



Н. Я. Возна¹, О. П. Люра², І. О. Сабадаш³, І. І. Островка³

¹ Тернопільський національний економічний університет, м. Тернопіль, Україна

² Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, м. Івано-Франківськ, Україна

³ Національний університет "Львівська політехніка", м. Львів, Україна

МЕТОД РОЗПІЗНАВАННЯ ТА ІДЕНТИФІКАЦІЇ НАКИДІВ І ЗАМИКАНЬ НА ЗЕМЛЮ У ВИСОКОВОЛЬТНИХ ЛІНІЯХ ЕЛЕКТРОПЕРЕСИЛАНЬ

Викладено теоретичні засади методів розпізнавання образів на основі алгебраїчного, структурного, геометричного, статистичного, кореляційного, спектрального аналізів та обґрунтовано їх системні характеристики. Запропоновано диференціально-різничний метод розпізнавання накидів і замикань на землю, який виконується згідно з алгоритмом опрацювання цифрових гармонічних сигналів, що включає: формування цифrogram фазних струмів з постійним кроком дискретизації та квантування, які проаналізовано у квадратичному просторі на інтервалі одного півперіоду гармонічної частоти. Досліджено структури та системні характеристики таких компонентів пристрою розпізнавання накидів та замикань на землю: АЦП розгорнутого типу, багаторозрядного регістра зсуву, структури логічних елементів "Виключне АБО", цифрового перемножувача та спецпроцесора обчислення порогового значення імпульсно-квадратичної функції, яка ідентифікує накид або замикання на землю. Викладено інформаційну технологію проектування структурних рішень спецпроцесора релейного захисту високовольтних ліній електропересилань. Систематизовано наявні засоби релейного захисту на основі апаратних та програмно-апаратних мікропроцесорних контролерів цифрового захисту. Класифіковано компоненти спецпроцесора та обґрунтовано їх характеристики, орієнтовані на лінії електропересилань 6 кВ. Продемонстровано часові діаграми випрямлених значень фазної напруги, струму та різниці фаз $\Delta\phi$ під час накидів, коротких замикань та запуску потужних електродвигунів у високовольтних ЛЕП.

Ключові слова: діагностування; збурення; накид; коротке замикання; електричне обладнання; спецпроцесор.

Вступ. Актуальним завданням під час створення сучасних інформаційних систем контролю технологічних параметрів та приладів контролю якості є розроблення теоретичних засад цифрового опрацювання гармонічних сигналів, які описують технологічні параметри об'єктів. Особливо важливою задачею розпізнавання гармонічних сигналів є ідентифікація їх спотворень у високовольтних енергетичних системах у разі виникнення коротких замикань, що призводить до зміни їх кореляційних та спектральних характеристик. Успішне розв'язання такої задачі може бути досягнуто на основі квадратично-імпульсного перетворення сигналів.

Мета роботи полягає в розробленні теоретичних засад методів і компонентів пристрою розпізнавання та ідентифікації накидів і замикань на землю у високовольтних лініях електропересилань, а також застосування цифрових пристроїв релейного захисту в енергосистемах для захисту високовольтного обладнання ЛЕП на основі цифрового опрацювання сигналів.

1. Ідентифікація збурень у високовольтних ЛЕП на основі теорії розпізнавання образів. Дослідження сигналів виконується на основі теорії розпізнавання образів. Образ – класифікаційне групування в системі класифікації, яке об'єднує (виділяє) визначену групу об'єктів за деякою ознакою (Liura et al., 2016). У класичній постановці задачі розпізнавання універсальна множина розбивається на частини-образи. Кожне відображення якогонебудь об'єкта на органи сприйняття системи розпізнавання, незалежно від його положення відносно цих органів, прийнято називати зображенням об'єкта, а множину таких зображень, що об'єднані якими-небудь загальними властивостями, представляють собою образи.

Розпізнавання образів (об'єктів, сигналів, ситуацій, явищ чи процесів) – задача ідентифікації об'єкта чи визначення яких-небудь його властивостей за його зображенням (оптичне розпізнавання), аудіозаписом (акустичне розпізнавання) чи іншими характеристиками (наприклад, розпізнавання характеристик гармонічних сигналів).

Інформація про авторів:

Возна Наталія Ярославівна, канд. техн. наук, доцент. Email: nvozna@ukr.net

Люра Олег Петрович, аспірант кафедри комп'ютерних систем та мереж. Email: oleg.lura14@gmail.com

Сабадаш Ігор Олександрович, канд. техн. наук, доцент кафедри електроенергетики та систем управління.

