

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ІВАНО-ФРАНКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
НАФТИ І ГАЗУ
ТЕРНОПІЛЬСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ ІВАНА ПУЛЮЯ

Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису

ЛЮРА ОЛЕГ ПЕТРОВИЧ

УДК 004.62:656.072

ДИСЕРТАЦІЯ

**МЕТОДИ ТА СПЕЦПРОЦЕСОРИ РОЗПІЗНАВАННЯ
НАКИДІВ ТА КОРОТКИХ ЗАМИКАНЬ У
ВИСОКОВОЛЬТНИХ ЕЛЕКТРОМЕРЕЖАХ**

05.13.05 – Комп'ютерні системи та компоненти

Подається на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей,
результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

_____ Люра О.П.

Науковий керівник:

Николайчук Ярослав Миколайович
доктор технічних наук, професор

АНОТАЦІЯ

Люра О.П. Методи та спецпроцесори розпізнавання накидів та коротких замикань у високовольтних електромережах. – на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.13.05 «Комп'ютерні системи та компоненти» – Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Міністерство освіти і науки України, Тернопіль, 2019.

Підготовка здійснювалась на кафедрі комп'ютерних систем та мереж Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу, Міністерство освіти і науки України.

Спеціалізована вчена рада К 58.052.06 при Тернопільському національному технічному університеті імені Івана Пулюя, Міністерства освіти і науки України.

Дисертацію присвячено розробці методів та спецпроцесорів розпізнавання накидів та коротких замикань у високовольтних електромережах та підвищенню ефективності їх релейного захисту.

У вступі обґрунтовано актуальність теми дисертаційної роботи, показано зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами, сформульовано мету, основні завдання, об'єкт та предмет досліджень, визначено наукову новизну роботи і практичне значення отриманих результатів. Подано відомості про апробацію результатів роботи, особистий внесок автора та його публікації.

У **першому** розділі «Аналіз досвіду реєстрації та ідентифікації збурень у високовольтних електромережах» дисертаційної роботи проведено дослідження характеристик ідентифікації збурень у високовольтних електромережах. Здійснено огляд публікацій, що стосуються даного напрямку досліджень. Досліджені типи та структури промислових електромереж, а також особливості топології високовольтних електромереж нафтогазової промисловості. Аналіз дає змогу стверджувати, що у процесі експлуатації високовольтних електромереж виникають збурення типу накидів та коротких

замикань, які не можуть однозначно розпізнаватися та ідентифікуватися на основі реєстрації амплітудних значень фазних струмів на основі типових засобів релейного захисту. На сьогодні однозначні вирішення цієї задачі у відомих електромеханічних, електронних та мікропроцесорних засобах відсутні, що визначає актуальність ефективного рішення такої задачі у теоретичному та прикладному технічному аспектах. Досліджені функції та інформаційні характеристики існуючих комп'ютеризованих систем моніторингу режимних параметрів та станів обладнання високовольтних електричних підстанцій. Систематизовані та класифіковані методи ідентифікації станів перехідних процесів у високовольтних електромережах, які характеризуються обмеженими функціональними можливостями та недостатнім рівнем програмно-апаратного та спецпроцесорного забезпечення. Здійснений аналіз характеристик відомих пристроїв та спецпроцесорів захисту обладнання високовольтних ліній електропередач (ЛЕП) від накидів та коротких замикань. Визначені перспективні напрямки вдосконалення спецпроцесорів контролю та ідентифікації збурень, виконана постановка завдань досліджень.

У **другому** розділі «Дослідження збурень у промислових високовольтних електромережах 6-35 кВ» проведений аналіз та здійснена класифікація типів збурень у високовольтних електромережах. Класифіковані типи збурень у високовольтних ЛЕП, обумовлені зміною амплітудних характеристик струму та напруг типу накидів, які виникають при комутації режимів роботи енергосистем. Такі збурення приводять до зміни значень фазових напруг, напруг у нейтралі і комутаційних струмів в обладнанні електричних підстанцій. При цьому в лініях електропередач можуть виникати зростання струму у декілька разів. В результаті досліджень такого класу перехідних процесів встановлено, що достатньо часто один з цих типів аварій розвивається і переходить в інший, наприклад, розвиток аварії в однополярну несиметричну дугу переходить у двополярну симетричну дугу. Проте на сьогоднішній день не існує методів і мікропроцесорних засобів автоматизованого визначення цього типу аварії і, тим більше, місця

пошкодження чи пошкодженого обладнання електричних підстанцій. Цей клас збурень та перехідних процесів спостерігається в електричних мережах при неуспішному запуску потужних електродвигунів, що має місце в електричних мережах 6-35кВ енергопостачання технологічних установок нафтогазовидобувної промисловості. При цьому також не спостерігається спотворення гармонічних сигналів і відсутня від'ємна експоненціальна складова, характерна для коротких замикань. При виникненні міжфазних замикань у високовольтних лініях електропередач виникають стрибки струмів, які не характеризуються значними спотвореннями гармонічних сигналів. Замикання на землю в розподілених мережах 6-35кВ з промисловою частотою 50 Гц складають приблизно 75% від загальної кількості пошкоджень. Проте із збільшенням протяжності електричної мережі збільшується їх ємність, при цьому зростають струми на землю. Струм в місцях пошкоджень виділяє багато тепла, руйнуючи при цьому струмопровідне обладнання та ізоляцію. Як показує досвід, однофазне замикання через невеликий проміжок часу, а деколи й миттєво, переходить у двохфазне чи трьохфазне замикання, і, як наслідок, порушується електропостачання. У високовольтних кабельних лініях електропостачання виникають короточасні пробіи ізоляції, які потребують реєстрації таких збурень в реальному часі мікропроцесорними засобами з накопиченням статистики виникнення таких коротких замикань і видачі рекомендацій по заміні пошкоджених ділянок високовольтних кабелів. Досліджено спотворення сигналів при виникненні накидів у високовольтних ЛЕП 6-35кВ. Досліджені характеристики збурень та перехідних процесів у високовольтних ЛЕП при виникненні коротких замикань. Досліджені системні характеристики існуючих мікроконтролерів та спецпроцесорів розпізнавання спотворень гармонічних сигналів у високовольтних мережах. В результаті проведеного аналізу встановлені наступні функціональні обмеження та недоліки таких мікропроцесорних пристроїв, які реалізують операції релейного захисту у високовольтних ЛЕП: зниження надійності та довговічності, обумовлене характеристиками безвідмовності базових компонентів мікроконтролерних реалізацій: аналого цифрового

перетворювача (АЦП), мікропроцесора, інтерфейсів введення/виведення та живлення; значна концентрація в одному пристрої багатьох важливих функцій моніторингу стану промислового обладнання ЛЕП, наприклад потужних трансформаторів. Виконано обґрунтування методів ідентифікації та розпізнавання накидів та коротких замикань у промислових високовольтних ЛЕП.

У **третьому** розділі «Дослідження методів та програмно-апаратних засобів реєстрації та розпізнавання накидів та коротких замикань у високовольтних ЛЕП» розроблені теоретичні засади та запропоновані методи розпізнавання накидів та коротких замикань у високовольтних лініях електропередач шляхом аналогово-цифрового перетворення, представлення та опрацювання амплітуд та фазних струмів у цифровій формі. Класифіковані основні інформаційні процеси розпізнавання образів та досліджені методи їх реалізації. Здійснена формалізація методів розпізнавання образів на основі різних метрик Мінковського та оцінок Евклідової відстані у Хеммінговому просторі. Здійснено обґрунтування алгоритмів та вперше розроблені методи розпізнавання накидів та коротких замикань у високовольтних ЛЕП. Показано, що при виникненні коротких замикань у високовольтних енергетичних системах виникають спотворення гармонічних сигналів, що приводить до зміни їх кореляційних та спектральних характеристик. Досліджені переваги та функціональні обмеження рішення такої задачі на основі квадратично-імпульсного перетворення гармонічних сигналів спецпроцесором з нейрокомпонентами. Вдосконалено метод оцінки збурень у високовольтних електромережах на основі рандомізації масивів оцифрованих значень фазних струмів та їх кореляційної згортки. Виконана сигнальна рандомізація синусоїди, розрахована автокореляційна функція рандомізованого сигналу, який шляхом хешування цифрових відліків з врахуванням вагових коефіцієнтів перетворюється в цифровий сигнал типу рекурентної послідовності максимальної довжини (М-сигнал). У результаті згортки запропонованого $2^4 - 1$ розрядного рандомізованого М-сигналу формується автокореляційна функція з двократним збільшенням

максимального піка, по відношенню до потужності завад у високовольтних лініях. Таким чином підвищується інформативність розпізнавання збурень типу накидів у високовольтних ЛЕП.

Запропоновані дискретні моделі методу, в якому реалізований принцип обчислення порогової інтегрально-квадратичної функції зсунутих на півперіода промислової частоти цифрових значень амплітуд фазних струмів, зареєстрованих при виникненні збурень у високовольтних ЛЕП. Результати проведених досліджень лягли в основу розробки алгоритмів, програмного забезпечення та структури пристрою релейного захисту високовольтних ліній електропередач, його електронних та мікроелектронних компонентів, а також базового спецпроцесора цього пристрою – інтегруючого квадратора.

У **четвертому** розділі «Розробка та реалізація у мікроелектронному виконанні на ПЛІС компонентів пристрою релейного захисту» розроблено структури та компоненти пристрою релейного захисту високовольтних ліній електропередач. Обґрунтований вибір трансформаторів струму та двохпівперіодного випрямляча для формування випрямлених електричних сигналів амплітуди фазних струмів на приєднанні високовольтних ліній електричних підстанцій. Проведений аналіз структур та характеристик вихідних цифрових кодів різних типів АЦП. Обґрунтований вибір АЦП розгортуючого типу в якості компонента пристрою релейного захисту, який формує унітарні коди цифрових значень амплітуд фазового струму. Здійснена реалізація структурної схеми мікроелектронного регістра зсуву на D - тригерах та реалізація логічного елемента "Виключаюче АБО", яка є компонентом різницево-модульного значення поточних та затриманих на півперіода промислової частоти 50 Гц значень амплітуд фазових струмів. Приведена структура, компоненти та опис роботи спецпроцесора інтегруючого квадратора. Розроблена структура інтегруючого квадратора, який дозволяє розпізнавати накиди та короткі замикання у високовольтних електромережах. Приведені результати розрахунку системних характеристик, часової, апаратної та структурної складності. Здійснено проектування на ПЛІС

топології інтегруючого квадратора, у якості мікроелектронного компонента пристрою релейного захисту високовольтних ліній електропередач.

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

ABSTRACT

Liura O.P. Methods and special processors for detecting load surges and short circuits in high-voltage electrical networks. - on the rights of manuscripts.

Dissertation for the degree of a candidate of technical sciences in specialty 05.13.05 "Computer systems and components" – Ternopil Ivan Puluj National Technical University, Ministry of Education and Science of Ukraine, Ternopil, 2019.

Preparation was carried out at the Department of specialized computer systems of the Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas of the Ministry of Education and Science of Ukraine.

Specialized Academic Council K 58.052.06 at the Ternopil Ivan Puluj National Technical University of the Ministry of Education and Science of Ukraine.

The thesis is devoted to development of methods and recognition of special processors load surge and short circuits in high-voltage and efficiency of relay protection.

In the introduction the urgency of the theme of the thesis, shows the relationship of academic programs, plans, themes, the aim, the main task object and subject of research defined scientific novelty and practical significance of the results. Posted information about testing results, the author and the contribution of its publication.

In the first section "Analysis of the experience of registration and identification of perturbations in high-voltage power grids", a dissertation work was carried out to investigate the characteristics of perturbation identification in high-voltage power grids. A review of publications related to this area of research has been conducted. The types and structures of industrial electric networks, as well as features of the topology of high-voltage electrical networks of the oil and gas industry are investigated. The analysis allows us to assert that in the process of operation of high-voltage power grids there are disturbances of type of charges and short circuits which can not be uniquely identified and identified on the basis of registration of amplitude values of phase currents on the basis of typical relay protection means. Today, there is no unambiguous solution to this problem in

known electromechanical, electronic and microprocessor means, which determines the relevance of an effective solution to such a problem in the theoretical and applied technical aspects. The functions and information characteristics of existing computerized monitoring systems of the regime parameters and equipment state of high voltage electrical substations are investigated. Systematized and classified methods for identifying transient states in high voltage electrical networks characterized by limited functional capabilities and insufficient level of software hardware and special process support. The analysis of the characteristics of known devices and special processors for the protection of equipment of high-voltage transmission lines from charges and short circuits is carried out. The perspective directions of perfection of special processors of control and identification of disturbances are determined, the research tasks are set.

In the second section "Investigation of perturbations in industrial high-voltage power grids 6-35 kV" the analysis was carried out and classification of types of perturbations in high-voltage power grids was carried out. The following types of perturbations are classified in high-voltage transmission lines, the change in the amplitude characteristics of current and voltage in high-voltage power transmission lines of type of accumulations that arise during commutation of operating modes of power systems. Such disturbances result in changes in the values of the phase voltage of the voltage in the neutral and switching currents in the equipment of electric substations. At the same time in the power lines there can be a rise in the current several times. As a result of studies of such a class of transient processes, it has been established that quite often one of these types of accidents develops and passes to another, for example, the development of an accident in a unipolar asymmetric arc becomes a two-polar symmetric arc. However, for today there are no methods and microprocessor means of automated determination of this type of accident, and even more so the place of damage or damaged equipment of electrical substations. This class of perturbations and transients is observed in electric networks with unsuccessful launch of high-power electric motors, which takes place in power networks of 6-35kV power supply of technological plants in the oil and gas industry. In this case, there is also no distortion of harmonic signals and the

absence of a negative exponential component is characteristic for short circuits. In the case of occurrence of phase currents in high-voltage transmission lines there are jumps of currents which are not characterized by significant distortions of harmonic signals. Ground closures in distributed networks of 6-35 kV with an industrial frequency of 50 Hz make up about 75% of the total number of damages. However, with the increase in the length of the electric network, their capacity increases, while currents on the ground increase. The current in the places of damage, allocates a lot of heat, destroying thus the conductive equipment and isolation. As the experience shows, a single-phase circuit in a short period of time, and sometimes and instantly passes into two-phase or three-phase circuit, and as a consequence, electrical supply is disturbed. In high-voltage cable lines there are short-term isolation breakdowns that require the registration of such disturbances in real time by microprocessor-based means, with the accumulation of statistics on such short circuits and the issuance of recommendations for the replacement of damaged areas of high-voltage cables. Distortion of signals at occurrence of charges in high-voltage transmission lines of 6-35kV is investigated. The characteristics of disturbances and transients in high-voltage transmission lines in case of short circuits are investigated. The system characteristics of existing microcontrollers and special processors, recognition of distortions of harmonic signals in high-voltage networks are investigated. As a result of the analysis, the following functional limitations and disadvantages of such microprocessor devices that implement relay protection operations in high voltage transmission lines are as follows: reduction of reliability and durability due to the characteristics of faultless basic components of microcontroller implementations: ADC, microprocessor, I / O interfaces and power supply; significant concentration in one device of many important functions for monitoring the state of industrial power equipment, such as powerful transformers. The substantiation of methods of identification and recognition of charges and short circuits in industrial high-voltage transmission lines is fulfilled.

In the third section "Development of methods and software hardware for registration and recognition of charges and short circuits in high-voltage transmission lines" the theoretical principles and suggested methods for the

recognition of charges and short circuits in high voltage transmission lines by analogue-digital conversion, representation and processing of amplitudes and phase currents are developed. in digital form. The basic information processes of image recognition are classified and the methods of their realization are investigated. The formalization of image recognition methods based on various Minkowski metrics and the estimation of the Euclidean distance in the Hemingway space are carried out. Substantiation of algorithms and first developed methods for detecting charges and short circuits in high voltage transmission lines have been carried out. It is shown that in the case of short circuits in high-voltage power systems distortion of harmonic signals occurs, which leads to changes in their correlation and spectral characteristics. The successful solution of such a problem based on the quadratic-pulse transformation of harmonic signals of the industrial frequency of 50 Hz by a special processor with neurocomponents is proposed. The method of estimating perturbations in high-voltage power grids is improved on the basis of randomization of arrays of digitized values of phase currents and their correlation convolution. The signal randomization of the sinusoid has been performed; the autocorrelation function of the randomized signal is calculated, which by digging the digital readings taking into account the weight coefficients into a digital signal of the type of the recurrence sequence of maximum length (M-signal). As a result of the convolution of the received randomized harmonic signal, an autocorrelation function is formed which correlates with the maximum peak, which increases by many times to the power of the interferences in the high-voltage lines, which corresponds to the number of digital values of the non-signalized signal in the interval of one period of industrial frequency. Thus, the informatics of the recognition of perturbations of type of charges in high-voltage transmission lines increases.

The proposed method in which the principle of computing the threshold integral quadratic function of the half-period of the industrial frequency of the digital values of the amplitudes of phase currents registered at the occurrence of perturbations in high-voltage transmission lines is implemented. The results of the conducted research led to the development of algorithms, software and structure of

the relay protection device for high-voltage power lines, its electronic components, as well as the basic special processor of this device - an integrative quadrator.

In the fourth section "Development and implementation of special processors, recognition of charges and short circuits in high-voltage transmission lines", structures and components of relay protection devices of high-voltage transmission lines were developed. The choice of current transformers and two-phase rectifier for the formation of straightened electric signals of amplitude of phase currents on the connection of high-voltage lines of electric substations is grounded. An analysis of the structures and characteristics of the source digital codes of different types of ADCs has been carried out. A reasonable selection of ADCs will be deployed of a type as a component of a relay protection device that generates unitary codes of digital values of phase current amplitudes. Implementation of the structural scheme of the microelectronic shift register on D-triggers and the implementation of the logical element "Excluding OR", which are components of the difference-modulus value of current and delayed for half of the period of the industrial frequency of 50 Hz the values of amplitudes of phase currents. The structure, components and description of the work of the special processor of the integrating quadrant are given. Improvement of the structure of the integrating quadrant by extending its functionality by introducing a start-stop operation module is introduced. The results of calculation of system characteristics, time, hardware and structural complexity are presented. Designed on the Plis topology of the integrating quadrator, as a microelectronic component of the relay protection device for high-voltage transmission lines.

Keywords: high-voltage electrical networks, load surges, short circuit, special processor, electric motors, transitional processes.

Список публікацій здобувача за темою дисертації

Фахові статті

1. **Люра О.П.**, Возна Н.Я. Дослідження та оптимізація характеристик компонентів мікроелектронного пристрою релейного захисту високовольтних ліній електропересялень. *Науковий вісник НЛТЕУ України*, 2017. – №5. – Львів. – С. 148-155.

2. Сабадаш І.О., **Люра О.П.** Алгоритм опрацювання даних та компоненти спецпроцесора релейного захисту високовольтних ліній електропересялень. *Математичне та комп'ютерне моделювання. Серія: Технічні науки, випуск 15*. Кам'янець-Подільський національний університет імені Івана Огієнка, 2017. – С. 209-215.

3. Возна Н.Я., **Люра О.П.**, Сабадаш І.О., Островка І.І. Метод розпізнавання та ідентифікації накидів і замикань на землю у високовольтних лініях електропересялень. *Науковий вісник НЛТЕУ України*, 2018. – №1. – Львів. – С. 79-85.

4. Сидор А.І., **Люра О.П.**, Николайчук Я.М. Теоретичні засади та задачі розпізнавання гармонічних сигналів та образів на основі оцінки Хеммінгової віддалі. *Науковий вісник НЛТЕУ України*, 2018. – №3. – Львів. – С. 131-137.

5. **Люра О.П.**, Возна Н.Я., Николайчук Я.М. Дослідження перехідних процесів у високовольтних лініях електропересялень 6 – 10 кВ та розроблення мікроелектронного спецпроцесора релейного захисту, інваріантного до зміни амплітуд фазних струмів. *Науковий вісник ІФНТУНГ*, 2018. – № 2 (45). – Івано-Франківськ. – С. 57-65.

Міжнародні конференції

6. **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*. Випуск № 9. Тернопіль. – 2014. – С. 216-222.

7. T. Zavediuk, Y. Franko, **O. Liura**, I. Ostrovka. Methods of recognition and identification of disturbances in high-voltage power lines. Матеріали XIII

Міжнародної науково-технічної конференції. *Досвід розробки та застосування приладо-технологічних САПР в мікроелектроніці: CADSM 2015.* – Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2015. – С. 282-286.

8. **Oleh Liura**, Ivan Ostrovka, Iryna Sabadash, Yaroslav Nykolaichuk. Theoretical Principles and Methods of Distortions Recognition in Load Surges, Short Circuits and Powerful Electric Drives Launching Type Power Lines. *2016 13th International Conference on Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunications and Computer Science (TCSET 2016).* – PP. 33-36.

9. **Oleh Liura**, Igor Sabadash, Nataliia Vozna, Ivan Ostrovka. Project of Structural Solutions and Components of Special Processor of Relay Protection in High-Voltage Lines of Electricity Transmission. *2017 XIIIth International Conference. Perspective Technologies and Methods in MEMS Design (MEMSTECH). Proceedings.* – PP. 70-73.

10. Andriy Sydor, Yaroslav Nykolaychuk, Nataliia Vozna, Boris Krulikovskyi, Alina Davletova, **Oleh Liura**. Methods and processors for image recognition in a linear and quadratic Hamming space. *2019 15th International Conference. The Experience of Designing and Application of CAD System (CADSM' 2019).* – PP. 9-12.

Всеукраїнські конференції

11. Николайчук Я.М., **Люра О.П.** Дослідження алгоритму розпізнавання накидів та коротких замикань у промислових електромережах. Матеріали IV Всеукраїнської школи-семінару молодих вчених і студентів. *Сучасні комп'ютерні інформаційні технології.* ТНЕУ. Тернопіль. – 2014. – С. 252-255.

12. Возна Н.Я., **Люра О.П.** Метод структурного розпізнавання накидів та коротких замикань в ЛЕП. Матеріали II Всеукраїнської науково-практичної конференції. *Інформаційні технології в освіті, техніці та промисловості, інститут інформаційних технологій.* Івано-Франківськ. – 2015. – С. 180-181.

13. **Люра О.П.** Методи, перетворювачі та обчислювальні засоби захисту високовольтних ЛЕП від накидів та замикань на землю. Матеріали проблемно-наукової міжгалузевої конференції. *Юриспруденція та проблеми*

інформаційного суспільства (ЮПИС-2016). Надвірна-Яремче. – 2016. – С. 146-150.

14. **Люра О.П.** Метод розпізнавання накидів на основі цифрового опрацювання сигналів при запуску потужних електроприводів. Матеріали Всеукраїнської конференції з міжнародною участю. *Сучасні комп'ютерні інформаційні технології*, Тернопіль. – 2017. – С. 71-73.

15. **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.

16. **Люра О.П.** Структура та функції мікроелектронного пристрою моніторингу накидів та замикань на землю у високовольтних лініях електропередач. Матеріали всеукраїнської науково-практичної конференції. *Автоматизоване управління багатомірними об'єктами на засадах обчислювального інтелекту*. Івано-Франківськ. – 2018. – С. 181-182.

Розділи монографій

17. Т. Zavediuk, Y. Franko, **О. Liura**. Recognition of images based on special processors with neural components. *Computer technologies in information security. Edited by Valeriy Zadiraka, Yaroslav Nykolaichuk*. – Ternopil: «Cart-blansh», 2015. 387p. – С. 299-313.

18. Возна Н.Я., **Люра О.П.,** Сабадаш І.О. Теоретичні засади і алгоритми ідентифікації перехідних процесів у високовольтних ЛЕП та розробка пристрою розпізнавання накидів та коротких замикань. *Спеціалізовані комп'ютерні технології в інформатиці. За загальною редакцією Я.М. Николайчука*. – Тернопіль: 2017. 919с. – С. 396-437.

Патент України на корисну модель

19. № 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.

Зміст

Вступ.....	19
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ДОСВІДУ РЕЄСТРАЦІЇ ТА ІДЕНТИФІКАЦІЇ ЗБУРЕНЬ У ВИСОКОВОЛЬТНИХ ЕЛЕКТРОМЕРЕЖАХ.....	33
1.1 Аналіз архітектур та характеристик промислових типів високовольтних електромереж.....	33
1.2 Особливості топології електромереж підприємств нафтогазовидобувної промисловості.....	44
1.2.1 Топологія систем електропостачання систем промислових установок буріння.....	45
1.2.2 Топологія електротехнічних установок насосної експлуатації свердловин.....	46
1.3 Інформаційні характеристики існуючих комп'ютеризованих систем моніторингу режимних параметрів та станів обладнання високовольтних електромереж.....	49
1.4 Аналіз характеристик відомих пристроїв захисту обладнання високовольтних ЛЕП від накидів та коротких замикань.....	59
1.5 Перспективні напрямки вдосконалення спецпроцесорів контролю та ідентифікації збурень, постановка задачі досліджень.....	65
Висновки до першого розділу.....	68
РОЗДІЛ 2. ДОСЛІДЖЕННЯ ЗБУРЕНЬ У ПРОМИСЛОВИХ ВИСОКОВОЛЬТНИХ ЕЛЕКТРОМЕРЕЖАХ 6-35 кВ.....	70
2.1 Дослідження спотворень сигналів при виникненні накидів у високовольтних ЛЕП 6-35кВ.....	70
2.2 Дослідження характеристик збурень та перехідних процесів у високовольтних ЛЕП при виникненні коротких замикань.....	73
2.3 Розробка дискретних моделей формування різниць поточних та запам'ятовуваних значень гармонічного сигналу при виникненні накиду та короткого замикання в електромережі.....	79

2.4 Розробка алгоритму та програмного забезпечення захисту ліній електропередач номінальною напругою 6-35 кВ на основі теорії розпізнавання сигналів.....	86
2.5 Обґрунтування структури компонента спецпроцесора визначення кореляційної оцінки Хеммінгової віддалі між сигналами	90
Висновки до другого розділу.....	97
РОЗДІЛ 3. ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ ТА ПРОГРАМНО-АПАРАТНИХ ЗАСОБІВ РЕЄСТРАЦІЇ ТА РОЗПІЗНАВАННЯ НАКИДІВ ТА КОРОТКИХ ЗАМИКАНЬ У ВИСОКОВОЛЬТНИХ ЛЕП.....	99
3.1 Теоретичні основи опрацювання дискретизованих гармонічних сигналів на основі теорії розпізнавання образів.....	99
3.2 Метод розпізнавання перехідних процесів в енергетичних системах на основі процесора з нейрокомпонентами квадратично-імпульсного перетворення гармонічних сигналів.....	106
3.3 Удосконалення методу рандомізації та кореляційної оцінки збурень у високовольтних електромережах.....	113
3.4 Розробка принципів та спецпроцесорів інтегрального диференціально-різницевого алгоритму розпізнавання накидів та коротких замикань у високовольтних ЛЕП.....	122
Висновки до третього розділу.....	131
РОЗДІЛ 4. РОЗРОБКА ТА РЕАЛІЗАЦІЯ У МІКРОЕЛЕКТРОННОМУ ВИКОНАННІ НА ПЛІС КОМПОНЕНТІВ ПРИСТРОЮ РЕЛЕЙНОГО ЗАХИСТУ.....	133
4.1 Розробка аналогових компонентів принципових схемо-технічних рішень компонентів пристрою релейного захисту високовольтних ліній електропередач.....	133
4.1.1 Трансформатор струму.....	133
4.1.2 Двохперіодний випрямляч.....	136
4.1.3 Аналого-цифровий перетворювач.....	137
4.1.4 Багаторозрядний регістр зсуву та логічний елемент "Виключаюче АБО".....	143

4.1.5 Розробка удосконаленого БРЗ.....	148
4.2 Розрахунок системних характеристик, часової, апаратної та структурної складності компонентів пристроїв релейного захисту.....	149
4.3 Розробка програми випробувань електронних компонентів дослідного взірця пристрою релейного захисту ПРЗ. 36-10.....	151
4.4 Проектування на ПЛІС топології удосконаленого багаторозрядного регістра зсуву у якості мікроелектронного компонента пристрою релейного захисту високовольтних ліній електропередач.....	156
Висновки до четвертого розділу.....	162
Загальні висновки.....	164
Список використаних джерел.....	166
Додаток А. Патент на корисну модель.....	179
Додаток Б. Текст програми на алгоритмічній мові С++.....	180
Додаток В. Акт впровадження.....	193
Додаток Г. Акт впровадження.....	194
Додаток Д. Акт впровадження.....	195
Додаток Е. Акт впровадження.....	196
Додаток Ж. Акт впровадження.....	198
Додаток И. Програма лабораторних випробувань дослідних взірців пристрою релейного захисту в мережах 6-35 кВ.....	200
Додаток К. Список публікацій здобувача.....	201

ВСТУП

Дисертаційна робота присвячена розробці методів та спецпроцесорів розпізнавання накидів та коротких замикань у високовольтних електромережах та підвищенню ефективності їх релейного захисту.

Актуальність теми.

Підвищення надійності електрообладнання високовольтних ліній електропередач полягає, з однієї сторони, у покращенні експлуатаційних характеристик обладнання, а з іншої, – у вдосконаленні комп'ютеризованих засобів діагностування збурень при виникненні коротких замикань.

У процесі експлуатації високовольтних ліній електропересилань можуть виникати особливі перехідні режими та можливість виникнення пошкоджень обладнання електричних та трансформаторних підстанцій. Такі пошкодження приводять до механічного виведення з ладу технологічного обладнання струмами короткого замикання або дугою, яка виникає у місці пошкодження.

Крім того, небезпечним також є зниження напруги у вузлових точках електроенергетичної системи внаслідок коротких замикань, що впливає на порушення технологічних процесів споживачів електроенергії та стійкості генераторів енергосистеми.

Висока швидкодія перехідних режимів у ЛЕП на протязі кількох періодів частоти 50 Гц потребує адекватної швидкодії перетворювачів, пристроїв автоматики релейного захисту та спеціалізованих обчислювальних засобів – контролерів, які опрацьовують режими електропостачання у реальному часі. Тому актуальною є наукова задача розробки нових ефективних методів та технічних засобів захисту промислового обладнання ЛЕП від перевантажень та коротких замикань.

Для цього, виходячи з аналізу цифрограм математичних і натурних експериментів, актуальним є розробка спецпроцесорів та швидкодіючих алгоритмів розпізнавання збурень, придатних до застосування на діючих лініях електропередач [1, 2].

Важливими кроками при вирішенні даної проблеми є проведення аналізу та виявлення недоліків існуючих інформаційних алгоритмів ідентифікації коротких замикань у високовольтних лініях електропередач та вироблення рекомендацій щодо їх вдосконалення [3].

Висока швидкодія перехідних процесів у ЛЕП при виникненні замикання на землю, накидів та запусків потужних електроприводів (ПЕД) потребує розробки та удосконалення мікроелектронних засобів релейного захисту, які реалізують складні алгоритми розпізнавання та ідентифікації такого класу збурень у лініях електропересилань.

У процесі експлуатації електротехнічного обладнання на промислах нафтогазової промисловості струми короткого замикання або повторні вмикання великого числа електроприводів, станків, гойдалок та насосних агрегатів приводять до механічного виведення з ладу обладнання електричних та трансформаторних підстанцій, що негативно впливає на технологічні процеси споживачів електроенергії та стійкості генераторів енергосистеми.

Існуючі електроенергетичні системи є складними комплексами електротехнічного обладнання, яке розподілено розміщене на великих територіях, 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;
- зниження 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 десятиріччя 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, Relcis та інші серійно випускають та масово впроваджують мікроконтролерні засоби релейного захисту ЛЕП [4-7].

В Україні виробниками мікроконтролерних засобів релейного захисту є: Київприлад, Радіус Автоматика, ІМСКОЕ та ін.

Мікроконтролерні засоби релейного захисту мають наступні основні переваги [1, 3]:

- 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.

Досвід експлуатації такого класу 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 введення/виведення та живлення;

- значна концентрація в одному пристрої багатьох важливих функцій моніторингу стану промислового обладнання ЛЕП, наприклад потужних трансформаторів.

Всі цифрові пристрої релейного захисту, незалежно від призначення, мають подібну структуру. Процесор є основним елементом цифрового захисту, в якому реалізований алгоритм роботи конкретного захисту. Іноді застосовується один або декілька процесорів в залежності від призначення пристрою та фірми виробника. Відома фірма АВВ надає перевагу багатопроцесорним системам, в яких кожен процесор виконує конкретні завдання алгоритму і ці процесори працюють паралельно. Така робота забезпечує потрібну швидкість і точність. Інші фірми застосовують однопроцесорні системи, що вимагає застосування потужних процесорів для забезпечення потрібних характеристик. Оскільки пристрої релейного захисту працюють у важких умовах експлуатації, застосовують спеціальні процесори – індустріальні, які можуть працювати за температури навколишнього середовища від -30 до $+50^{\circ}\text{C}$ та відносної вологості до 80%. Процесор має зв'язок з об'єктом захисту через кола введення та виведення.

Релейний захист елементів розподільчих мереж повинен відповідати чотирьом вимогам, які ставляться до всіх пристроїв релейного захисту: селективність, швидкість, чутливість та надійність [113].

Селективна дія захисту забезпечує відключення тільки пошкодженої ділянки мережі найближчим до неї вимикачем. Швидкість релейного захисту зменшує розміри, запобігає або зменшує пошкодження в місці короткого замикання, зберігає нормальну роботу споживачів неушкодженої частини електричної установки. Чутливість релейного захисту забезпечує здатність системи реагувати на всі види пошкоджень і ненормальних режимів, які можуть виникати в межах основної зони, що захищається, та зони

резервування. Надійність релейного захисту визначається як її спрацюванням у всіх необхідних випадках, так і не спрацюванням у випадках, коли дія захисту не потребується [113].

У процесі експлуатації електричних машин, апаратів, повітряних ліній електропередачі і т.п. можуть відбуватися порушення нормальних режимів роботи і виникати ушкодження, що приводять до коротких замикань.

У більшості випадків аварії або їхній розвиток можуть бути відвернені швидким відключенням ушкодженої ділянки електричної установки або мережі за допомогою релейного захисту, що діє на відключення вимикачів.

При відключенні вимикачів ушкодженого елемента гасне електрична дуга в місці короткого замикання, припиняється проходження струму короткого замикання і відновлюється нормальна напруга на неушкодженій частині електроустановки або мережі.

Завдяки цьому скорочуються розміри або навіть запобігають ушкодження устаткування, на якому виникло коротке замикання, а також відновлюється нормальна робота неушкодженого устаткування.

Таким чином, основним призначенням релейного захисту є виявлення місця виникнення короткого замикання і швидке автоматичне відключення вимикачів ушкодженого устаткування або ділянки мережі від іншої неушкодженої частини електричної установки або мережі.

Крім ушкоджень електричного устаткування, можуть виникати такі порушення нормальних режимів роботи, як перевантаження, замикання на землю однієї фази в мережі з ізольованою нейтраллю, виділення газу в результаті розкладання олії в трансформаторі або зниження рівня олії в його розширювачі.

Отже, другим призначенням релейного захисту є виявлення порушення нормальних режимів роботи устаткування і подача попереджувальних сигналів обслуговуючому персоналу або відключення устаткування з витримкою часу.

Одним з перспективних напрямів теоретичних досліджень та реалізації програмно-апаратних засобів розпізнавання накидів та коротких замикань у

високовольтних мережах є побудова спецпроцесорів цифрового опрацювання гармонічних сигналів промислової частоти та реалізація алгоритмів релейного захисту високовольтних ЛЕП, інваріантних до амплітуди фазних струмів при виникненні збурень та перехідних процесів у промислових електромережах.

Фундаментальні дослідження по вирішенню даного класу задач провели відомі зарубіжні вчені: Э.М. Шнеерсон, В.Г. Гловацкий, И.В. Пономарев, В.А. Андреев [8-12].

Важливий внесок у вирішення задач розробки теорії та засобів релейного захисту високовольтних ЛЕП зроблений українськими науковцями: В.С. Костишин, А.Д. Голота, О.М. Равлик, В.П. Кідиба, І.І. Сабадаш, М. С. Сегеда [13-17].

Теоретичні засади та методи побудови спецпроцесорів цифрового опрацювання сигналів фундаментально викладені відомими науковцями: О.В. Палагіним, А.О. Мельником, В.П. Тарасенком, Я.М. Николайчуком, Г.Ф. Кривулею, Р.Б. Дунцем, А.В. Дроздом, В.А. Головком [18-28].

Задачі розпізнавання накидів та коротких замикань у високовольтних ЛЕП належать до теорії розпізнавання образів [29], яка є важливим інструментом інформаційної технології опрацювання сигналів та ідентифікації станів складних об'єктів управління. Серед різних підходів побудови алгоритмів розпізнавання накидів та коротких замикань широке застосування отримали методи на основі рандомізації цифрових потоків даних, кореляційного опрацювання гармонічних сигналів процесорами з нейрокомпонентами та алгоритми інтегрально-різницевого визначення Хеммінгової віддалі між сигналами, зсунуті в часі на певний період. Класичні методи кореляційного та спектрального аналізу збурень у високовольтних ЛЕП практично не можуть бути ефективно застосовані, у зв'язку з великими об'ємами вибірки даних, низькою швидкодією алгоритмів обчислень, а також значною апаратною складністю спецпроцесорів. Перспективним напрямком розвитку теорії та вдосконалення методів розпізнавання накидів та коротких замикань є розробка та вдосконалення алгоритмів та процесорів на основі інтегрально-різницевого підходу.

Таким чином, актуальною науковою задачею є створення високопродуктивних спецпроцесорів, які реалізують процеси розпізнавання накидів та КЗ на інтервалі одного-двох періодів промислової частоти 50 Гц. При побудові компонентів таких процесорів однією з найважливіших задач оптимізації їх системних характеристик є досягнення максимальної швидкодії. Важливим компонентом при цьому є цифровий інтегруючий квадратор, оснащений пристроєм управління та активізації його роботи у момент виникнення збурення у високовольтних лініях електропередач.

Незважаючи на широкий спектр спеціалізованих процесорів релейного захисту опрацювання сигналів та цифрових даних, які випускаються фірмами ABB, Siemens, Alstom, General Electric, Schneider, Areva, Nari, Vamp, Релсіс, Altera, Analog Devices, Cirrus Logic, Fujitsu, MagnaChip (Hynix), Intel, Motorola, National Semiconductor, MAXIM, Xilinx, Philips, ST Microelectronics, Hewlett-Packard, Texas Instruments [4-7, 29-32], вони характеризуються надлишковою універсальністю, що не дозволяє максимально спростити їх структуру та підвищити швидкодію в умовах цільової проблемної орієнтації для задач релейного захисту.

Значний внесок у розвиток теорії розпізнавання образів та побудови високопродуктивних спецпроцесорів цифрового опрацювання даних здійснений науковою школою професора Я.М. Николайчука [24].

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Представлені в дисертаційній роботі дослідження виконані згідно плану кафедри комп'ютерних систем і мереж Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу та кафедри спеціалізованих комп'ютерних систем Тернопільського національного економічного університету за темами:

- науково-дослідної роботи «Розробка теоретичних засад та алгоритмів ідентифікації запусків потужних електроприводів у високовольтних ЛЕП на основі теорії розпізнавання образів» (державний реєстраційний номер 0115U002340), у якій автором проведено дослідження спотворень при

коротких замиканнях у високовольтних лініях електропередач та спотворень гармонічних сигналів при виникненні накидів;

- науково-дослідної роботи «Розробка структурної схеми та компонентів дослідного взірця пристрою розпізнавання накидів та коротких замикань на землю у високовольтних ЛЕП» (державний реєстраційний номер 0116U006790), у якій автором проведено аналіз характеристик відомих пристроїв захисту обладнання високовольтних ЛЕП від накидів та коротких замикань та розробка схемотехнічних рішень компонентів пристрою розпізнавання накидів та коротких замикань (РНКЗ), спецпроцесор інтегруючий квадратор;

- науково-дослідної роботи «Розробка теорії, методології та алгоритмів структуризації образно-кластерних моделей моніторингу станів електричних підстанцій високовольтних ЛЕП» (державний реєстраційний номер 0116U006792), у якій автором виконано аналіз типів електромереж, які пересилають електроенергію на електричних підстанціях (ПС).

Мета і завдання дослідження. Мета дослідження полягає у вдосконаленні методів розпізнавання накидів та коротких замикань у високовольтних електромережах та розробці високопродуктивних спецпроцесорів ідентифікації накидів та коротких замикань. Для досягнення поставленої мети у дисертаційній роботі необхідно вирішити наступні завдання:

1. Дослідити принципи, теоретичні основи та методи розпізнавання накидів та коротких замикань у високовольтних електромережах та провести аналіз досвіду розробки проблемно-орієнтованих універсальних та спеціалізованих спецпроцесорів.

2. Дослідити характеристики перехідних процесів при виникненні збурень у високовольтних електромережах.

3. Дослідити методи розпізнавання спотворень гармонічних сигналів на основі рандомізації та кореляційного нейропроцесорного опрацювання сигналів.

4. Розробити дискретну модель накиду формування різниць поточних та запам'ятованих значень гармонічного сигналу при виникненні накиду в електромережі.

5. Розробити дискретні моделі коротких замикань в електромережах із експоненціальним спадом струму без спотворення та з спотворенням гармонічного сигналу.

6. Розробити принципи та спецпроцесори розпізнавання накидів та коротких замикань на основі інтегрально-квадратично-різницевого розпізнавання гармонічних сигналів.

7. Розробити принципові схемо-технічні рішення компонентів пристрою релейного захисту високовольтних ліній електропередач та удосконалити їх характеристики.

8. Провести лабораторні випробування компонентів пристрою релейного захисту.

9. Реалізувати у мікроелектронному виконанні на ПЛІС компоненти структури ПРЗ.6-10.

Об'єкт дослідження – процеси розпізнавання накидів та коротких замикань у високовольтних електромережах.

Предмет дослідження – методи та засоби опрацювання оцифрованих сигналів високопродуктивними спецпроцесорами розпізнавання накидів та коротких замикань у високовольтних електромережах.

Методи дослідження базуються на використанні теорії інформації для формування цифрових даних розпізнавання образів, теорії чисел для формування оцінок Хеммінгової віддалі між образами, теорії синтезу та аналізу компонентів та процесорів обчислювальних засобів, комп'ютерної логіки та теорії цифрового опрацювання даних. Розробка технічних засобів здійснюється з використанням методів схемо-системотехніки, мікроелектронного та імітаційного моделювання.

