтних електромережах.

Ефективнішим є метод рандомізації, який полягає у тому, що цифрові відліки хешуються, щоб результат був подібний до M — сигналу, який має особливі кореляційні властивості. Замість $M = 7$ розрядного сигналу запропонований $M = 15$ розрядний сигнал, що дозволило підвищити висоту кореляційного піку в 2 рази [5].

При накиді сигнальна рандомізація синусоїди та гармонічний сигнал матимуть вигляд наведений на рис. 2.

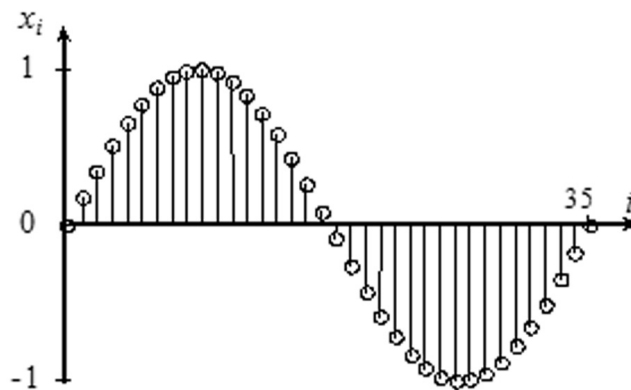


Рис. 2. Сигнальна рандомізація синусоїди

На рис. 3 наведений гармонічний сигнал без спотворень після рандомізації.

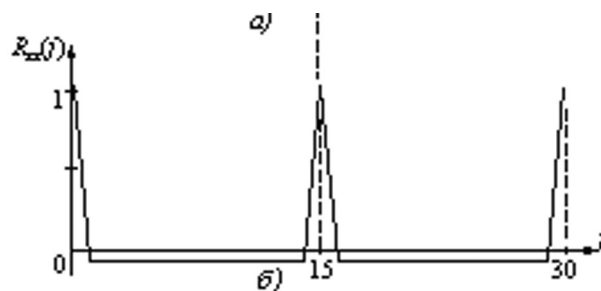


Рис. 3. Гармонічний сигнал без спотворень

При короткому замиканні сигнальна рандомізація спотвореної синусоїди та гармонічний сигнал матимуть вигляд наведений на рис. 4, а гармонічний сигнал із шумом зображено на рис. 5.

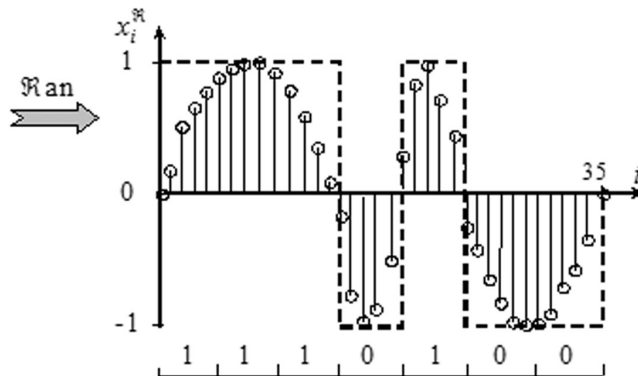


Рис. 4. Сигнальна рандомізація спотвореної синусоїди

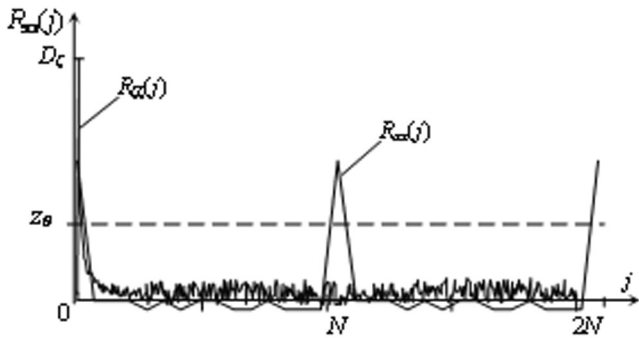


Рис. 5. Гармонічний сигнал із шумом

Недоліком методу, є те, що при виникненні збурень в електромережі іншого походження теж спостерігається виникнення шумів, висока апаратна складність та низька швидкодія.