Email: office@imskoe.org.ua

Островка Іван Іванович, аспірант кафедри електроенергетики та систем управління. Email: ostrovka123@gmail.com

Цитування за ДСТУ: Возна Н. Я., Люра О. П., Сабадаш І. О., Островка І. І. Метод розпізнавання та ідентифікації накидів і замикань на землю у високовольтних лініях електропересилань. Науковий вісник НЛТУ України. 2018, т. 28, № 1. С. 79–84.

Citation APA: Vozna, N. Ya., Liura, O. P., Sabadash, I. O., & Ostrovka, I. I. (2018). Method for Recognition and Identification of Load Surges and Ground Faults in High-Voltage Power Transmission Lines. *Scientific Bulletin of UNFU*, 28(1), 79–84.

<https://doi.org/10.15421/40280116>

Методику віднесення елемента до якого-небудь образу називають вирішальним правилом. Ще одне важливе поняття – метрика, спосіб визначення відстані між елементами універсальної множини. Чим менша ця відстань, тим більш схожими є об'єкти (символи, звуки та ін.) – те, що ми розпізнаємо. Зазвичай елементи задаються у вигляді набору чисел, а метрика – у вигляді функції. Від вибору представлення образів і реалізації метрики залежить ефективність програми, один алгоритм розпізнавання з різними метриками буде помилятися з різною частотою.

Образи можуть бути представлені бінарними та багатовимірними векторними кодами, двовимірними та

багатовимірними матрицями згідно з виразами (Liura et al., 2016):

$$Q_x = (a_{n-1}, a_{n-2}, \dots, a_i, \dots, a_0), Q_{xx} = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1m} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nm} \end{pmatrix}, Q_{xxx} = \|a_{ijk}\|.$$

Вибір способу кодування образів впливає на обчислювальну та апаратну складність їх розпізнавання, що враховується під час розв'язання конкретних задач розпізнавання та ідентифікації образів.

Загальну структуру системи розпізнавання та етапи в процесі її розроблення показано на рис. 1 (Zavediuk, Franko & Liura, 2015).

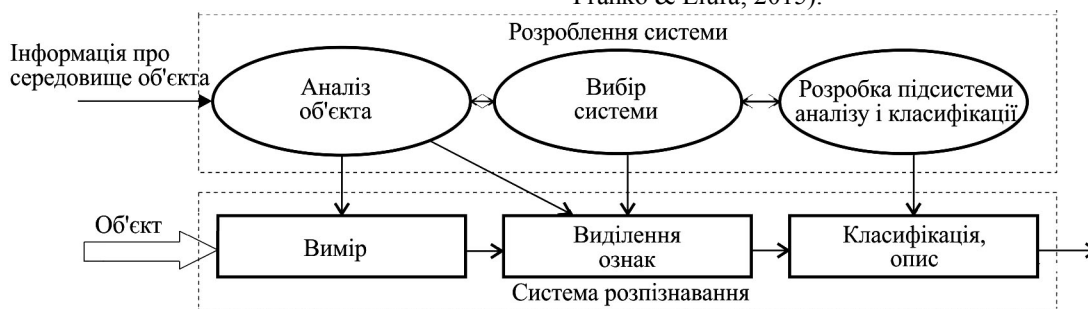


Рис. 1. Структура системи розпізнавання

Класично виділяють такі методи розпізнавання образів: перебору, в цьому випадку проводиться порівняння з базою даних, де для кожного виду об'єктів представлені всі можливі модифікації відображення; аналіз та диференціація компонентів образу; використання штучних нейронних мереж.

Метод перебору характеризується найбільшою обчислювальною та часовою складністю і може застосовуватись в тому випадку, коли число класів образу є скінченне, тобто не перевищує заданого числа.

Метод аналізу та диференціації компонентів образу характеризується поліноміальною складністю, ґрунтується на теорії моделювання в байєсівському підході та в застосуванні кодових віддалів Хеммінгового простору. Метод використання штучних нейронних мереж ґрунтується на принципах навчання та рекурсивної асимптотичної складності.

Методи на основі використання генетичних алгоритмів, які базуються на принципах еволюційного пошуку й поєднують комп'ютерне моделювання генетичних процесів у природних і штучних системах.