Наукова новизна одержаних результатів:

1. Вперше розроблений метод розпізнавання накидів та коротких замикань у високовольтних електромережах шляхом оцифрування та

рандомізації амплітудних значень фазних струмів, зсунутих на півперіода промислової частоти 50 Гц, який відрізняється від відомих методів інваріантністю до змін амплітуд фазних струмів при виникненні збурень у високовольтних електромережах та дозволяє ідентифікувати накид та коротке замикання.

2. Вперше розроблений метод кореляційного опрацювання унітарних кодів фазних струмів із затримкою в часі, шляхом визначення інтегрального квадрату модульної різниці між унітарними кодами, що дозволило, у порівнянні із відомими методами, спростити формування кодів модульних різниць між цифровими значеннями фазних струмів виконанням логічної операції «Виключаюче-АБО», відповідно підвищити швидкодію кореляційного аналізу та спростити мікроелектронну реалізацію такого компоненту пристрою релейного захисту.

3. Удосконалено метод визначення квадрату модульних різниць шляхом додавання непарних двійкових чисел, кількість яких відповідає значенню унітарного коду модульної різниці між фазними струмами, що в порівнянні з відомими методами, які реалізуються згідно арифметики кодів базису Радемахера, дозволяє підвищити швидкодію та спростити алгоритми обчислень інтегралу модульних різниць.

4. Отримав подальший розвиток метод розпізнавання збурень гармонічних сигналів на основі процесів рандомізації шляхом розширення бази кодової послідовності М-сигналу від значення $n=7$ до $n=15$, що дозволило у порівнянні з відомим методом збільшити у два рази амплітуду кореляційного піку та відповідно підвищити ефективність розпізнавання збурень у високовольтних електромережах.

Практичне значення отриманих результатів полягає в наступному:

1. Запропонований, розроблений та реалізований у мікроелектронному виконанні на ПЛІС компонент пристрою релейного захисту, який здійснює кореляційне визначення модульної різниці між унітарними кодами фазних струмів.

2. Розроблена та реалізована в мікроелектронному виконанні структурна схема інтегруючого квадратора, який, у порівнянні з відомими схемотехнічними рішеннями у базисі Радемахера, характеризується в 1,5 рази підвищеною швидкодією та зменшеною у 2-3 рази апаратною складністю шляхом виконання обчислень паралельно з формуванням унітарних кодів модульних різниць.

3. Розроблена та реалізована структура компоненту активізації роботи інтегруючого квадратора у режимах очікування та ідентифікації досліджуваного типу збурення у високовольтній мережі, що дозволило підвищити інформативні системи моніторингу збурень та їх реєстрацію розробленим пристроєм релейного захисту у складі керувально-діагностичної системи «Альтра».

4. Розроблені схемотехнічні мікроелектронні компоненти дослідного взірця пристрою релейного захисту, випробувані в лабораторних умовах, за результатами яких скоректовані технічні рішення для супроводження їх дослідної партії.

Теоретичні та практичні результати роботи використано та впроваджено:

- в науково-дослідних роботах кафедри «Спеціалізованих комп'ютерних систем» Тернопільського національного економічного університету;

- в Інституті мікропроцесорних систем керування об'єктами електроенергетики, що дозволило підвищити швидкодію розпізнавання перехідних процесів мікропроцесорною керувально-діагностувальною системою «Альтра», яка встановлюється на підстанціях підприємства «Закарпатобленерго»;

- в ПП «Енерготех НГ» для контролю та управління роботою двигунів, що дозволило підвищити надійність роботи насосних станцій водопостачання та водовідведення (м. Калуш).

- на кафедрі комп'ютерних систем і мереж Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу при викладанні дисципліни «Спеціалізовані комп'ютерні системи та мережі»;

- на електрично-механічному відділенні державного вищого навчального закладу Калуського політехнічного коледжу при викладанні дисципліни «Основи проектування та конструювання електроустановок».

Особистий внесок здобувача.

У роботах, опублікованих у співавторстві, здобувачеві належить: [1, 3, 8] – досліджені системні характеристики компонентів пристрою релейного захисту; [2] – запропонований метод розпізнавання коротких замикань у високовольтних ЛЕП; [3] – розроблена структура багаторозрядного регістра зсуву та оптимізована реалізація логічного елемента «Виключаюче АБО» цифрового корелятора пристрою релейного захисту; [3, 16] – досліджені перехідні характеристики збурень у високовольтних ЛЕП; [4] – розроблена структура та функціональна схема спецпроцесора розпізнавання збурень у високовольтних ЛЕП; [5] – оптимізована та скорегована структурна схема спецпроцесора обчислення порогової суми квадратів модульних різниць; [6, 12, 8] – розроблена структура алгоритму розпізнавання накидів та коротких замикань у високовольтних промислових електромережах; [7] – запропонований метод ідентифікації збурень у високовольтних електромережах; [8, 18] – сформульовані та викладені теоретичні засади методів розпізнавання збурень у високовольтних електромережах на основі нейрокомпонентів, рандомізації та інтегрально-різницевого опрацювання сигналів; [3, 8, 9] – систематизовані засоби релейного захисту високовольтних ліній електропересилань; [10] – розроблені компоненти визначення модульних різниць спецпроцесорів розпізнавання образів у Хеммінговому просторі; [11] – досліджений алгоритм розпізнавання накидів та коротких замикань у промислових електромережах; [12] – розроблено алгоритм розпізнавання накидів та коротких замикань в ЛЕП; [15] – розроблений компонент спецпроцесора визначення квадратично-імпульсної функції; [17] – розроблений метод розпізнавання збурень спецпроцесором на основі нейрокомпонента; [18] – розроблена модель формування різниць поточних та запам'ятовуваних значень гармонічних сигналів та дискретні моделі коротких замикань в електромережах з експоненціальним спадом струму та одночасним

спотворенням гармонічного сигналу; [4, 19] – розроблена структура інтегрально-різницевого квадратора пристрою релейного захисту високовольтних ліній електропередач.

Апробація результатів дисертації. Основні результати дисертаційної роботи доповідались та обговорювались на IV-ій Всеукраїнській школі-семінарі молодих вчених і студентів «Сучасні комп'ютерні інформаційні технології (АСІТ-2014)» (Тернопіль, 2014); міжнародній науково-координаційній нараді «Інформаційні проблеми комп'ютерних систем, юриспруденції, енергетики, економіки, моделювання та управління» (Тернопіль, 2014); XIII-ій міжнародній науково-технічній конференції «Досвід розробки та застосування приладо-технологічних САПР в мікроелектроніці (CADSM 2015)» (Львів, 2015); II-ій Всеукраїнській науково-практичній конференції «Інформаційні технології в освіті, техніці та промисловості» (Івано-Франківськ, 2015); міжнародній науковій конференції «13th International Conference on Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunications and Computer Science (TCSET 2016)» (Львів, 2016); проблемно-науковій міжгалузевій конференції «Юриспруденція та проблеми інформаційного суспільства (ЮПС-2016)» (Надвірна-Яремче, 2016); міжнародній науковій конференції «XIIIth International Conference. Perspective Technologies and Methods in MEMS Design (MEMSTECH)», (Закарпаття, 2017); Всеукраїнській конференції з міжнародною участю «Сучасні комп'ютерні інформаційні технології (АСІТ)» (Тернопіль, 2017); проблемно-науковій міжгалузевій конференції «Юриспруденція та проблеми інформаційного суспільства (ЮПС – 2018)» (Надвірна, 2018); Всеукраїнській науково-практичній конференції «Автоматизоване управління багатовимірними об'єктами на засадах обчислювального інтелекту» (Івано-Франківськ, 2018); 15th International Conference. The Experience of Designing and Application of CAD System (CADSM' 2019).

Публікації.

За темою дисертаційної роботи опубліковано 19 наукових праць, у тому числі: 5 статей у провідних фахових виданнях, 2 наукові праці індексовані в

науково-метричних базах Web of Science та Scopus, 1 патент України на корисну модель, 9 тез доповідей у збірниках матеріалів конференцій, співавтор 2 монографій.

Структура та обсяг дисертації.

Дисертація складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаної літератури та додатків. Загальний обсяг дисертації становить 205 сторінок, у тому числі 150 сторінок основного тексту, рисунків 101 та 9 таблиць, список використаної літератури налічує 120 бібліографічних найменувань. Дисертація містить 9 додатків, розміщених на 23 сторінках.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ ДОСВІДУ РЕЄСТРАЦІЇ ТА ІДЕНТИФІКАЦІЇ ЗБУРЕНЬ У ВИСОКОВОЛЬТНИХ ЕЛЕКТРОМЕРЕЖАХ

1.1 Аналіз архітектур та характеристик промислових типів високовольтних електромереж

Електрична підстанція (ПС) є ключовим вузлом, який дозволяє організувати систему енергозабезпечення на об'єктах різної величини, що визначається рівнем витриманого навантаження самої установки. В залежності від виконання обладнання даного виду може підвищувати або знижувати напругу, що безпосередньо визначає цільове призначення ПС.

Для постачання електроенергією споживачів промислових підприємств використовуються понижувальні ПС 6-35 кВ [13, 34, 35].

Якщо електроенергія подається від ліній електропередач, то для подальшої відправки споживачеві необхідно здійснити зниження напруги. У якості обслуговуваних об'єктів виступають промислові підприємства, виробничі цехи та віддалені технологічні установки різних галузей промисловості.

Для проведення аналізу типів електромереж необхідно знати призначення різних видів мереж, відомості про навантаження споживачів, напругу, схеми і конфігурації, конструкції і режими нейтралі. Необхідне знання вимог до мереж та енергосистем, які обумовлені їх надійністю, якістю енергії, безпекою та можливістю подальшого розвитку.

Розглянемо наступні види мереж: розімкнуті мережі з рівномірним навантаженням фаз, розімкнуті мережі з нерівномірним навантаженням фаз, мережі напругою до 1000 В з активним навантаженням, мережі напругою більше 1000 В із змішаним навантаженням, трьохфазно-однофазні мережі, мережі з використанням землі в якості провідника та замкнуті мережі.

Розглянемо розімкнуті мережі з рівномірним навантаженням фаз.

Електричний струм, який проходить по провіднику, створює падіння напруги. В результаті напруга в кінці лінії відрізняється від напруги на

початку лінії і в більшості випадків нижча неї. Крім того, вона змінюється разом з навантаженням. Очевидно, що дроти електричної лінії вибирають таким чином, щоб падіння напруги в них не виходило за деякі допустимі межі і, відповідно, в кінці лінії напруга підтримувалась на необхідному для споживачів рівні. Електричний розрахунок дротів зводиться до визначення в них падіння напруги, якщо січення дротів дане і, навпаки, до визначення січення дротів при відомому допустимому падінню напруги.

Активний опір дротів з кольорових металів – міді і алюмінію – залежить від температури повітря, яке оточує, і від струму, який проходить по дроту.

В практичних розрахунках на цей опір не зважають і вважають активний опір постійним.

Активний опір сталевих дротів залежить від струму, який проходить, тому при розрахунках не можна користуватись постійним значенням питомої провідності, як це роблять для дротів з кольорових металів.

Індуктивний опір дротів обумовлений змінним магнітним полем ззовні і всередині дротів, по яких проходить змінний струм.

Дроти електричних ліній мають ємність відносно землі і відносно один одного.

Електричні мережі тільки в деяких випадках виконують дротами одного січення по всій довжині. Як правило, січення дротів неоднакове і зменшується до кінця лінії. Очевидно, що при одній і тій самій допустимій втраті напруги можна мати декілька варіантів січень дротів ліній. Один з них буде мати найменшу витрату металу. Щоб знайти такий варіант, можна провести розрахунок всіх можливих поєднань січень дротів, а потім порівняти їх між собою.

Розглянемо розімкнуті мережі з нерівномірним навантаженням фаз.

Трьохфазні електричні мережі не завжди мають рівномірну напругу. В мережах низької напруги навантаження між фазами може бути неоднакове, особливо на кінцевих ділянках. В зв'язку з використанням трьохфазно-однофазової системи розподілення електроенергії в мережах високої напруги також можуть бути нерівномірні навантаження.

Розрахунок трьохфазової мережі з нерівномірним навантаженням між фазами значно складніший, ніж мереж з рівномірним навантаженням. В цьому випадку необхідно визначити міжфазові втрати напруги між всіма трьома фазами. Крім того, необхідно враховувати взаємний вплив фазових струмів.

Мережі низької напруги (нижче 1000 В) здійснюються як з заземленою (чотирьохпровідні), так і з ізольованою (трьохпровідною) нейтраллю. Трьохпровідні мережі замінюються на чотирьохпровідні, бо трьохпровідні можуть працювати при напрузі не вище 220 В. Нейтралі трансформаторів мереж 380/220 і 220/127 В мають глухе заземлення. Лампи розжарення включаються між фазним дротом і нульовим на фазну напругу. Одночасно корпуси двигунів, а також всі інші металеві частини заземлюють з метою безпеки або приєднують до нульового дроту. Таким чином, замикання будь-якої фази приводить до короткого замикання і перегорання запобіжника пошкодженої фази, що ізолює пошкодження від мережі. Мережа продовжує роботу в неповнофазному режимі. Однак є і трьохпровідні мережі низької напруги 220 В без нульового дроту. Нейтраль в цих мережах ізольована і замикання фази на землю не викликає короткого замикання і відключення споживачів. Як в мережах високої напруги, при замиканні на землю однієї з фаз напруги непошкоджених фаз по відношенню до землі збільшується в $\sqrt{3}$ разів. Таке підвищення напруги створює небезпеку для персоналу. Тому в мережах з ізольованою нейтраллю має бути систематичний контроль ізоляції і швидке налагодження пошкоджень або автоматичне відключення пошкодженої фази.

Побутові прилади в чотирьохпровідних мережах 380 В (рис.1.1) включають на фазову напругу 220 В. Наявність однофазових споживачів часто призводить до нерівномірного розподілу навантажень між фазами чотирьохпровідних мереж.

Можуть існувати наступні варіанти магістралей і відгалуження [35]:

- чотирьохпровідна мережа з нульовим дротом (три фази і нуль);
- відгалуження від двох фаз чотирьохпровідної мережі (дві фази і нуль);

- відгалуження від однієї фази чотирьохпровідної мережі (одна фаза і нуль).

Визначаючи величину витрат напруги в такій мережі, враховуючи, що в ній є лише активні навантаження (лампи розжарювання, нагріваючі побутові прилади і т.д.) і нехтуючи індуктивним опором повітряних дротів, можна отримати невірний результат, бо прийняті припущення, особливо друге, знижують точність розрахунку.

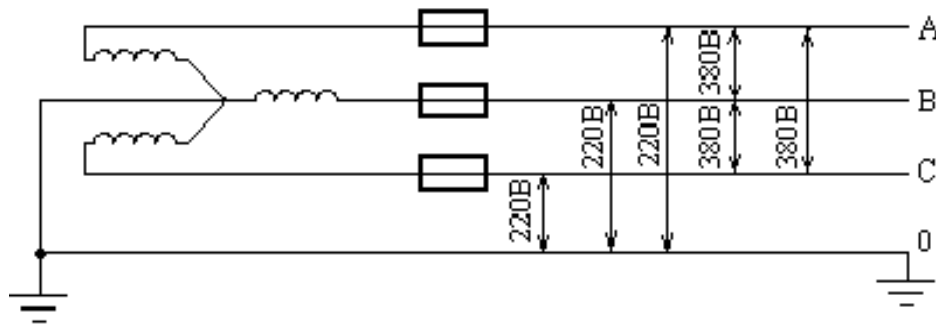


Рис. 1.1. Чотирьохпровідна мережа напругою 380В.

Для передачі великих потужностей на відстань в сотні кілометрів використовують лінії високої напруги 110, 220, 330, 500, 750,...кВ. Розподільчі мережі високої напруги служать для розподілу енергії між споживачами на відстані десятків кілометрів при напругах 6, 10, 20 і 35 кВ [13, 35].

В мережах напругою більшою 1000 В з нерівномірним навантаженням не можна без великої помилки зневажати індуктивним опором дротів. Крім того, при найбільшому навантаженні коефіцієнт потужності може бути меншим одиниці. Це вимагає відмовитись при розрахунку від спрощень. Крім того, однофазні напруги в високовольтних мережах з'єднують як у зірку, так і в трикутник.

На рис.1.2 показана схема електромережі із живленням та навантаженням з'єднаним по типу «зірка» [36].

Розрізняють мережі з заземленою, ізольованою і компенсованою нейтраллю.

Мережа з заземленою нейтраллю відноситься до мереж з великим струмом замикання на землю ($I_3 > 500$ А). При симетрії трьохфазової системи

$\sum I_C = 0$ струм в нейтралі не протікає. Мережа з ізольованою нейтраллю відноситься до мереж з малим струмом замикання на землю. Мережа з компенсованою нейтраллю відноситься до мереж з малим струмом замикання на землю. В цій мережі в нейтралі встановлюється дугогасне заземлення, котушка для компенсації ємнісних струмів. Так як потенціал нейтралі і землі в симетричній системі однаковий, струм в котушку в нормальному режимі не пройде. Він буде проходити лише через ємність.

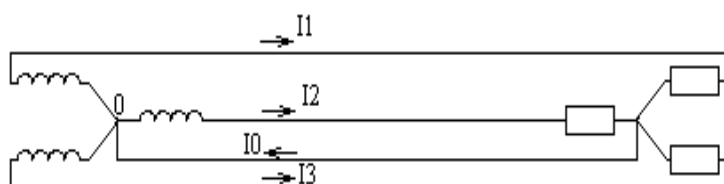


Рис. 1.2. Мережа високої напруги із з'єднанням навантажень в зірку з нульовим дротом.

При замиканні на землю однієї з фаз, як і в мережі з ізольованою нейтраллю, напруга двох непошкоджених фаз по відношенню до землі збільшується в $\sqrt{3}$ рази, а напруга між нейтраллю і землею стає рівною фазній [36].

Недоліком трьохфазної мережі є складні мережі напругою 380 В. Внаслідок порівняно великої потужності трансформаторних пунктів (в середньому 63 кВт) кожний трансформатор обслуговує великий район, що потребує використання дротів великого сичення. В результаті в мережах з напругою 380 В звичайно використовують дротів в 2-3 рази більше, ніж в мережах 10 кВ.

Витрати дротів в низьковольтних мережах можна зменшити шляхом збільшення кількості трансформаторних пунктів і зменшення їх середньої потужності і радіуса обслуговування. Однак трьохфазний трансформаторний пункт представляє з себе порівняно дороге обладнання, вартість якого повільно знижується при зменшенні потужності встановленого трансформатора. Тому зменшення середньої потужності трансформаторного пункту нижче 40-63 кВт в трьохфазних мережах приводить до надмірного

збільшення загальної вартості трансформаторних пунктів. Отже, такий шлях скорочення витрат дротів в мережах низької напруги не завжди є економічним.

З іншої сторони, при трьохфазовому розподіленні електроенергії потрібно часто підводити до дрібних споживачів три дроти мережі напругою 10 або 6 кВ. Січення дротів при цьому буває вище необхідного, в результаті в мережі високої напруги витрачають зайвий метал.

З метою усунення недоліків існуючої системи розподілення електроенергії була розроблена змішана трьохфазно-однофазова система розподілення електроенергії. Суть змішаної системи полягає в наступному:

1. Використовують змішані трьохфазно-однофазові лінії напругою 10 або 6кВ, в яких основні магістралі трьохфазні і до них підключені всі великі, в тому числі силові, споживачі. Всі ж дрібні споживачі, в першу чергу, освітлення та побутові пристрої, живляться від однофазових відгалужень лінії напругою 10 і 6кВ.

2. Для живлення однофазових споживачів використовують однофазні трансформаторні пункти невеликої потужності [13].

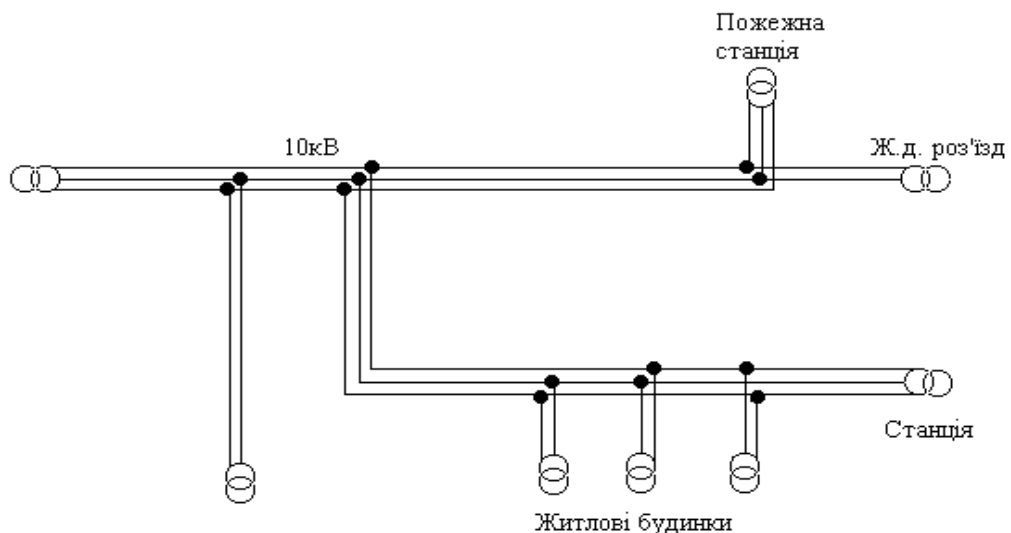


Рис. 1.3. Схема змішаної трьохфазно-однофазової мережі.

На рис. 1.3 показано приклад схеми мережі з трансформаторними пунктами, які виконані по змішаній трьохфазно-однофазовій системі. Як видно, великі споживачі з переважним навантаженням (станція, пожежна

станція) мають трьохфазне живлення, а дрібні споживачі, в першу чергу, житлові будинки, живляться від однофазних трансформаторних пунктів.

Однофазні трансформаторні пункти включають на міжфазні напруги. Як показують багаточисленні порівняльні розрахунки, використання змішаної системи дозволяє зменшити витрати металу в дротах високої і низької напруги на 25-35% порівняно із звичайною трьохфазною системою [34].

В мережах високої напруги, яка виконана по змішаній системі, однофазні трансформатори включають трикутники на лінійну напругу 6 або 10 кВ, як це показано на рис. 1.3.

Однофазні відгалуження в мережі напругою 10 або 6 кВ мають пропускну здатність в 2-6 разів меншу, ніж трьохфазні того ж січення. Однак при малій потужності трансформаторних пунктів дуже часто січення дротів відгалужень визначають мінімумом. В цьому випадку однофазні відгалуження мають замість трьох два дроти того ж січення і економія металу дротів складає 33% [34].

Однофазну мережу низької напруги по змішаній системі виконують трьохдротовою з середнім дротом. Напруга між середнім і крайніми дротами 220 В, а між крайніми дротами – 440 В. Середній дріт заземляють так само як нульовий дріт (нейтраль) в системі 380 В (див. рис. 1.1), і так само здійснюють з'єднання з ним металічних частин обладнання. Освітлювальне навантаження включають між середнім і крайніми дротами, а силове – між крайніми дротами. Малі трансформатори потужністю 2 кВт мають два дроти низької напруги 220 В або 127В.

Співвідношення між однофазною та трьохфазною потужністю в високовольтних мережах залежить від характеру навантаження та умов її розміщення.

Використання однофазного живлення можна вважати економічним, коли досягається значна економія металу дротів без збільшення вартості мережі. Ця умова, як правило, виконується в тих випадках, коли використання трьохфазової схеми не веде за собою значне збільшення довжини високовольтної мережі.

Прагнення зменшити витрати металу дротів в електричних лініях високої напруги спричинило те, що в ряді випадків в якості провідника використовують землю. Принципова схема трьохфазової мережі з використанням землі в якості провідника показана на рис.1.4. Така система під назвою “два дроти - земля” (ДДЗ) здобула в свій час деяке використання.

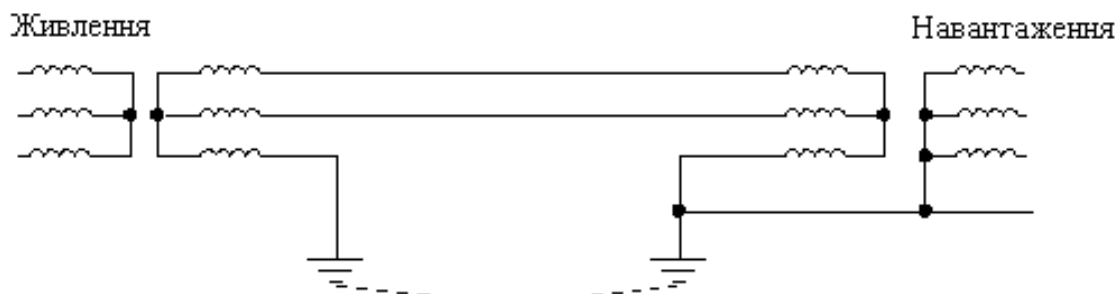


Рис. 1.4. Принципова схема трьохфазової мережі з використанням землі в якості провідника.

Як видно з рис.1.4, за системою ДДЗ одну фазу трансформатора, який живиться, заземлено. Заземлення проводять і з тією ж фазою всіх користувацьких трансформаторів. Таким чином, в двох фазах струм іде по повітряних дротах, а в третій – в землі (звичайно, на значній глибині).

При виконанні лінії за системою ДДЗ витрати провідників матеріалу скорочуються на $\frac{1}{3}$. Внаслідок зменшення кількості повітряних дротів загальну кількість опор зменшують, за рахунок збільшення відстані між ними.

В електричних мережах з незаземленою нейтраллю при нормальних режимах напруга між кожним з дротів і землею дорівнює фазовій. При замиканні одного з дротів на землю напруга інших дротів відносно землі збільшується в $\sqrt{3}$ разів та досягає лінійної.

За системою ДДЗ замикання однієї фази на землю є нормальним режимом і напруга повітряних дротів відносно землі завжди дорівнює лінійній. Це не викликає пошкоджень ізоляції лінії, підстанційного обладнання та ін., бо в більшості випадків існує необхідність запасу електричної стійкості [36].

Землю в якості провідника можна використовувати на двох і більше напругах, наприклад на напрузі 35 кВ і 10 кВ одночасно. На напругах до 1 кВ

використовувати землю в якості провідника заборонено.

Суттєвою обставиною при використанні землі в якості провідника є вплив на лінії зв'язку, який є значно вищий, ніж в звичайних трьохфазних лініях. Це пояснюється тим, що при передачі за системою ДДЗ струм проходить по землі не лише при аварійному, але і при нормальному режимі. Тому при проектуванні лінії ДДЗ розраховують впливи на лінії зв'язку і вживають заходи до їх зменшення, якщо вони виходять за межі допустимого [34].

В більшості випадків втрата напруги в земляному провіднику менша, ніж в повітряних. Внаслідок цього лінійні напруги в кінці лінії будуть відрізнятися одна від одної. Однак при допустимій втраті напруги в лінії до 10% асиметрія напруги не виходить за межі 1 – 2% і є цілком допустимою.

Тому лінії ДДЗ розраховують на втрату напруги так само, як звичайні лінії, без використання землі в якості провідника, і витрати напруги в земляній фазі підраховувати не треба.

Для електричного з'єднання фази трансформатора з землею кожен підстанцію лінії, які збільшують і знижують, з використанням землі в якості провідника заземлюють. Цей заземлювач одночасно використовується для заземлення нейтралі низьковольтної мережі 380/220В і для захисного заземлення, тобто для з'єднання до нього металевих частин установки [34].

Опір заземлення має бути таким, щоб напруга на ньому по відношенню до землі не була вище встановленої як при нормальному режимі, так і при режимі короткого замикання на землю (при нормальних умовах напруга на заземлення не має перевищувати 50В).

Широко використовуються розімкнені - радіальні електричні мережі. Схема радіальної мережі показана на рис. 1.5, де А – джерело живлення. Побудова радіальних мереж потребує найменше витрат матеріалів та ресурсів. Однак вони мають недолік в тому, що при пошкодженні лінії, особливо на початку, припиняється електропостачання всіх споживачів, які приєднані до неї.

З часом з'являється все більше споживачів, перерви в енергопостачанні яких приводять до значних втрат. Електропостачання відповідних споживачів має бути надійним, тому радіальні мережі не цілком підходять для таких випадків. Для отримання більш надійного електропостачання використовують замкнені електричні мережі.

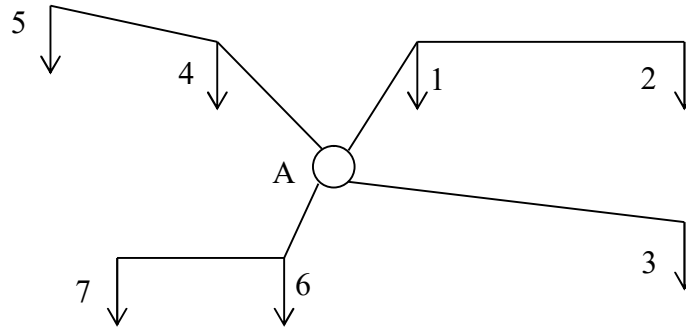


Рис. 1.5. Схема радіальної мережі.

В замкнених мережах магістральні лінії отримують живлення не менше як з двох сторін. Проста замкнена мережа показана на рис.1.6. В цій мережі порушення магістралі в будь-якому місці не порушує електропостачання споживачів. Так, наприклад, навантаження 3 при порушенні на ділянці 2-3 буде отримувати живлення по нижній вітці схеми, а при порушенні на 3-4 – по верхній.



Рис. 1.6. Схема простої замкненої мережі з одним джерелом живлення.

Ще більш надійне електропостачання, якщо в мережі, показаній на рисунку 1.6, буде проведено додаткові внутрішні лінії А-2, А-3 і А-4 (рис. 1.7). У такому випадку 2, 3 і 4 отримують живлення з трьох сторін. Такі точки називають вузловими або вузлами, а мережу, яка має вузлові точки, називають складною замкнутою мережею. В цій мережі при порушенні на будь-якій з ділянок електропостачання всіх споживачів залишається забезпеченим більш надійно, ніж у випадку простої замкненої мережі.

Мережі, зображені на рисунках 1.6 і 1.7, мають одне джерело живлення А. Вихід його з ладу приводить до збою електропостачання всіх споживачів мереж. Подальше підвищення надійності електропостачання може бути отримане, якщо збільшити кількість джерел живлення в мережі.

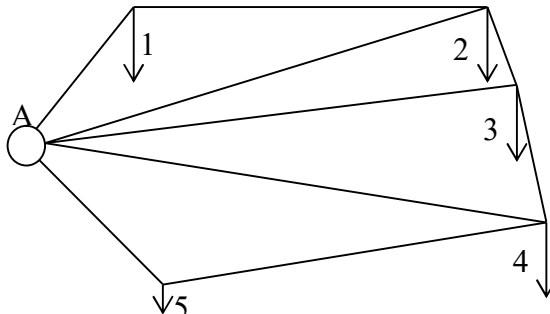


Рис. 1.7. Схема складної замкненої мережі з одним джерелом живлення.

Проста мережа з двома джерелами живлення А і В зображена на рис.1.8, є лінією з двостороннім живленням. В такій лінії будь-які порушення дротів і навіть вихід з ладу одного з джерел живлення не порушить електропостачання всіх або більшої частини споживачів електроенергії.

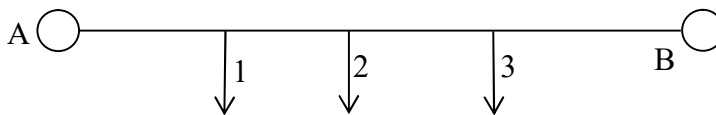


Рис. 1.8. Лінія з двостороннім живленням.

Зрештою, можна мати складну замкнену мережу з декількома джерелами живлення, яка забезпечує більш високу надійність електропостачання.

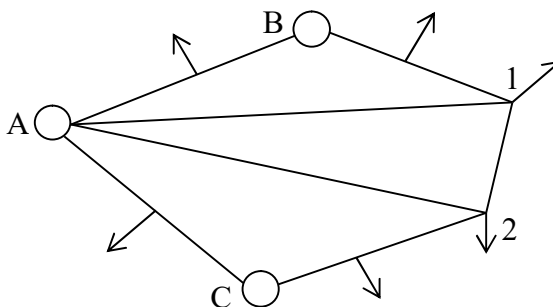


Рис. 1.9. Складна замкнена мережа з кількома джерелами живлення.

В складній замкненій мережі такого типу, зображеній на рис.1.9, А, В і С – джерела живлення, а 1 і 2 – вузлові точки. Недоліки замкнених мереж

полягають в значно великих витратах матеріалів та ресурсів. Крім того, захист замкнених мереж від коротких замикань складніший, ніж радіальних.

В останні роки замкнені мережі використовують в першу чергу у вигляді ліній з двостороннім живленням (див. рис.1.8). Використовуються також прості замкнені мережі з одним джерелом живлення (див. рис.1.6).

1.2 Особливості топології електромереж підприємств нафтогазовидобувної промисловості

Нафтогазовий комплекс України характеризується великою кількістю різнотипних промислових установок з потужним споживанням електроенергії, електроприводами 0,5-1,5 МВт.

Існуючі нафтогазові 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 небезпечними в нафтогазових комплексах є замикання на землю, які можуть приводити до: виведення з ладу нафтогазового електротехнічного обладнання шляхом його дугового руйнування; виведення з ладу нафтогазового обладнання електроспоживання; зниження рівня напруги чи робочого струму, що спричиняє порушення технологічних процесів на промислових установках.

До складу основних об'єктів нафтогазового комплексу входять наступні промислові технологічні об'єкти [13, 34, 35]:

- 1) бурові установки;
- 2) електротехнічні комплекси технологічних установок насосної експлуатації свердловин;
- 3) електротехнічні комплекси промислових компресорних і насосних станцій, установок підготовки нафти;
- 4) топологія електропостачання та захисту промислового устаткування нафтонасосної станції.

1.2.1 Топологія систем електропостачання систем промислових установок буріння

Для зовнішнього електропостачання бурових устаткувань використовуються повітряні лінії електропередачі напругою 110; 35; 6 (10) кВ і знижувальні трансформаторні підстанції з вторинною напругою 6 кВ, потужністю 6,3; 4 або 2,5МВА. В болотистих місцевостях можуть застосовуватися кабельні лінії електропередачі, які прокладають на поверхні землі в лотках. Окремі відрізки кабелю з'єднують в повітряних кабельних коробках [13].

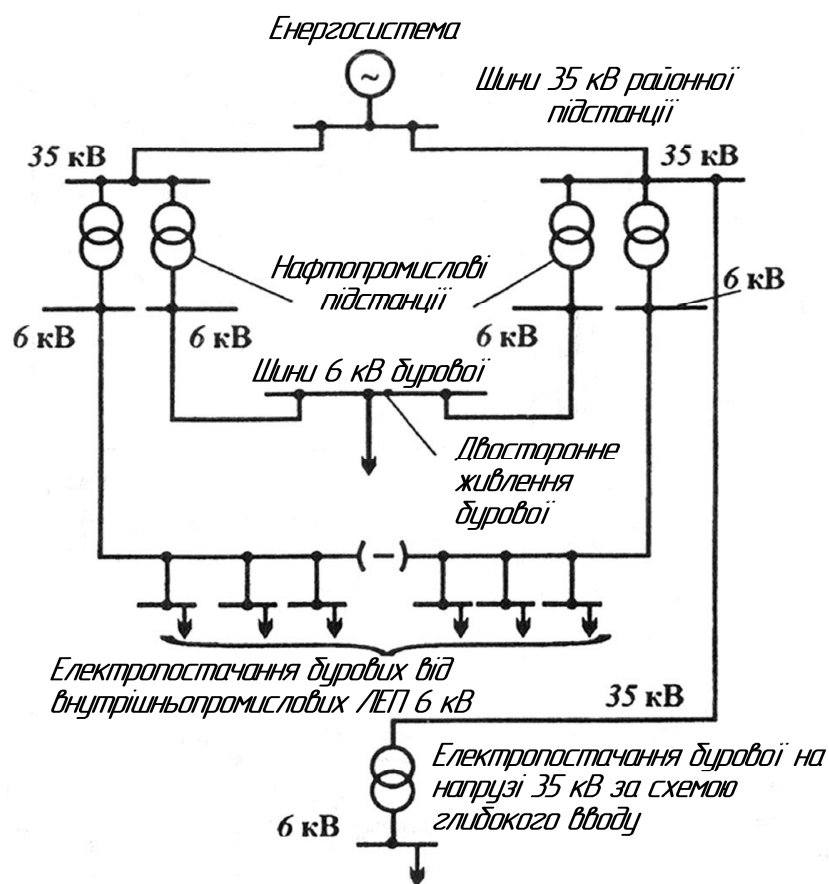


Рис. 1.10. Схема зовнішнього електропостачання бурових устаткувань з електроприводом від енергосистеми.

Схема електропостачання бурової установки вибирається в залежності від місця розміщення і потужності джерела електроенергії, а також типу бурового устаткування. Варіанти схем зовнішнього електропостачання

бурових устаткувань з електроприводами головних механізмів наведені на рис. 1.10 [13].

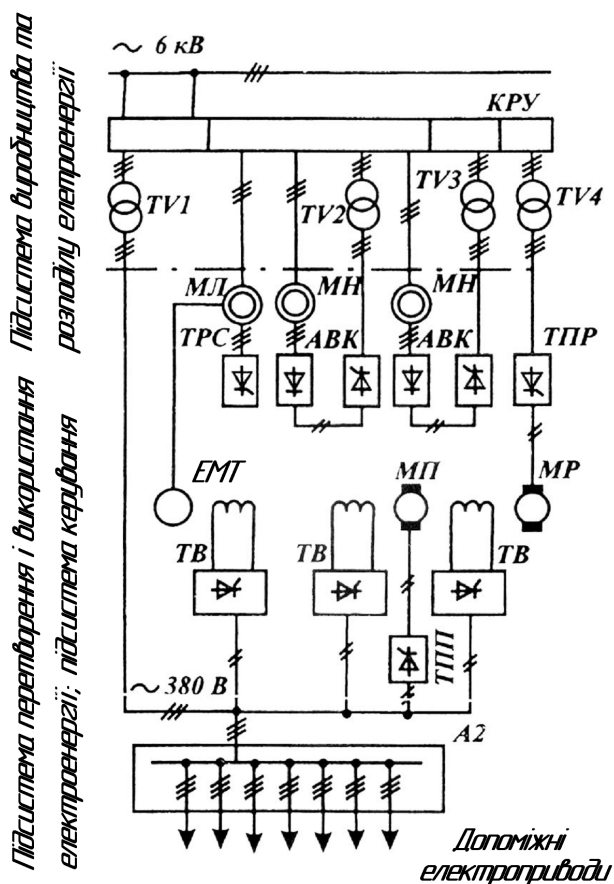


Рис. 1.11. Типова схема електротехнічного комплексу бурового устаткування з електроприводом змінного струму:

ЕМТ – електромагнітне гальмо; ТРК – тиристорний регулятор ковзання; АВК – асинхронно-вентильний каскад; ТПР, ТПП – тиристорні перетворювачі приводу ротора і регулятора подачі долота.

На рис. 1.11 наведена структура системи електроприводу бурових установок змінного струму, яка орієнтована на застосування частотно-регульованих електроприводів [13].

1.2.2 Топологія електротехнічних установок насосної експлуатації свердловин

Одним з важливих питань надійної експлуатації електроприводів технологічних установок добутку нафти є проблема пуску та самозапуску

двигунів, які використовують для приводу верстатів-гойдалок [13, 36]. На перебіг перехідного процесу в момент запуску певної кількості ПЕД значно впливає зниження напруги в мережі, що приводить до зменшення пускового моменту у електричних двигунах, оскільки пуск асинхронних двигунів установок нафтовидобування є затяжним – час розгону може перевищувати 10 секунд. Крім того, навантаження електроприводу верстатів-гойдалок є періодично-змінні не тільки у моменти запуску ПЕД, але є динамічними у стаціонарних режимах.

Викладене визначає високу актуальність розробки та впровадження ефективних методів розпізнавання накидів та коротких замикань в ЛЕП, а також надійного релейного захисту режимних станів "норми" на ПС даного класу.

Глибинно-насосні устаткування відносяться до другої категорії надійності електропостачання, а ті, що знаходяться в складних умовах експлуатації, де зупинка насосу спричиняє ускладнення при пуску свердловин (наприклад, внаслідок виникнення піскових пробок), відносяться до першої категорії.

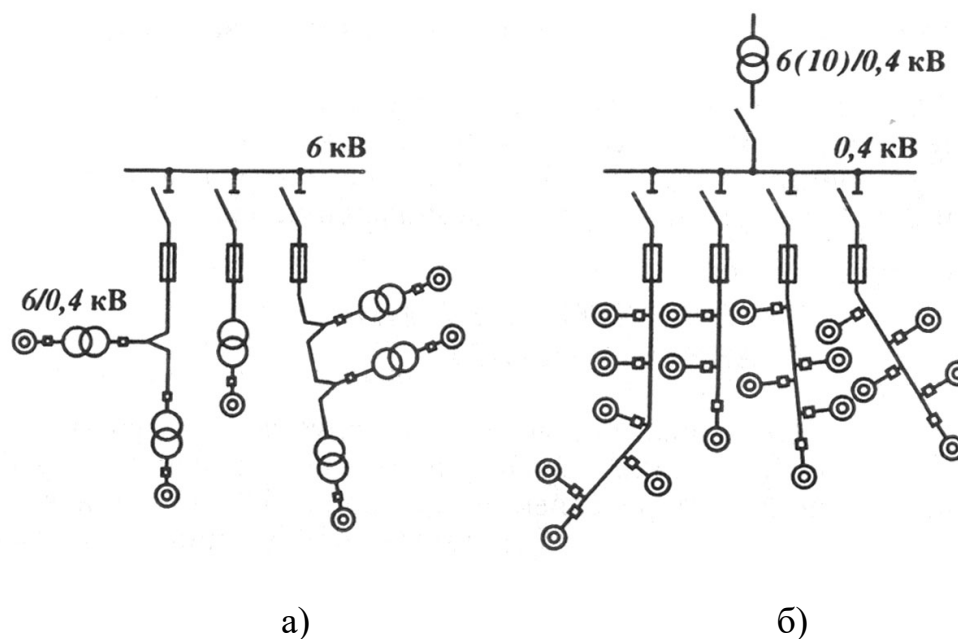


Рис. 1.12. Схеми живлення глибинно-насосних установок.