Розроблено пристрій з допомогою, якого можна реалізувати метод рандомізації. Цифрові відліки перехідного процесу надходять в АЦП — БРЗ — R (хешуються) — X — і на виході отримуємо M-сигнал із високими кореляційними піками [5].

На цьому рис. 6: АЦП — аналогово-цифровий перетворювач; БРЗ — багаторозрядний регістр зсуву; R_n — рандомізатор, перетворює в M — сигнал, який має високі кореляційні піки; X — перемножувачі на вагові коефіцієнти.

Недоліком пристрою є спотворення синусоїди, що може відбутися без виникнення КЗ.

Вперше запропонований метод інтегрального диференціально-різницевого алгоритму розпізнавання накидів та КЗ у високовольтних ЛЕП [5]. При розробці методу запропоновані решітчасті моделі накиду та КЗ шляхом випрямлення змінного

струму на вході АЦП. В результаті чого на виході отримуємо решітчасті функції накиду та КЗ.

На рис. 7 показаний графік наростання ідентифікаційної імпульсно-квадратичної функції S_i розвитку короткого замикання в електромережах.

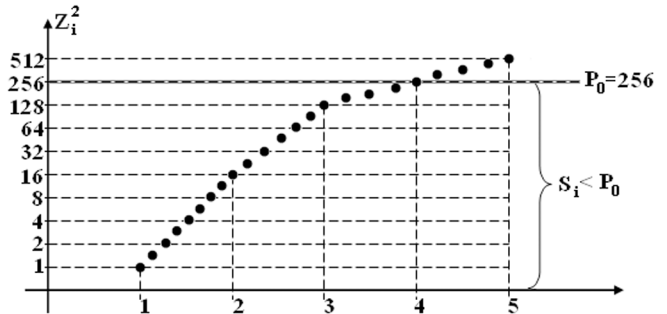


Рис. 7. Наростання ідентифікаційної функції розвитку короткого замикання в електромережах

Суть методу полягає у тому, що цифрові відліки на виході АЦП затримуються на півперіода і віднімаються із поточними — формуються різниці і ці різниці сумуються, тому метод отримав назву інтегрально-різницевої. На основі досліджених методів та спецпроцесорів розроблений дослідний взірець пристрою релейного захисту [6] (рис. 8), який містить:

На цьому рис. 8: 1 — трансформатор струму; 2 — модуль опрацювання сигналів; 3 — вхідна шина уставки; 4 — вихідна шина управління силовим вимикачем; 5 — випрямляч струму; 6 — АЦП; 7 — логічний елемент «виключне АБО»; 8 — регістр зсуву; 9 — інтегруючий квадратор; 10 — елемент порівняння.

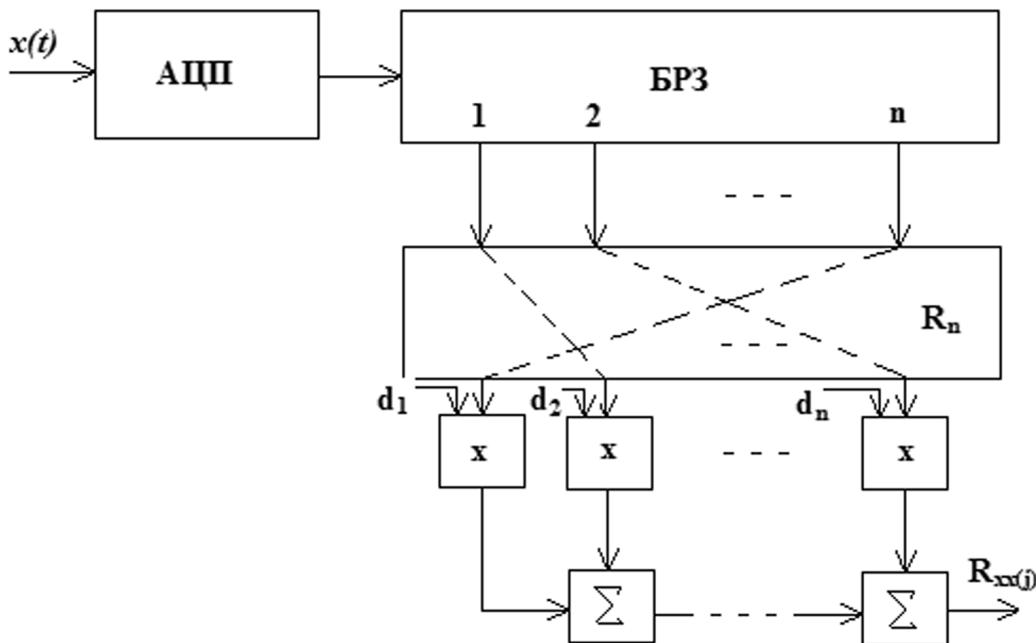


Рис. 6. Структура спецпроцесора розпізнавання спотворень гармонічних сигналів методом рандомізації