Важливим компонентом методів та інформаційних технологій розпізнавання образів є попереднє їх оброблення та перетворення, до яких належать такі методи: алгебраїчний; кореляційний; структурний; спектральний; геометричний; на базі нечітких множин; статистичний; просторово зв'язаних процесів.

Формалізація відомих методів розпізнавання образів описується таким функціоналом (Zadeh, 1975):

$$d_{ij} = \sqrt{\sum_{k=1}^z (x_{ik} - x_{jk})^2},$$

де: d_{ij} – значення Евклідової відстані між i -тим і j -тим об'єктами; x_{ik} – чисельне значення k -тої ознаки для i -го об'єкта; x_{jk} – чисельне значення k -тої ознаки для j -го об'єкта; z – кількість ознак, якими описуються об'єкти.

З кластерного аналізу відомо, що "відстанню між об'єктами" (тобто мірою схожості, близькості об'єктів між собою за всією сукупністю використовуваних оз-

нак) може бути деяка величина d_{ij} , яка задовольняє такі аксіоми:

1. $d_{ij} > 0$ (позитивність відстані);
2. $d_{ij} > d_{ji}$ (симетрія);
3. $d_{ij} + d_{jk} > d_{ik}$ (нерівність трикутника);
4. Якщо d_{ij} не дорівнює 0, то i не дорівнює j (розрізняє нетотожних об'єктів);
5. Якщо $d_{ij} = 0$, то $i = j$ (нероздільність тотожних об'єктів).

Нерідко замість звичайної Евклідової відстані використовують її квадрат d_{ij}^2 . Окрім цього, часто використовують "зважену" Евклідову відстань, під час обчислення якої для окремих доданків застосовують вагові коефіцієнти.

Дуже нагадує вираз для Евклідової відстані так звана узагальнена ступенева відстань Мінковського, в якій у ступенях замість двійки використовується інша величина. У загальному випадку цю величину позначають символом " p ".

При $p=2$ отримують звичайну Евклідову відстань. Отже, вираз для узагальненої метрики Мінковського матиме такий вигляд (Zadeh, 1975):

$$d_{ij} = \sqrt[p]{\sum_{k=1}^z |x_{ik} - x_{jk}|^p}.$$

Вибір конкретного значення ступеневого показника " p " проводить сам дослідник. Окремим випадком відстані Мінковського є так звана манхеттенська відстань або "відстань міських кварталів" (city-block), що відповідає $p=1$

$$d_{ij} = \sum_{k=1}^z |x_{ik} - x_{jk}|.$$

Отже, манхеттенська відстань є сумою модулів різних відповідних ознак об'єктів. Спрямувавши p до нескінченності, отримуємо метрику "домінування" або Sup-метрику

$$d_{ij} = \sqrt[p]{\sum_{k=1}^z |x_{ik} - x_{jk}|^p},$$

яку можна також подати у такому компактному вигляді $d_{ij} = \max |x_{ik} - x_{jk}|$.

Метрика Мінковського фактично є великим сімейством метрик, що включає і популярніші метрики. Проте існують і методи обчислення відстані між об'єктами, що принципово відрізняються від метрик Мінковського. Важливішою з них є так звана відстань Махаланобіса, яка має достатньо специфічні властивості. Вираз для цієї метрики такий:

$$d_{ij} = (X_i - X_j)^T S^{-1} (X_i - X_j).$$

Тут через X_i і X_j позначено вектор-стовпці значень змінних для i -го і j -го об'єктів. Символ t у виразі $(X_i - X_j)^T$ означає операцію транспонування вектора. Символом S позначено загальну внутрішньогрупову дисперсійно-коваріаційну матрицю. А позначення S^{-1} означає, що це обернена матриця до матриці S (Gorelik & Skripkin, 1984). На відміну від метрики Мінковського і Евклідової метрики, відстань Махаланобіса через матрицю дисперсій-коваріацій S пов'язана з кореляціями змінних. Коли кореляції між змінними дорівнюють нулю, відстань Махаланобіса еквівалентна квадрату Евклідової відстані.

У разі використання дихотомічних (що мають всього два значення) якісних ознак широко використовується відстань Хеммінга

$$d_{ij} = \sum_{k=1}^n |x_{ik} - x_{jk}|,$$

що дорівнює числу незбігів значень відповідних ознак для цих i -го і j -го об'єктів.