а – при напрузі мережі 6 кВ; *б* – при напрузі 0,38 кВ

Живлення глибинно-насосних установок здійснюється напругою 0,38 кВ від встановлених на свердловинах комплектних трансформаторних підстанцій (КТП) 6/0,4 кВ, що живляться від повітряних мереж (рис. 1.12). На деяких промислах збереглися схеми з підведеною до двигунів верстатів-гойдалок напругою 0,38 кВ безпосередньо від промислових знижувальних підстанцій 6/0,4 кВ за допомогою повітряних мереж.

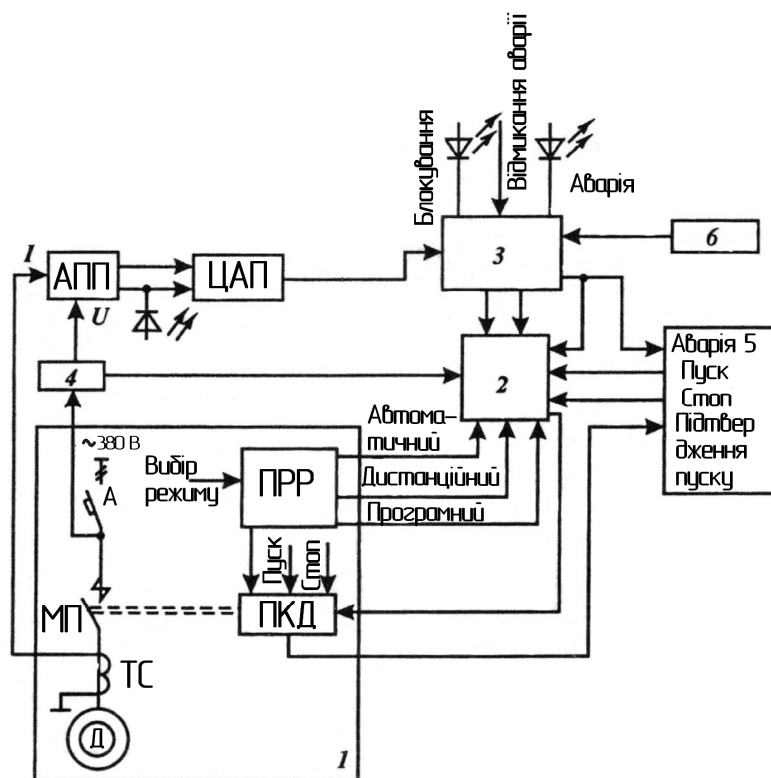


Рис. 1.13. Функціональна схема блоку керування верстата-гойдалки.

На рис. 1.13 представлена функціональна схема блоку електропостачання приводу верстата-гойдалки [13], яка містить наступні елементи: силова частина 1, блоки керування 2, захисту 3 і живлення 4. Силова частина (рис. 1.13) складається з пристрою керування двигуном ПКД (магнітний пускач МП і кнопки керування), перемикача режимів роботи, трансформаторів струму ТС і автоматичного вимикача А, що забезпечує захист від короткого замикання.

У блок захисту 3 входить аналоговий перетворювач потужності АПП і цифровий аналізатор потужності ЦАП.

В аналоговому перетворювачі потужності АПП із сигналів струму і напруги мережі, що отримуються з трансформаторів струму ТС і блоку живлення 4, формується сигнал активної потужності у вигляді напруги з періодом коливаль, що дорівнює циклу роботи верстата-гойдалки, шляхом виділення сигналу миттєвої потужності.

Цифровий аналізатор потужності забезпечує контроль активної потужності під час кожного циклу верстата-гойдалки, виміряного в нормальному режимі роботи, і формує сигнал аварійного відмикання двигуна з витримкою часу при зміні потужності понад межі уставки при перевантаженні двигуна Д.

Сигнали після обробки в блоці захисту 3 перетворюються в релейні сигнали, що надходять в блок керування 2 і систему телемеханіки 5 (при необхідності відключити двигун). При нормальному режимі роботи сигнали на виході блоку захисту 3 відсутні. Крім перерахованих сигналів, на вхід блоку захисту надходить сигнал з первинного перетворювача 6 тиску в трубопроводі. В схемі передбачено підтвердження пуску двигуна, що передається з пристрою керування двигуном ПКД на диспетчерський пункт 5 системи телемеханіки.

Світлова індикація аварійного відмикання, блокування відмикання і масштабу активної потужності здійснюється світлодіодами.

Всі блоки побудовані на напівпровідникових елементах і є компонентами станції керування з мікропроцесорним управлінням.

1.3 Інформаційні характеристики існуючих комп'ютеризованих систем моніторингу режимних параметрів та станів обладнання високовольтних електромереж

Комп'ютеризовані системи моніторингу електричних підстанцій високовольтних ЛЕП належать до класу інформаційних систем SCADA, які розроблені і тиражуються відомими зарубіжними фірмами та вітчизняними підприємствами: АВВ, Овен, Електросвіт, Шнейдер Електрик та ін [4-7]. Такі

розподілені комп'ютеризовані системи розроблені та впроваджуються на об'єктах різних галузей промисловості Тернопільським конструкторським бюро «Стріла» та Інститутом мікропроцесорних систем керування об'єктами електроенергетики (ІМСКОЕ, м. Львів).

Дані інформаційні системи призначені для моніторингу станів та керування обладнанням електричних підстанцій 6-35 кВ. Алгоритмічне та програмне забезпечення таких систем реалізує розпізнавання та ідентифікацію збурень у високовольтних ЛЕП при виникненні накидів, пробоїв кабельних ліній, замикань на землю та запуску потужних електроприводів.

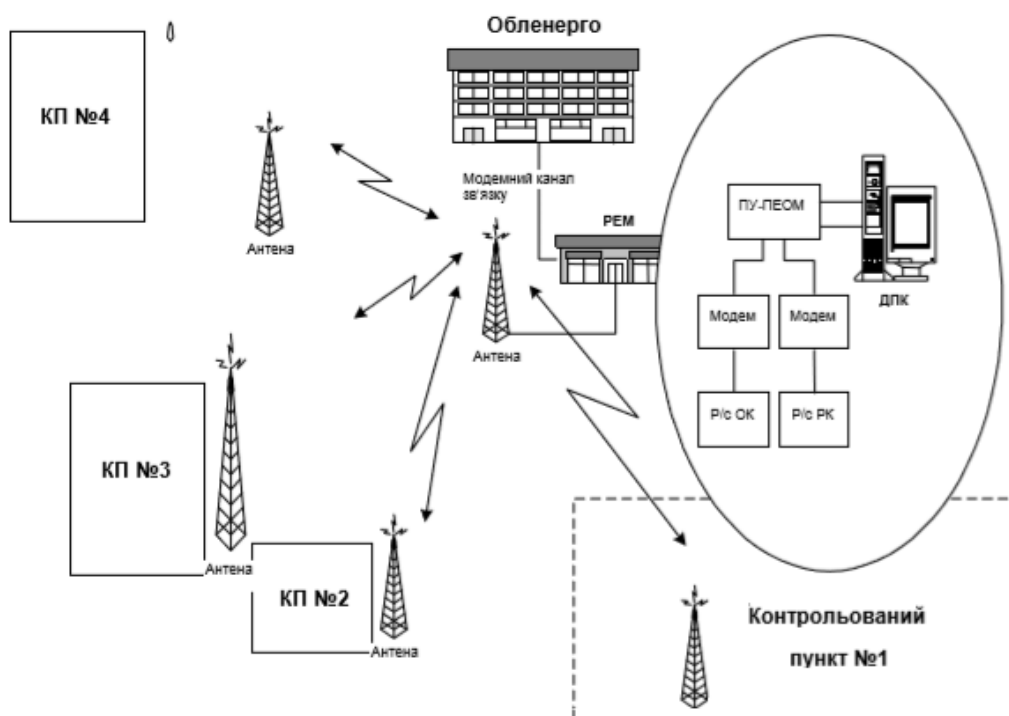


Рис. 1.14. Структура системи моніторингу електричних підстанцій високовольтних ЛЕП.

Структура комп'ютеризованої системи моніторингу станів приєднань електричних підстанцій «Стріла», яка здійснює дистанційний збір та цифрове опрацювання параметрів телевимірювання на електричних підстанціях 6-35 кВ, представлена на рис 1.14 [37].

Базова структура системи «Стріла» складається з двох модулів ПС 35/10 кВ, які монтуються на території електричної підстанції, та серверного обладнання, яке розміщується в РЕМ та Обленерго.

Структури компонентів серверного обладнання системи «Стріла» та контрольованого пункту КП показані на рис. 1.15 та 1.16 [37].

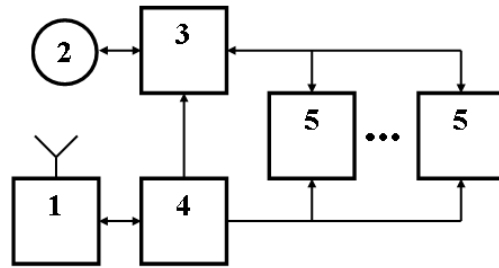


Рис. 1.15. Структура серверного обладнання «Стріла» на РЕМ:
1 – радіомодем; 2 – монітор диспетчера; 3 – сервер системи безпеки; 4 – маршрутизатор; 5 – адміністративні персональні комп’ютери.

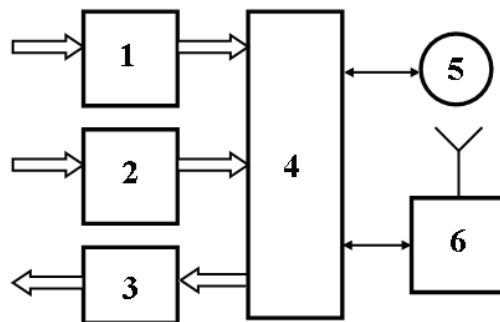


Рис. 1.16. Структура КП:

1 – модуль телесигналізації; 2 – модуль телеконтролю; 3 – модуль телекерування; 4 – процесор (мікроконтролер); 5 – клавіатура оператора; 6 – радіомодем.

КП має наступні інформаційні характеристики:

- 512 (32x16) дискретних входів (ТС);
- 256 (16x16) аналогових входів (ТВ);
- 128 (16x8) об’єктів управління (ТУ);
- RS-485 – провідний інтерфейс до 2000 М;
- МЕК 870-5-101 – протокол кодової взаємодії між КП та ДП.

Система АСДК РЕМ «Стріла» забезпечує [37]:

- керування ввімкненням/вимкненням фідерів на електричних підстанціях;
- контроль параметрів телесигналізації;
- контроль параметрів телевимірювань у стандарті ГСП;

- збір даних з інтелектуальних лічильників електроенергії (“Енерія-9”, “Елвін” NP-03 ADD-ED0.3-U і т. д.) із зовнішнім інтерфейсом RS-485, RS-232 чи струмова петля;

- збір даних про роботу релейного захисту електричних підстанцій.

Обладнання диспетчерського пункту керування призначене для керування електричними підстанціями, обладнаними каналними комплектами системи телемеханіки “Стріла”, і забезпечує [37]:

- видавання команд телекерування вимикачами фідерів на електричні підстанції;

- видавання команд контролю параметрів телесигналізації;

- видавання команд зняття параметрів телевимірювання (залежно від того, які вимірювальні трансформатори встановлені на підстанції);

- видавання команд зняття показів інтелектуальних лічильників електроенергії (миттєві значення струму, напруги і потужності, значення нагромадженої енергії тощо);

- ведення електронних технологічних журналів (оперативного і аварійного);

- відображення на екрані дисплея ПЕОМ поточного стану вибраної підстанції;

- прийом і відображення на екрані дисплея ПЕОМ аварійної сигналізації;

- звукову індикацію аварійної сигналізації;

- ведення технологічних переговорів диспетчера з обслуговуючим персоналом електричної підстанції;

- взаємодію з верхнім рівнем керування з можливістю ретрансляції інформаційних і телеметричних даних.

Засобами системи «Стріла» [37] здійснюється опитування телеметричних параметрів електронних лічильників (SL7000, НІК, EPQS, Елвін, АДД, Арго, L&G, ЕМН), пристроїв релейного захисту (МРЗС, Siprotec, АВВ) та цифрових вимірювачів (DIRIS А-20 / А-40, SENTRON, PAC 3100) по зовнішньому інтерфейсу RS-485. Підтримується робота за протоколами: Modbus RTU, IEC 1107, DLMS / COSEM, IEC 62056-31.

Серверним обладнанням комплексу «Стріла» виконується [37]:

- 3G CDMA EV-DO – програмне забезпечення системи безпеки;
- IEC 60870-5-101 – протокол для роботи з обладнанням;
- IEC 60870-5-104 – для інтеграції з серверним обладнанням енергокомпанії верхнього рівня CRM “UDS Consulting” (Call-центр) із прямою передачею інформації про положення комутаційних апаратів енергооб’єктів.

У той же час, система «Стріла» не передбачає і не здійснює статистичне, кореляційне, спектральне та ентропійне опрацювання сигналів телевимірювань з можливістю розпізнавання та ідентифікації збурень у високовольтних ЛЕП при інваріантних значеннях фазних струмів та напруг.

Такі функції успішно можуть бути реалізовані спеціалізованими процесорами у мікроелектронному виконанні на ПЛІС. Причому, висока швидкодія спецпроцесорів, які на 1-2 порядки прискорюють опрацювання сигналів у порівнянні з універсальними процесорами, що застосовуються у багатофункціональних мікроконтролерах, дозволяє на інтервалі 1-2 періодів промислової частот реалізувати ефективний та надійний захист промислового обладнання енергосистем.

Комп’ютерні системи керування технологічними процесами мережі «Альтра -АСК» призначені для збору, аналізу та відображення оперативної інформації для диспетчерського управління, передачі інформації про координати нормальних режимів, аварійних процесів, станів комутаційних апаратів, спрацювання пристроїв РЗА на вищий рівень ієрархії та керування комутаційними пристроями об’єкту [2, 111].

Системи керування технологічними процесами «Альтра-АСК» (рис. 1.17) виконують функції [2, 111]:

- моніторингу та реєстрації координат аварійних процесів і нормальних режимів об’єктів електроенергетичних систем;
- візуалізації та моніторингу інформації про об’єкт керування у вигляді мнемосхеми, на якій відображаються діючі значення напруг на шинах, струмів, активних та реактивних потужностей приєднань, положення комутаційних апаратів;

- контролю стану ізоляції приєднань мережі за частковими пробоями будь-якої тривалості (мережі 6-35 кВ);
- селективного вимкнення приєднання за однофазного замикання на землю в мережах з ізольованими чи компенсованими нейтральми;
- визначення віддалі до місця пошкодження за дво- чи трифазного короткого замикання;
- моніторингу функціонування релейного захисту за спрацюванням вхідних, проміжних та вихідних реле, а також цифрограмами координат аварійних процесів;
- ближнього резервування основних захистів приєднань;
- дистанційного керування комутаційними апаратами;
- передачі по локальній мережі або з допомогою модемів на різні ступені ієрархії управління зареєстрованої інформації;
- архівування зареєстрованої інформації.

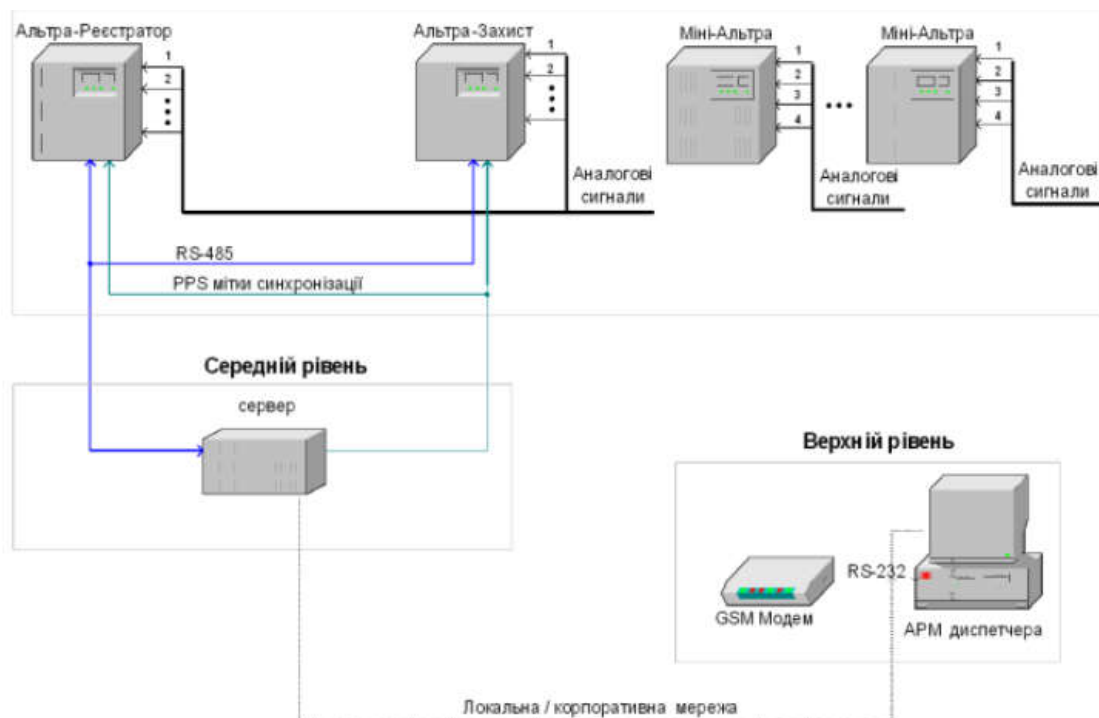


Рис. 1.17. Структура системи керування технологічними процесами мережі «Альтра-АСК»

Технічне забезпечення перелічених функцій досягається встановленням в системі "Альтра", "Міні-Альтра", ресстраторів "Альтра 32 Р-16" чи "Альтра 32 Р-32" в залежності від кількості приєднань секції [2, 111].

Нижній рівень системи утворюється реєстраторами "Альтра-1", захистами від однофазних замикань на землю "Альтра" та "Міні-Альтра", встановленими безпосередньо на об'єкті [2, 111].

Середній рівень системи реалізований на основі сервера (чи концентратора) та забезпечує збір інформації від усіх пристроїв, встановлених на об'єкті, архівування цієї інформації, часову синхронізацію, передачу інформації на вищий рівень ієрархії управління. Зв'язок нижнього та середнього рівня здійснюється через інтерфейс типу RS-485. Цей тип інтерфейсу забезпечує високу швидкість та надійність зв'язку на віддалі до двох кілометрів [2, 111].

На верхньому рівні системи знаходиться автоматизоване робоче місце (АРМ) оператора. АРМ забезпечує можливість оператору системи (диспетчеру підстанції, електростанції тощо) здійснювати управління пристроями, приймати та аналізувати зареєстровану ними інформацію. Зв'язок між сервером та АРМ здійснюється по Ethernet мережі або GSM мережі. За потреби, інформація з сервера може бути передана на вищі рівні ієрархії управління по корпоративній мережі або за допомогою модемів [2, 111].

Інформаційні і функціональні можливості систем керування технологічними процесами мережі «Альтра-АСК» можуть бути значно розширені шляхом встановлення і адаптації різних спеціалізованих програм, як наприклад, оцінка ресурсу вимикачів, розрахунок координат усталеного режиму за зміни конфігурації мережі, розрахунок струмів коротких замикань і т.п. Можна фіксувати час (часи) відкриття та закриття приміщень розподільчих пристроїв [2, 111].

Пристрої «Альтра-32» забезпечують значну дискретизацію сигналів (960 зрізів на період промислової частоти), що дозволяє з високою точністю реалізувати визначення якості електричної енергії за гармонічним спектром координат режимів. Пристроями реєструються й інші параметри – оцінка кількості та характер коливних процесів, фіксація часу зникнення та появи напруги і т.п [2, 111].

Суттєвою перевагою в порівнянні з іншими, наприклад, системами телемеханіки, є та особливість, що системи керування технологічними процесами мережі «Альтра-АСК» є відкритими системами, і за зміни конфігурації мережі та кількості приєднань, коректування функціонування проводиться на рівні коректування програмного забезпечення [2, 111].

Для свого функціонування системи керування технологічними процесами мережі «Альтра-АСК» не потребують використання спеціальних технічних засобів (давачів струмів, напруг, потужностей, енергії і т.п.), а також додаткових засобів обробки інформації [2, 111].

За відомого протоколу запису інформації встановлених на об'єкті пристроїв інших виробників, вони можуть використовуватись і відображатись системами керування технологічними процесами мережі «Альтра-АСК» [2, 111].

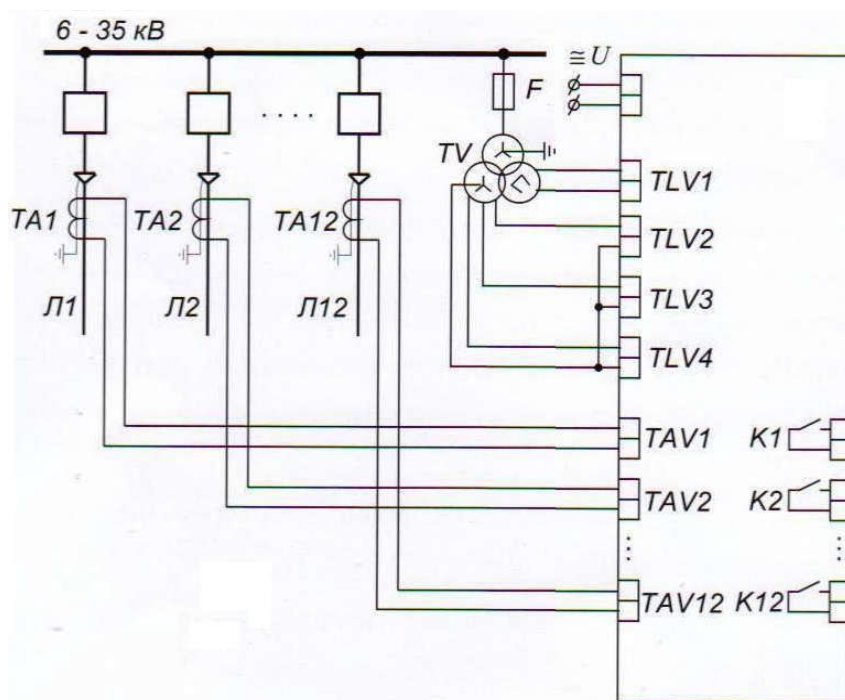


Рис. 1.18. Схема приєднань та підключення пристрою «Альтра»:

ТА – трансформатор струму; TV – трансформатор напруги; Л1 – Л12 – лінії приєднань; F – плавкий запобіжник; К1 – К12 – комутаційний апарат.

Мікропроцесорний пристрій «Альтра» встановлюється на підстанціях та розподільчих пунктах 6-35 кВ з метою визначення та реєстрації однофазних замикань на землю і обслуговування до 12 приєднань.

Пристрій «Альтра» спрацьовує за фактом виникнення короткого замикання в одному з приєднань. При цьому реєструється дата та час події, на якій зафіксований пробій ізоляції та діюче значення струму нульової послідовності приєднання, а також записуються цифрограми усіх координат режиму та положення комутаційних апаратів.

На рис. 1.18 показана схема приєднань та підключення пристрою «Альтра» [2].

Функціональна схема збору інформації на основі концентратора системи «Альтра» показана на рис. 1.19 [2, 38].

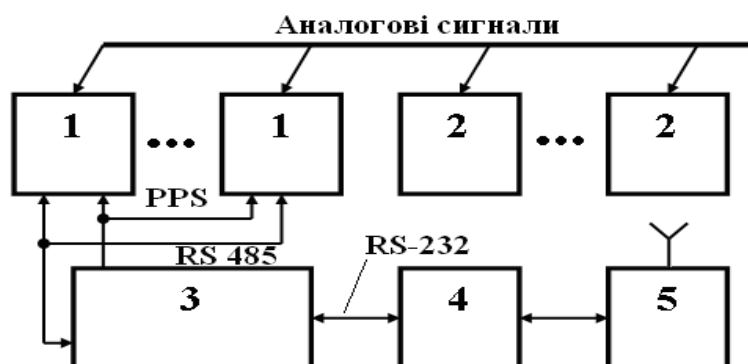


Рис. 1.19. Функціональна структура збору даних керувально-діагностувальною системою «Альтра»:

1 – Альтра; 2 – міні-Альтра; 3 – концентратор на основі вбудованого комп'ютера; 4 – АРМ диспетчера; 5 – GSM-моделі; 6 – PPS – синхронізуючі мітки.

Аналогові сигнали (рис. 1.20) формуються трансформаторами фазних струмів розміщених на під'єднаннях електричних підстанцій.

Функціональні схеми структури концентратора системи «Альтра» та пристрою «Міні-Альтра» показані на рисунках 1.20 та 1.21 [2].

Система «Альтра» здійснює локальний та дистанційний моніторинг стану ізоляції електричної мережі 6-35 кВ.

Основними функціями системи «Альтра» є наступні:

- вимкнення приєднання захистом від однофазних замикань на землю із забезпеченням відповідної селективності у залежності від виду (металічне

дугове), тривалості, категорії споживачів, особливостей ізоляційних матеріалів;

- ідентифікація на моніторі ділянки з ослабленою ізоляцією.

Система «Альтра» використовує традиційні засоби релейного захисту як власного електрообладнання, так і технологічного обладнання об'єктів споживання електроенергії, що значно обмежує її функціональні можливості розпізнавання та ідентифікації різних типів збурень у високовольтних ЛЕП.



Рис. 1.20. Функціональна структура концентратора системи «Альтра»:

1 – вбудований комп'ютер; 2 – приймач міток синхронізації; 3 – GSM-модем.

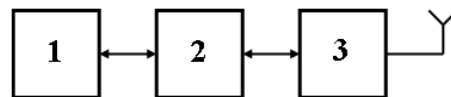


Рис. 1.21. Функціональна структура пристрою «Міні-Альтра»:

1 – процесор; 2 – модуль комутації; 3 - GSM-модем.

В даний час автором у складі групи науковців кафедри спеціалізованих комп'ютерних систем Тернопільського національного економічного університету сумісно з ІМСКОЄ розроблено методи розпізнавання накидів та коротких замикань у високовольтних електромережах та структуру спецпроцесора релейного захисту, інваріантного до амплітуди стрибків фазних струмів при виникненні збурень у приєднаннях електричних підстанцій. Реалізація таких спецпроцесорів у якості компонентів «Альтра» дозволяє удосконалити її структуру та значно розширити функціональні можливості швидкодіючого захисту електричних електромереж.

1.4 Аналіз характеристик відомих пристроїв захисту обладнання високовольтних ЛЕП від накидів та коротких замикань

Існуючі електроенергетичні системи є складними комплексами електротехнічного обладнання, яке розподілено розміщене на великих територіях, в яких з великою ймовірністю виникають збурення та вихід з ладу промислових засобів генерування, транспортування та споживання електроенергії.

Замикання на землю в лініях високовольтних електромереж можуть приводити до:

- виведення з ладу електротехнічного обладнання шляхом його дугового руйнування;
- виведення з ладу обладнання електроспоживання;
- зниження рівня напруги чи робочого струму, що спричиняє порушення технологічних процесів на підприємствах.

Одним з найпоширеніших пристроїв захисту високовольтного електротехнічного обладнання є реле струму (РС) [3], функціональна схема та гістерезисна характеристика якого показана на рис. 1.22 [39, 40].

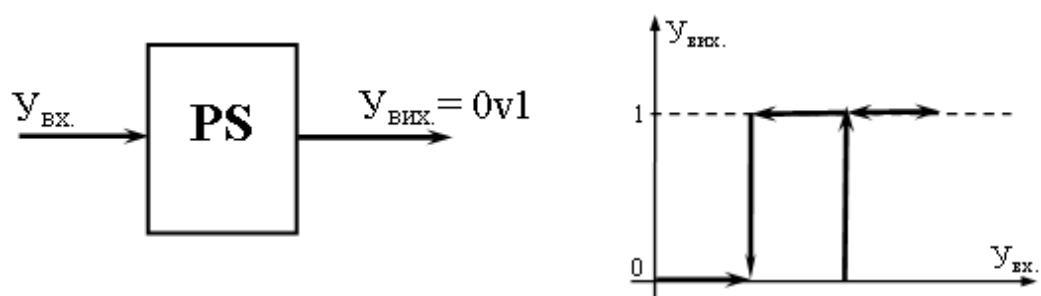


Рис. 1.22. Функціональна схема та гістерезисна характеристика реле струму.

Гістерезисну характеристику РС визначають коефіцієнтом повернення:

$$k_P = \frac{I_P}{I_C},$$

де $I_P = I_{вх.}$, яке є меншим від величини вхідного струму, за якого РС спрацьовує - $I_P < I_C$;

$U_p = U_{ex}$ - уставка значення струму, при якому спрацьовує РС.

На практиці існують і розрізняють реле максимальної дії $k_p < 1$ та реле мінімальної дії $k_p > 1$.

Класифікація засобів та типів РС, які використовуються у сучасних системах релейного захисту обладнання ЛЕП приведена на рис.1.23 [39, 40].

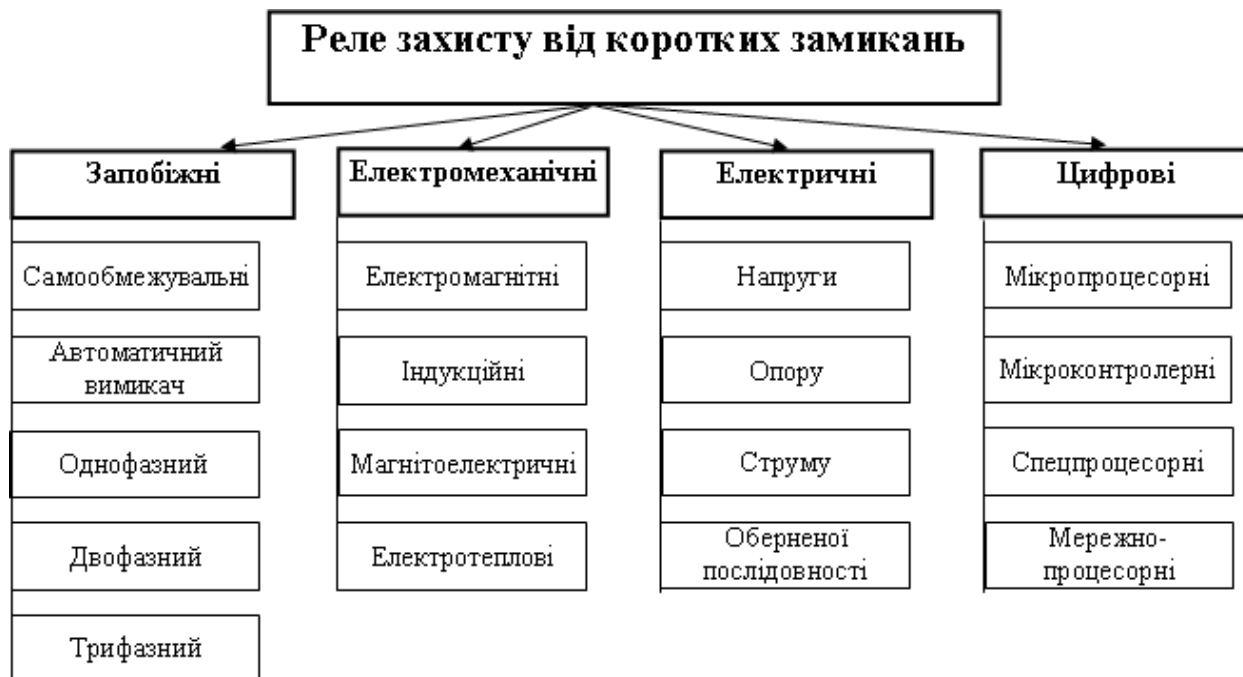


Рис.1.23. Класифікація типів реле струму.

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 та інші серійно випускають та масово впроваджують мікроконтролерні засоби релейного захисту ЛЕП [5-7, 31-33].

В Україні такими виробниками є: ІМСКОЕ, Київприлад, Радіус Автоматика та ін [2, 41-42].

У таблиці 1, показані типи реле струму, які застосовуються для захисту від коротких замикань, що випускаються фірмами АБВ, Електросвіт.

Таблиця 1.1

Типи реле струму

№ П/П	Загальний вигляд реле струму	Призначення
1	 <p>The image shows an ABB PR-617 current relay. It is a white, rectangular device with a green top section. The front panel features a red emergency stop button, a green indicator light, and a potentiometer for setting the current threshold. The model number 'PR-617' is printed on the side. The top and bottom have terminal blocks for electrical connections.</p>	<p>Реле струму PR-617 призначене для захисту одно і трифазних електродвигунів від перенавантаження по струму. Можливе його застосування в якості безконтактно-струмового вимикача для відключення електроприводу в кінцевих положеннях, дублювання блока кінцевих вимикачів.</p> <p>Якщо струм електродвигуна не перевищує номінальний (встановлюється потенціометром на передній панелі), контакти 11-12 замкнуті і на котушку контактора подана напруга. При збільшенні струму вище номінального контакти 11-12 розмикаються і двигун відключається. Відключення відбувається з затримкою часу, залежно від струму при перенавантаженні (струмочасова характеристика). Зміна характеристики виконується потенціометром на передній панелі в межах 2-25 секунд (значення поділки відповідає часу відключення при двохкратному перенавантаженні ($I_{дв}/I_{ном}=2$)).</p>
2	 <p>The image shows an ABB CM-SRS.22 current relay. It is a white and grey rectangular device. The front panel has a red emergency stop button, a green indicator light, and a potentiometer. The model number 'CM-SRS.22' is visible on the top. The top and bottom have terminal blocks for electrical connections.</p>	<p>Реле контролю струму CM-SRS.22 виробництва АБВ використовується для контролю максимального або мінімального струму в однофазних колах змінного або постійного струму. Діапазони вимірювань:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) 0,3-1,5 А; 2) 1-5 А; 3) 3-15 А, є регульована затримка на спрацювання. <ul style="list-style-type: none"> - виробник: АБВ (Швейцарія); - функція: контроль струму; - напруга живлення АС, В: 24-240; - ступінь захисту: IP 50; - напруга живлення DC, В: 24-240; - номінальний струм, А: 4; - частота мережі, Гц: 50.

Продовження таблиці 1.1

1	2	3
3		<p>Реле струму пріоритетної дії служить для контролю величини струму, який витрачається електроприймачами, та керування ними у випадку, коли їх одночасна робота викликає перевантаження мережі живлення та спрацювання запобіжних пристроїв.</p> <p>Дія: потенціометром встановлюється значення порогу струму споживання в пріоритетному колі, при перевищенні якого реле вимикає непріоритетне електричне коло. Зниження струму споживання в пріоритетному колі нижче встановленого призводить до автоматичного ввімкнення непріоритетного кола.</p> <p>Зауваження: для електричних кіл з реле пріоритетної дії слід застосовувати автоматичні запобіжники з таким часом спрацювання, щоб не було випередження реакції реле.</p>
4		<p>Реле контролю струму CM-SRS. 22 виробництва АББ використовується для контролю максимального або мінімального струму в однофазних колах змінного або постійного струму.</p> <p>Діапазони вимірювань:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) 0,3-1,5 А; 2) 1-5 А; 3) 3-15 А, є регульована затримка на спрацювання. <p>Напруга живлення: 24-240 АС / DC.</p>

Мікроконтролерні засоби релейного захисту мають наступні основні переваги [40]:

- 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.

Досвід експлуатації такого класу пристроїв релейного захисту дозволив встановити також ряд негативних особливостей та функціональних обмежень [40]:

- 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.

Всі цифрові пристрої релейного захисту, незалежно від призначення, мають подібну структуру, яка наведена на рис. 1.24 [39]. Процесор є основним елементом цифрового захисту, в якому реалізований алгоритм роботи конкретного захисту. Іноді застосовується один або декілька процесорів, в залежності від призначення пристрою та фірми виробника. Відома фірма АВВ надає перевагу багатопроцесорним системам, в яких кожен процесор виконує конкретні завдання алгоритму і ці процесори працюють паралельно. Така робота забезпечує потрібну швидкодію і точність. Інші фірми застосовують

однопроцесорні системи, що вимагає застосування потужних процесорів для забезпечення потрібних характеристик. Оскільки пристрої релейного захисту працюють у важких умовах експлуатації, застосовують спеціальні процесори – індустріальні, які можуть працювати за температури навколишнього середовища від -30 до $+50^{\circ}\text{C}$, та відносної вологості до 80%. Процесор має зв'язок з об'єктом захисту через кола вводу та виводу [3].

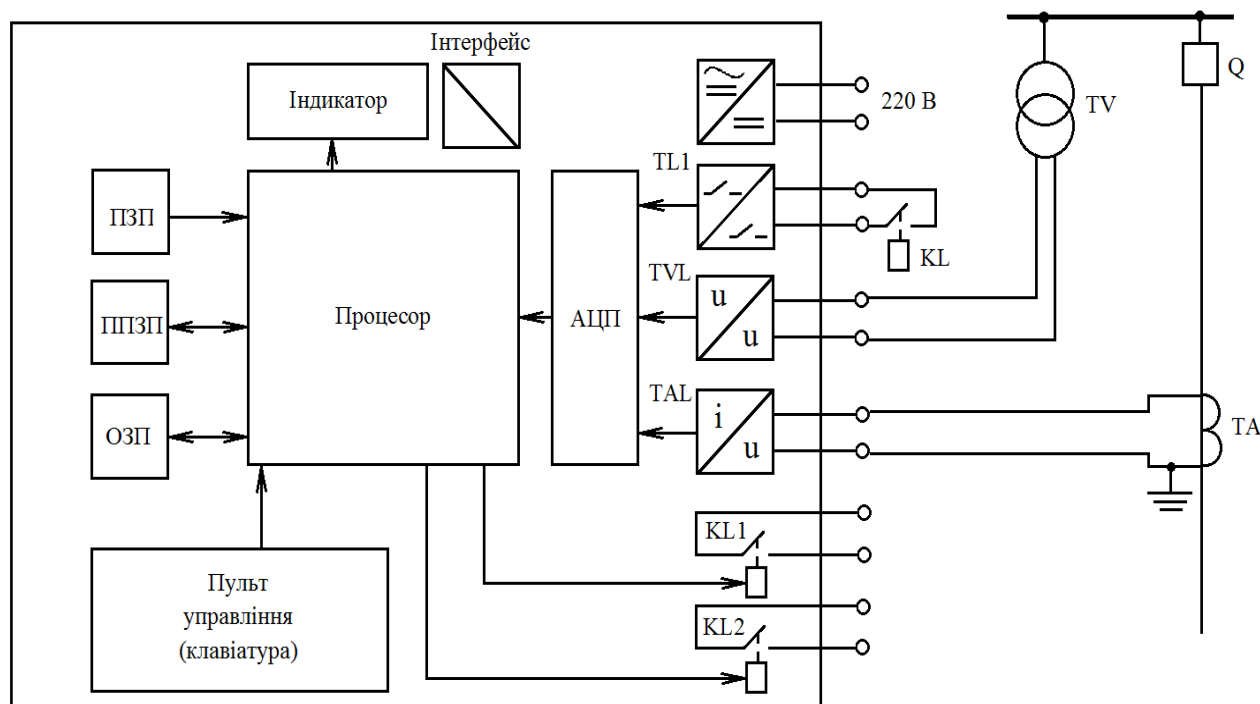


Рис. 1.24. Структурна схема релейного цифрового захисту:

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.

Вхідною інформацією є аналогові сигнали – струми, напруги, температура тощо та бінарні – положення комутаційних апаратів, стан вихідних реле інших пристроїв релейного захисту та автоматики.

Вихідними сигналами цифрових захистів є традиційно бінарні сигнали. Ці сигнали надходять після спрацювання цифрового захисту в колах керування та в колах сигналізації електроенергетичної системи.

Оскільки на кожній електричній підстанції присутня велика кількість приєднань, застосування таких мікропроцесорних засобів релейного захисту, які характеризуються високою вартістю і універсальністю (2000-5000 у.о.), є економічно затратним. Крім того, як показано в результаті проведеного аналізу, такі мікроконтролерні пристрої практично повторюють відомі алгоритми релейного захисту шляхом оцінки порогових значень фазних струмів. Тому практично не можуть бути застосовані в умовах перехідних процесів та збурень в електричних мережах, в яких порогові значення струмів не забезпечують надійне розпізнавання коротких замикань, накидів та запусків потужних електроприводів. Ці фактори обумовлюють актуальність та перспективність практичного застосування масово тиражованих досить простих мікроелектронних спецпроцесорних пристроїв релейного захисту на основі цифрового опрацювання сигналів фазних струмів та ідентифікації типів збурень, інваріантних до змін порогових значень фазних струмів, що є предметом дослідження автора дисертаційної роботи.

1.5 Перспективні напрямки вдосконалення спецпроцесорів контролю та ідентифікації збурень, постановка задачі досліджень

Успішне вирішення науково-технічної задачі удосконалення цифрових мікроелектронних засобів релейного захисту електрообладнання та технологічних об'єктів споживання електричної енергії може бути досягнуте шляхом ефективного застосування теоретичних засад статистичного та кореляційного розпізнавання образів [52].

Задача розпізнавання гармонічних сигналів та образів на основі оцінки Хеммінгової віддалі виникає під час виникнення збурень у високовольтних лініях електропересилань типу накидів, замикань на землю та запусків

потужних електроприладів. Розрахунок Хеммінгової віддалі між образами здійснюється згідно виразу:

$$H_{ij} = |X_i - X_j|,$$

де x_i, x_j – характеристики об'єктів різницево-модульного розпізнавання.

На практиці ефективним методом розпізнавання сигналів є визначення автокореляційної різницево-модульної згортки поточного сигналу та затриманого на певний інтервал часу запам'ятованого сигналу. При вирішенні задачі розпізнавання різних типів збурень у високовольтних мережах, з врахуванням їх періодичності, належать поточні значення (I_i) та затримані на півперіода промислової частоти запам'ятовані значення (I_{i-j}) фазних струмів у приєднаннях високовольтних підстанцій:

$$H_{ij} = |I_i - I_{i-j}|.$$

При цьому є актуальною розробка дискретних моделей досліджуваних класів збурень у високовольтних мережах, а також методів та відповідних алгоритмів опрацювання даних.

До таких методів, які запропоновані та досліджені у наукових працях автора, належать [44, 45]:

1) метод розпізнавання перехідних процесів в енергетичних системах на основі процесора з нейрокомпонентами квадратично-імпульсного перетворення гармонічних сигналів;

2) метод рандомізації та кореляційної оцінки збурень у високовольтних електромережах;

3) метод інтегрального та диференціально-різницевого алгоритму розпізнавання накидів та коротких замикань у високовольтних ЛЕП.