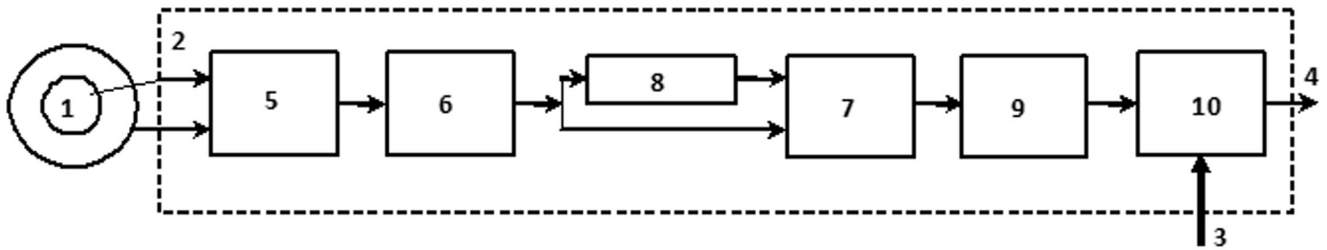


Рис. 8. Функціональна схема пристрою релейного захисту високовольтних ліній електропередач

Висновки. Розглянуто методи розпізнавання перехідних процесів в енергетичних системах та удосконалено метод рандомізації та кореляційної оцінки збурень у високовольтних електромережах. Запропоновано метод інтегрального

диференціально-різницевого алгоритму розпізнавання накидів та коротких замикань у високовольтних ЛЕП. Розроблені мікроелектронні компоненти пристрою релейного захисту.

Література

1. Люра О. П., Николайчук Я. М., Возна Н. Я. Структура алгоритму розпізнавання накидів та КЗ у високовольтних промислових електромережах. Міжнародна наукова координаційна нарада. Інформаційні проблеми комп'ютерних систем, юриспруденції, енергетики, економіки, моделювання та управління. Тернопіль. 2014. Випуск № 9. С. 216–222.
2. Возна Н. Я., Люра О. П., Сабадаш І. О., Островка І. І. Метод розпізнавання та ідентифікації накидів і замикань на землю у високовольтних лініях електропередач. Національний лісотехнічний університет України. Науковий вісник НЛТУ України. Збірник науково-технічних праць. Засновано 1994р. Том 28, № 1 Львів, 2018. С. 79–85.
3. Люра О. П., Возна Н. Я. Пристрої релейного захисту та компоненти спецпроцесора визначення квадратично-імпульсної функції / Проблемно-наукова міжгалузева конференція. Юриспруденція та проблеми інформаційного суспільства (ЮПИС — 2018). Присвячується 100-річчю заснування Національної академії наук України. Надвірна. 2018. С. 130–135.
4. Люра О. П. Структура та функції мікроелектронного пристрою моніторингу накидів та замикань на землю у високовольтних лініях електропередач. Автоматизоване управління багатовимірними об'єктами на засадах обчислювального інтелекту. Матеріали всеукраїнської науково-практичної конференції. Івано-Франківськ. 2018. С. 181–182.
5. Люра О. П., Возна Н. Я., Николайчук Я. М. Дослідження перехідних процесів у високовольтних лініях електропередач 6–10 кВ та розроблення мікроелектронного спецпроцесора релейного захисту, інваріантного до зміни амплітуд фазних струмів. Науковий вісник Івано-Франківського національного університету нафти і газу. Scientific bulletin. Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas. Випуск № 2 (45) 2018. С. 57–65.
6. Патент на корисну модель № 103938 МПК (2015.01) H02H 9/00. Опублікований 12.01.2016. Бюл. № 1. Николайчук Я. М., Возна Н. Я., Люра О. П., Островка І. І., Сабадаш І. І. / Пристрій релейного захисту високовольтних ліній електропередач.