Ця оцінка Хеммінгової віддалі у лінійному просторі є теоретичною основою і дає змогу розробити ефективний інтегрально-різницевий метод ідентифікації накидів і коротких замикань у високовольтних ЛЕП на основі цифрового опрацювання гармонічних сигналів.

2. Метод інтегрального диференціально-різницевого розпізнавання накидів. Розглянемо запропоновані моделі накиду та коротких замикань у ЛЕП (рис. 2–4) (Liuga et al., 2016, 2017).

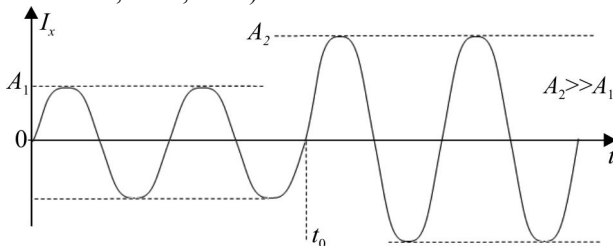


Рис. 2. Модель накиду струму під час включення у момент t_0 потужного споживача

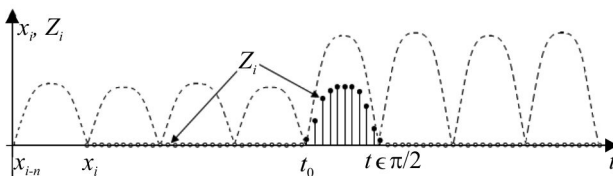


Рис. 3. Характеристика розпізнавання та ідентифікації "накиду" навантаження в електромережі

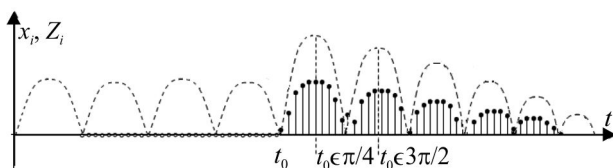


Рис. 4. Характеристика розпізнавання та ідентифікації короткого замикання в електромережах без спотворення гармонічного сигналу

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).
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 розв'язана цифровим опрацюванням гармонічних сигналів $X_i = A_i \cos \omega t$ згідно з наступним алгоритмом, 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:

$$M_x = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \dot{x}_i = 0; \quad -A \leq x_i \leq A.$$

Для спрощення розв'язання 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 $\Delta t = \pi / 2$, 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'ятовані значення з поточними відліками x_i . Тобто, згідно зі схемою

$$\rightarrow x_i \rightarrow x_{i-1} \rightarrow x_{i-2} \dots \rightarrow x_{i-j} \dots \rightarrow x_{i-n} \Rightarrow x_i - x_{i-n}.$$

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

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 в 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 в інші моменти часу, тобто

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

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

Виникають такого роду збурення в електромережах у результаті різницево-імпульсного опрацювання гармонічних сигналів в околі часу t_0 . На основі запропоно-

ваного модульно-різницевого методу 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 з розробленим методом можна ідентифікувати на інтервалі часу $t_0 + \pi / 4 < t_0 + \pi / 2 < t_0 + \pi$, тобто на інтервалі чверть або півперіоду після реєстрації збурення в електромережі.

Для підвищення чутливості та дозволеної 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 з таким логічним виразом

$$S_{к.з.} = \begin{cases} 1, & \text{якщо } Z_i^2(t \geq t_0 + \pi / 2) \geq P_0; \\ 0, & \text{якщо } Z_i^2(t \geq t_0 + \pi / 2) < P_0, \end{cases}$$

де: P_0 – порогове значення, яке вибирається експертним шляхом або у процесі багаторазових випробувань на реальних прикладах. Цей 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 $t_0 > t_0 + \pi / 2$ $Z_i \approx 0$.

Виникнення короткого замикання згідно з розробленим методом (рис. 5) можна ідентифікувати на інтервалі часу $t_0 + \pi / 4 < t_0 + \pi / 2 < t_0 + \pi$, тобто на інтервалі чверть або півперіоду після реєстрації збурення в електромережі.