Предметом досліджень актуальної теми розробки методів та спецпроцесорів розпізнавання накидів та коротких замикань у високовольтних електромережах є дослідження згідно наступної постановки задач.

Таким чином, проведений аналіз теоретичних засад та методів розпізнавання накидів та коротких замикань у високовольтних електромережах та результати досліджень збурень типу накиду та коротких замикань, які виникають у досліджених архітектурах високовольтних ліній

електропередач, дозволяє виконати постановку наступних науково-технічних задач, що вирішуються у дисертаційній роботі:

1. Дослідити принципи, теоретичні основи та методи розпізнавання накидів та коротких замикань у високовольтних електромережах та провести аналіз досвіду розробки проблемно-орієнтованих універсальних та спеціалізованих спецпроцесорів.

2. Дослідити характеристики перехідних процесів при виникненні збурень у високовольтних електромережах.

3. Дослідити методи розпізнавання спотворень гармонічних сигналів на основі рандомізації та кореляційного нейропроцесорного опрацювання сигналів.

4. Розробити дискретну модель накиду формування різниць поточних та запам'ятованих значень гармонічного сигналу при виникненні накиду в електромережі.

5. Розробити дискретні моделі коротких замикань в електромережах із експоненціальним спадом струму без спотворення та з спотворенням гармонічного сигналу.

6. Розробити принципи та спецпроцесори розпізнавання накидів та коротких замикань на основі інтегрально-квадратично-різницевого розпізнавання гармонічних сигналів.

7. Розробити принципові схемо-технічні рішення компонентів пристрою релейного захисту високовольтних ліній електропередач та удосконалити їх характеристики.

8. Провести лабораторні випробування компонентів пристрою релейного захисту.

9. Реалізувати у мікроелектронному виконанні на ПЛІС компоненти структури ПРЗ.6-10.

ВИСНОВКИ ДО ПЕРШОГО РОЗДІЛУ

1. Виконаний аналіз архітектур та характеристик промислових типів високовольтних електромереж, що дозволило обґрунтувати актуальність розробки та впровадження ефективних методів розпізнавання та діагностування накидів та коротких замикань у приєднаннях електричних підстанцій.

2. Досліджені особливості топологій електромереж підприємств та електропостачання технологічних установок нафтогазовидобувної промисловості, які оснащені потужними електроприводами і характеризуються високим ступенем пожежної, екологічної небезпеки. Встановлено, що найбільш складні задачі релейного захисту потребують ефективного вирішення у розподілених електромережах 6-10 кВ видобування нафти глибинними установками верстатів-гойдалок.

3. Досліджені та систематизовані інформаційні характеристики існуючих комп'ютеризованих систем моніторингу режимних параметрів та станів обладнання високовольтних електромереж, в яких застосовуються електромеханічні та мікропроцесорні пристрої релейного захисту. Класифіковані переваги, недоліки та функціональні обмеження існуючих систем.

4. Проведений аналіз характеристик відомих пристроїв та спецпроцесорів захисту обладнання високовольтних ЛЕП від накидів та коротких замикань. Встановлено, що відомі засоби характеризуються надлишковою універсальністю, високою апаратною складністю та вартістю, що обмежує їх масове застосування на електричних підстанціях з великою кількістю приєднань. В результаті обґрунтована доцільність розробки та широкомаштабного впровадження удосконалених мікроелектронних спецпроцесорних засобів релейного захисту на основі алгоритмів цифрового опрацювання гармонічних сигналів промислової частоти при виникненні збурень у високовольтних електромережах.

5. Обґрунтовані перспективні методи цифрового опрацювання сигналів та ідентифікації збурень у високовольтних електромережах типу накидів та коротких замикань на основі теорії розпізнавання образів. Виконана постановка завдань досліджень.

РОЗДІЛ 2

ДОСЛІДЖЕННЯ ЗБУРЕНЬ У ПРОМИСЛОВИХ ВИСОКОВОЛЬТНИХ
ЕЛЕКТРОМЕРЕЖАХ 6-35 кВ**2.1 Дослідження спотворень сигналів при виникненні накидів у
високовольтних ЛЕП 6-35кВ**

Важливою задачею розпізнавання гармонічних сигналів є ідентифікація їх спотворень у високовольтних енергетичних системах при виникненні накидів та коротких замикань, що приводить до зміни їх кореляційних та спектральних характеристик.

Зміни амплітудних характеристик струму та напруги у високовольтних лініях електропередач типу накидів виникають при комутації режимів роботи енергосистем (рис.2.1) [47].

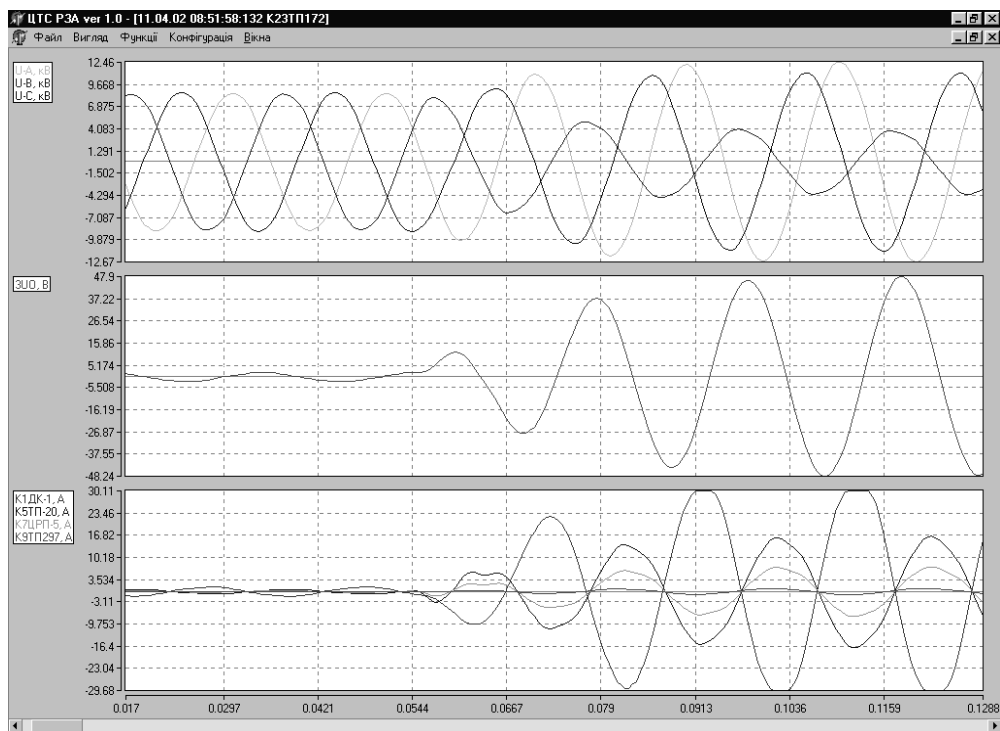


Рис. 2.1. Графіки координат фазових напруг, напруг в нейтралі і струмів при комутації режимів роботи енергосистем.

З рис. 2.1 видно, що при комутації режимів роботи енергосистем можуть виникати зростання струмів в кілька разів. Особливо це спостерігається при різкому підвищенні напруг в нейтралі.

Експериментальні цифрограми накиду в електричних мережах при успішному запуску потужних електродвигунів показано на рис. 2.2-2.6 [2, 47].

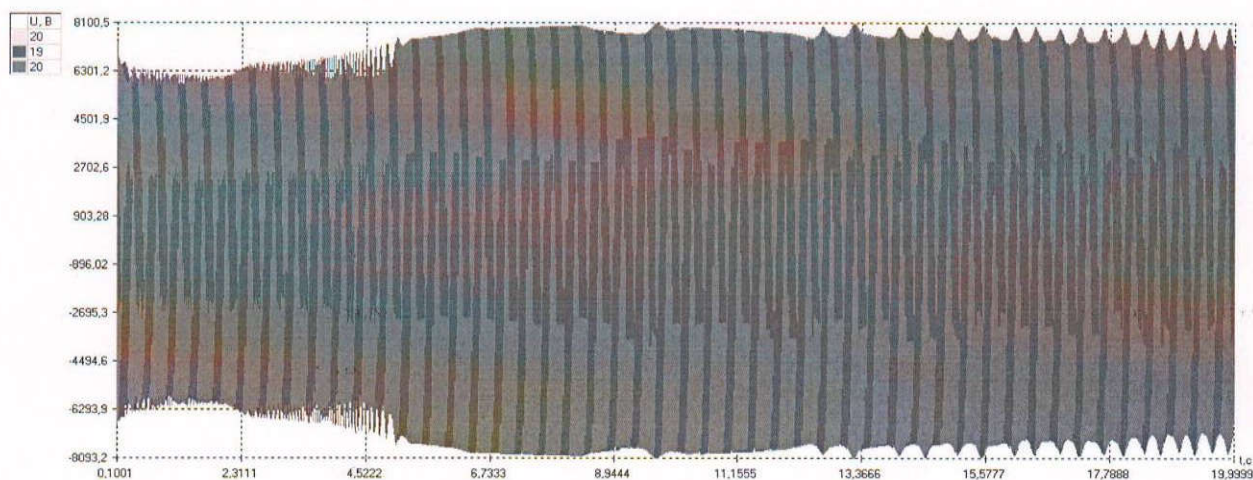


Рис.2.2. Експериментальна цифрограма накиду.

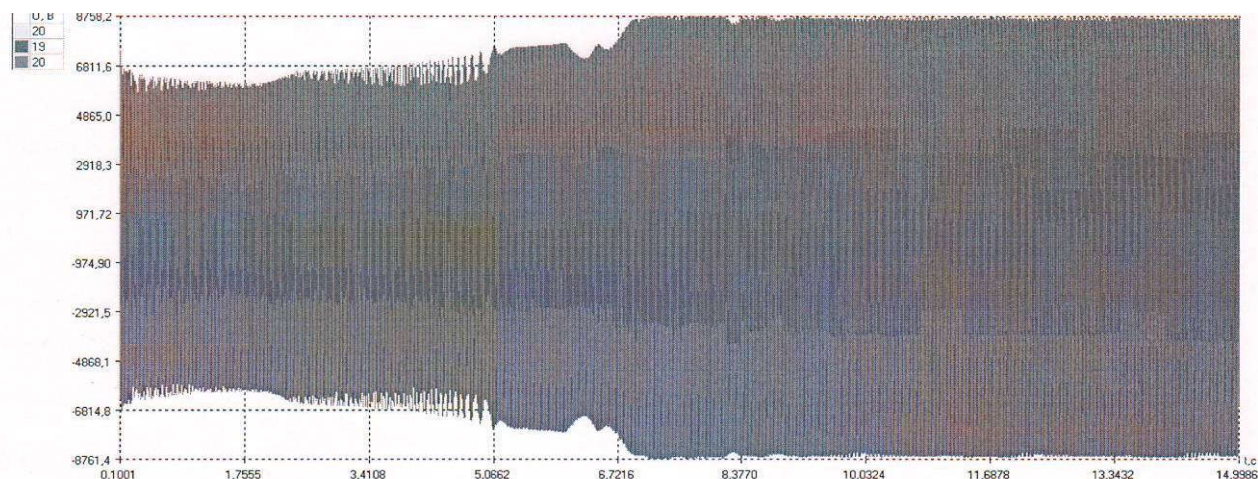


Рис.2.3. Експериментальна цифрограма накиду.

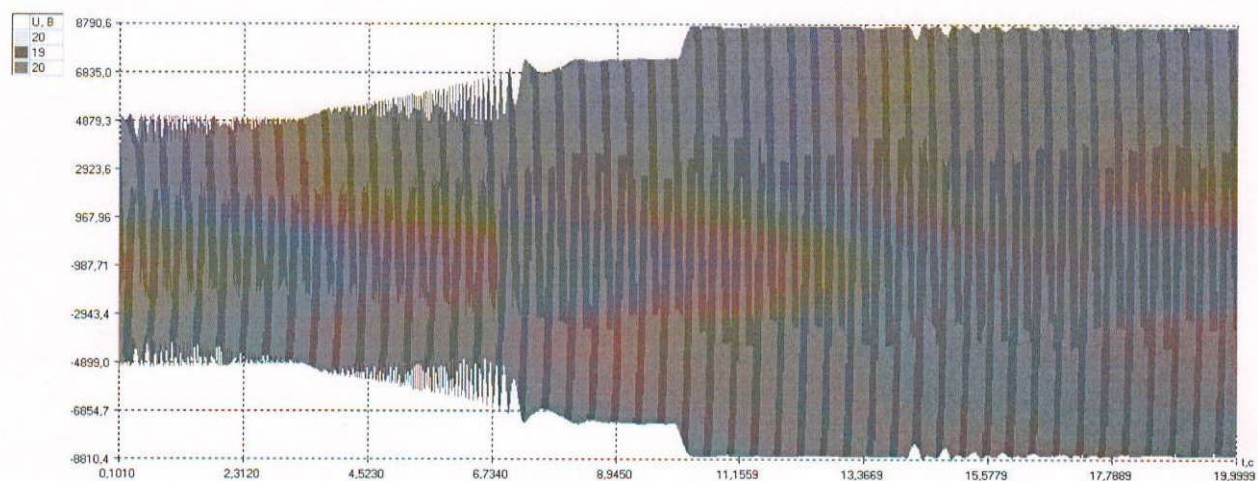


Рис.2.4. Експериментальна цифрограма накиду.

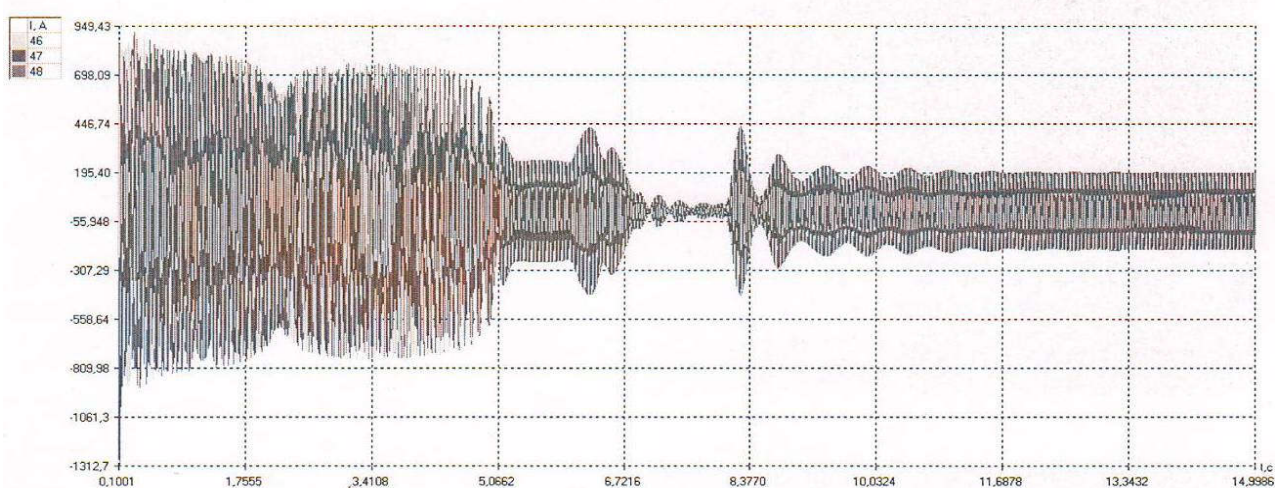


Рис.2.5. Експериментальна цифрограма накиду.

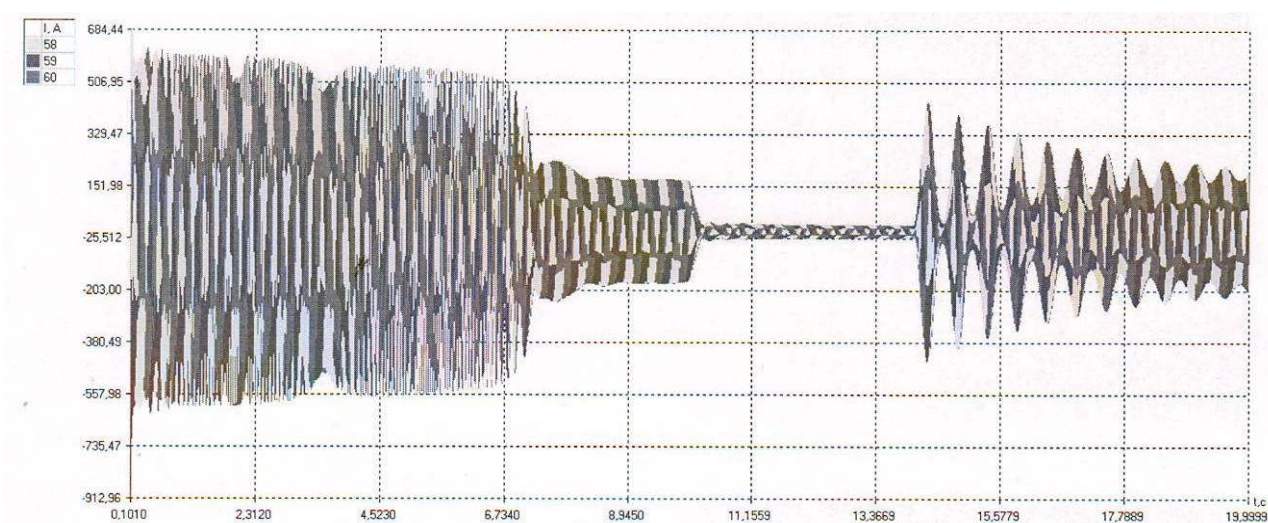


Рис.2.6. Експериментальна цифрограма накиду.

З рис. 2.1-2.6 видно, що характеристики наростання струмів у процесі запуску потужних електродвигунів не спостерігається від'ємна експоненціальна складова, характерна для коротких замикань.

Аналіз експериментальних цифрограм, зареєстрованих системою «Альтра» при виникненні накидів у високовольтних електромережах, дозволяє встановити наступні характеристики такого класу збурень:

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 в 1-2 рази 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 $A_1 = const$; $A_2 = const$; $A_1 \gg A_2$.

На основі проведених досліджень побудована ідентифікаційна модель зміни амплітуди фазного струму без спотворень при виникненні накиду та його завершення, яка показана на рисунку 2.7 [38, 39].

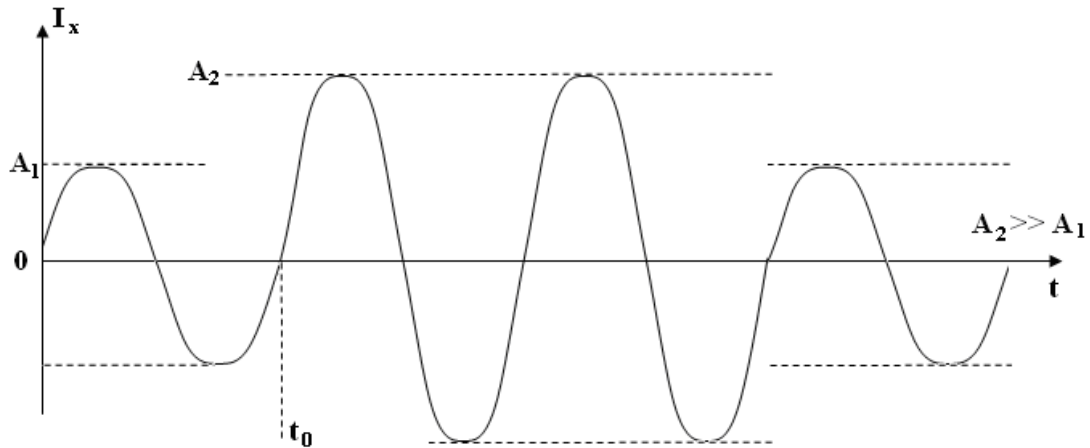


Рис.2.7 Модель накиду струму при включенні у момент t_0 потужного споживача:

A_1 – амплітуди фазних струмів до накиду і після його завершення, A_2 – амплітуда фазного струму при виникненні накиду, t_0 – момент виникнення накиду.

Отримана двохполярна модель збурення у високовольтній електромережі типу накиду покладена в основу побудови дискретної однополярної моделі накиду в якості базової при розробці методів цифрового розпізнавання такого класу збурень та розробці відповідних алгоритмів опрацювання сигналів промислової частоти 50 Гц.

2.2 Дослідження характеристик збурень та перехідних процесів у високовольтних ЛЕП при виникненні коротких замикань

При виникненні міжфазних замикань у високовольтних лініях електропередач виникають стрибки струмів, які не характеризуються значними спотвореннями гармонічних сигналів. При цьому розпізнавання такого типу коротких замикань може бути принципово здійснене на інтервалі

1,5-2 періодів промислової частоти та зображено на рис. 2.8, при трифазному замиканні [43, 51].

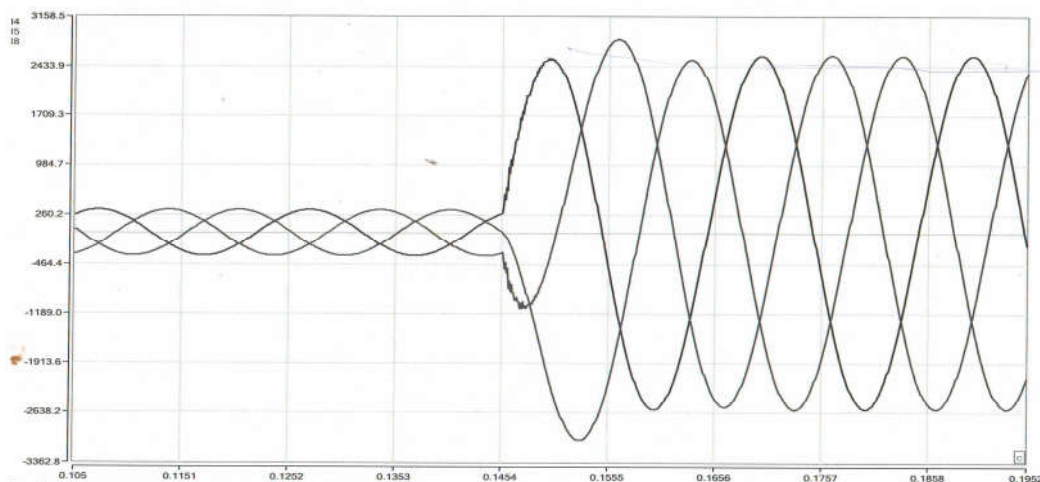


Рис.2.8. Реєстрація трифазного замикання у високовольтній мережі.

На рис. 2.9 показано замикання між фазами А і В в момент часу 0,175 с.

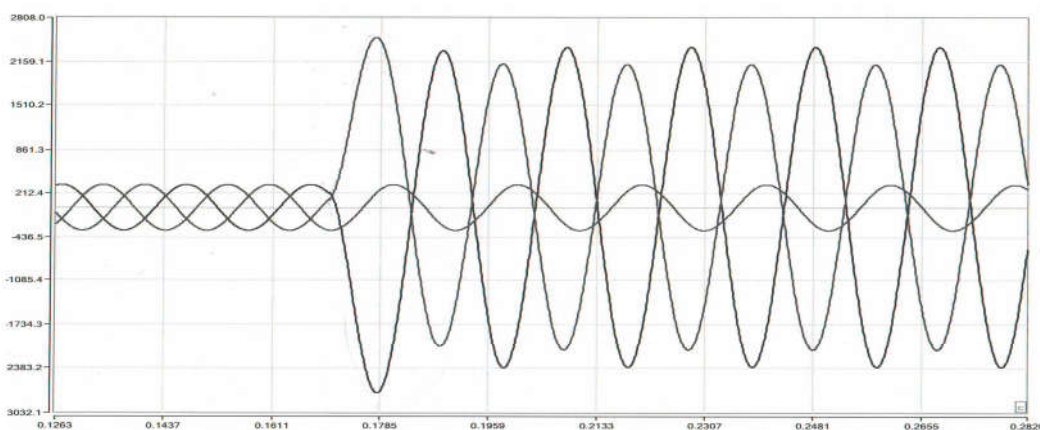
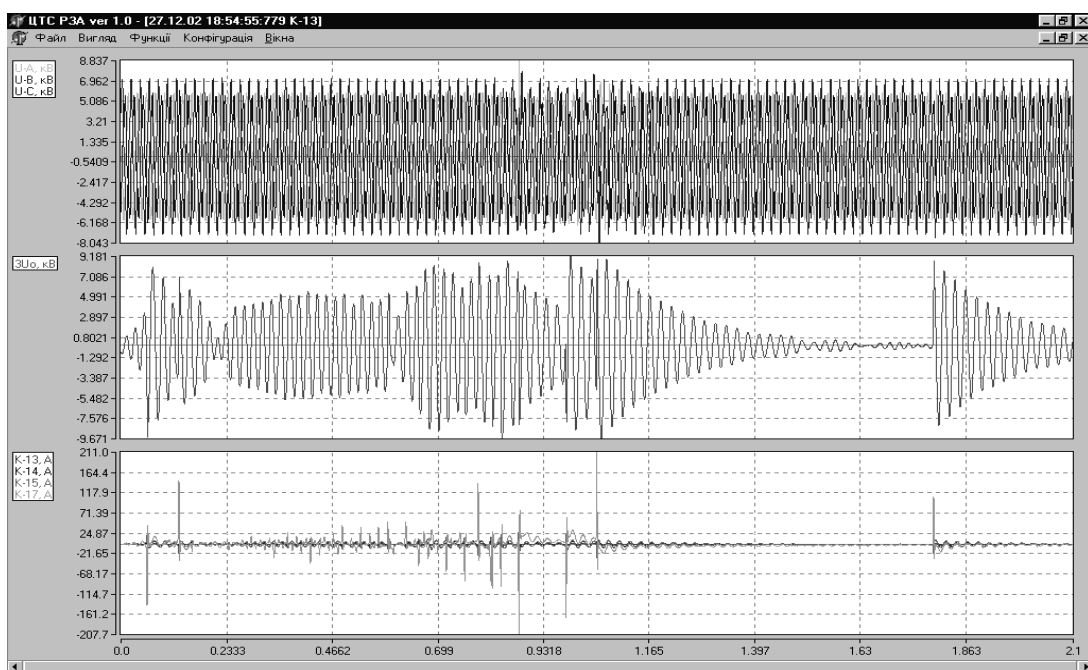


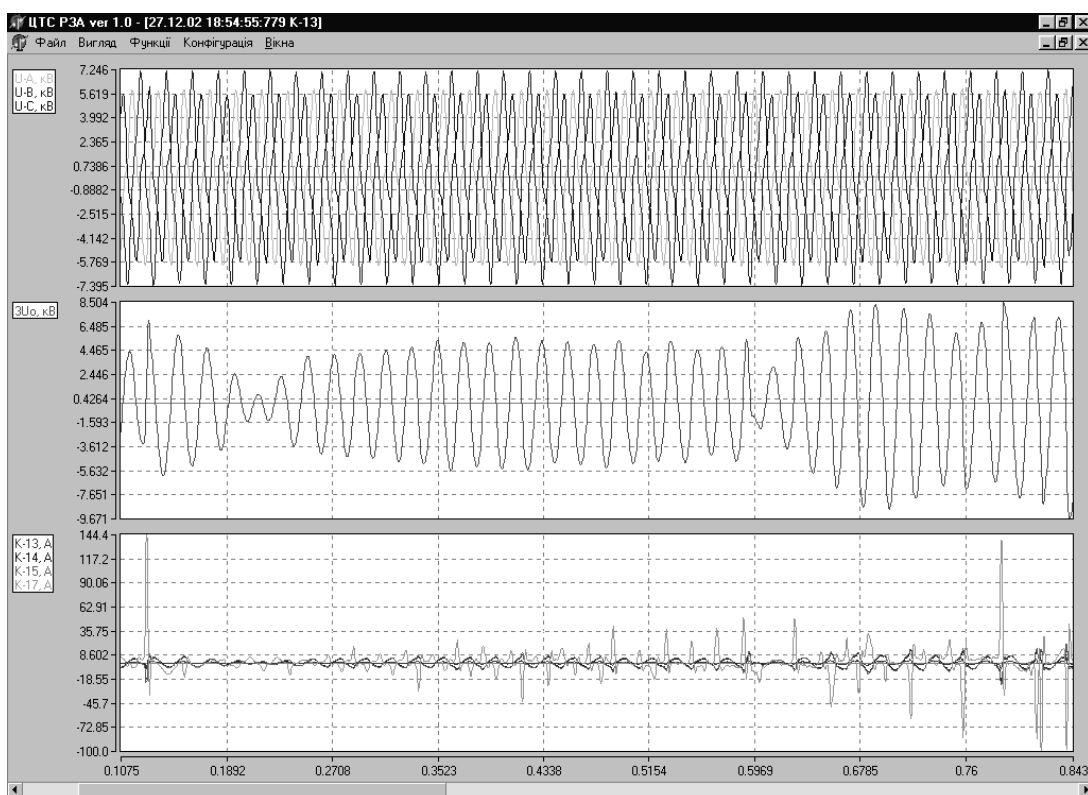
Рис.2.9 Замикання між фазами А і В.

Замикання на землю в розподілених мережах 6 – 35 кВ з промисловою частотою 50 Гц складають приблизно 75% від загальної кількості пошкоджень. В мережах з ізольованою нейтраллю замикання однієї фази на землю не є аварією [43]. Проте із збільшенням протяжності електричної мережі збільшується їх ємність, при цьому зростають струми на землю. Струм в місцях пошкоджень виділяє багато тепла, руйнуючи при цьому струмопровідне обладнання та ізоляцію. Як показує досвід, однофазне замикання через невеликий проміжок часу, а деколи й миттєво, переходить в двохфазне чи трьохфазне замикання, і, як наслідок, порушується електропостачання.

На рис. 2.10 зареєстровані графіки напруг та струмів при багатократному пробіі ізоляції на фазі С, відповідно а) – загальний вигляд, б) – збільшений вигляд окремої ділянки) [47].



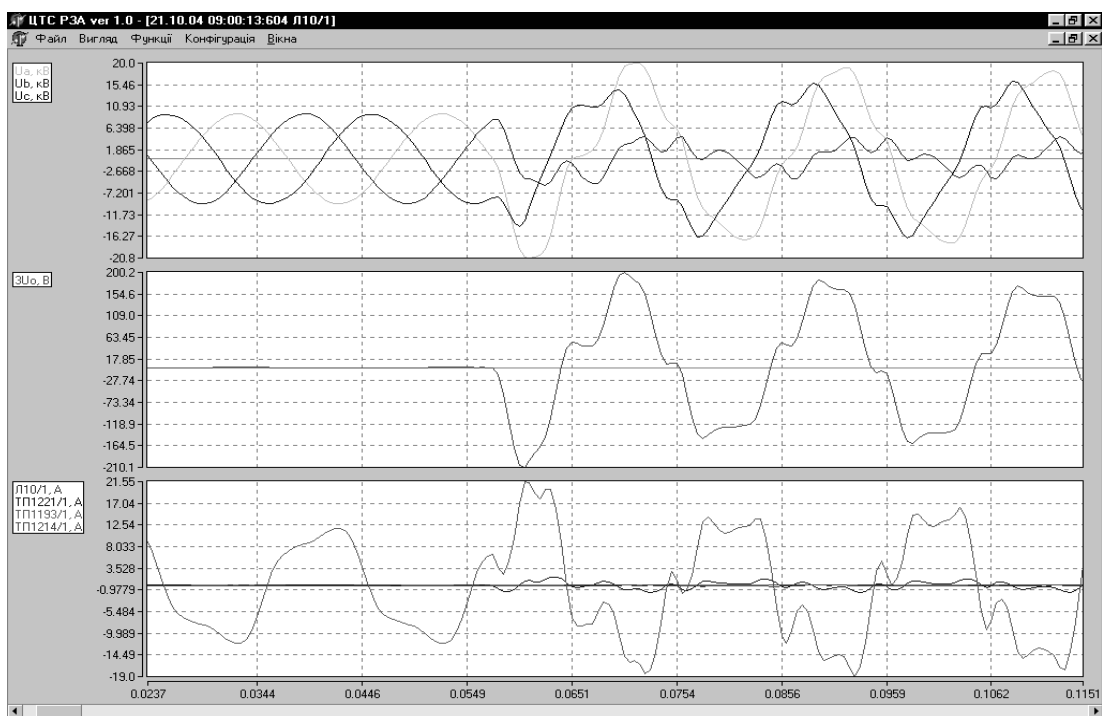
а)



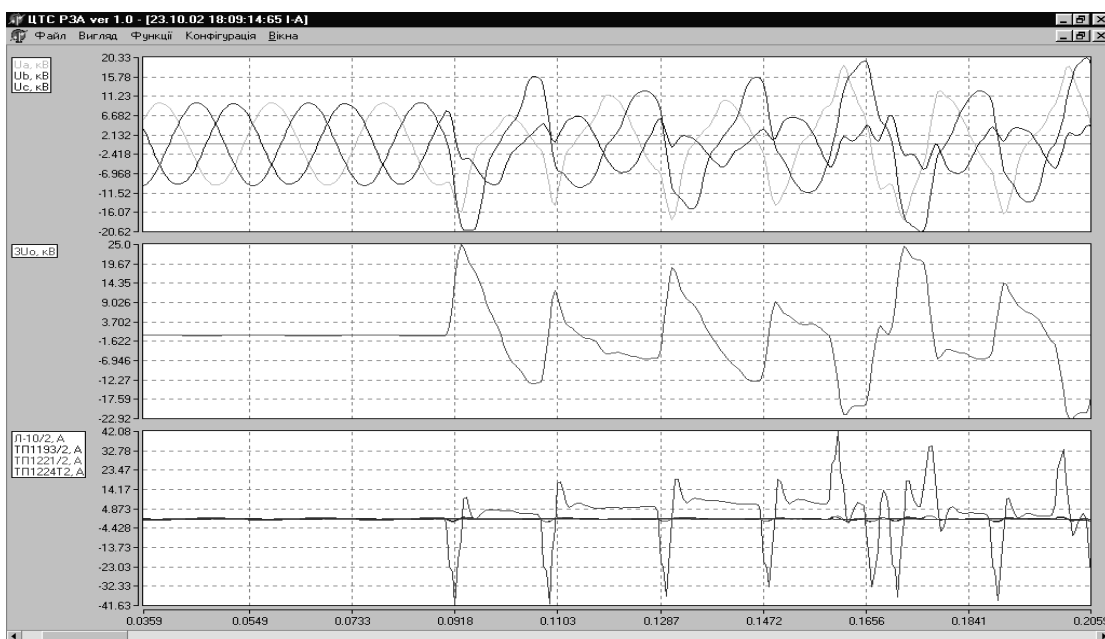
б)

Рис. 2.10. Графіки координат фазових напруг, напруг в нейтралі і струмів при багатократному пробіі ізоляції:
а) – на цілому інтервалі спостереження; б) – на інтервалі [0,1075; 0,843].

На рис. 2.11 показані графіки спотворення фазних напруг і струмів при виникненні одно- та двополярної дуги [47].



а)



б)

Рис. 2.11. Графіки координат фазових напруг, напруг в нейтралі і струмів при замиканні через однополярну несиметричну дугу (а) та переході у двополярну дугу (б).

На рис. 2.12-2.15 показані графіки змін фазових напруг і струмів при замиканні на землю.

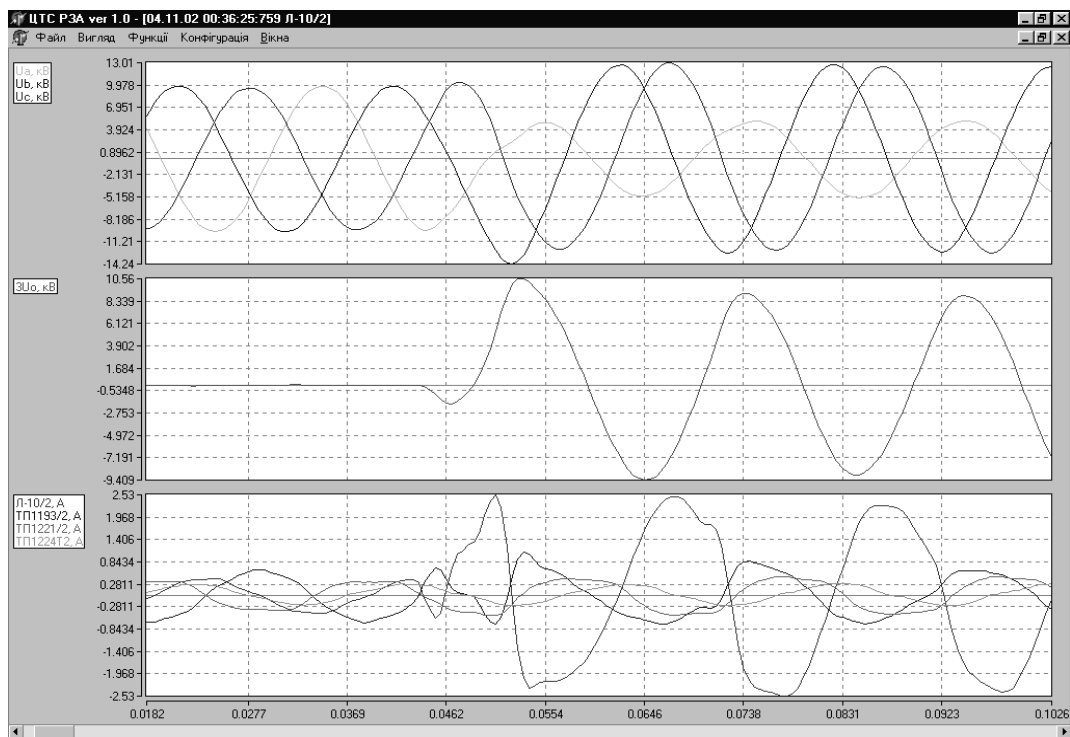


Рис. 2.12. Графіки координат фазових напруг, напруг в нейтралі і струмів при однофазному замиканні на землю в мережі з ізольованою нейтраллю.

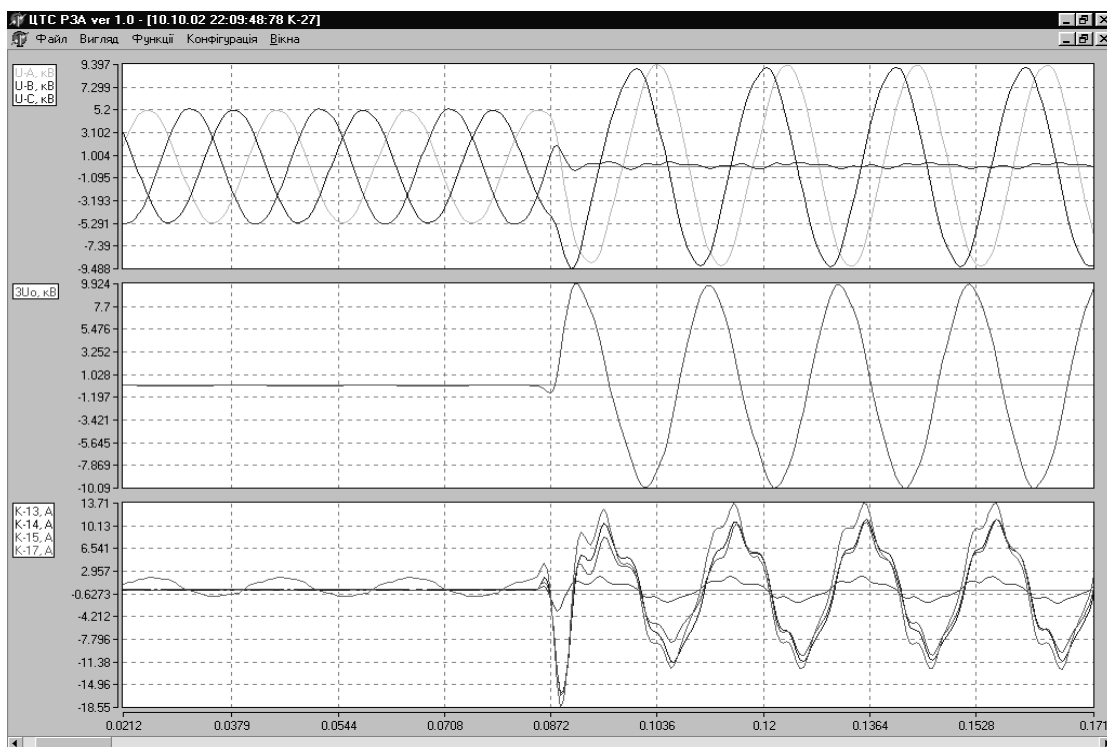


Рис. 2.13. Графіки координат фазових напруг, напруг в нейтралі і струмів при однофазному замиканні на землю в компенсованій нейтралі.

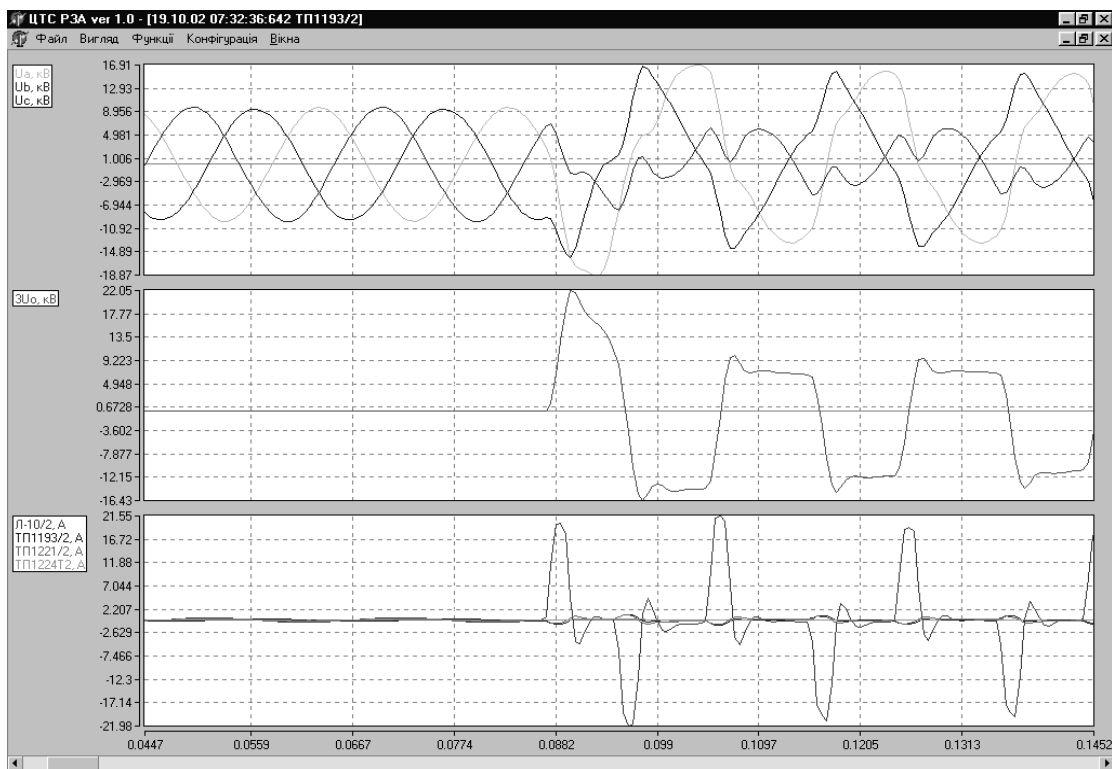


Рис. 2.14. Графіки координат фазових напруг, напруг в нейтралі і струмів при переході з нормального режиму роботи до аварійного пробую у фазі В.

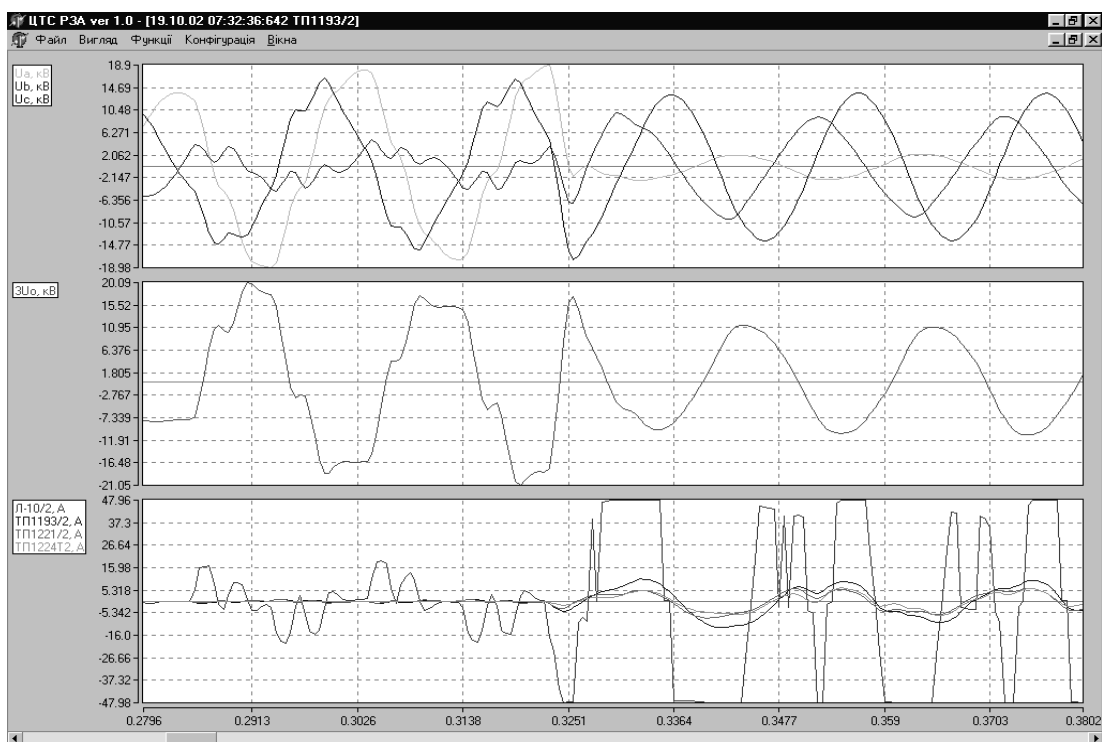


Рис. 2.15. Графіки координат фазових напруг, напруг в нейтралі і струмів при двофазному замиканні 2-х фаз.

Дослідження перехідних процесів струмів і напруг показує, що часто один тип аварії розвивається і переходить в інший. Наприклад, на (рис.2.11(а),(б)) показано графіки струмів і напруг аварійної ситуації, яка почалась з двохполярної дуги на відносному інтервалі часу $[0,1; 0,3]$. Потім на $[0,3; 0,92]$ мс розвиток аварії в однополярну несиметричну дугу і на інтервалі $[0,92...]$ – перехід у двохполярну симетричну дугу. Як видно з наведених графіків, кожен вид аварійних ситуацій має характерний тип перехідних процесів. Проте на сьогоднішній день не існує методів і засобів для автоматизованого визначення типу аварії і, тим більше, місця пошкодження чи пошкодженого обладнання.

У результаті проведених експериментальних досліджень зареєстрованих цифrogram, які показані на рис. 2.10 – 2.15 зміни фазних напруг та струмів при виникненні різних типів коротких замикань відбувається значне спотворення гармонічних сигналів, а амплітуди різких стрибків струмів експоненціально зменшуються в процесі розвитку короткого замикання.

Результати проведених досліджень складають основу для побудови дискретних моделей зміни фазних струмів у моменти виникнення коротких замикань зі значними спотвореннями та наявністю експоненціальної складової.

2.3 Розробка дискретних моделей формування різниць поточних та запам'ятовуваних значень гармонічного сигналу при виникненні накиду та короткого замикання в електромережі

В роботах [46, 47, 51] автором запропонована двополярна модель накиду з врахуванням дискретизації по амплітуді гармонічного сигналу при $\Delta t = const$, $\delta = const$, яка показана на рис 2.16.

Формування та опрацювання цифрових відліків таких дискретизованих сигналів потребує застосування двохполярних АЦП та реалізації алгоритмів цифрових обчислень з наявністю знакових операцій над додатніми і

від'ємними числами, що значно ускладнює реалізацію відповідних спецпроцесорів цифрового опрацювання даних та ідентифікації типів збурень.

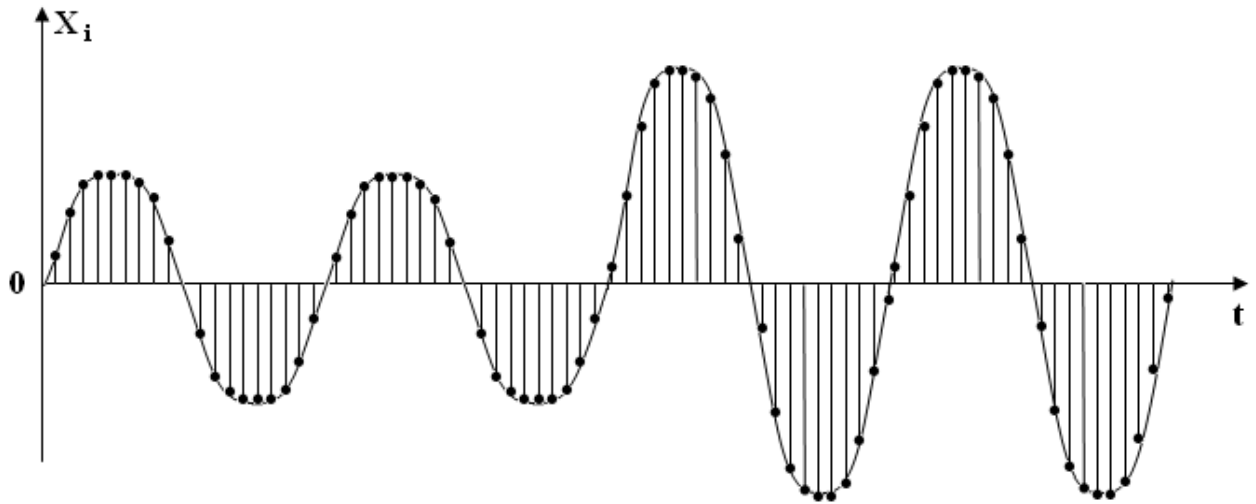


Рис.2.16. Модель накиду з врахуванням дискретизації по амплітуді гармонічного сигналу.

У результаті на виході АЦП на інтервалі одного періоду гармонічного сигналу отримаємо потік цифрових центрованих відліків $(\dot{x}_1, \dot{x}_2, \dots, \dot{x}_i, \dots, \dot{x}_n)$, де

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

Застосування даної моделі для визначення Хеммінгової віддалі характеризується низькою швидкістю, оскільки визначення модульних різниць між фазними сигналами може відбуватися на інтервалі двох періодів промислової частоти.

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 $|\dot{x}|$ (рис.2.17) [5, 7, 9, 11, 12, 16].

Тому у роботі [43] автором запропонована модульна характеристика дискретної моделі накиду гармонічного сигналу, яка представлена на рис. 2.17.

Дана модель побудована на основі ідентифікаційної моделі накиду у високовольтних електромережах (див рис. 2.7) шляхом дискретизації та

квантування аналогових сигналів промислової частоти з постійним кроком дискретизації та квантування.

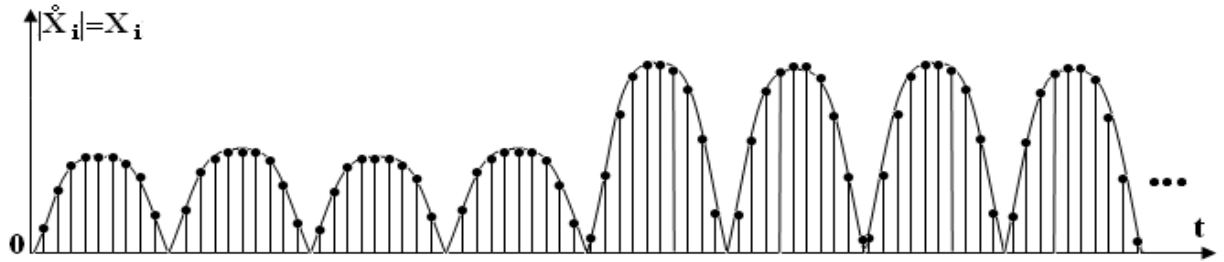


Рис.2.17. Модульна характеристика моделі накиду гармонічного сигналу.

Для побудови даної моделі застосовуються представлення фазних струмів у вигляді фазних значень, які поступають на входи АЦП. На основі побудованої моделі накиду гармонічного сигналу розроблена модель формування різниць поточних та запам'ятованих значень гармонічного сигналу, яка представлена на рис. 2.18.

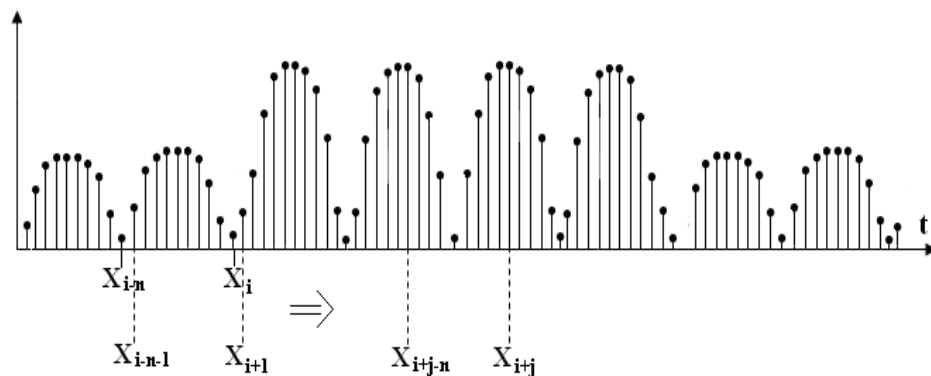


Рисунок 2.18. Модель формування різниць поточних та запам'ятованих значень гармонічного сигналу

Отримана модель є основою розробки запропонованого методу диференціально-різницевого розпізнавання збурень у високовольтних електромережах шляхом опрацювання дискретизованих гармонічних сигналів промислової частоти.

Згідно отриманих дискретизованих і квантованих моделей накиду (див рис. 2.16-2.18) розроблений метод диференціально-різницевого розпізнавання дискретизованих гармонічних сигналів промислової частоти.

Таким чином, на основі аналізу побудованих моделей встановлено, що характерними ознаками накиду є:

- 1) незмінність якісних характеристик гармонічного сигналу;
- 2) стрибок струму у будь-який момент;
- 3) амплітуди струмів є постійними, до накиду чи спаду навантаження.

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.

Алгоритм опрацювання даних такої моделі виконується з кроком $\Delta t = \pi/2$, тобто у ковзному режимі через напівперіода 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 з 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 моменти, зміщені на $\pi/2$.

Як результат виконання такої операції у ковзному режимі з кроком Δt отримаємо:

$$Z_i = |x_i - x_{i-n}|, \quad (2.1)$$

де модульна операція враховує симетрію зміни амплітуд струмів у напрямі зростання – при нахиді та спадання – при спаді навантаження в електромережі.

Графік зміни Z_i в часі при нахиді показаний на рис.2.19.

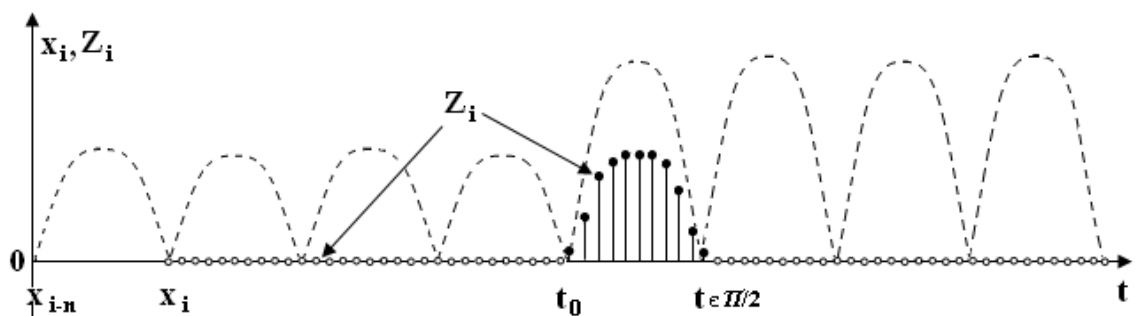


Рис.2.19. Модель розпізнавання та ідентифікації "накиду" навантаження в електромережі.

Оцінка Хеммінгової віддалі між фазними сигналами може здійснюватися на інтервалі одного періоду промислової частоти, тобто у два рази швидше у порівнянні з моделлю, представленою на рис. 2.16.

Тому у роботах [46, 47, 51] запропонована модульна характеристика цифрової моделі накиду гармонічного сигналу, яка представлена на рис. 2.17 і визначається згідно рівняння:

$$|x_i| = \check{E} \left[\frac{|\sin \omega t|}{\delta} \right],$$

де x_i – цифровий відлік модульної дискретної моделі збурення типу накиду;

$\check{E}[\bullet]$ - цілочисельна функція з округленням до меншого цілого;

$|\sin \omega t|$ - аналоговий сигнал фазного струму промислової частоти;

δ – крок квантування по амплітуді.

В керувально-діагностичній системі «Альтра» застосовується дельта-сігма АЦП з діапазоном квантування амплітуд 12-24 біт і кроком дискретизації 1,2 мс, що забезпечує 60 цифрових відліків на один період промислової частоти.

Дана модель є базовою для реалізації алгоритмів різних методів розпізнавання типів збурень у високовольтних мережах, які досліджені у третьому розділі дисертаційної роботи.

Важливою характеристикою розробленої моделі є оцінка об'єму цифрових даних на інтервалі одного періода сканування та реєстрації аналогового сигналу фазного струму промислової частоти. Така оцінка здійснюється згідно інформаційної міри ентропії за виразом К. Шеннона [52]:

$$I_x = - \sum_{i=1}^m P_i \cdot \log_2 P_i,$$

де m – діапазон квантування цифрових відліків x_i ;

P_i – ймовірність формування цифрового відліку.

На інтервалі періода промислової частоти здійснюється реєстрація n цифрових відліків x_i , які відповідають миттєвим значенням амплітуд фазних струмів у приєднанні підстанції високовольтної електромережі. Оскільки АЦП

кодує всі цифрові відліки з однаковою розрядністю (K) і не враховує ймовірнісні характеристики вимірних значень струму, то розрахунок об'єму цифрових даних здійснюємо згідно інформаційної міри ентропії Р. Хартлі за виразом [61]:

$$I_x = n \cdot \hat{E}[\log_2 2^K],$$

де $\hat{E}[\bullet]$ - цілочисельна функція з округленням до більшого цілого.

Тобто при $n = 60$ і $K = 8-12$ отримуємо $I_x = 60 \cdot (8-12) = 480-720$ біт, що визначає необхідний об'єм регістрової пам'яті цифрового спецпроцесора розпізнавання збурення. При цифровому опрацюванні збурень на інтервалі двох періодів промислової частоти об'єм регістрової пам'яті спецпроцесора буде відповідно становити 960-1440 біт. Тобто не перевищує 2 Кбіт.

Розглянемо задачу розпізнавання та ідентифікації короткого замикання в електромережі.

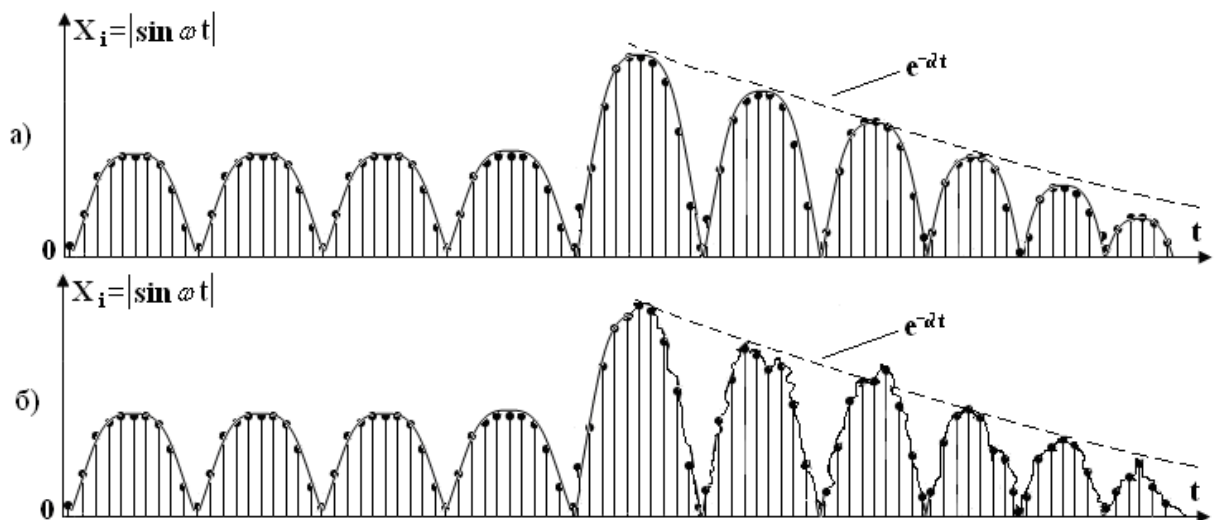


Рис.2.20. Дискретні моделі коротких замикань в електромережах з експоненціальним спадом струму (а) та одночасним спотворенням гармонічного сигналу (б).

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 згасання або спотворення форми гармонічного сигналу на

кількох періодах синусоїди струму на інтервалі часу $t > t_0$. У цьому випадку дискретна модель короткого замикання має вигляд, показаний на рис. 2.20.

При виникненні такого роду збурення в електромережах у результаті різницево-імпульсного опрацювання гармонічних сигналів в околі часу t_0 отримаємо графік, що показаний на рис. 2.21 (модель рис. 2.20 (а)).

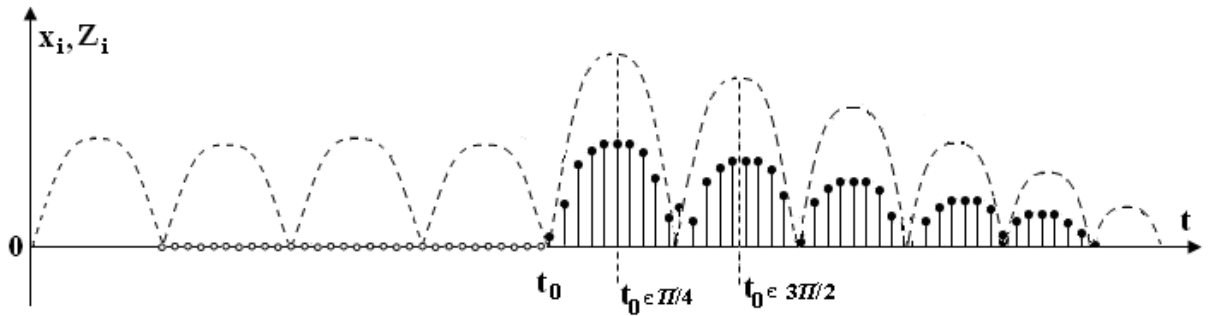


Рис. 2.21. Дискретна модель розпізнавання та ідентифікації короткого замикання в електромережах без спотворення гармонічного сигналу.

Таким чином, на основі запропонованого модульно-різницевого методу факт виникнення збурення в електромережі буде зареєстрований на інтервалі часу $t_0 + \pi/2$ або навіть на інтервалі $t_0 + \pi/4$.

Узагальнена дискретна модульна модель при виникненні збурень типу накиду та короткого замикання згідно виразу (2.1) різницево-модульного опрацювання даних показана на рис. 2.22.

На інтервалі часу t_0 відсутні ознаки збурення, при чому амплітуда випрямленого фазного струму має значення A_1 , а різницево-модульна характеристика між поточними значеннями та зсунутими на півперіода значеннями фазних струмів до моменту часу t_0 рівна нулю. Після виникнення накиду значення фазного струму зростає до значення A_2 , а різницево-модульна функція на інтервалі півперіода промислової частоти представлена оцифрованою решітчастою функцією (див. рис. 2.22 (а)).

При виникненні короткого замикання у момент часу t_0 спостерігається експоненціальне зменшення амплітуд фазних струмів на інтервалі кількох періодів промислової частоти. У результаті після моменту часу t_0 формується решітчаста функція оцифрованих модульних різниць між поточними та затриманими на півперіода промислової частоти значення фазних струмів.

Отримана модель показує якісну відмінність між решітчастими функціями оцифрованих значень фазних струмів у моменти виникнення накидів та коротких замикань у високовольтних електромережах.

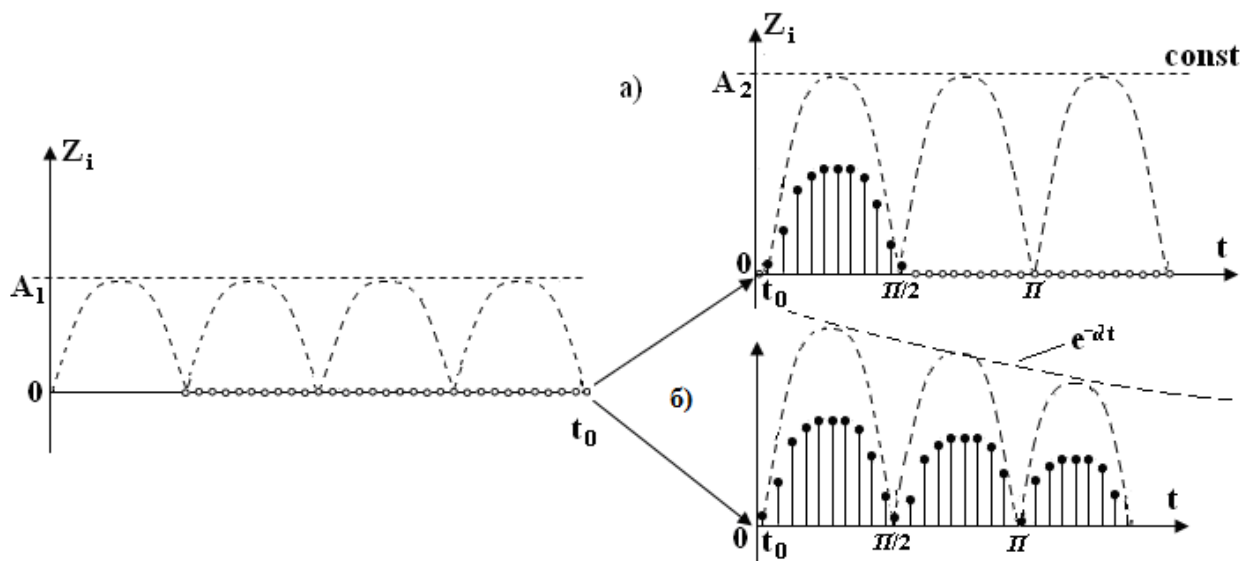


Рис. 2.22. Узагальнена дискретна модель розпізнавання збурень в електромережах типу накиду та короткого замикання.

A_1, A_2 – амплітуди струмів до збурення і після моменту t_0 $Z_i = |x_i - x_{i-n}|$, e^{-dt} – експонента затухання величини струму при короткому замиканні.

На основі отриманої моделі розроблений алгоритм та програмне забезпечення захисту ліній електропередач номінальною напругою 6-35 кВ на основі теорії розпізнавання сигналів.

2.4 Розробка алгоритму та програмного забезпечення захисту ліній електропередач номінальною напругою 6-35 кВ на основі теорії розпізнавання сигналів

Алгоритм розпізнавання сигналів промислової частоти енергосистем методом інтегрального диференціально-різницевого розпізнавання та ідентифікації збурень та накидів у високовольтних електромережах будується на основі теорії алгоритмів, проблемно орієнтованих до систем реального часу [2, 3-5]. На рисунку 1.23 показано структуру алгоритму розпізнавання досліджуваних спотворень гармонічних сигналів [46].



Рис.2.23. Алгоритм розпізнавання спотворень гармонічних сигналів.

Розроблена програма на алгоритмічній мові C++ реалізує алгоритм розпізнавання накидів та коротких замикань у високовольтних електромережах.

Суть алгоритму полягає у розрахунку різниць між значеннями струмів до збурення і після збурення в лінії електропередач.

У програмі розраховуються три показники:

- Z_i – різниця між поточним і затриманим на півперіода значенням фазного струму;
- сума оцифрованих значень Z_i на інтервалі 1,5 періода;
- P – порогова функція, яка ідентифікує накид або коротке замикання.

Вимоги до встановленого програмного забезпечення: Microsoft Excel 2010/2013, Microsoft .NET 4.5.

Програма складається з трьох вкладок:

- 1) Вхідні дані.
- 2) Вихідні дані 1.
- 3) Вихідні дані 2.

Вхідні дані є наступними:

- 1) список функцій та їх кількість $\pi/2$ періодів;
- 2) число точок розбиття кожного з $\pi/2$ періодів;
- 3) коефіцієнт масштабування точок функції.

Вихідні дані:

- 1) розраховані точки Δ (вкладка Вихідні дані 1);
- 2) розраховані точки P (вкладка Вихідні дані 1);
- 3) розраховані точки кожної з функцій для кожної точки її розбиття з врахуванням коефіцієнта масштабування (вкладка Вихідні дані 2);
- 4) графіки у Microsoft Excel на основі розрахованих значень.

Інструкція користувача:

- 1) на вкладці 1 ввести формули функцій та кількість $\pi/2$ періодів, допустимі шаблони для функції наступні: $\sin(x)$, $\cos(x)$, $\exp(\{\pm\text{число}\} * x)$, $*$, $/$
- 2) ввести число точок розбиття $\pi/2$ періоду (допустимі значення 1-1024)
- 3) ввести коефіцієнт масштабування функції (допустимі значення 1-1024)
- 4) натиснути кнопку «Розрахувати і показати графік»

Для спрощення роботи підготовлені дві кнопки (рис.2.24):

- приклад для розрахунку накиду – кнопка Тест Накиду.

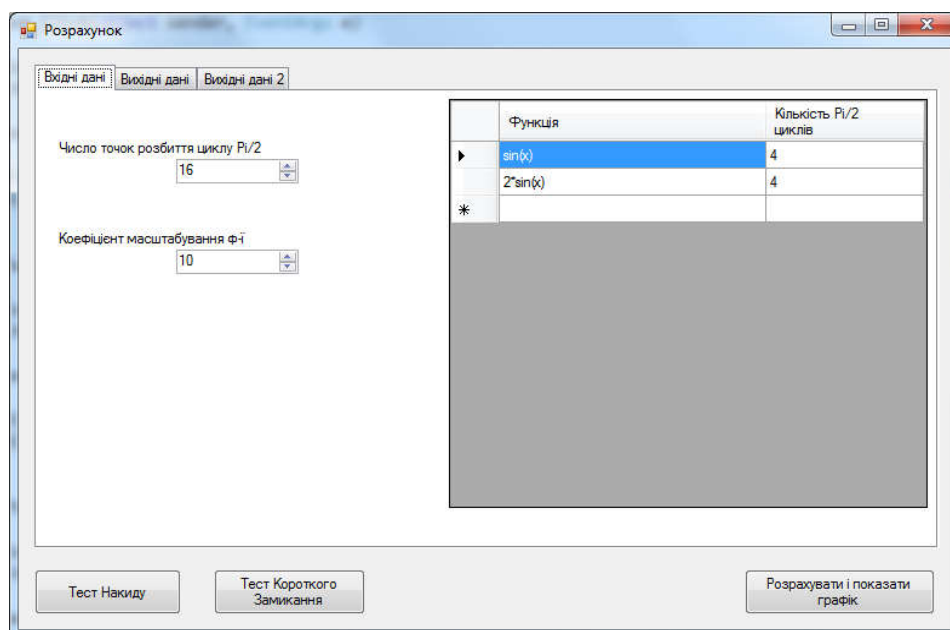


Рис. 2.24. Зовнішній вигляд вікна.

Результати розрахунків для тестових даних представлені на (рис. 2.25, 2.26):

1) Накид.

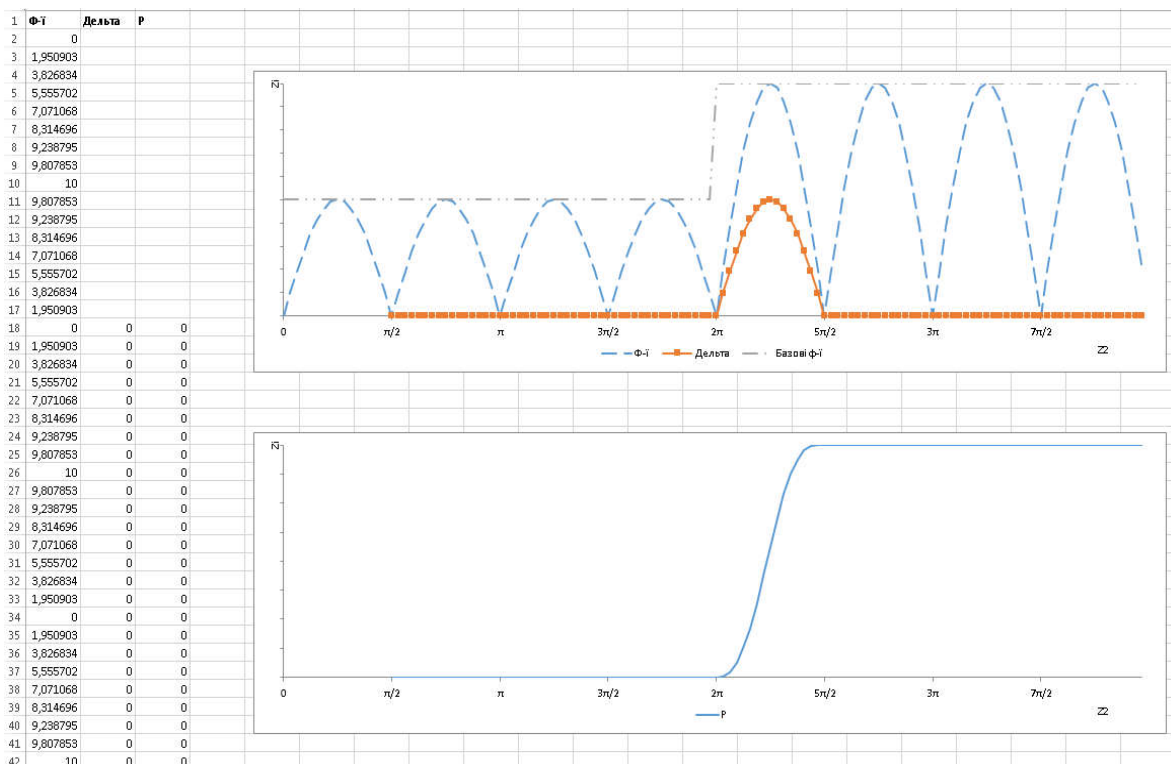


Рис. 2.25. Тестова модель накиду.

2) Коротке замикання.

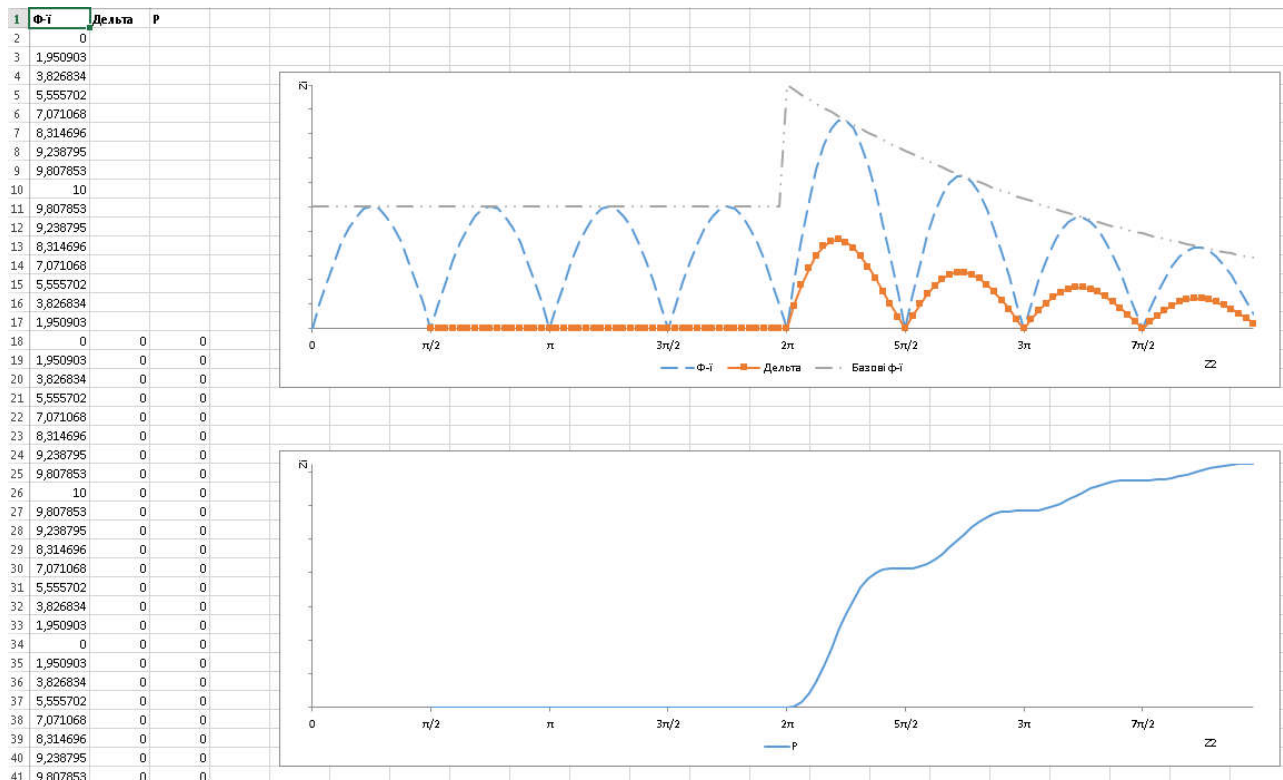


Рис. 2.26. Тестова модель короткого замикання.

Код програми на алгоритмічній мові C++ наведений в додатку Б.

У той же час очевидно, що процеси розвитку коротких замикань можуть мати більш складний характер, ніж показано на моделі (див. рис. 2.20). У процесі пробоїв ізоляції у високовольтних 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.

2.5 Обґрунтування структури компонента спецпроцесора визначення кореляційної оцінки Хеммінгової віддалі між сигналами

Оцінку Хеммінгової віддалі між сигналами можна здійснити на основі представлення характеристик образів двійковими числами базису Радемахера та кодами унітарного теоретико-числового базису (ТЧБ) [59, 67, 80].

Реалізація обчислювального процесу визначення Хеммінгової віддалі між сигналами у вигляді модульної різниці двійкових кодів базису Радемахера здійснюється компонентом спецпроцесора розпізнавання збурень у високовольтних ЛЕП, структура якого показана на рис.2.27 [52].

Пристрій містить: 1, 2 – відповідна вхідна $2k$ -розрядна та вихідна $k+m$ -розрядна шини; 3 – $k+m$ -розрядний накопичувальний суматор; 4 – $k+m$ -розрядний паралельний регістр; 5, 6 та 7 – відповідно вхід синхронізації запису, вхід синхронізації спадання у нуль та вхід синхронізації запису; 8 – D-тригери паралельного регістра; 9.1 та 9.2 – однорозрядні повні суматори відповідно першого та другого k -розрядних суматорів; 10 – вхід логічної одиниці; 11 – розрядні компоненти мультиплексора; 12 – вхід логічного нуля.

На початку роботи пристрою після подачі сигналу синхронізації у вигляді фронту наростання на вхід синхронізації 6 скиду у нуль $k+ m$ – розрядного паралельного регістра 4 на вихідній $k+ m$ – розрядній шині 2

формується двійкове число нуль, яке також поступає на перші входи $k+m$ – розрядного накопичуючого суматора 3.

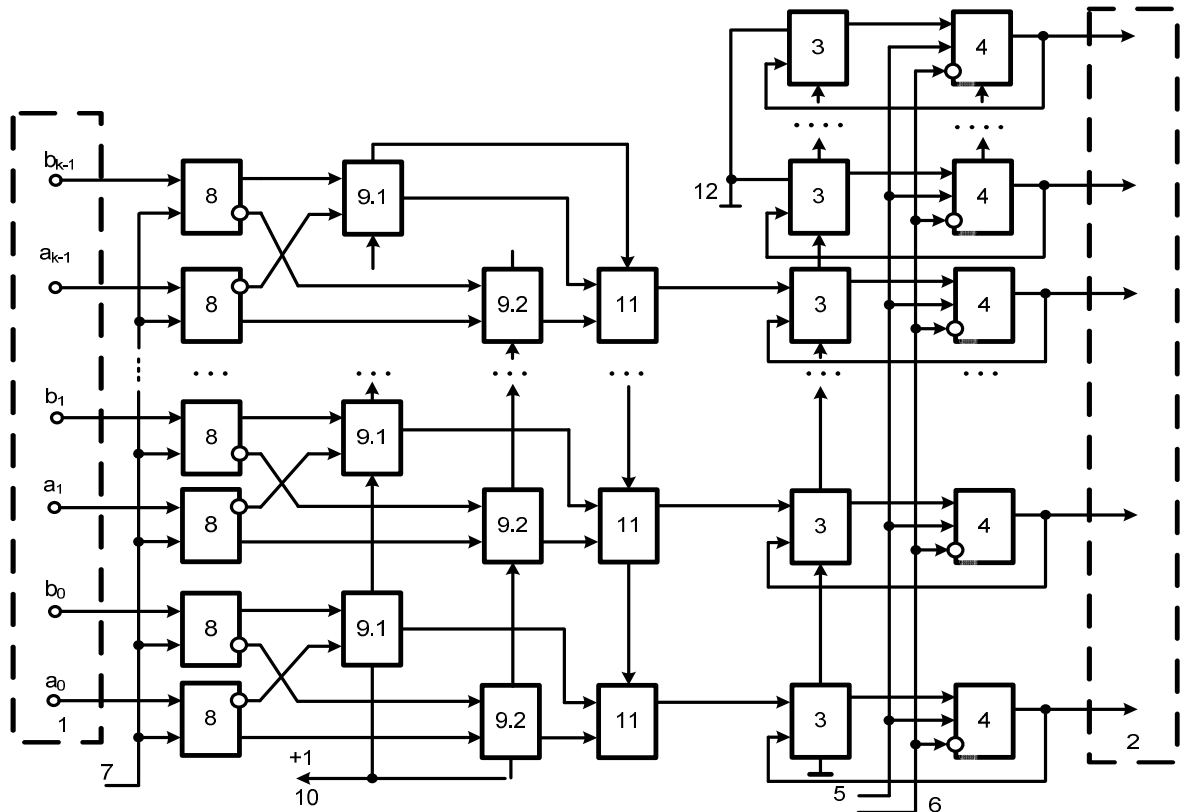


Рис. 2.27. Структурна схема спецпроцесора визначення Хеммінгової віддалі у ТЧБ Радемахера.

Спецпроцесор працює шляхом додавання у двох суматора прямих і доповнюючих кодів вхідних чисел та управління мультиплексором сигналами із старшого виходу одного з суматорів, який керується мультиплексором, на виході якого формується код модульної різниці між двома вхідними числами. У накопичуючому суматорі 3 реєструється сума модульних різниць, яка відповідає оцінці Хеммінгової віддалі.

Розрахунок часової складності для запропонованого спецпроцесора здійснюється згідно виразу:

$$\tau = \tau_{P1} + n \cdot \tau_C + \tau_{MP} + 2n \cdot \tau_{HC} + \tau_{P2},$$

де $\tau_{P1} = 2$ - затримка сигналів у регістрі пам'яті;

$n = 4-16$ – розрядність вихідних паралельних кодів АЦП у базисі Радемахера;

$\tau_C = 2$ – затримка сигналів у комбінаційному суматорі;

$\tau_{МП} = 3$ – затримка сигналів у мультиплексорі;

$\tau_{НС} = 1$ – затримка сигналів у неповному однорозрядному суматорі;

$\tau_{P2} = 2$ – затримка сигналу у вихідному регістрі.

При різних значеннях n отримаємо розрахунок часової складності у мікротактах у наступному вигляді:

$$\begin{cases} n = 4; 2 + 4 + 3 + 8 + 2 = 19v; \\ n = 8; 2 + 8 + 3 + 16 + 2 = 31v; \\ n = 10; 2 + 10 + 3 + 20 + 2 = 37v; \\ n = 12; 2 + 12 + 3 + 24 + 2 = 43v; \\ n = 16; 2 + 16 + 3 + 32 + 2 = 55v. \end{cases}$$

Розрахунок апаратної складності такого пристрою здійснюється згідно виразу:

$$A = A_{P1} + n \cdot A_C + A_{МП} + 2n \cdot A_{НС} + A_{P2},$$

де $A_{P1} = n \cdot A_t = 2nA_t = 4n$ – апаратна складність вхідних регістрів пам'яті (вентилів);

$n \cdot A_C = 16n$ – апаратна складність комбінаційного суматора на основі повних однорозрядних суматорів;

$A_{МП} = 2n + 1$ – апаратна складність двохвходового n – розрядного мультиплексора;

$A_{НС} = 3n$ – апаратна складність неповного n – розрядного інкрементного суматора на основі неповних розрядних суматорів;

$A_{P2} = 2n \cdot A_t = 4n$ – апаратна складність вихідного регістра.