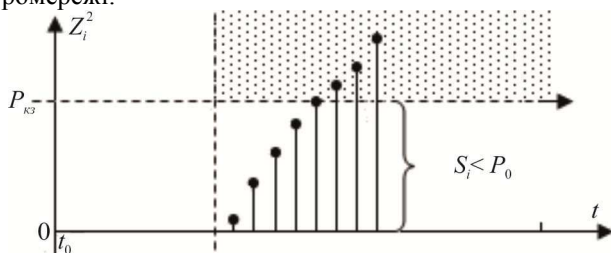


Рис. 5. Часова продукційна модель виявлення, розпізнавання та ідентифікації збурень в електромережах типу накиду та короткого замикання

3. Дослідження апаратної та часової складності цифрових компонентів пристрою релейного захисту ліній електропередач. Згідно зі структурою пристрою, запропонованого у роботі (Liuga & Vozna, 2017), його базовими компонентами є: аналого-цифровий перетворювач (АЦП) (6); багаторозрядний регістр зсуву (БРЗ) (8); логічний елемент "Виключаюче АБО" (7); спецпроцесор обчислення порогових значень інтегральної імпульсно-квадратичної функції (9); елемент порівняння з уставкою (3)

3.1. Структура та системні характеристики АЦП

Аналіз сучасних розробок АЦП показує, що їх системні характеристики складності описуються характеристичним функціоналом (Kondalev et al., 1987)

$$S_{АЦП} = F(m, v, k, M, H_1, H_2, S),$$

де: m – число каналів; v – швидкодія; k – розрядність; M – буферна пам'ять; H_1 – апаратна складність; H_2 – алгоритмічна складність; S – функціональні та інтерфейсні характеристики.

АЦП, як компонент пристрою релейного захисту високовольтних ЛЕП, виконує спеціалізовані функції, а

саме, призначений для формування унітарного коду цифрових відліків фазного струму. Тому згідно із класифікацією різних типів АЦП, як такий компонент доцільно вибрати АЦП розгорнутого типу, структуру якого подано на рис. 6.

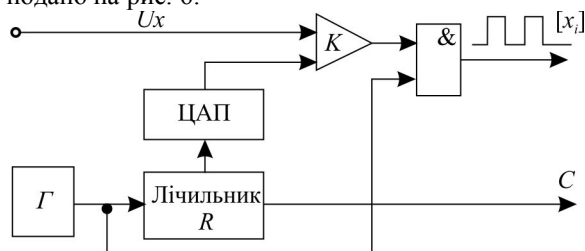


Рис. 6. Структура АЦП розгорнутого типу: Г – генератор імпульсів; R – двійковий лічильник базису Радемахера; ЦАП – цифро-аналоговий перетворювач; ЕХ – калібрований ступінчастий потенціал; U – компаратор; & – логічний елемент "І"; $[x_i]$ – число імпульсний (унітарний) код відного потенціалу U_x ; C – синхросигнал

Вибір такого типу АЦП зумовлений його невисокою апаратною складністю, а також істотним спрощенням подальшого обчислення модульної різниці $|X_i - X_{i-j}|$ цифрових відліків на основі логічного елемента "Виключаюче АБО".

Робота АЦП виконується таким чином, у момент переповнення розрядності двійкового лічильника R формується синхроімпульс C, за допомогою якого відбувається зчитування числа імпульсів $[X_i]$, яке відповідає вимірюваному потенціалу U_x . У процесі генерування імпульсів генератором Г, двійкові коди лічильника R перетворюються на виході ЦАП у калібрований ступінчастий потенціал E_x , який порівнюється з потенціалом U_x у компараторі К. Внаслідок – на виході компаратора К формується широтно-імпульсно-модульований (ШІМ) сигнал, який сканується імпульсами високочастотного генератора Г. Отже, на виході логічного елемента "І", на інтервалі дискретизації Δt формується пачка імпульсів у вигляді унітарного коду $[X_i]$.

Апаратну складність пристрою визначають згідно з виразом

$$A = \sum_{i=1}^n A_i,$$

де A_i – апаратна складність компонентів.

Експертні оцінки апаратної складності компонентів цифрових пристроїв систематизовано у роботі (Nykolaichuk, Vozna & Pitukh, 2010). Згідно з експертними оцінками апаратної складності компонентів цифрових пристроїв апаратна складність такого типу АЦП становить

$$A_{АЦП} = (A_G + A_R + A_{ЦАП} + A_K + A_V + A_Z + A_T) = 34 \text{ в.}$$

Часова складність цифрового пристрою визначається сумарною затримкою сигналів у найдовшому ланцюжку послідовно з'єднаних його компонентів згідно з виразом

$$\tau = \sum_{j=1}^m \tau_j,$$

де: τ_j – часова затримка сигналу у компоненті; m – число компонентів. Часова складність АЦП розгорнутого типу визначається розрядністю K двійкового лічильника R і становить $\tau_{АЦП} = 2^k$. Наприклад, за тестової частоти генератора 1мГ і розрядності лічильника R, $K=8$,

швидкодія такого АЦП, яка обумовлена часою складністю 2^K , буде дорівнювати

$$V = 10^6/256 = 4096 \text{ (цифрових відліків)}$$

або $4096/50 = 82$ – цифрові відліки на один період промислової частоти.