Таким чином, при розрядності вихідних кодів АЦП $n = 4 - 16$ отримаємо відповідні оцінки апаратної складності пристрою:

$n = 4; 4 \cdot 4 + 16 \cdot 4 + 2 \cdot 4 + 1 + 3 \cdot 4 + 4 \cdot 4 = 117$ вентилів;

$n = 8; 4 \cdot 8 + 16 \cdot 8 + 2 \cdot 8 + 1 + 3 \cdot 8 + 4 \cdot 8 = 233$ вентилів;

$n = 10; 4 \cdot 10 + 16 \cdot 10 + 2 \cdot 10 + 1 + 3 \cdot 10 + 4 \cdot 10 = 291$ вентилів;

$n = 12; 4 \cdot 12 + 16 \cdot 12 + 2 \cdot 12 + 1 + 3 \cdot 12 + 4 \cdot 12 = 349$ вентилів;

$n = 16; 4 \cdot 16 + 16 \cdot 16 + 2 \cdot 16 + 1 + 3 \cdot 16 + 4 \cdot 16 = 465$ вентилів.

На рис. 2.28 показана структура багаторозрядного регістра зсуву у базисі Радемахера.

Часова складність такого компонента, яка визначається затримкою сигналу в одному тригері, складає два мікротакти, відповідно апаратна складність складає $2m$, де $m = 60$ – кількість зсувів, затриманих у регістрі пам'яті. Тобто апаратна складність багаторозрядного регістра зсуву (БРЗ) у базисі Радемахера при $n = 8$ рівна $A_{БРЗ} = 8 \cdot 60 \cdot 2 = 960$ вентилів.

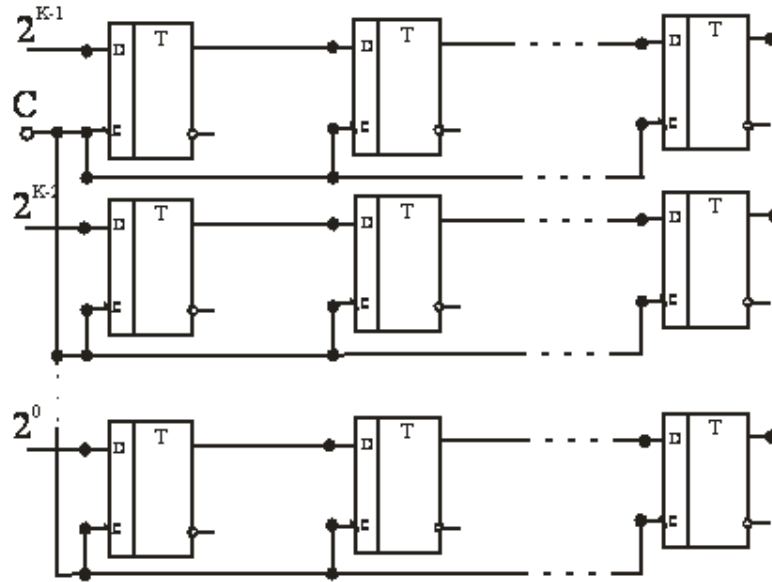


Рис.2.28. Багатоканальний регістр зсуву у базисі Радемахера.

Перевагою такого пристрою, як компонента кореляційного визначення Хеммінгової віддалі, є невеликий об'єм регістрової пам'яті. Недоліком такого пристрою є велика апаратна складність визначення модульної різниці між двійковими кодами.

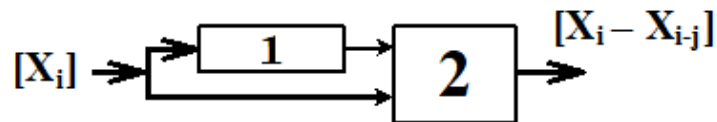


Рис.2.29. Структурна схема визначення кореляційної Хеммінгової віддалі між дискретними сигналами в унітарному теоретико-числовому базисі:

1 – багаторозрядний регістр зсуву; 2 – логічний елемент «Виключаюче АБО»

Застосування кодів унітарного ТЧБ дозволяє суттєво спростити алгоритм кореляційного визначення модульної різниці між фазними струмами

та, відповідно, значно зменшити апаратну складність мікроелектронного компонента визначення модульної різниці між поточними та зсунутими у часі цифровими значеннями фазних струмів.

Структурна схема компонента спецпроцесора визначення кореляційної Хеммінгової віддалі в унітарному теоретико-числовому базисі показана на рис.2.29.

При цьому суттєво спрощується структура багаторозрядного регістра зсуву у порівнянні з структурою, реалізованою у базисі Радемахера, оскільки унітарні коди є біт-орієнтовані.

На рис. 2.30 представлена структура мікроелектронних компонентів багаторозрядного регістра зсуву, який має лише один інформаційний вхід $[x_i]$, на який поступають унітарні коди поточних значень фазних струмів та два виходи, на яких формуються коди $[x_{i-m}]$ та $[x_i]$.

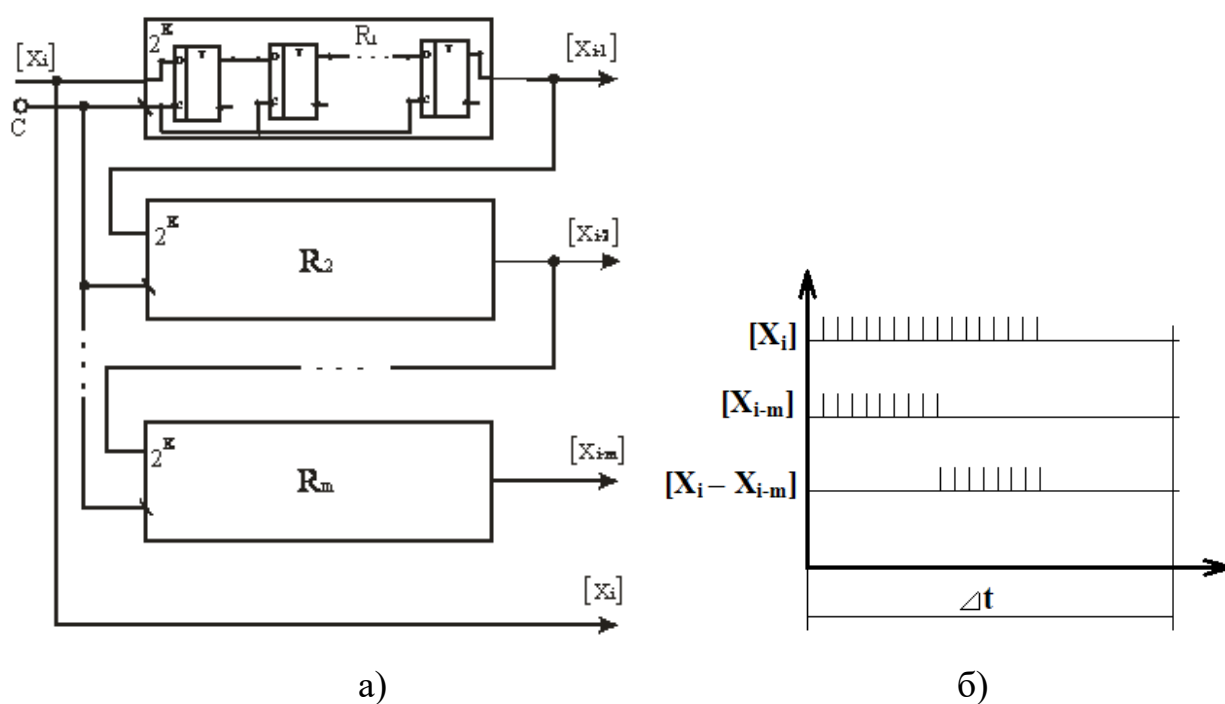


Рис.2.30. Структура БРЗ в унітарному ТЧБ (а), часова діаграма формування унітарних кодів (б)

Реалізація такого мікроелектронного компонента цифрового корелятора дозволяє максимально спростити структуру обчислювача модульної різниці двох унітарних кодів, який реалізується на основі логічного елемента «Виключаюче І» [104], структура якого показана на рис. 2.31.

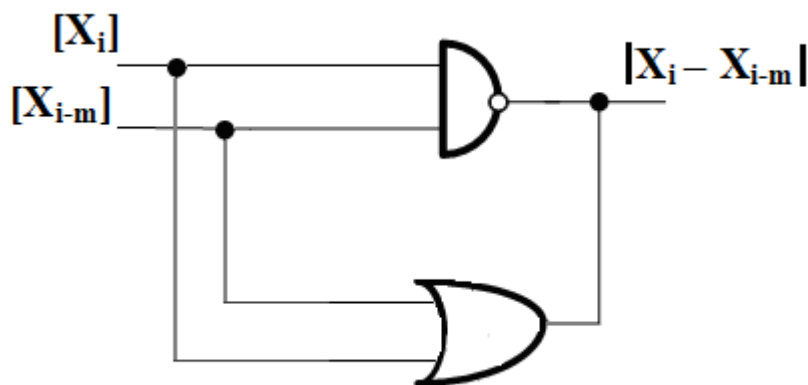


Рис.2.31. Структура логічного елемента "Виключаюче І" на основі логічних елементів "І-НЕ" та "АБО" з об'єднаними виходами.

Такий елемент між унітарними кодами характеризується апаратною складністю $A = 2$ вентиля та часовою складністю затримки сигналів $\tau = 1$ мікротакт.

Розрахунок часової та апаратної складності таких компонентів кореляційного пристрою визначається згідно виразів:

$$\tau_{p1} = 2 \text{ мікротакти};$$

$$A_{p1} = m \cdot 2^n = 60 \cdot 256 = 15360 \text{ вентиля};$$

$$\tau_{\text{XOR}} = 1 \text{ мікротакт};$$

$$A_{\text{XOR}} = 2 \text{ вентиля}.$$

Приведені розрахунки часової та апаратної складності при мікроелектронній реалізації компонентів пристрою розпізнавання накидів та коротких замикань в базисі Радемахера та унітарному ТЧБ на основі різницево-модульного опрацювання цифрових значень фазних струмів дозволили встановити:

1) часова складність визначення модульної різниці у базисі Радемахера на один-два порядки менша у кодах унітарного базису, у порівнянні з базисом Радемахера;

2) апаратна складність БРЗ базису Радемахера на порядок менша у порівнянні з апаратною складністю БРЗ в унітарному базисі;

3) недоліком реалізації даного компонента у базисі Радемахера є формування паралельних кодів модульних різниць, що значно ускладнює

наступні більш складні алгоритми опрацювання даних при збуреннях у високовольтних електромережах;

4) формування кодів модульних різниць в унітарному теоретико-числовому базисі значно спрощує алгоритми подальшого інтегрально-квадратичного опрацювання даних в алгоритмах розпізнавання збурень у високовольтних електромережах, що визначає доцільність та ефективність застосування унітарних кодів ТЧБ при розробці мікроелектронних компонентів спецпроцесора пристрою релейного захисту.

ВИСНОВКИ ДО ДРУГОГО РОЗДІЛУ

1. На основі цифрограм, зареєстрованих керувально-діагностичною системою «Альтра», досліджені характеристики перехідних процесів у високовольтних електромережах при виникненні збурень типу накидів. У результаті встановлено, що при комутації режимів роботи енергосистем струми можуть зростати у кілька разів. Найчастіше це спостерігається при різкому підвищенні напруг в нейтралі. При цьому не спостерігається від'ємна експоненціальна складова, характерна для коротких замикань. Проведені дослідження дозволили побудувати двохполярну ідентифікаційну модель збурення типу накиду.

2. На основі отриманої моделі з метою реалізації цифрових методів опрацювання фазних струмів розроблені двохполярна та однополярні моделі накиду у вигляді решітчастої функції цифрових відліків дискретизованих у часі та амплітуді фазних струмів. Показано, що однополярна модульна дискретна модель накиду дозволяє у два рази підвищити швидкодію цього типу збурення на інтервалі одного періоду промислової частоти, у порівнянні з двохполярною моделю, яка дозволяє ідентифікувати збурення типу накиду на інтервалі двох періодів промислової частоти. Крім того, опрацювання даних дискретної моделі вимагає застосування двохполярних АЦП та алгоритмів опрацювання знакозмінних даних.

3. Вперше запропонована та досліджені характеристики дискретної моделі формування різниць поточних та запам'ятовуваних значень гармонічного сигналу при виникненні накиду та короткого замикання в електромережі.

4. Вперше розроблена та досліджені характеристики дискретної однополярної моделі при виникненні однофазних замикань у високовольтних електромережах з експоненціальним спадом струму без спотворення та із спотвореннями гармонічного сигналу. Здійснений розрахунок оцінки об'єму даних для побудованих дискретних моделей згідно інформаційної міри ентропії Р.Хартлі.

5. Виконано обґрунтування вибору структури кореляційного визначення Хеммінгової віддалі між цифровими сигналами згідно оцінки відстані Чебишева, шляхом порівняння функціональних структур та мікроелектронних компонентів в унітарному теоретико-числовому базисі та базисі Радемахера. Показано, що реалізація мікроелектронного компонента кореляційного опрацювання сигналів у базисі Радемахера характеризується складним алгоритмом обчислень, але, в порівнянні з кодуванням даних в унітарному базисі, має менший об'єм регістрової пам'яті, що визначає доцільність застосування кодів унітарного базису у кореляційному компоненті пристрою релейного захисту.

РОЗДІЛ 3

ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ ТА ПРОГРАМНО-АПАРАТНИХ ЗАСОБІВ
РЕЄСТРАЦІЇ ТА РОЗПІЗНАВАННЯ НАКИДІВ ТА КОРОТКИХ ЗАМИКАНЬ
У ВИСОКОВОЛЬТНИХ ЛЕП**3.1 Теоретичні основи опрацювання дискретизованих гармонічних сигналів на основі теорії розпізнавання образів**

У результаті проведення наукових досліджень у розділах 1 та 2 дисертаційної роботи обґрунтовані практичні рекомендації для вдосконалення процесів ідентифікації накидів та коротких замикань у високовольтних електромережах.

Результатами при вирішенні даної проблеми є:

- встановлення та виявлення недоліків існуючих інформаційних алгоритмів та технічних засобів ідентифікації збурень у високовольтних ЛЕП;
- вироблення рекомендацій для вдосконалення швидкодіючих алгоритмів виявлення накидів та коротких замикань на основі теорії розпізнавання образів та кореляційних функцій;
- розробка алгоритмів, програмних засобів та функціональних структур спецпроцесорів виявлення та ідентифікації збурень у високовольтних електромережах.

Дослідження сигналів на основі математичних засад теорії розпізнавання виконується на основі кореляційних оцінок Евклідової відстані та модульної відстані Хеммінга. В класичній постановці задачі розпізнавання універсальна множина розбивається по деяких ознаках на частини-образи [52, 62, 80]. Кожне відображення якого-небудь об'єкта системи розпізнавання, незалежно від його характеристик представляється множиною таких зображень, що об'єднані якими-небудь загальними властивостями, які представляють собою образи.

Розпізнавання образів (об'єктів, сигналів, ситуацій, явищ чи процесів) є задачею ідентифікації об'єкта чи визначення яких-небудь його властивостей по його зображенню (оптичне розпізнавання), аудіозапису (акустичне

розпізнавання) чи інших характеристиках (наприклад, розпізнавання характеристик гармонічних сигналів).

Методика віднесення елемента до якого-небудь образу є вирішальним правилом. Ще одне важливе поняття – метрика, спосіб визначення відстані між елементами універсальної множини. Чим менша ця відстань, тим більш подібними є об'єкти (символи, звуки та ін.). На практиці 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 багаторівневими векторними кодами, двовимірними та багатовимірними матрицями згідно виразів [52]:

$$Q_x = (a_{n-1}, a_{n-2}, \dots, a_i, \dots, a_0), \quad Q_{xx} = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1m} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{n1} & a_{n1} & \dots & a_{nm} \end{pmatrix}, \quad Q_{xxx} = \|a_{ijk}\| \quad (3.1)$$

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

Загальна структура системи розпізнавання та етапи в процесі її розробки показані на рис. 3.1 [52].

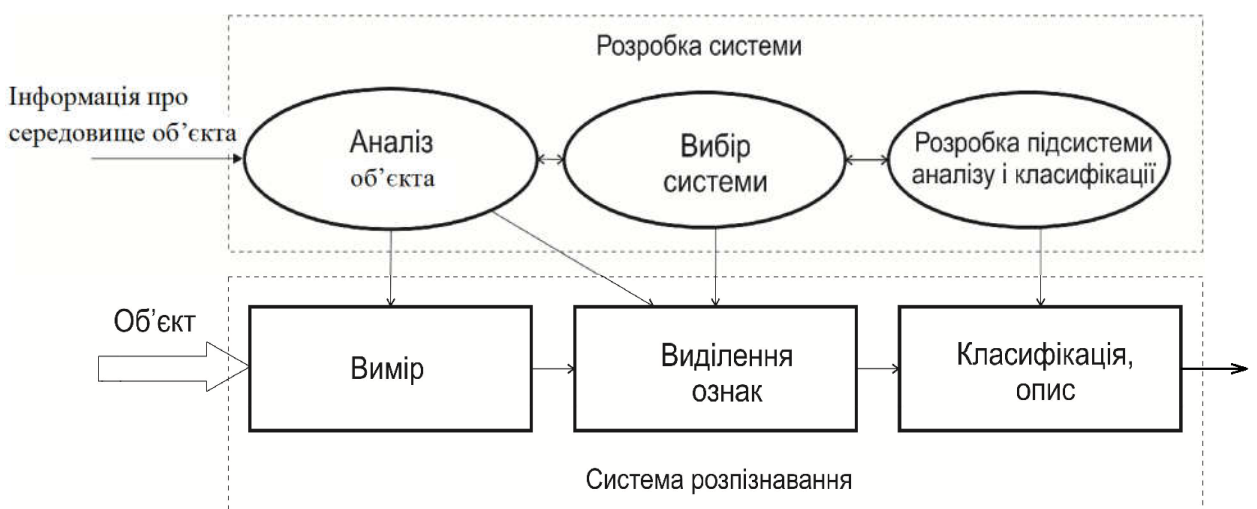


Рис. 3.1. Структура системи розпізнавання

Виділяють наступні типи задач розпізнавання [52, 62]:

- задача розпізнавання – віднесення пред’явленого об’єкта по його опису до одного із заданих класів (навчання з учителем);
- задача автоматичної класифікації – розбиття множини об’єктів, ситуацій, явищ по їх опису на систему непересічних класів (таксономія, кластерний аналіз, самонавчання);
- задача вибору інформативного набору ознак при розпізнаванні;
- задача приведення вихідних даних до зручного для розпізнавання вигляду;
- динамічне розпізнавання і динамічна класифікація – для динамічних об’єктів;
- задача прогнозування – в якому вирішенні повинно відноситись до деякого моменту в майбутньому.

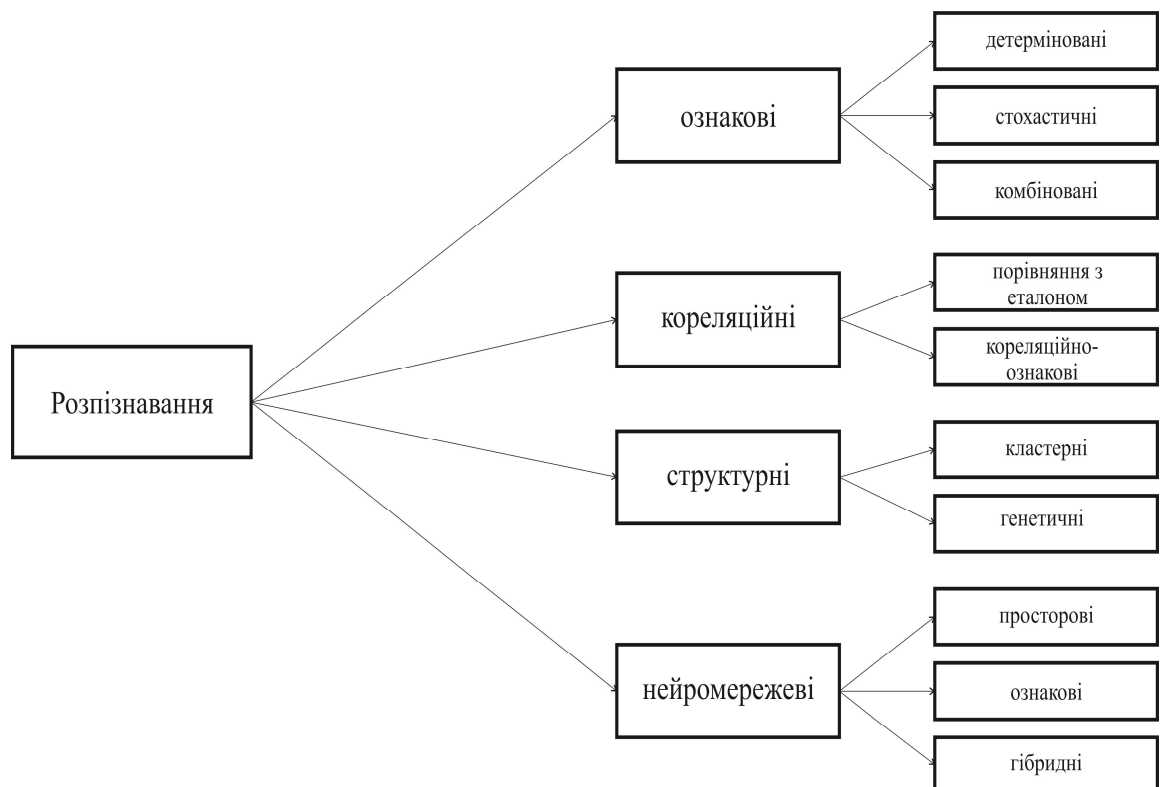


Рис. 3.2 Класифікація основних інформаційних процесів розпізнавання образів.

Задачі розпізнавання складаються з двох етапів [52]:

- перетворення вихідних даних до зручного для розпізнавання вигляду;
- розпізнавання (вказання приналежності об’єкта визначеному класу).

При виконанні задач розпізнавання образів необхідно:

- вводити поняття аналогії об'єктів і формулювати правила, на основі яких об'єкт зараховується в один і той же клас або в різні класи;

- оперувати набором прецедентів-прикладів, класифікація яких відома і які у вигляді формалізованих описів можуть бути представлені алгоритмом розпізнавання для налаштування на задачу в процесі навчання;

- будувати формальні теорії та застосовувати класичні математичні методи.

Класифікація основних процесів розпізнавання образів подана на рис. 3.2 [52].

Класично, виділяють наступні методи розпізнавання образів [52]:

- перебір, 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, базується на теорії моделювання в байєсівському підході та в застосуванні кодових віддалей Хеммінгового простору.

Метод використання штучних нейронних мереж базується 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 попередня їх обробка та перетворення, до яких належать наступні методи:

- алгебраїчний;
- кореляційний;
- структурний;
- спектральний;

$$d_{ij} = \left(\sum_{k=1}^z |x_{ik} - x_{jk}|^p \right)^{\frac{1}{p}}.$$

Окремим випадком відстані Мінковського є, так звана, манхеттенська відстань, (city-block), що відповідає $p = 1$ [62]:

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

Таким чином, манхеттенська відстань є сумою модульних різниць відповідних ознак об'єктів. Якщо p прямує до нескінченності, отримаємо метрику «домінування», або Sup-метрику [74]:

$$d_{ij} = \left(\sum_{k=1}^z |x_{ik} - x_{jk}|^\infty \right)^{\frac{1}{\infty}},$$

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

Існують методи обчислення відстані між об'єктами, що принципово відрізняються від метрик Мінковського. Важливішою з них є, так звана, відстань Махаланобіса, яка має досить специфічні властивості. Вираз для цієї метрики [62, 100]:

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

Тут через X_i і X_j позначені вектор-стовпці значень змінних для i -того та j -того об'єктів. Символ T у виразі $(X_i - X_j)^T$ позначає операцію транспонування вектора. Символом S позначена загальна внутрішньо групова дисперсійно-коваріаційна матриця. А символ $^{-1}$ над S означає, що необхідно знайти обернену матрицю S [52]. 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 [80]:

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

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

Окрім цих достатньо відомих і популярних метрик, використовуються і такі метрики, як коефіцієнти Рао, Хеммінга, Роджерса-Танімото, Жаккара, Гауера, міри близькості Журавльова, Вороніна, Міркіна, метрики Брея-Кертиса, Канберрівська і багато інших [62, 80].

Аналіз досвіду застосування методів розпізнавання образів в різних сферах опрацювання сигналів та цифрових даних, зроблений на основі літературних джерел, дозволяє констатувати наступне:

1. Відомі методи вузькоспеціалізовані і не характеризуються універсальністю до різних образів;

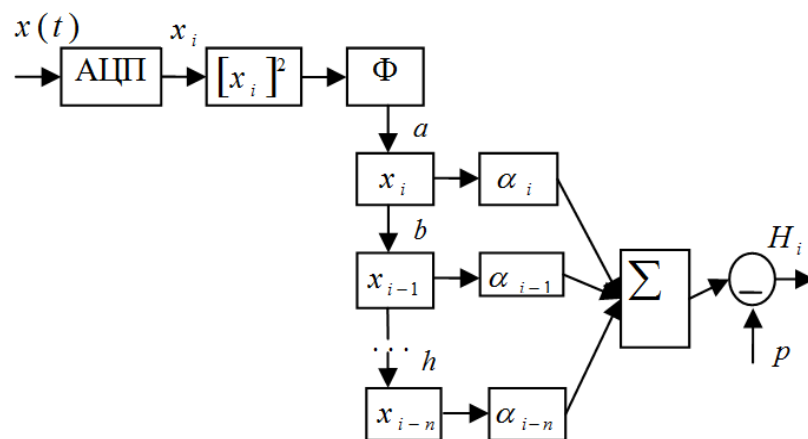
2. Кореляційні методи найбільш ефективні, але за визначенням ряду авторів вважаються низькошвидкісними та апаратно-складними, оскільки передбачають складну попередню статистичну обробку образів, в тому числі обчислення математичного сподівання, дисперсії, автокореляційної функції;

3. Методи в Хеммінговому просторі недостатньо ефективні, оскільки використовуються для образів, які описуються бінарними векторами, а також не враховують можливість застосування різних аналітичних виразів взаємокореляційних функцій та можливостей кодування даних у різних ТЧБ.

Успіхи у розробці високопродуктивних швидкодіючих спецпроцесорів кореляційного опрацювання сигналів на основі різних ТЧБ, потужні можливості сучасної мікроелектроніки і САПР створюють широкі можливості розвитку теорії та ефективного застосування кореляційних методів розпізнавання образів, що визначає високий рівень актуальності розв'язання цих задач на основі мікроелектронних спецпроцесорів.

3.2 Метод розпізнавання перехідних процесів в енергетичних системах на основі процесора з нейрокомпонентами квадратично-імпульсного перетворення гармонічних сигналів

Актуальною задачею при створенні сучасних інформаційних систем контролю технологічних параметрів є розробка теоретичних засад кореляційного опрацювання гармонічних сигналів, які описують технологічні параметри об'єктів. 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 спецпроцесорами з нейрокомпонентами [47, 100, 101].



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

де Z_i - функція реакції нейрона на вхідний сигнал x_i ,

α_i - ваговий коефіцієнт,

p – порогове значення,

H_i - вихідний сигнал.

Рис. 3.3. Структура кореляційного нейропроцесора для розпізнавання гармонічних сигналів на основі моделі рекурентного нейрона.

На рис. 3.3 показана структура кореляційного спецпроцесора на основі моделі рекурентного нейрона [47, 99, 100]. Представлена структура

призначена для розпізнавання гармонічних сигналів ($x(t)$ – вхідний сигнал; $\alpha_1, \alpha_2, \dots$ - вагові коефіцієнти; $Z(t)$ – вихідний сигнал; Φ – пристрій формування імпульсів [100]; a, b, \dots, h – моменти часу формування імпульсів).

В результаті опрацювання імпульсного потоку сигналів, який формується на виході формувача імпульсів процесором зі структурою рекурентного нейрона (рис.3.3), отримується сигнальний імпульсний код, приведений на рис. 3.4 [47, 99, 100].

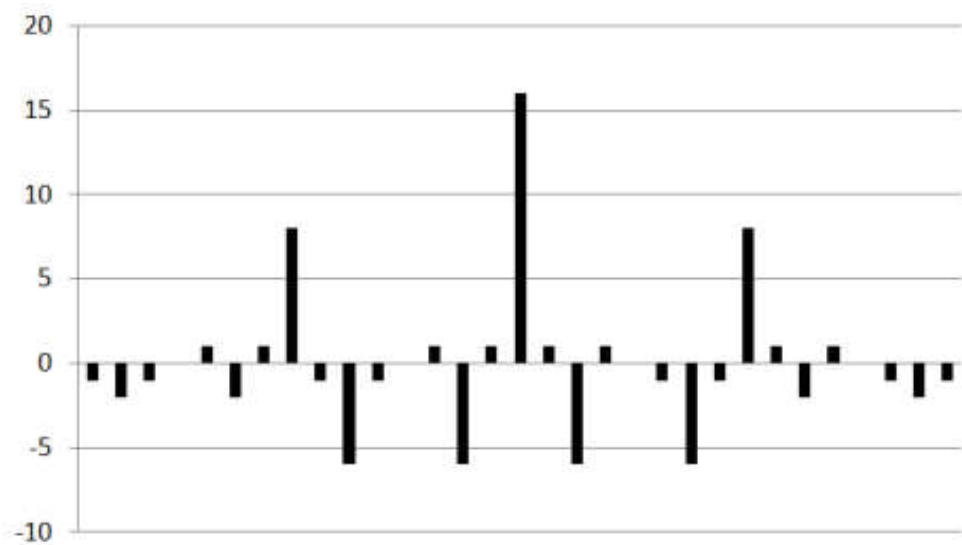


Рис. 3.4. Результат згортки коду, який формується квадратично-імпульсним перетворювачем.

Аналіз результату згортки такого імпульсного коду показує, що гармонічний сигнал на одному періоді в площині додатніх значень представляється трьома найбільш активними імпульсними відкликами, кожен з яких виникає на інтервалі $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{2}$ і $\frac{3}{4}$ періоду вхідного гармонічного сигналу. Характеристики такого імпульсного потоку наближаються до характеристик шумоподібних сигналів, які широко застосовуються в системах передавання даних на основі М-сигналів та кодів Баркера і характеризуються покращеними властивостями виявлення та розпізнавання модульованих та маніпульованих сигналів. Такі властивості можуть бути ефективно використані для опрацювання гармонічних сигналів в енергетиці та розпізнавання їх спотворень при виникненні коротких замикань та інших перехідних процесів у високовольтних лініях [47].

Згортка сигнального коду, яка показана на рис. 3.4, отримана в результаті опрацювання гармонічного сигналу рекурентним нейроном, враховує одиничні вагові коефіцієнти в структурі моделі нейрона [47].

В результаті досліджень, спрямованих на покращення характеристик дискретного квадратично-імпульсного перетворення гармонічного сигналу шляхом підбору найбільш прийнятних вагових коефіцієнтів, отримані результати, подані на рис. 3.5 [47, 101].

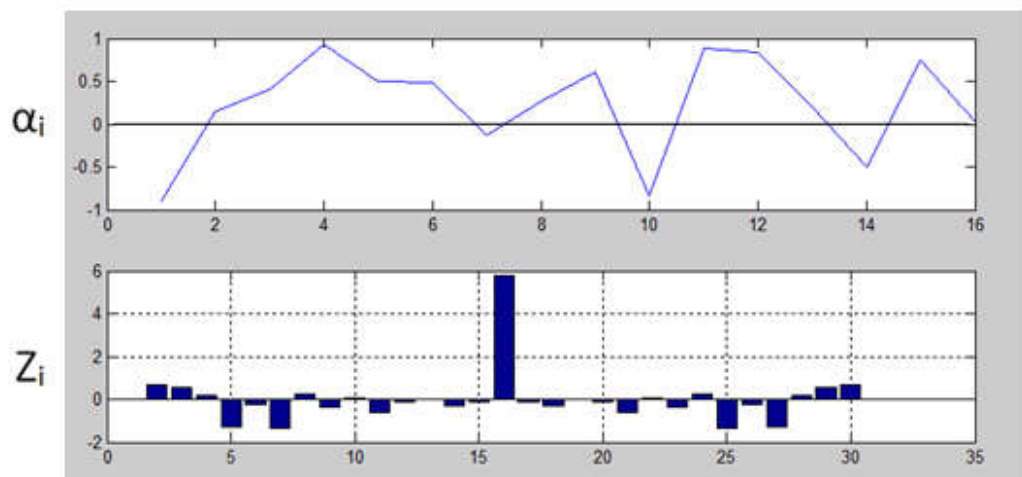


Рис. 3.5. Результат підбору оптимальних вагових коефіцієнтів α_i

Найкращий результат формування імпульсного сигналу на виході формального нейрона отриманий на основі коефіцієнтів, поданих в таблиці 3.1 [102].

Таблиця 3.1

Оптимізовані значення коефіцієнтів α_i

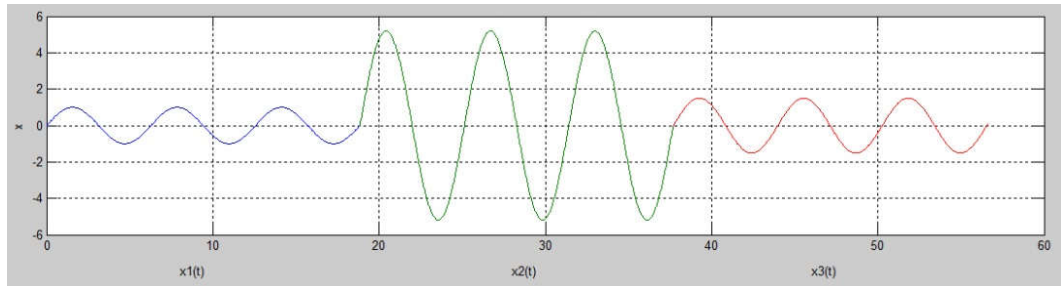
α_1	α_2	α_3	α_4	α_5	α_6	α_7	α_8
0.9014	0.1421	0.4017	0.9246	0.5010	0.4800	0.1363	0.2685
α_9	α_{10}	α_{11}	α_{12}	α_{13}	α_{14}	α_{15}	α_{16}
0.6061	0.8909	0.8322	0.8319	0.2040	-0.4929	0.7469	0.0268

На рис. 3.6 показані приклади зміни часових характеристик гармонічних сигналів при [47]:

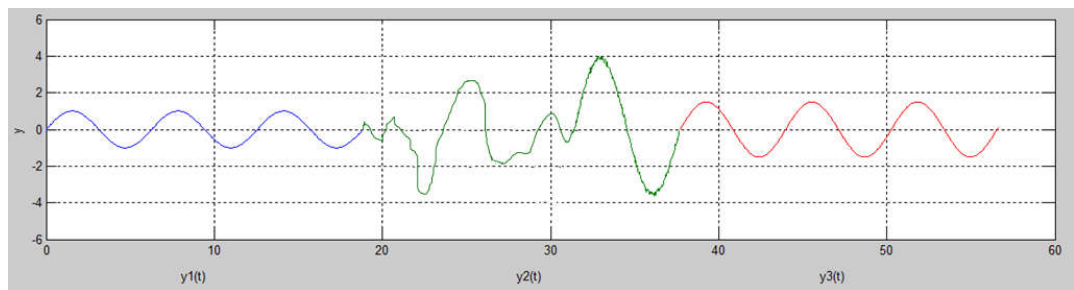
а) стрибкоподібній зміні навантаження та споживаної потужності, що відображається пропорційною зміною амплітуди споживаного струму $I(t)$;

б) виникненні короткого замикання та перехідного процесу внаслідок комутаційних переключень в лініях електропередачі, при чому:

$$x_1(t) = y_1(t) = A_1 \sin \omega t; \quad x_2(t) = A_2 \sin \omega t; \quad y_2(t) = \sum_{i=1}^k \alpha_i \sin \omega t; \quad x_3(t) = y_3(t) = A_3 \sin \omega t$$



а)



б)

Рис. 3.6. Приклади зміни часових характеристик гармонічних сигналів при стрибкоподібній зміні навантаження та споживаної потужності (а) та виникненні короткого замикання (б)

На рис. 3.7 показана згортка сигналу, отриманого в результаті короткого замикання на високовольтній електричній мережі. Вона суттєво відрізняється від згортки еталонних гармонічних сигналів, що дає змогу ідентифікувати коротке замикання [47].

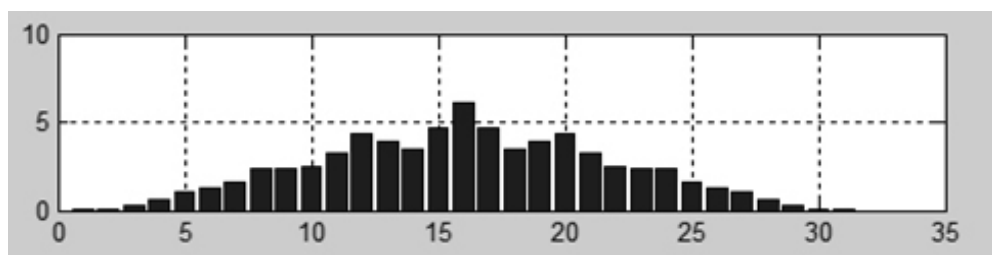


Рис. 3.7. Згортка сигналу, отриманого в результаті короткого замикання на високовольтній електричній мережі.

Дослідивши згортку сигналів, поданих на рис. 3.7, отримані результати, що свідчать про можливість ефективного розпізнавання нештатних ситуацій у високовольтних електричних мережах та можливість розрізнити виникнення перехідних процесів (наприклад, при зміні станів системи в моменти ввімкнення/вимкнення) від короткого замикання [47].

Виходячи з умови задачі, шукану величину знаходимо у вигляді:

$$H(t) = |S_1(t)| - |S_0(t)|.$$

На основі розрахунку інтегральних алгоритмів можна записати:

$$S_1(t) = \int_j^{\frac{\pi}{2}+j} S(t) dt, \text{ де } j = n \cdot \frac{\pi}{2}, n=0, 1, 2, \dots \quad S_0(t) = \int_{\frac{\pi}{2}+j}^{\pi+j} S(t) dt, \text{ де } j = n \cdot \frac{\pi}{2},$$

$$n=0, 1, 2, \dots$$

$$\text{Звідси } H(t) = |S_1(t)| - |S_0(t)| = \left| \int_j^{\frac{\pi}{2}+j} S(t) dt \right| - \left| \int_{\frac{\pi}{2}+j}^{\pi+j} S(t) dt \right|.$$

Також дане рівняння можна представити з використанням сум Дарбу. Тобто

$$S_1(t) = \Delta t \cdot \sum_{i=j}^{\frac{\pi}{2}+j} S_i(\Delta t), \text{ де } \Delta t = \frac{\pi}{2}.$$

Отже, шукане рівняння $H(t) = |S_1(t)| - |S_0(t)|$ набуде вигляду:

$$H(t) = \Delta t \cdot \left| \sum_{i=j}^{\frac{\pi}{2}+j} S_i(\Delta t) \right| - \Delta t \cdot \left| \sum_{k=\frac{\pi}{2}+j}^{\pi+j} S_k(\Delta t) \right| = \Delta t \cdot \left(\left| \sum_{i=j}^{\frac{\pi}{2}+j} S_i(\Delta t) \right| - \left| \sum_{k=\frac{\pi}{2}+j}^{\pi+j} S_k(\Delta t) \right| \right).$$

Якщо значення знайдених рівностей дорівнюють нулю, то процеси, які відбуваються в системі, є стабільними [47].

Коли ж $H(t) > 0$, тоді відбуваються певні нерівноважні процеси, що вказує на виникнення передаварійних станів у системі.

Для аналогових процесів $H(t) = S'(t)$.

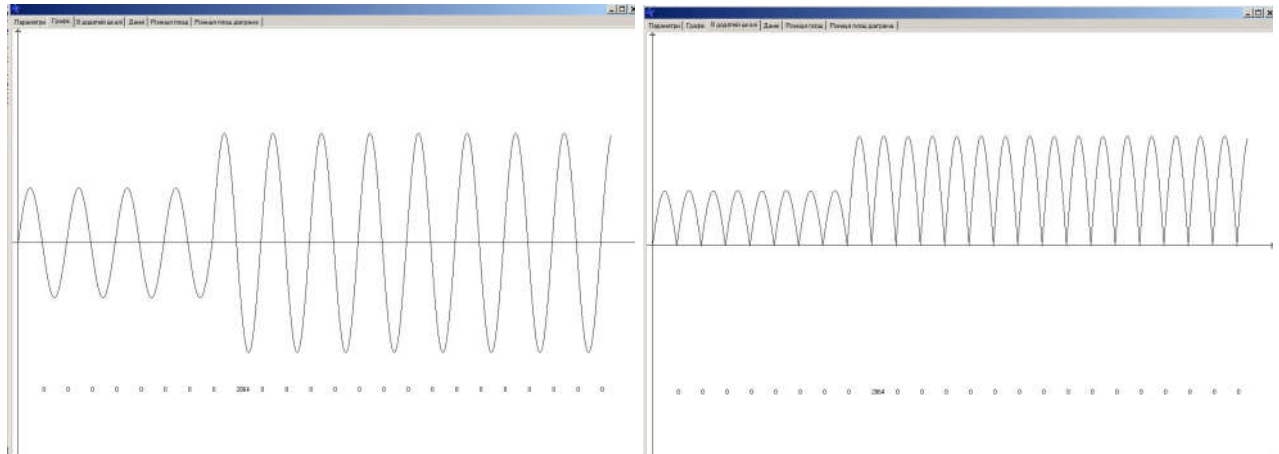
Для дискретних процесів $H_j^0 = \frac{S_{j+\frac{\pi}{2}} - S_j}{\Delta t}$, де $\Delta t = \frac{\pi}{2}$, $j = \frac{\pi n}{2}$, $n = 0, 1, 2, \dots$

$$H_j^1 = \frac{S_{j+\pi} - S_{j+\frac{\pi}{2}}}{\Delta t}.$$

$$\text{Звідси } H(t) = \left| |H_j^1| - |H_j^0| \right| = \left| \left| \frac{S_{j+\pi} - S_{j+\frac{\pi}{2}}}{\Delta t} \right| - \left| \frac{S_{j+\frac{\pi}{2}} - S_j}{\Delta t} \right| \right|.$$

Якщо значення знайдених рівностей дорівнюють нулю, то процеси, які відбуваються в системі, є стабільними.

Коли ж $H(t) > 0$, тоді відбуваються певні нерівноважні процеси, що вказує на виникнення передаварійних станів у системі.



а)

б)



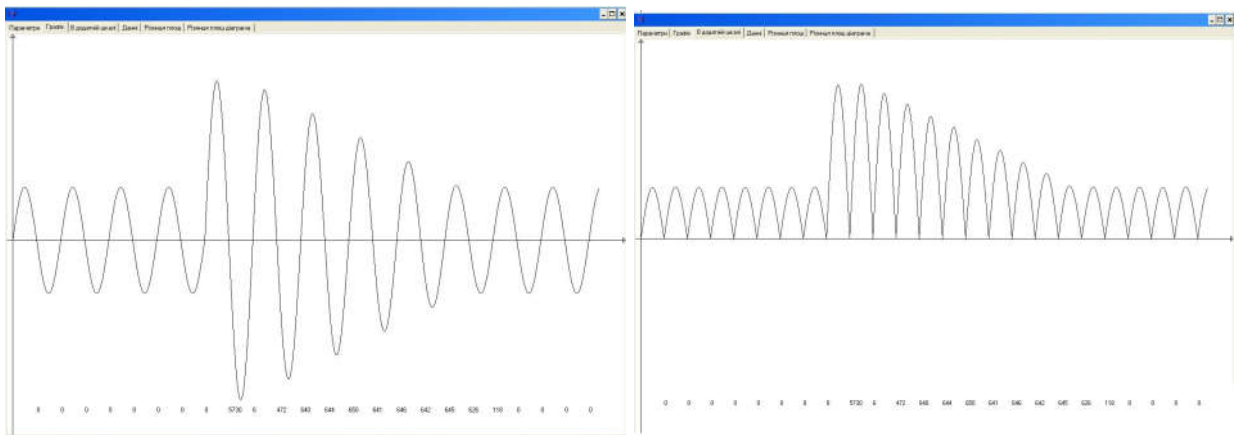
в)

Рис. 3.8. Програмне моделювання розпізнавання накиду.

На рис. 3.8 показаний результат програмного моделювання двохполярної (а) та однополярної (б) моделі накиду у високовольтних електромережах. З рисунка видно, що в результаті програмного моделювання (в) встановлено, що згортка гармонічного сигналу на основі нейропроцесора представляється одним піком кореляційної функції з максимальною амплітудою [47].

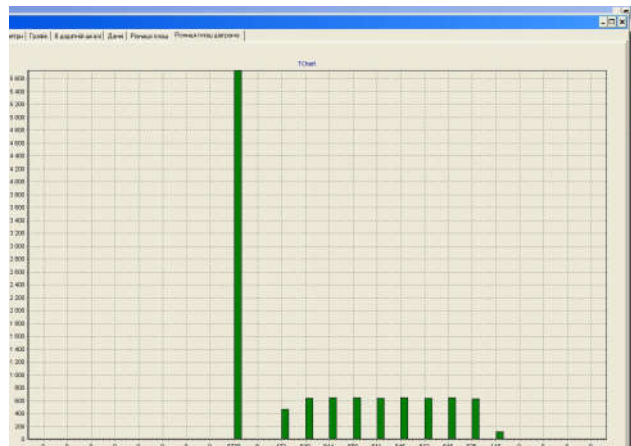
На рис. 3.9 представлені результати програмного моделювання сигналів двохполярних (а) та однополярних (б) гармонічних сигналів при виникненні короткого замикання. Аналіз результатів згортки таких сигналів нейропроцесором, показаних на рис. 3.9 (в), свідчить, що в процесі виникнення такого збурення головний пік кореляційної функції супроводжується певною кількістю бокових піків кореляційних функцій [47].

Таким чином, шляхом визначення суми модульних різниць бокових піків кореляційної функції здійснюється ідентифікація збурень типу накидів і коротких замикань у високовольтних електромережах [47].



а)

б)



в)

Рис. 3.9. Програмне моделювання розпізнавання короткого замикання.

Недоліком досліджуваного методу [103] на основі кореляційного процесора є велика обчислювальна та апаратна складність, яка обумовлена наступними структурними характеристиками такого спецпроцесора, який містить:

- 1) апаратно складний АЦП паралельного типу, який формує двійкові коди базису Радемахера;
- 2) цифровий квадратор, який реалізується на основі перемножувальної матриці Брауна, Дадда та ін. [103];
- 3) апаратно-складні перемножувачі у кожному каналі кореляційного нейропроцесора перемножувальні пристрої $\alpha * x_i$;
- 4) апаратно-складний пірамідальний суматор, який реалізує порогову функцію над двійковими кодами у базисі Радемахера.

Розрахунок апаратної складності такого спецпроцесора виконується згідно виразу:

$$A_{\text{АЦП}} = A_{\text{АЦП}} + A_{\text{КВ}} + A_{\text{БРЗ}} + A_{\text{Х}} + A_{\text{Е}} + A_{\text{Р}},$$

де

$A_{\text{АЦП}}$ – апаратна складність АЦП (2576 вентилів);

$A_{\text{КВ}}$ – апаратна складність цифрового квадратора (512 вентилів);

$A_{\text{БРЗ}}$ – апаратна складність БРЗ (960 вентилів);

$A_{\text{Х}}$ – апаратна складність перемножувачів (30720 вентилів);

$A_{\text{Е}}$ – апаратна складність пірамідального суматора (5144 вентилів);

$A_{\text{Р}}$ – порогова схема порівняння (66 вентилів).

$$A_{\text{АЦП}} = 39978 \text{ вентилів.}$$

Часова складність такого спецпроцесора рівна:

$$\tau_H = 32+2+32+96 = 9720 \text{ мікротактів.}$$

Таким чином, розробка пристрою релейного захисту на основі процесора з нейрокомпонентами у промисловому плані реалізації є неефективним внаслідок значної апаратної складності такого класу пристрою.

3.3 Удосконалення методу рандомізації та кореляційної оцінки збурень у високовольтних електромережах

Рандомізація полягає в перемішуванні інформаційної вибірки відповідно до певного закону. В контексті шифрування інформації цю процедуру називають перемішуванням, при організації доступу до пам'яті – хешуванням

(обробка на основі *hash*-функцій), при перемішуванні пакетів даних на носіях інформації типу CD – перехресне чергування [47, 114].

Згідно оператора рандомізації \mathfrak{Ran} послідовності $X = \{x_1, x_2, \dots, x_i, \dots, x_n\}$ здійснюється дія, яка полягає в переміщенні i -го елемента на місце j -го елемента послідовності X , а відповідність між i та j визначає закон рандомізації [47, 61, 114]:

$$X = \{x_i\}, \quad \mathfrak{Ran}(X) = \mathfrak{Ran}(\{x_i\}) = X^{\mathfrak{Ran}},$$

$$X^{\mathfrak{Ran}} = \{x_j\}, \quad i = \overline{1, n}, \quad j = k_i.$$

$K = \{k_i\}$ – масив-ключ (закон) процедури рандомізації \mathfrak{Ran} .

Рандомізація виконується над кожним елементом послідовності X . Для того, щоб показати, що i -й елемент послідовності X переміщено на місце $\mathfrak{Ran}(x_i)$, використаємо наступну форму запису [47, 114]:

$$\mathfrak{Ran}(X) = (\mathfrak{Ran}(x_0), \mathfrak{Ran}(x_1), \dots, \mathfrak{Ran}(x_i), \dots, \mathfrak{Ran}(x_n)).$$

В результаті рандомізації послідовності X утворюється послідовність $Y = \{y_1, y_2, \dots, y_j, \dots, y_n\}$, причому $x_i = y_j$, $i = \overline{1, n}$, $j = \overline{1, m}$. У більшості випадків рандомізації $n = m$, тобто рандомізована послідовність має ту саму довжину, що і початкова. Проте при зсуві фази сигналу на основі рандомізації, відбувається розширення розміру рандомізованої послідовності, тобто $m = n + r$, де r - величина зсуву [47, 114].

Існує очевидна процедура \mathfrak{Ran}^{-1} , обернена до \mathfrak{Ran} , тобто така, що дозволяє отримати початкову послідовність з рандомізованої, тобто [47, 114]:

$$\mathfrak{Ran}^{-1}(Y) = X.$$

Якщо пряма процедура \mathfrak{Ran} виконується згідно виразу $y_i = x_{s_i}$, тоді процедура \mathfrak{Ran}^{-1} виконується так:

$$\mathfrak{Ran}^{-1}: \quad z_{s_i} = y_i.$$

де $S = \{s_i\}$ - масив-ключ (закон) рандомізації.

Очевидно, що $z_i = x_i$, отже, робимо висновок, що процедура рандомізації є зворотною [47, 114].

Кількість можливих варіантів рандомізації N (тобто кількість різних ключів) визначається довжиною масиву-ключа рандомізації $S = \{s_i\}, i = \overline{1, n}$, тобто:

$$N = n!$$

Застосування більшості із N ключів рандомізації не є практично ефективними. Проте серед них є ключі, застосування яких дозволяє виконувати наступні операції [47, 114]:

- сортування послідовності по зростанню;
- сортування послідовності по спаданню;
- утворення сигналу типу “білий шум”;
- перетворення сигналу однієї форми в іншу;
- збільшення або зменшення частоти гармонійного сигналу;

Закон перевпорядкування Яап може бути побудований на базі функції випадкових чисел $RND(N)$, що генерує випадкове число з проміжку $[0, N - 1]$. Для реалізації такої процедури потрібно генерувати множину $S = \{s_i\}, i = \overline{0, N - 1}$ випадкових чисел, що не повторюються.

Серед N можливих ключів рандомізації є ще й такі, які при рандомізації сигналу певної форми дозволяють отримати сигнал іншої, наперед заданої форми. Така рандомізація є сигнальною, або функціональною.

Особливе значення мають перетворення на основі рандомізації гармонічних сигналів у шумоподібні, які характеризуються унікальними властивостями автокореляційних функцій і широко застосовуються для завадостійкого передавання інформації [47, 114].

Застосування рандомізації дозволяє виконати зміну форми сигналу. Розглянемо ці перетворення, визначимо математичну формалізацію процедур [47, 114].

Розглянемо сигнальну рандомізацію одного періоду синусоїди $x_i = \sin\left(\frac{2\pi i}{70}\right)$, де $i = \overline{1, 70}$, з приведенням її до форми M -послідовності довжиною $n = 7$ біт, яка записується у вигляді 1110100. Оскільки кількість відліків синусоїди більша за кількість бітів M -послідовності, необхідно

здійснити розширення M -послідовності з коефіцієнтом $k=10$, тобто кожен інформаційний біт записувати 10 разів. При цьому утворена послідовність матиме довжину $n \cdot k = 70$ біт [47].

При сигнальній рандомізації виконується переміщення дискретизованих значень синусоїди x_i з метою отримання форми огинаючої, максимально близької до M -послідовності (рис. 3.10) [47, 114].

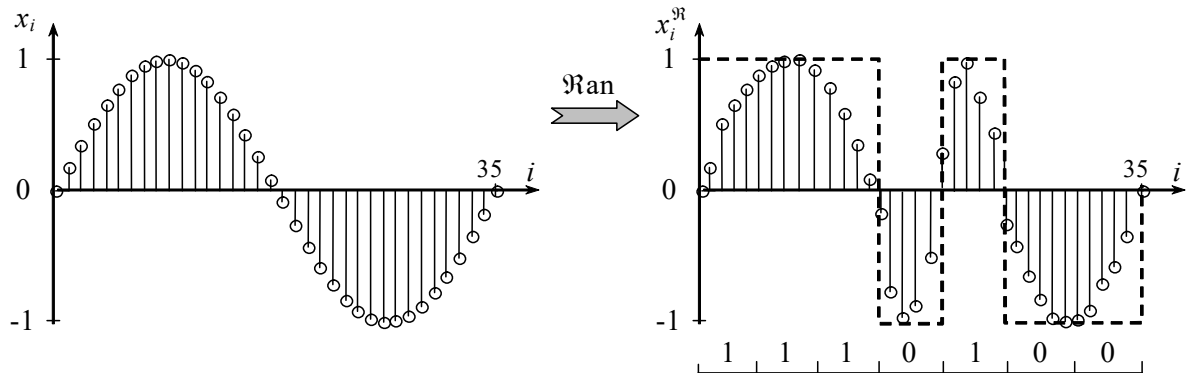


Рис. 3.10. Сигнальна рандомізація синусоїди.

При цьому властивості утвореного сигналу будуть наближуватись до властивостей M -послідовності (рис. 3.11).

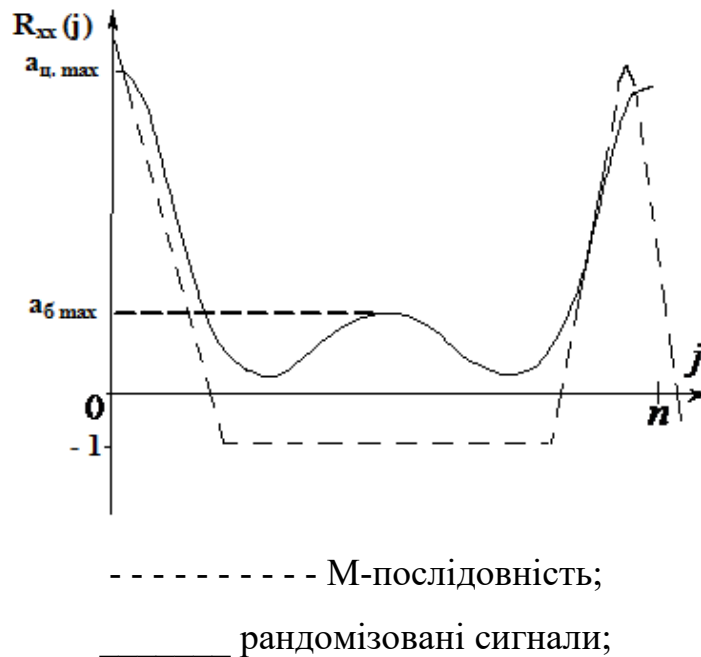


Рис. 3.11. Автокореляційна функція рандомізованого сигналу.

На рис. 3.11 наведено АКФ рандомізованого сигналу. З рисунку видно, що АКФ має чітко виражені центральні піки, хоча рівень бічних піків помітно

зріс, і відношення амплітуди центрального піка до амплітуди максимальних бічних піків погіршилося, в порівнянні з АКФ М-послідовності. Для характеристики цього відношення введемо коефіцієнт [47, 114]:

$$k_{\text{эф.}} = \frac{a_{\text{ц.мах}}}{a_{\text{б.мах}}}$$

де $a_{\text{б.мах}}$ - максимальна амплітуда бічних піків АКФ;

$a_{\text{ц.мах}}$ - максимальна амплітуда центральних піків АКФ.

Зрозуміло, що $k_{\text{эф.}}$ завжди більше одиниці.

Вагова рандомізація здійснюється згідно процедури перемішування інформаційної послідовності $X = \{x_1, x_2, \dots, x_i, \dots, x_n\}$ із введенням масиву додаткових множників – вагових коефіцієнтів рандомізації v_i , що відповідно визначається оператором вагової рандомізації $\check{\mathfrak{R}}\text{an}$ [47]:

$$X = \{x_i\}, \quad \check{\mathfrak{R}}\text{an}(X) = \check{\mathfrak{R}}\text{an}(\{x_i v_i\}) = X^{\check{\mathfrak{R}}\text{an}},$$

$$X^{\check{\mathfrak{R}}\text{an}} = \{x_j v_j\}, \quad i = \overline{1, n}, \quad j = k_i.$$

Розглянемо сигнальну вагову рандомізацію синусоїди з попереднього прикладу. При цьому масив вагових коефіцієнтів v_i призначений для "дотягування" дискретних значень синусоїди до рівня +1 або -1 і обчислюється згідно виразу:

$$v_i = \begin{cases} 1 - x_i, & \text{при } 0 \leq x_i \leq 1, \\ -1 - x_i, & \text{при } -1 \leq x_i \leq 0. \end{cases}$$

де x_i – дискрети синусоїди.

На рис. 3.12 наведено графік вагових коефіцієнтів, а на рис. 3.13 – графік рандомізованого сигналу синусоїди з ваговими коефіцієнтами [47, 114]. Як видно, рандомізований сигнал і М-послідовність збігаються, а, отже, АКФ рандомізованого сигналу і АКФ М-послідовності однакові. Таким чином, шляхом застосування вагової сигнальної рандомізації можна перетворити гармонічний сигнал у ШПС, що є дуже важливо при реалізації цифрових засобів ідентифікації спотворень у високовольтних електромережах.

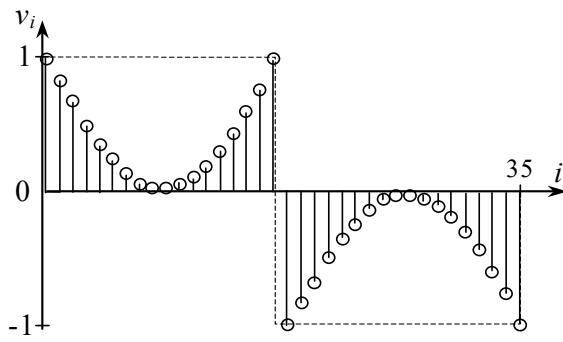


Рис. 3.12 . Вагові коефіцієнти.

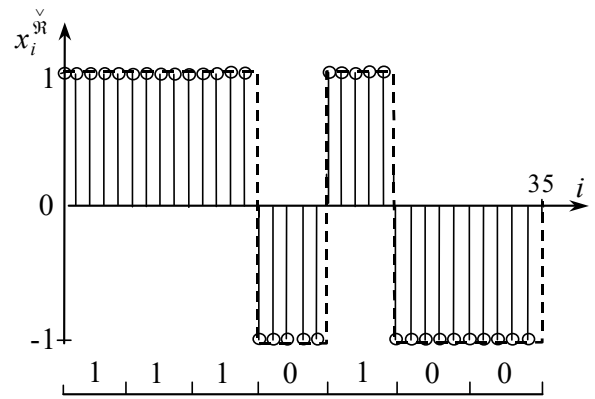


Рис. 3.13. Рандомізована послідовність.

В основу запропонованого вдосконалення методу розпізнавання збурень гармонічних сигналів на основі процесів рандомізації покладено розширення бази кодової послідовності М-сигналу від значення $n = 7$ до $n = 15$. На рис. 3.14 показані графіки амплітуд центральних та бокових пелюстків автокореляційних функцій М-сигналів з різною базою n [47, 114].

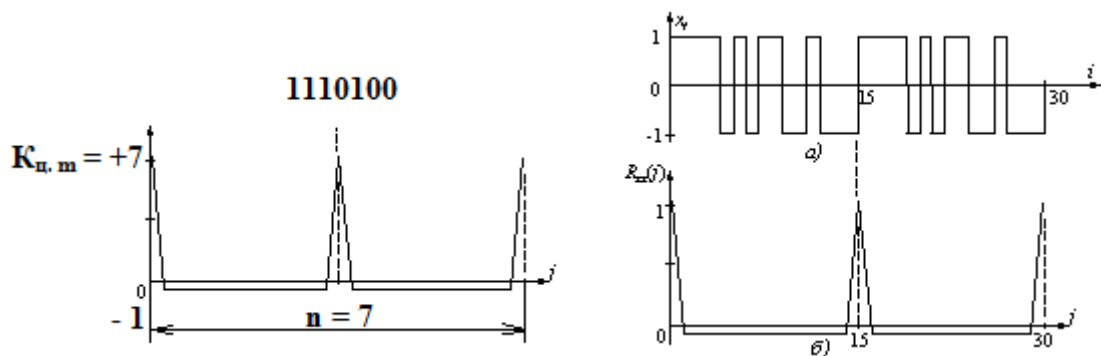


Рис. 3.14. Графіки амплітуд центральних та бокових пелюстків автокореляційної функції М-сигналів.

У результаті такого гармонічного сигналу з врахуванням відповідних вагових коефіцієнтів отримаємо рандомізований гармонічний сигнал, який представлений на рис.3.15 [43, 47, 114].

Перевагою запропонованого вдосконалення є підвищення коефіцієнта ефективності у два рази та співпадання числа рандомізованих відліків на інтервалі одного періоду промислової частоти $m = 4n = 60$ цифрових відліків [47].

Описаний метод рандомізації синусоїдального сигналу та його кореляційної згортки дозволяє його застосувати для ідентифікації та розпізнавання збурень в лініях електропередач при виникненні коротких замикань та накидів. При цьому у випадку виникнення накиду характеристики зміни гармонічного сигналу незалежно від стрибків амплітуди спектрально не змінюються і в результаті кореляційної згортки його рандомізованого зображення виникає один пік кореляційного максимуму. У випадку виникнення короткого замикання спостерігається спотворення гармонічного сигналу, а також з'являється експоненціальна складова його затухання, що приводить до суттєвої зміни спектральних характеристик рандомізованого сигналу. Тому в результаті опрацювання таких збурень в електромережах відбувається різке зменшення амплітуди головного піку та поява інших піків кореляційної функції, що використовується для ідентифікації даного виду збурень в електромережі [47].

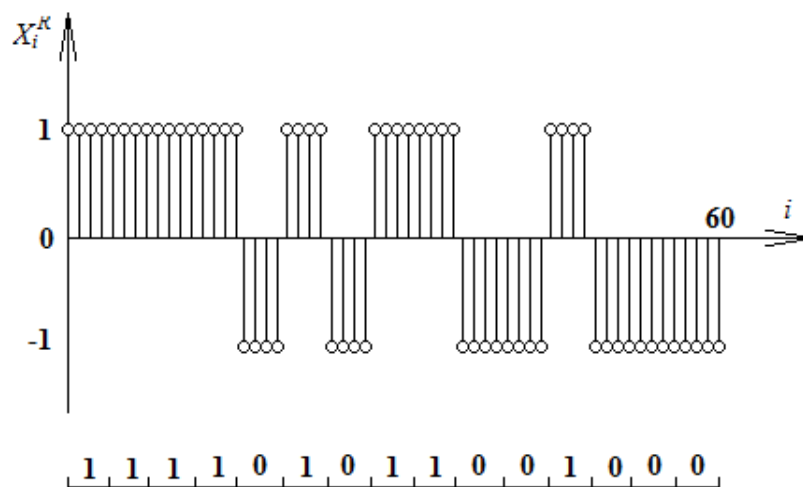


Рис.3.15. Графік рандомізованого гармонічного сигналу $n = 15$ з чотирікратним розширенням рандомізованого коду.

На рис. 3.16 представлена структурна схема спецпроцесора розпізнавання спотворень гармонічних сигналів на основі методу рандомізації.

Процесор містить:

- 1) АЦП паралельного типу з вихідними кодами у базисі Радемахера;
- 2) багатоканальний регістр зсуву (БРЗ);
- 3) рандомізатор на основі хеш-функції;

- 4) перемножувачі вагових коефіцієнтів на виходах рандомізатора;
 - 5) конвеєрний накопичуючий суматор двійкових кодів у базисі Радемахера.
- Радемахера.

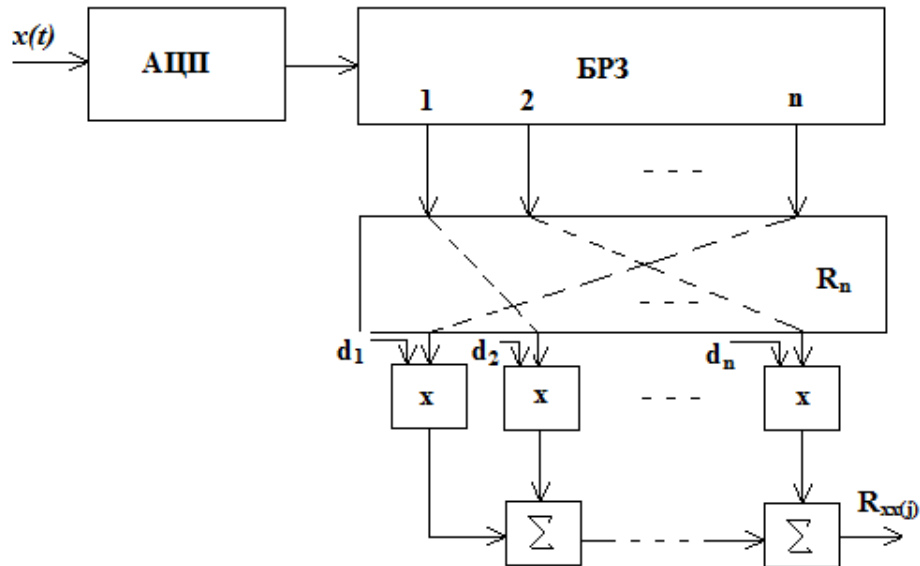


Рис. 3.16. Структура спецпроцесора розпізнавання спотворень гармонічних сигналів методом рандомізації.

Пристрій працює згідно наступного алгоритму:

1) вхідний аналоговий сигнал $x(t)$ перетворюється на виході АЦП у потік цифрових двійкових кодів, які записуються у багаторозрядний регістр зсуву на D-тригерах;

2) вихідні коди БРЗ хешуються у рандомізаторі R_n згідно кусковопостійної функції рекурентної M-послідовності;

кожен з вихідних кодів рандомізатора перемножується на відповідні коефіцієнти α_i ;

3) вихідні коди перемножувачів додаються у конвеєрному багаторозрядному суматорі, на виході якого формуються коди автокореляційної функції $R_{xx(j)}$, яка характеризується формуванням центрального пікового значення $a_{ц.мах}$ та максимальних значень бокових піків $a_{б.мах}$. При цьому, якщо відношення $a_{ц.мах}/a_{б.мах}$ наближається до 1 ідентифікується збурення типу накиду, оскільки не відбувається спотворення гармонічного сигналу. В іншому випадку, якщо відношення $a_{ц.мах}/a_{б.мах}$

наближається до 0, то ідентифікується збурення типу короткого замикання, оскільки спостерігається суттєве спотворення гармонічного сигналу.

Аналіз теоретичних засад методу рандомізації та структурної схеми відповідного спецпроцесора розпізнавання на його основі збурень типу накидів та коротких замикань у високовольтних електромережах дозволяє встановити його характеристики та основні недоліки:

- 1) процесор містить апаратно складний АЦП паралельного типу з вихідними кодами базису Радемахера;
- 2) апаратно простий рандомізатор, який реалізується шляхом хешування інформаційних зв'язків паралельних БРЗ кодів;
- 3) апаратно складні модулі-перемножувачі хешованих кодів БРЗ на коди вагових коефіцієнтів α_i ;
- 4) апаратно складний конвеєрний багаторозрядний суматор двійкових кодів добутоків α_i на R_{xi} .

Такий процесор також характеризується значною затримкою сигналів згідно виразу:

$$\tau_R = \tau_{АЦП} + \tau_{БРЗ} + \tau_X + \tau_E.$$

При розрядності вихідних кодів АЦП 8 біт отримуємо наступну оцінку часової затримки сигналів у такому спецпроцесорі:

$$\tau_R = 8 + 2 + 64 + 112 = 186 \text{ мікротактів.}$$

Апаратна складність АЦП:

$$A_{АЦП} = 256 \cdot (5+1) + 4 \cdot 256 + 16 = 2576 \text{ вентилів.}$$

$$A_{АЦП} = 2560 + 240 + 60 \cdot 64 \cdot 8 + 60 \cdot 8 \cdot 8 = 37360 \text{ вентилів.}$$

Проведене дослідження теоретичних засад методу рандомізації та структурної схеми спецпроцесора, який дозволяє ідентифікувати збурення типу накиду та короткого замикання, які характеризуються великою апаратною складністю, дозволяє зробити висновок про неефективність промислової реалізації такого процесора у якості базового модуля пристрою релейного захисту, реалізованого у мікроелектронному виконанні на ПЛІС.

3.4 Розробка принципів та спецпроцесорів інтегрального диференціально-різницевого алгоритму розпізнавання накидів та коротких замикань у високовольтних ЛЕП

З метою підвищення чутливості та роздільної здатності ідентифікації факту короткого замикання на початковій стадії його розвитку, а також спрощення алгоритму обчислень та структури спецпроцесора, на інтервалі часу $t > t_0 + \frac{\pi}{2}$ доцільно застосувати квадратично-імпульсний метод цифрового опрацювання даних Z_i згідно виразу [39, 51]:

$$S_{e.ф.} = \begin{cases} 1, Z_i^2(t > t_0 + \frac{\pi}{2}) > P_0; \\ 0, Z_i^2(t > t_0 + \frac{\pi}{2}) < P_0, \end{cases} \quad (3.1)$$

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 $t_0 > t_0 + \frac{\pi}{2}$ $Z_i \approx 0$.

Операція піднесення до квадрату в обчислювальній техніці є найбільш складною по відношенню до операцій порівняння, сумування, віднімання. Тому ефективна реалізація структури операційних пристроїв піднесення до квадрату є особливо важливою в досягненні необхідних мінімакських характеристик [39]. Аналіз літературних джерел показує, що для розробки структурних схем пристроїв піднесення до квадрату в найбільшій мірі їх реалізації стосуються отримання парних добутків $x_i x_j$ в цифрових кореляторах виключно в кодовій системі двійкових чисел ТЧБ Радемахера. Можливість створення КСП на основі різних ТЧБ приводить до необхідності більш широкого аналізу даного класу операційних пристроїв, у тому числі в кодових системах унітарного ТЧБ, а також базисів Хаара та Крестенсона.

Реалізація операцій піднесення до квадрату може виконуватися на основі різних аналітичних виразів [11-12]:

$$x \cdot y = \frac{(x+y)^2 - (x-y)^2}{4}.$$

Недоліком таких пристроїв є виконання різнотипних операцій, включаючи додавання, віднімання, піднесення до квадрату і ділення. Тому такі спецпроцесори мають громіздку структуру і низьку швидкодію, яка обумовлена роботою по двох циклах. В першому циклі на інтервалі часу вимірювання параметрів x та y відбувається арифметичне додавання і віднімання кодів, а в другому циклі – обчислення добутків в квадраторах [13, 112].

Іншим ефективним рішенням реалізації унітарного пристрою є застосування алгоритму піднесення до квадрату шляхом сумування непарних чисел [109, 112]:

$$x \cdot x = \sum_{i=1}^x (2i - 1).$$

Наприклад: $x=7$; $x \cdot x = 1+3+5+7+9+11+13=49$.

На рис. 3.17 показана структура пристрою піднесення до квадрату, який реалізує піднесення до квадрату однакових значень унітарних кодів X [109, 112].

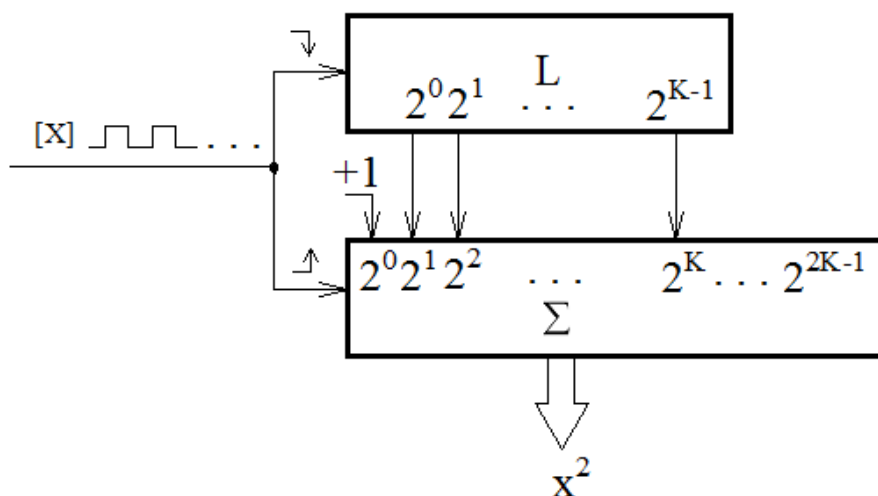


Рис. 3.17. Структура перемножувача шляхом піднесення до квадрату унітарних кодів (L , Σ – відповідно, лічильник та суматор у базисі Радемахера).

Робота пристрою тактується імпульсами вхідного унітарного коду, по фронту наростання яких відбувається сумування та запис суми кодів, які формуються на виході лічильника L в суматорі суми Σ , а по фронту спаду сумування та формування кодів вхідного числа імпульсів в базисі Радемахера. Перед початком обчислення лічильник та регістр накоплюючого суматора скидаються в нульовий стан [109, 112].

У таблиці 3.2 показано формування кодів унітарного квадратора в базисі Радемахера [109, 112].

Таблиця 3.2

Формування кодів унітарного квадратора в базисі Радемахера ($x=7$)

x	$(2x+1)$	L	Σ
1	2	3	4
0	0000...00	000...00	000000...00
1	1100...00	100...00	100000...00
2	1010...00	010...00	001000...00
3	1110...00	110...00	100100...00
...
7	1111...00	111...00	100011...00
...

Для ілюстрації імпульсно-квадратичного порогового розпізнавання та ідентифікації коротких замикань спецпроцесором розглянемо приклад.

Нехай після виявлення факту збурення в електромережі реєстрацією цифрового "викиду" значення Z_i на інтервалі часу $t_0 < t < t_0 + \pi/2$ у результаті появи експоненціальної складової амплітуди струмів після часу $t > t_0 + \pi/2$ реєструються значення $Z_i \neq 0$ у вигляді цифрових різниць $Z_i = |x_i - x_{i-n}|$

(1 3 5 7 7...), що відповідає унітарним кодам:

(1 111 11111 1111111 1111111...).

Відомо (з теорії чисел), що сума непарних чисел дорівнює квадрату їх числа (табл. 3.3).

Квадрати суми непарних чисел

Число непарних чисел [x]	Сума непарних чисел	X^2
1	1	1
2	1+3	4
3	1+3+5	9
4	1+3+5+7	16
5	1+3+5+7+9	25
6	1+3+5+7+9+11	36
7	1+3+5+7+9+11+13	49
8	1+3+5+7+9+11+13+15	64
9	1+3+5+7+9+11+13+15+17	81
10	1+3+5+7+9+11+13+15+17+19	100
...

У нашому випадку отримаємо:

$$1 + \underbrace{3+5+7}_3 + \underbrace{9+11+13+15+17}_5 + \underbrace{19+21+23+25+27+29+31}_7 + \underbrace{33+35+37+39+41+43+45}_7 + \dots$$

Тобто: $1+15+65+175+273+\dots = S_i$

На рис. 3.18 показаний графік наростання імпульсно-квадратичної функції S_i .

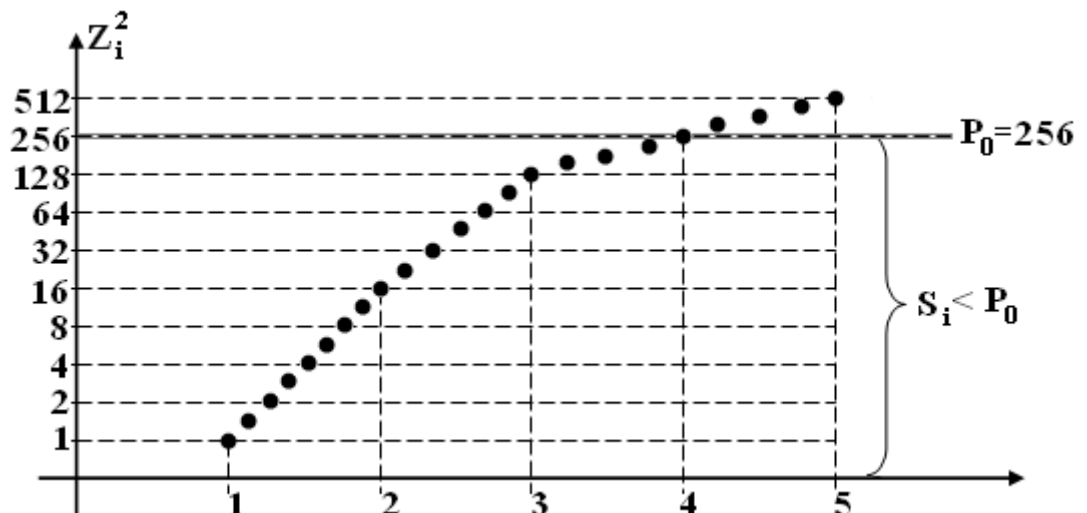


Рис. 3.18. Наростання ідентифікаційної функції розвитку короткого замикання в електромережах.

Структура спецпроцесора, який обчислює імпульсно-квадратичну функцію S_i , показана на рис. 3.19.

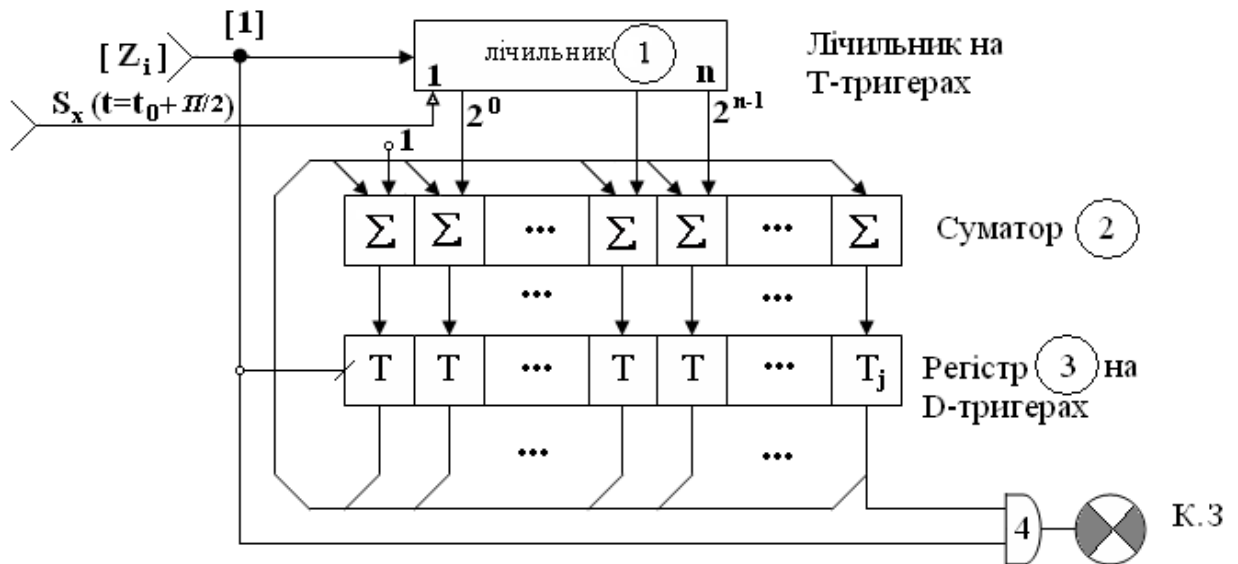


Рис. 3.19. Структура спецпроцесора обчислення порогового значення імпульсно-квадратичної функції $S_i > P_0$.

На основі досліджених методів та спецпроцесорів розпізнавання збурень типу накидів у високовольтних електромережах, а також обґрунтованих структур мікроелектронних компонентів кореляційного опрацювання гармонічних сигналів розроблена функціональна структура пристрою релейного захисту, яка показана на рис. 3.20 [38, 110].

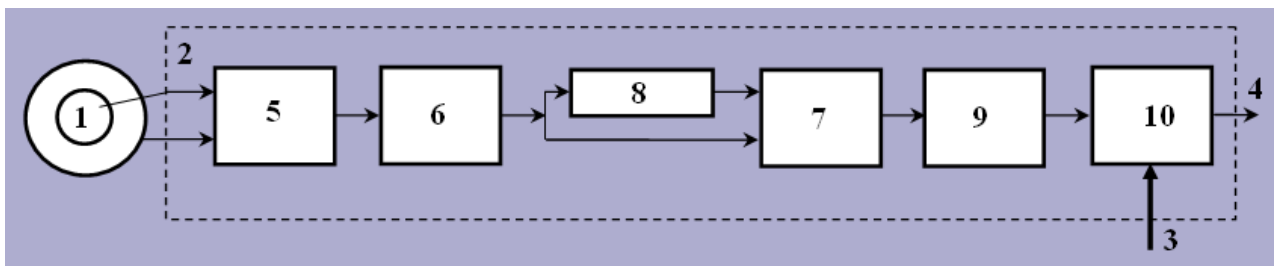


Рис. 3.20. Функціональна схема пристрою релейного захисту високовольтних ліній електропередач:

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.

Пристрій належить до технічних засобів релейного захисту високовольтних ліній електропередач і може бути використаний для

розпізнавання накидів та коротких замикань, інваріантних до величини зростання струмів в окремих фазах електроліній.

Відомий пристрій релейного захисту високовольтних ліній електропередач у вигляді реле струму, який містить трансформатор струму, вихід якого підключений до порогового елемента типу електромагнітного реле, виходом якого є керуючі контакти силового вимикача [31-33, 39, 47, 48, 105].

Недоліками такого пристрою є необхідність багаторазового налаштування порогового рівня спрацювання реле струму при зміні конфігурації та режимів роботи обладнання ЛЕП, а також обмежені функціональні можливості, обумовлені тим, що пристрій не дозволяє автоматично розпізнавати накиди та короткі замикання в ЛЕП, коли вхідна амплітуда зростання струму у фазі при коротких замиканнях (наприклад, у віддаленому участку ЛЕП) менша вхідної амплітуди зростання струму при включенні потужного споживача (наприклад, електроприводу) чи відключенні паралельної лінії постачання електроенергії потужному електроспоживачеві.

Відомі пристрі релейного захисту високовольтних ЛЕП, які містять трансформатор струму, вихід якого підключений до порогового елемента типу цифрового мікроконтролера, виходом якого є керуючі контакти силового вимикача [5-7, 31-33, 39].

Недоліком таких пристроїв є обмежені функціональні можливості, обумовлені тим, що вони, моделюючи цифровою обробкою функції реле струму, не дозволяють автоматично розпізнавати накиди та короткі замикання в ЛЕП, коли вхідні амплітуди зростання струму у фазі є інваріантні, а характер спотворень струму не опрацьовується. Іншим недоліком відомого пристрою є висока складність та вартість універсального багатофункціонального мікропроцесорного контролера для цифрового опрацювання струмів у фазах ЛЕП. Це обмежує можливості масового застосування таких пристроїв, число яких може складати десятки і сотні на високовольтних підстанціях.