Шляхом збільшення частоти генератора імпульсів до 10 мГ відповідно буде отримано до 820 – цифрових відліків $[x_i]$ на один період промислової частоти.

3.2. Структура та системні характеристики багаторозрядного регістра зсуву (БРЗ)

БРЗ у пристрої релейного захисту високовольтних ЛЕП призначений для затримання на певне число (j) мікротактів на півперіоді промислової частоти 50 Гц цифрових відліків модульних значень фазного струму $[x_{i-j}]$. Ці оцифровані значення у вигляді унітарних кодів на виході БРЗ порівнюються з поточними оцифрованими значеннями фазного струму $[x_i]$ у логічному елементі "Виключаюче АБО", на виході якого формуються унітарні коди модульних різниць $[x_i - x_{i-j}]$.

Реалізацію БРЗ унітарних кодів, яка виконується на базі синхронізованих D-тригерів, зображено на рис. 7.

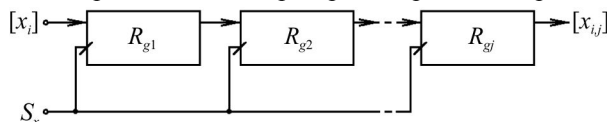


Рис. 7. Структура БРЗ: R_{gj} – регістр зсуву; S_x – синхронізація D-тригерів

Принципову схему компонента БРЗ – регістра зсуву на D-тригерах (R_{gj}) зображено на рис. 8.

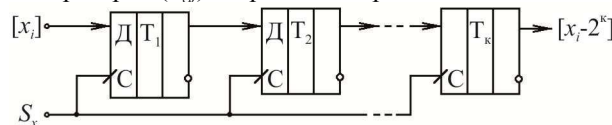


Рис. 8. Принципова схема БРЗ зсуву унітарних кодів на D-тригерах

Розрахунок апаратної складності такого БРЗ виконується згідно з виразом

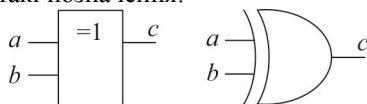
$$A_{брз} = 2^K \cdot m \cdot A_T,$$

де: 2^K – розрядність унітарного коду $[x_i]$; m – число цифрових відліків $[x_i]$ на інтервалі півперіоду промислової частоти; A_T – апаратна складність D-тригера.

При $K = 8$, $m = 41$ і $A_T = 2$ отримаємо $A_{брз} = 21000$ V. Оцінка часої складності визначається швидкодією переключення D-тригера і не залежить від розрядності БРЗ і складає $\tau_{брз} = 2v$ – мікротакти.

3.3. Логічний елемент "Виключаюче АБО"

Логічний елемент "Виключаюче АБО" виконує логічну операцію додавання двох сигналів за модулем 2: $c = a \oplus b$ і має такі позначення:



Класичну мікроелектронну реалізацію логічного елемента "Виключаюче АБО" зображено на рис. 9 (Shilo, 1987).

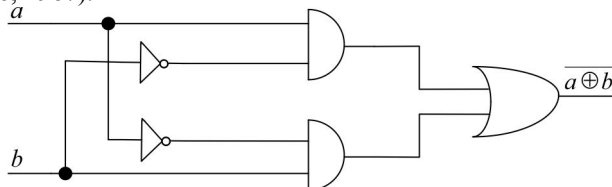


Рис. 9. Структура елемента "Виключаюче АБО" на логічних елементах "І", "АБО", "НЕ"

Аналіз часої та апаратної складності цього елемента показує, що часова складність $\tau_{ЛЕ} = 3v$, а апаратна складність $A=5v$.

Ця реалізація логічного елемента характеризується значною апаратною та часою складністю. Під час використання входних парафазних сигналів структура елемента "Виключаюче АБО" спрощується і реалізується на основі двох логічних елементів "І-НЕ" з об'єднаними виходами, які реалізують логічний елемент "Провідне АБО" (рис. 10).

Незважаючи на високу швидкодію такої реалізації логічного елемента "Виключаюче АБО", його структура має функціональні обмеження, зумовлені необхідністю формування входних парафазних сигналів.

На рис. 11 зображено структурну реалізацію швидкодійного логічного елемента "Виключаюче АБО" на основі двох логічних елементів "І-НЕ" та "АБО" з об'єднаними виходами (Ktulikovskiy et al., 2017). Апаратна складність такого елемента $A=2v$, а часова складність $\tau_{ЛЕ} = 1v$ мікротакт.

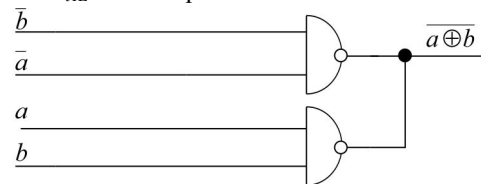


Рис. 10. Структура логічного елемента "Виключаюче АБО" на основі входних парафазних сигналів та об'єднання інверсних виходів елементів "І-НЕ"

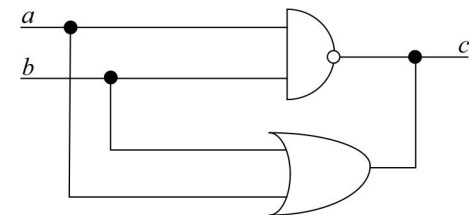


Рис. 11. Структура логічного елемента "Виключаюче АБО" на основі логічних елементів "І-НЕ" та "АБО" з об'єднаними виходами

Висновки. Розроблено теоретичні засади та запропоновано спосіб опрацювання та розпізнавання накидів і коротких замикань у ЛЕП на основі цифрового опрацювання сигналів. Досліджено структурну реалізацію, апаратну та часову складність мікроелектронних елементів пристрою релейного захисту високовольтних ЛЕП.

Перелік використаних джерел

- Gorelik, A. L., & Skriplin, V. A. (1984). *Metody raspoznaniia*. Moscow: Vysshiaia shkola. 207 p. [In Russian].
- Kondalev, A. I., et al. (1987). *Vysokoproizvoditelnye preobrazovatel'ny formy informacii*. Kyiv: Naukova dumka. 280 p. [In Russian].
- Ktulikovskiy, B., Davletova, A., Gryga, V., & Nykolaichuk, Ya. (2017). Synthesis of Components of High Performance Special Processors of Execution of Arithmetic and Logical Operations Data Processing in Theoretical and Numerical Basis Rademacher. *14th International Conference The Experience of Designing and Application of CAD Systems in Microelectronics (CADSM)*, 214–217. Lviv.
- Liura, O. P., & Vozna, N. Ya. (2017). Research and optimization of the components of microelectronic devices of relay in high-voltage lines. *Scientific Bulletin of UNFU*, 27(5), 148–154. [In Ukrainian]. <https://doi.org/10.15421/40270529>
- Liura, O., Sabadash, I., Vozna, N., & Ostrovka, I. (2017). Project of structural solutions and components of special processor of relay

protection in high-voltage lines of electricity transmission / *Proceedings of XIIIth International Conference Perspective Technologies and Methods in MEMS Design: MEMSTECH'2017*, 70–73. Lviv.

Liura, O., Ostrovka, I., Sabadash, I., & Nykolaichuk, Ya. (2016). Theoretical Principles and Methods of Distortions Recognition in Load Surges, Short Circuits and Powerful Electric Drives Launching Type Power Lines. *Proceedings of the XIII the International Conference TCSET'2016*, 33–36. Lviv.

Nykolaichuk, Ya. M., Vozna, N. Ya., & Pitukh, I. R. (2010). *Proektuvannia spetsializovanykh kompiuternykh system*. Ternopil: TzOV "Terno-hraf". 392 p. [In Ukrainian].

Shilo, V. L. (1987). *Populiarnye tsifrove mikroskhemu*. Moscow: Radio i sviaz. 352 p. [In Russian].

Zadeh, L. A. (1975). The concept of linguistic variable and its application to approximate reasoning. *Information Sciences*, 8, 199–249.

Zavediuk, T., Franko, Y., & Liura, O. (2015). Computer technologies in information security. In *edited by Valeriy Zadiraka, Yaroslav Nykolaichuk Recognition of images based on special processors with neural components*, (pp. 299–313). Ternopil: Kart-blansh.

Н. Я. Возна¹, О. П. Люра², И. А. Сабадаш³, И. И. Островка³

¹ Тернопольский национальный экономический университет, г. Тернополь, Украина

² Ивано-Франковский национальный технический университет нефти и газа, г. Ивано-Франковск, Украина

³ Национальный университет "Львовская политехника", г. Львов, Украина

МЕТОД РАСПОЗНАВАНИЯ И ИДЕНТИФИКАЦИИ НАКИДОВ И ЗАМЫКАНИЙ НА ЗЕМЛЮ В ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ ЛИНИЯХ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ

Изложены теоретические основы методов распознавания образов на основе алгебраического, структурного, геометрического, статистического, корреляционного, спектрального анализов и обоснованы их системные характеристики. Предложен дифференциально-разностный метод распознавания накидов и замыканий на землю, который выполняется согласно алгоритму обработки цифровых гармонических сигналов, включая: формирование цифrogramм фазных токов с постоянным шагом дискретизации и квантирования, которые анализируются в квадратичном пространстве на интервале одного полупериода гармонической частоты. Исследованы структуры и системные характеристики следующих компонентов устройства распознавания накидов и замыканий на землю: АЦП развернутого типа, многозарядного регистра сдвига, структуры логических элементов "Исключительное ИЛИ", цифрового умножителя и спецпроцессора вычисления порогового значения импульсно-квадратичной функции, который идентифицирует накид или замыкание на землю. Изложена информационная технология проектирования структурных решений спецпроцессора релейной защиты высоковольтных линий электропередач. Систематизированы существующие средства релейной защиты на основе аппаратных и программно-аппаратных микропроцессорных контроллеров цифровой защиты. Классифицированы компоненты спецпроцессора и обоснованы их характеристики, ориентированные на линии электропередач 6 кВ. Продемонстрированы временные диаграммы выпрямленных значений фазных напряжений, тока и разности фаз $\Delta\varphi$ при накиде, коротком замыкании и запуске мощных электродвигателей в высоковольтных ЛЭП.

Ключевые слова: диагностирование; накид; короткое замыкание; электрическое оборудование; спецпроцессор.

N. Ya. Vozna¹, O. P. Liura², I. O. Sabadash³, I. I. Ostrovka³

¹ Ternopil National Economic University, Ternopil, Ukraine

² Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas, Ivano-Frankivsk, Ukraine

³ Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine

METHOD FOR RECOGNITION AND IDENTIFICATION OF LOAD SURGES AND GROUND FAULTS IN HIGH-VOLTAGE POWER TRANSMISSION LINES

Theoretical principles of image recognition methods based on algebraic, structural, geometric, statistical, correlation and spectral analyses are highlighted; their systemic characteristics are substantiated. It is shown that the most effective of these methods are the methods of estimation of the Euclidean and Hamming distances, which are simpler while implementing compared with the metrics of Minkowski, Mahalanobis, Rogers-Tanimoto, Jaccard, Gower, Zhuravliov, Voronin, Mirkin, Bray-Curtis and others. The differential-difference method for recognition of load surges and ground faults is proposed. It is implemented according to the algorithm for digital harmonic signal processing, which includes building digitograms of phase currents with a constant sampling and quantization step, which are analysed in quadratic space with half-period interval of harmonic frequency. In addition, the quality of the harmonic signal remains unchanged both before and after short circuit, as after the load surge the amplitudes of the phase currents are increased without distorting their harmonic signals. In case of ground fault, there is the amplitude jump in the phase current and a significant distortion of the harmonic signal with the interval of several periods and with an exponential component of power damping. Structural and system characteristics of the following components (analog-to-digital converter, the multi-bit shift register, the structure of the logical elements "Exclusive OR", digital multiplier and special processor for calculating the threshold value of the pulse-quadratic function, which identifies load surges and ground fault) of the device for load surges and ground fault recognition are explored. The information technology for designing structural solutions of special processor of relay protection of high-voltage power transmission lines is described. The existing relay protection means based on hardware and software-hardware microprocessor controllers of digital security are systemized. The components of the special processor are classified and their characteristics related to 6 kV power transmission lines are substantiated. The time diagrams of the rectified values of voltage phase, current and load surges phase difference $\Delta\varphi$, short circuits and powerful electric motors launching in high voltage power transmission lines are shown.

Keywords: recognition; load surges; ground fault; short circuit; electric motors; analog-to-digital converter; recognition device.