Удосконалення пристрою релейного захисту високовольтних ліній електропередач здійснено шляхом додаткового введення випрямляча струму,

АЦП, логічного елемента "виключаюче АБО", реєстра зсуву, що дозволяє отримати можливість розпізнавання накидів та коротких замикань в ЛЕП незалежно від абсолютних значень зростання струму в одній із фаз.

Пристрій релейного захисту високовольтних ліній електропередач (див. рис. 3.20) складається з трансформатора струму (1), вихід якого підключений до входу модуля опрацювання сигналів (2), вхідної шини уставок (3) та вихідної шини управління силовим вимикачем (4), який відрізняється тим, що додатково містить випрямляч струму (5), вхід якого підключений до виходу трансформатора струму (1), а вихід підключений до входу АЦП (6), вихід якого з'єднаний з першим входом логічного елемента "виключаюче АБО" (7) та входом реєстра зсуву (8), вихід якого підключений до другого входу логічного елемента "виключаюче АБО" (7), вихід якого підключений до входу інтегруючого квадратора (9), вихід якого підключений до першого входу елемента порівняння (10), другий вхід якого з'єднаний з шиною уставки (3), а вихід є керуючим входом силового вимикача (4).

Пристрій працює наступним чином: вихідна напруга з вимірювального трансформатора струму (1) подається на входи двохпівперіодного випрямляча (5), після чого поступає на вхід АЦП (6), який формує вихідний унітарний код, в якому число імпульсів відповідає миттєвій амплітуді вимірюваного струму. Унітарний код з виходу АЦП одночасно подається на вхід БРЗ (8) та один з входів логічного елемента "Виключаюче АБО", на другий вхід якого подається унітарний код, затриманий в часі на півперіода промислової частоти 50 Гц, тобто на 0,01 с. Отримана на виході логічного елемента "Виключаюче АБО" (7) модульна різниця між амплітудами поточного та затриманого на півперіода значення струму поступає на вхід інтегруючого квадратора (9), який накопичує суму квадратів різницевих значень струму. У випадку, коли сума квадратів не перевищує заданого порогу у пороговій схемі (10), приймається рішення про відсутність накиду або короткого замикання у високовольтній лінії електропередач. У випадку перевищення заданого порогового значення, яке подане на вхідну шину (3), формується сигнал управління потужним високовольтним вимикачем на вихідній шині (4).

Це дало змогу реалізувати розпізнавання накидів та коротких замикань. Інтегруючий квадратор є елементом число-імпульсного помножуючого пристрою [39, 47].

Характеристики запропонованого пристрою релейного захисту високовольтних ліній електропередач:

- розширені функціональні можливості;
- висока швидкодія розпізнавання накидів та коротких замикань на інтервалі одного – двох періодів промислової частоти;
- спрощена схема мікроелектронної реалізації пристрою;
- можливість реалізації на кристалі ПЛІС;
- зменшена вартість пристрою та можливість масового тиражування та впровадження на високовольтних підстанціях;
- підвищена надійність та можливість працювати в широкому діапазоні температур.

У результаті запропонованого вдосконалення створено малогабаритний, мікроелектронний швидкодіючий пристрій з розширеними функціональними можливостями розпізнавання накидів та захисту високовольтних ЛЕП від коротких замикань.

Робота спецпроцесора виконується згідно алгоритму:

1. У момент часу $t = t_0 + \frac{\pi}{2}$ формується сигнал скиду лічильника 1 у нульовий стан, одночасно "0" записується у регістр – 3.
2. Після кожного імпульсу-1 на вході лічильника $[Z_i]$ до його вмісту додається одиниця, а за рахунок зміщення його виходів на один розряд вправо плюс "1" у молодшому розряді в суматор додаються коди непарних чисел.
3. У результаті, в накоплюючому регістрі формується код наростаючої імпульсно-квадратичної суми S_i .
4. Як тільки на виході T_j -го тригера накопичувального регістра з'явиться сигнал "1" ($2^j = P_0$), на виході логічного елемента 4 формується також сигнал "1", що свідчить про перевищення значення функції $S_i > P_0$ та ідентифікації розвитку короткого замикання у високовольтній електромережі.

Реалізація такого спецпроцесора може бути легко виконана на одному кристалі ПЛІС або на спеціальній платформі конкретної фірми. Швидкодія такого спецпроцесора може бути реалізована на тактовій частоті до 50 МГц, що забезпечує цифрову реєстрацію 1024 10-ти бітних відліків на виході АЦП трансформатора струму.

При цьому апаратна складність спецпроцесора складає: $A=10$ (Т-тригерів)+ $20(\Sigma$ -суматорів)+ $20(D$ -тригерів) або, враховуючи, що один Т-тригер містить 4 вентилі, суматор - 5 вентилів, D-тригер – 2 вентилі, отримаємо сумарне число вентилів на ПЛІС $10 \cdot 4 + 20 \cdot 5 + 20 \cdot 2 = 180 \approx 200 \cup$, де \cup - символ вентиля "І-НЕ" на ПЛІС.

Оскільки типові ПЛІС мають число вентилів $5 \cdot 10^6$ і більше, то на одному кристалі можна реалізувати кілька тисяч таких спецпроцесорів, без врахування структур АЦП для паралельного контролю та реєстрації коротких замикань на електричних підстанціях з великим числом приєднань.

Спецпроцесор обчислення порогової імпульсно-квадратичної функції z_i^2 , структура якого представлена на рис. 3.19, не може бути без вдосконалення застосований у якості мікроелектронного компонента пристрою релейного захисту, оскільки в ньому відсутній модуль його старт-стопної активації у моменти виникнення збурення у високовольтній електромережі.

ВИСНОВКИ ДО ТРЕТЬОГО РОЗДІЛУ

1. Викладені теоретичні засади опрацювання дискретизованих гармонічних сигналів на основі теорії розпізнавання образів шляхом розрахунку оцінок лінійної та квадратичної Евклідової відстані у Хеммінговому просторі. Показано, що відомі методи вузькоспеціалізовані і не характеризуються універсальністю до різних образів. Кореляційні методи найбільш ефективні, але, по визначенню ряду авторів, вважаються низькошвидкісними та апаратно-складними, оскільки передбачають цифрову обробку образів у двійковій системі числення базису Радемахера. Також недостатньо ефективні методи в Хеммінговому просторі на основі двійкової системи числення.

2. Досліджений метод розпізнавання перехідних процесів в енергетичних системах на основі процесора з нейрокомпонентами квадратично-імпульсного перетворення гармонічних сигналів. Проаналізовані результати програмного моделювання розпізнавання накиду та короткого замикання на основі цифрового опрацювання двополярних та однополярних моделей накидів та коротких замикань. Розраховані характеристики часової та апаратної складності структури кореляційного нейропроцесора для розпізнавання гармонічних сигналів на основі моделі рекурентного нейрона. В результаті встановлено, що процесори такого класу мають складні алгоритми обчислень та велику апаратну складність. Тому недостатньо ефективно можуть бути застосовані у якості мікроелектронних компонентів промислових пристроїв релейного захисту.

3. Удосконалений метод рандомізації та кореляційної оцінки збурень у високовольтних електромережах, який, у порівнянні з відомим методом, характеризується підвищеною у два рази роздільною здатністю за рахунок застосування кодів M -послідовностей зі збільшеною базою $n = 15$.

4. Досліджені алгоритми та схемотехнічні рішення спецпроцесорів реалізації операцій піднесення до квадрату цифрових кодів, представлених в унітарному теоретико-числовому базисі. Розроблений алгоритм піднесення до

квадрату унітарних кодів шляхом обчислення непарних чисел. Розроблений алгоритм спецпроцесора інтегруючого квадратора та обчислені характеристики його апаратної та часової складності. Розроблений спецпроцесор відрізняється від відомих меншою алгоритмічністю та апаратною складністю, тому застосований в якості мікроелектронного компонента пристрою релейного захисту.

РОЗДІЛ 4

РОЗРОБКА ТА РЕАЛІЗАЦІЯ У МІКРОЕЛЕКТРОННОМУ ВИКОНАННІ НА ПЛІС КОМПОНЕНТІВ ПРИСТРОЮ РЕЛЕЙНОГО ЗАХИСТУ

4.1 Розробка аналогових компонентів принципів схемотехнічних рішень компонентів пристрою релейного захисту високовольтних ліній електропередач

Запропонований пристрій релейного захисту містить два типи послідовно з'єднаних компонентів:

- 1) компоненти опрацювання аналогових сигналів – трансформатор струму та двохпівперіодний випрямляч;
- 2) компоненти цифрового перетворення та опрацювання сигналів – АЦП, цифровий автокорелятор та інтегруючий квадратор.

4.1.1 Трансформатор струму

Трансформатор струму та двохпівперіодний випрямляч, які є вхідними компонентами пристрою релейного захисту, призначені для вимірювання фазного струму у приєднанні високовольтної підстанції та формування однополярних випрямлених сигналів у вигляді електричних потенціалів промислової частоти [64].

Вимірювальний трансформатор представляє собою електричний трансформатор, на первинну обмотку якого впливає вимірюваний струм або напруга, а вторинна – знижуюча, включена на вимірювальні прилади і засоби релейного захисту. Реле захисту застосовують головним чином в розподільних пристроях і в ланцюгах змінного струму високої напруги для безпечних вимірів сили струму, напруги, потужності, енергії. На випадок пошкодження ізоляції з боку високої напруги один із затисків вторинної обмотки заземляють. З допомогою трансформатора можна вимірювати різні значення електричних величин приладами (вольтметром, амперметром, ватметром)

електровимірювань. Розрізняють трансформатори напруги (для включення вольтметрів, частотомірів, паралельних кіл ватметрів, лічильників, фазометрів і реле напруги) і струму (для включення амперметрів, послідовних кіл ватметрів, лічильників, фазометрів і реле струму). Схеми включення трансформатора струму в електричне коло показані на рис. 4.1 [64].

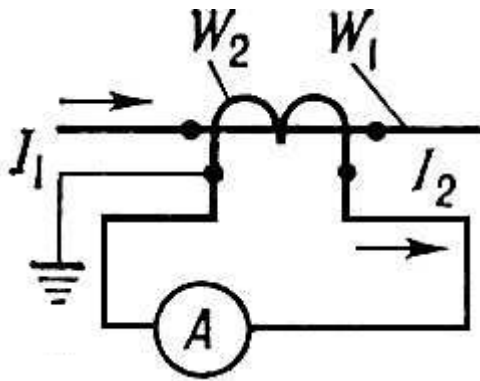


Рис. 4.1. Вимірювальний трансформатор струму (Схема включення. Зовнішній вигляд трансформатора струму на 115 кВ.).

Первинна обмотка трансформатора струму W_1 (див. рис. 4.1) включається послідовно в контрольоване електричне коло змінного струму I_1 , а вторинна обмотка W_2 - в послідовне коло амперметра або інших вимірювальних приладів. Точність трансформатора струму характеризується вираженим у відсотках відношенням різниці значень приведенного вторинного струму і дійсного первинного струму до дійсного значення первинного струму.

Для вимірів в колах постійного струму великої сили або високої напруги застосовують трансформатор постійного струму особливої конструкції (рис. 4.2) [64]. Дія такого трансформатора заснована на насиченні сердечників з феромагнетика при невеликих напругах магнітного поля, внаслідок чого середнє значення змінного струму в допоміжній обмотці стає залежним від вимірюваного постійного струму.

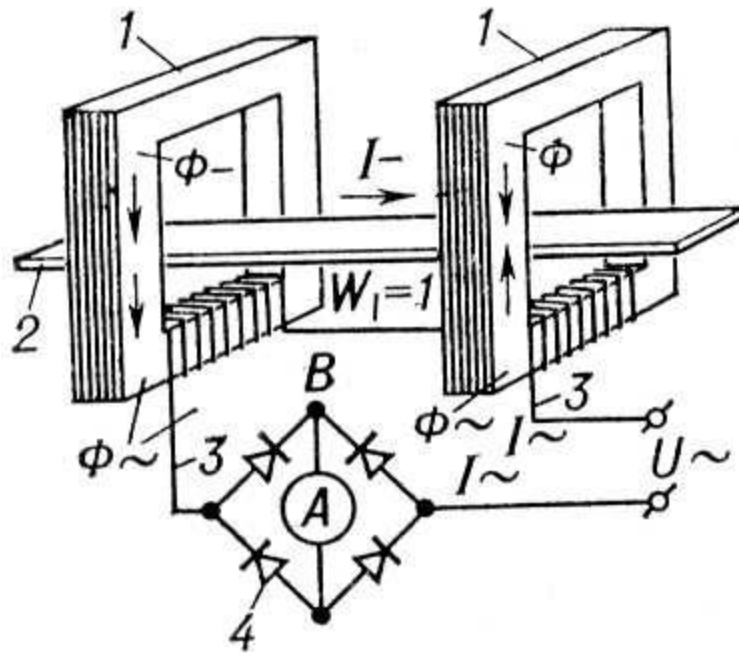


Рис. 4.2. Схема вимірювального трансформатора постійного струму:
 1 - сердечник; 2 - шина; 3 - допоміжна обмотка; 4 - діоди випрямного моста; Φ - магнітний потік; $U \sim$ - випрямляч; A - амперметр; W_1 - первинна обмотка (шина); $U \sim$ - допоміжне джерело змінного струму; I - вимірюваний струм.

На етапі проектування систем застосовують, так звані, прохідні трансформатори струму (рис. 4.3) [64]. У такому трансформаторі магнітопровід 3 і вторинна обмотка 2 змонтовані на прохідному ізоляторі 4, який слугує для введення високої напруги в кузов, а роль первинної обмотки трансформатора виконує мідний стержень 1, що проходить всередині ізолятора.

Умови роботи трансформаторів струму відрізняються від звичайних. Наприклад, розмикання вторинної обмотки трансформатора струму при включеній первинній обмотці неприпустиме, оскільки це викличе значне збільшення магнітного потоку i , як наслідок, температури сердечника і обмотки трансформатора, тобто вихід з ладу.

При включенні приладів за допомогою вимірювальних трансформаторів виникають похибки двох видів: похибка в коефіцієнті трансформації і кутова похибка (при змінах напруги або струму відношення U_1/U_2 і I_1/I_2 дещо змінюються і кут зсуву фаз між первинною і вторинною напругою і струмами

відхиляється від 180°). Ці похибки зростають при понаднормованому навантаженні трансформатора. Кутова похибка впливає на результати вимірювань приладами, покази яких залежать від кута зсуву фаз між напругою і струмом (наприклад, ватметрів, лічильників електричної енергії та ін.).

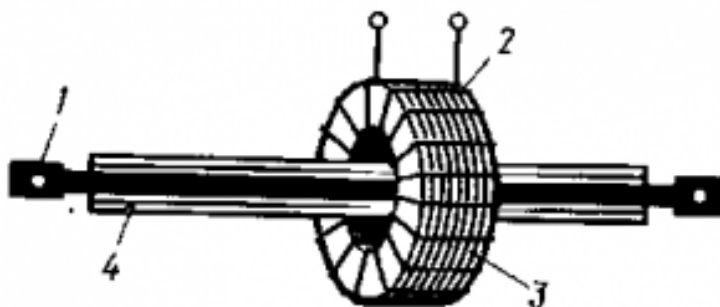


Рис. 4.3. Прохідний вимірювальний трансформатор струму.

4.1.2 Двохперіодний випрямляч

Найбільше поширення в апаратурі дістала однофазна однопотісна (місткова) схема випрямляча (рис. 4.4 (а)) [64].

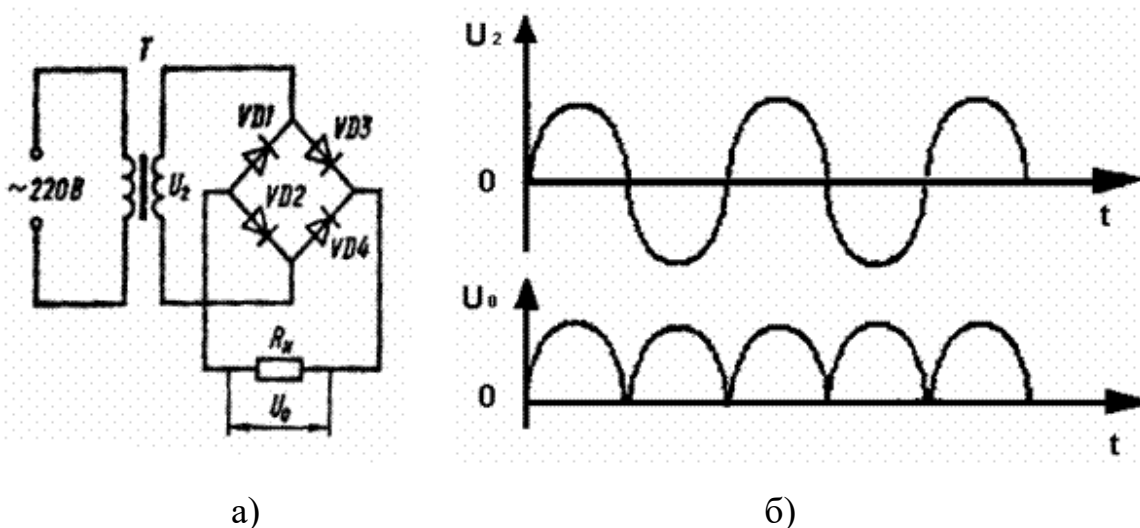


Рис. 4.4. Однофазна однопотісна (місткова) схема випрямляча.

Тут первинна обмотка трансформатора вмикається в мережу однофазного змінного струму, а до вторинної обмотки приєднуються чотири випрямні діоди, з'єднані за схемою моста, причому в одну діагональ моста вмикається вторинна обмотка силового трансформатора, в іншу — опір навантаження. Через навантаження випрямлений струм проходить за два

які враховують мінімізацію числа входу-виходів N , верхню границю споживаної потужності E , потік тепловиділення Q , діапазон робочих температур C^0 , а в окремих застосуваннях на низових рівнях спеціалізованих комп'ютерних систем ряд інших параметрів (вибухобезпека, інтенсивність вібрацій, радіаційний фон та ін.).

При вирішенні задач розробки засобів формування для конкретних галузей промисловості та виробництв реалізується компромісне задоволення приведеної сукупності критеріїв. При цьому також повинні враховуватися ергономічні показники, пов'язані з роботою людини-оператора в заданих виробничих умовах, а також граничні умови швидкості створення повідомлень на рівні конкретного засобу формування.

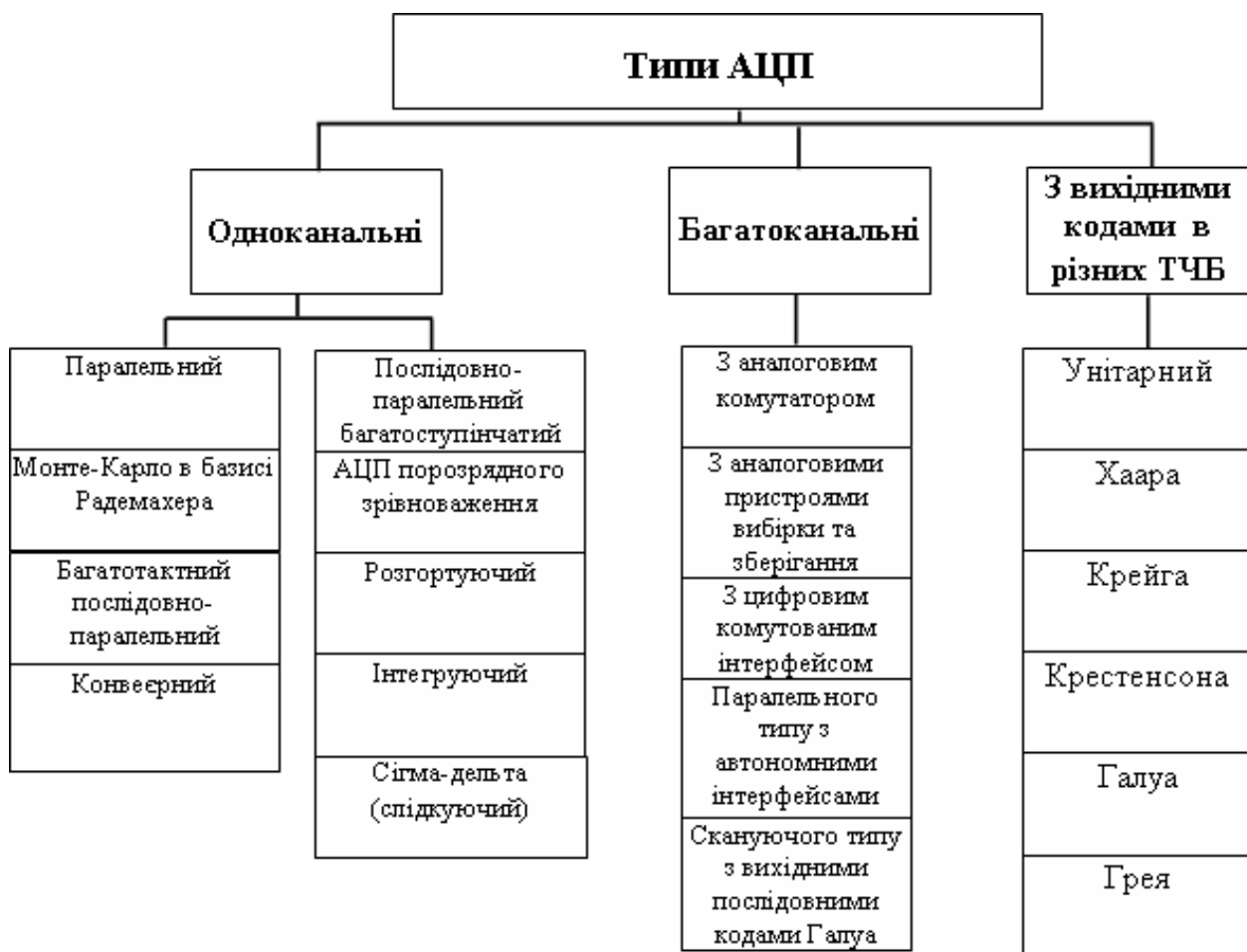


Рис. 4.5. Класифікація АЦП.

Таким чином, як видно з умов вибору оптимальної структури ПФІ, його основним компонентом є аналого-цифровий перетворювач.

Аналіз існуючих методів формування та кодування технологічних даних на низових рівнях показує, що на практиці найширше застосування знайшли ПФІ, які в своєму складі містять АЦП різних типів.

На рис. 4.5 показана класифікація АЦП по ознаках числа каналів та вихідних кодів в різних ТЧБ [74].

Класифіковані типи АЦП відрізняються інформаційними технологіями формування вихідних технологічних даних.

Літературні дані по розробці сучасних АЦП показують, що їх системні властивості складності можуть бути описані характеристичним функціоналом [74]:

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

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.

В аспекті теоретичних положень оцінки апаратної, часової, структурної та системної складності розглянемо структури та системні характеристики існуючих одноканальних та багатоканальних АЦП, як компонентів спецпроцесорів (табл. 4.2) [74].

Таблиця 4.2

Структури та параметри вихідних сигналів

№ п/п	Тип АЦП	Структура	Двійковий код
1	2	3	4
1	Паралельний		a_k a_{k-1} \dots a_v \dots a_1

Продовження таблиці 4.2

1	2	3	4
8	Інтегруючий		a_k a_{k-1} \dots a_v \dots a_1
9	Сігма-дельта (слідкуючий)		a_k a_{k-1} \dots a_v \dots a_1
10	Перетворювач напруга-частота(ПНЧ) з імпульсним виходом		$y_1 \ y_2 \ \dots \ y_v$
11	АЦП на основі ПНЧ, в базисі Радемахера		a_k a_{k-1} \dots a_v \dots a_1
12	Інтегрально-імпульсний АЦП з імпульсним вихідним кодом в базисі Крейга-Галуа		\dots $g_k \ \dots$ g_v g_{v-1} \dots g_1 \dots
13	АЦП розгортуючого типу в базисі Крестенсона		b_1 b_2 \dots b_k
14	АЦП розгортуючого типу в базисі Крейга		$c(1)$ $c(2)$ \dots $c(k/2)$ \dots

Продовження таблиці 4.2

1	2	3	4
15	АЦП розгортуючого типу в базисі Хаара		<p>...</p> <p>y_v</p> <p>...</p>
16	АЦП розгортуючого типу в унітарному базисі		<p>y_1</p> <p>y_2</p> <p>...</p> <p>y_v</p> <p>...</p>

Основним критерієм вибору АЦП для інформаційних засобів, які використовуються в електроенергетиці є максимальна точність обчислень та висока швидкодія. Таким вимогам відповідають сігма-дельта АЦП (див. табл. 4.2, п. 9).

Для виконання обчислювальних операцій розпізнавання накидів та коротких замикань у високовольтних ЛЕП на один період промислової частоти 50 Гц потрібно зареєструвати не менше 48-64 цифрових відліків у діапазоні 20 біт, що забезпечує надійну ідентифікацію перехідних процесів у високовольтних лініях пересилання електроенергії.

При реалізації пристрою релейного захисту високовольтних ліній електропередач та спрощення виконання математичних операцій визначення модульної різниці між зсунутими на півперіода промислової частоти значеннями струмів, накопичення суми квадратів цих різниць та порівняння з пороговою уставкою доцільно застосувати АЦП розгортуючого типу з вихідним унітарним кодом (див. табл. 4.2, п. 16) [66].

В таблиці 4.3 показані типи та характеристики такого класу АЦП, які випускаються фірмами.

Таблиця АЦП, що випускаються фірмами.

Фірма	Тип АЦП	Розрядність АЦП	Швидкодія*
Analog device	AD7687	16 біт	250 kSPS
Analog device	AD7982	18 біт	1000 kSPS
Analog device	AD7689	16 біт	500 kSPS
Analog device	AD7690	16 біт	100 kSPS
Texas Instruments	ADS1255	24 біт	30 kSPS
Texas Instruments	ADS1222	24 біт	240 kSPS
Texas Instruments	ADS1110	16 біт	15-240 kSPS

*100 kSPS = 100 KiloSamples Per Second = 100 тисяч вибірок в секунду

4.1.4 Багаторозрядний регістр зсуву та логічний елемент "Виключаюче АБО"

У залежності від способу кодування сигналів на виході АЦП використовують різні структури багаторозрядних регістрів зсуву (БРЗ) [66].

БРЗ на основі паралельних кодів базису Радемахера застосовуються у спецпроцесорах кореляційного базису Радемахера. Вхідна цифрова інформація на виході АЦП може представлятися у вигляді паралельного двійкового коду [20], або біт-орієнтованого коду:

$$x_i \begin{cases} a_{K-1} \\ \dots \\ a_j \\ \dots \\ a_0 \end{cases} ; \text{ або } \overbrace{a_0 \dots a_j \dots a_{K-1}}^{x_i} ; x_i = \sum_{j=0}^{n-1} a_j \cdot 2^j ,$$

де $a_j \in \overline{0,1}$;

x_i - поточне значення цифрового відліку, яке поступає на вхід кореляційного спецпроцесора.

У випадку, коли на вхід цифрового кореляційного процесора (ЦКП) поступає паралельний код у базисі Радемахера, структура багатоканального регістра зсуву має вигляд, представлений на рис. 4.6 [20, 109].

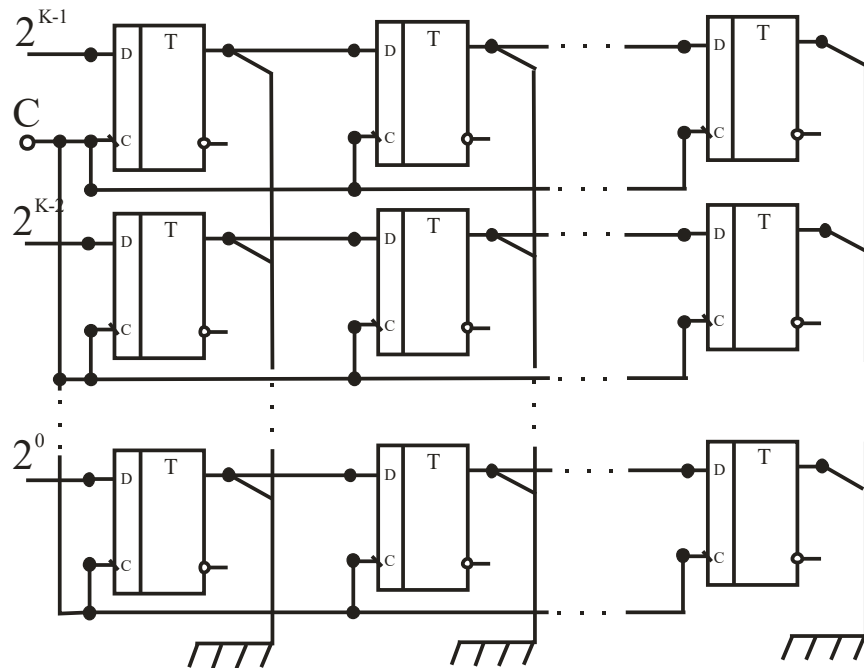


Рис. 4.6. Багатоканальний регістр зсуву у базисі Радемахера.

На основі структури, поданої на рис. 4.6, визначаємо системні характеристики БРЗ, представлені в таблиці 4.4 [109].

Таблиця 4.4

Системні характеристики БРЗ з паралельними кодами у базисі Радемахера

Системні параметри	Аналітичний вираз	Пояснення
Число розрядів	$K=1$	-
Число каскадів	m	-
Швидкодія	$V=K \cdot 2LE$	LE – швидкість переключення логічного вентиля
Об'єм пам'яті	$M=K \cdot m$	D – тригерів
Число інформаційних зв'язків	$S=K \cdot (m+1) + R(m-1)$	-
Число каналів вихідних шин	$N_K=K \cdot m$	-
Коефіцієнт емерджентності	$K_e=3+1/m$	-

На рис. 4.7 показана структура БРЗ з послідовним кодом в базисі Радемахера [109].

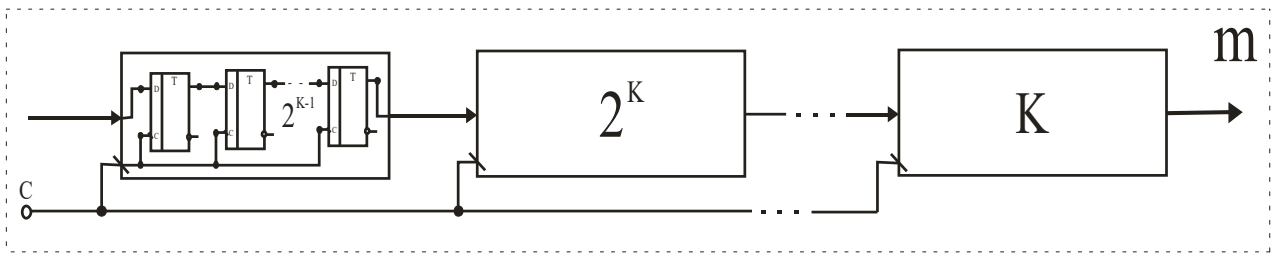


Рис. 4.7. Структура регістру зсуву з послідовним кодом в базисі Радемахера.

У випадку застосування кореляційного АЦП послідовного наближення цифрові відліки S_i формуються у вигляді біт-орієнтованого інформаційного коду. В результаті структура БРЗ буде біт-орієнтована (рис. 4.8) [66, 109].

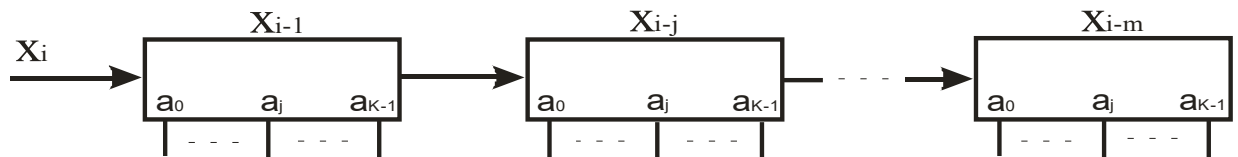


Рис. 4.8. Структура біт-орієнтованого БРЗ

У таблиці 4.5 приведені системні характеристики даної реалізації БРЗ.

Таблиця 4.5

Системні характеристики БРЗ з біт-орієнтованими кодами у базисі Радемахера

Системні параметри	Аналітичний вираз	Пояснення
Число розрядів	$K=1$	-
Число каскадів	m	-
Швидкодія	$V=K \cdot 2LE$	LE – швидкість переключення логічного вентиля
Об'єм пам'яті	$M=K \cdot m$	D – тригерів
Число інформаційних зв'язків	$S=2m+1$	-
Число каналів вихідних шин	$N_K=K \cdot m$	-
Коефіцієнт емерджентності	$K_e=2+1/m$	$K_e = \frac{N_3}{N_e}$ N_3 – число зв'язків N_e – число елементів

Дослідження системних характеристик БРЗ (апаратної, часової та структурної складності) при однакових значеннях числа точок кореляційної функції m проводиться наступним чином:

1. Оцінка часової складності БРЗ у різних ТЧБ. Незалежно від характеристик ТЧБ всі БРЗ реалізуються на основі регістрів зсуву на D – тригерах з тривалістю переключення $2LE$, то часова складність всіх типів БРЗ буде однакова згідно виразу $L = 2LE$. При швидкодії переключення вентиляного елемента мікроелектронної реалізації БРЗ 7нс , відповідно, $L=14\text{нс}$. Тобто в архітектурі КСП, які можуть бути реалізовані в різних ТЧБ, висока швидкодія БРЗ суттєво не впливає на характеристики швидкодії цифрових кореляторів.

2. Оцінка апаратної складності БРЗ у різних ТЧБ представлена у вигляді порівняльної діаграми на рис. 4.9 [47].

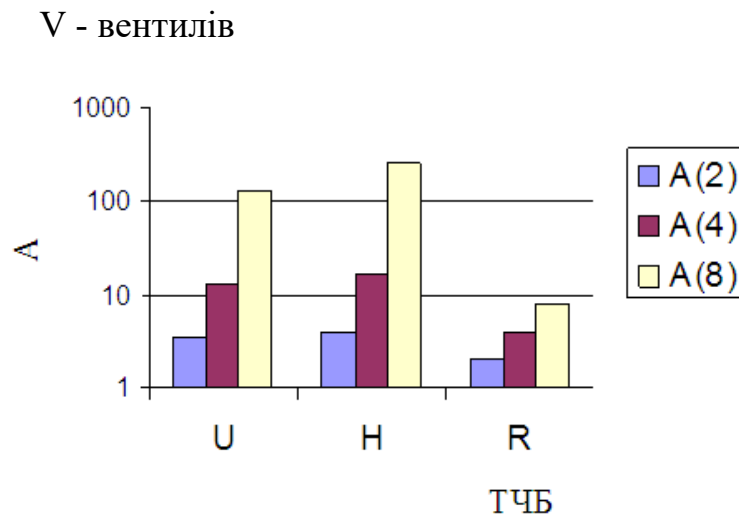


Рис. 4.9. Порівняльна діаграма апаратної складності БРЗ у різних ТЧБ.

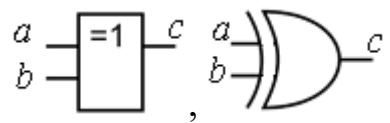
Дослідження апаратної складності БРЗ у різних ТЧБ показує, що найвищою апаратною складністю характеризуються БРЗ в унітарному ТЧБ та базисі Хаара, а найменшою БРЗ - у базисах Радемахера та Крестенсона.

3. Оцінка структурної складності БРЗ в різних ТЧБ. Дослідження архітектур БРЗ, реалізованих у різних ТЧБ, показує, що вони характеризуються високим рівнем регулярності. Тому структурна складність

буде пропорційна розрахованій апаратній складності кожного з типів БРЗ і буде, відповідно, перевищувати апаратну складність на число зв'язків компонентів БРЗ.

У загальному проведені дослідження системних характеристик БРЗ у різних ТЧБ при обчисленні різних кореляційних функцій, їх апаратна складність залежить не тільки від кодової системи ТЧБ, але і від типу кореляційної функції КСП.

Логічний елемент "Виключаюче АБО" виконує логічну операцію додавання двох сигналів по модулю 2: $c = a \oplus b$ і має наступні позначення:



Класична мікроелектронна реалізація логічного елемента "Виключаюче АБО" показана на рис. 4.10 [107, 108].

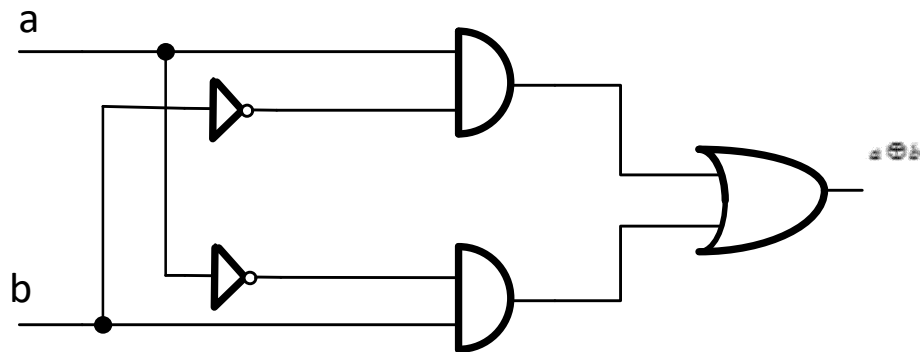


Рис. 4.10. Структура елемента "Виключаюче АБО" на логічних елементах "І", "АБО", "НЕ".

Аналіз часової та апаратної складності даного елемента показує, що часова складність $\tau_{\text{ЛЕ}} = 3\tau$; а апаратна складність $A=5\tau$.

Дана реалізація логічного елемента характеризується значною апаратною та часовою складністю. При використанні вхідних 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. 4.11) [66, 105].

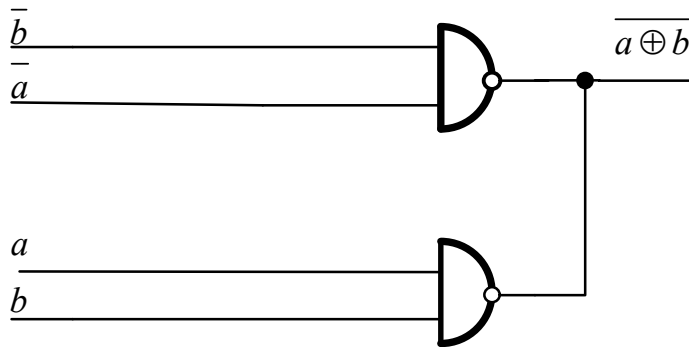


Рис. 4.11. Структура логічного елемента "Виключаюче АБО" на основі вхідних парафазних сигналів та об'єднання інверсних виходів елементів "І-НЕ".

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

На рис. 4.12 показана структурна реалізація швидкодіючого логічного елемента "Виключаюче АБО" на основі двох логічних елементів "І-НЕ" та "АБО" з об'єднаними виходами [66, 104].

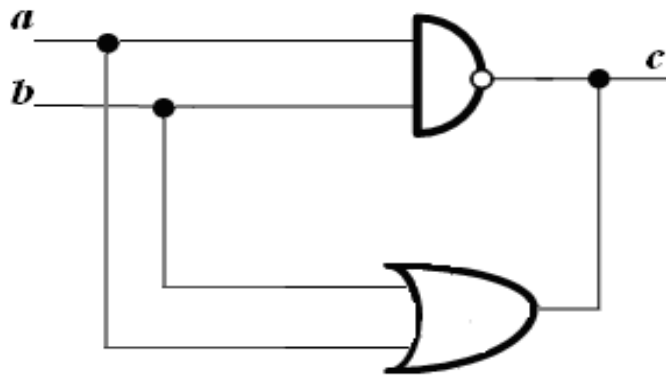


Рис. 4.12. Структура логічного елемента "Виключаюче АБО" на основі логічних елементів "І-НЕ" та "АБО" з об'єднаними виходами.

4.1.5 Розробка удосконаленого БРЗ

Можливо виконати спеціальний процесор на одному кристалі чи корпусі, який буде випрямляти синусоїду на виході трансформатора струму, мати АЦП-однополярний кристал, регістри зсуву і логічні елементи, два однорозрядні накопичувальні суматори, генератор унітарних кодів і

спецпроцесор-квадратор з виходом, який ідентифікує коротке замикання у процесі його розвитку на інтервалі менше одного періоду.

$$A_{БРЗ} = (8 \cdot 60 + 256 + 16) \cdot 2 = 1504 \text{ вентилів.}$$

Ці спецпроцесори можуть бути емульовані на типовому сигнальному однокристальному процесорі шляхом його програмування згідно розробленого алгоритму.

На рис. 4.13 зображено удосконалену структурну схему багаторозрядного регістра зсуву.

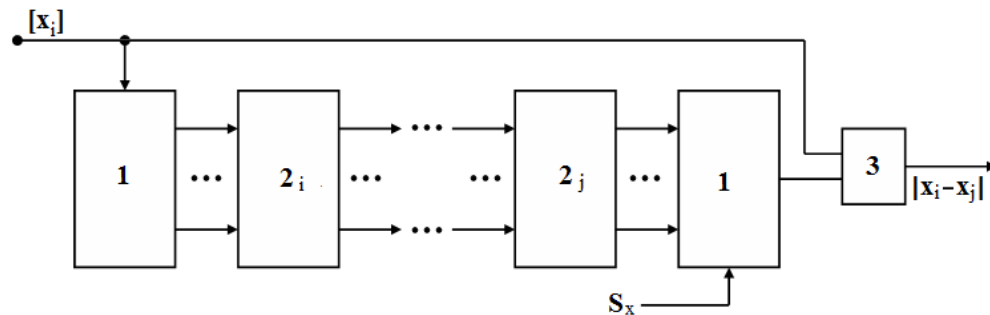


Рис. 4.13. Структурна схема удосконаленого багаторозрядного регістра зсуву.

Структурна схема (рис. 4.13) удосконаленого багаторозрядного регістра зсуву містить:

$[x_i]$ – вхідний унітарний код;

1 – сумуючий двійковий лічильник;

2 – регістри пам'яті на D-тригерах;

1 – віднімаючий двійковий лічильник;

3 – логічний елемент «Виключаюче АБО»;

S_x – імпульси синхронізації зчитування вихідного унітарного коду $[x_j]$.

4.2 Розрахунок системних характеристик, часової, апаратної та структурної складності компонентів пристроїв релейного захисту

Важливими системними характеристиками мікроелектронних компонентів пристрою релейного захисту є розрахунок апаратної та часової складності згідно виразів:

$$A_k = \sum_{i=1}^m A_i,$$

$$\tau_k = \sum_{j=1}^n \tau_j,$$

де A_i – апаратна складність i -того компонента;

τ_j – часова затримка сигналів у j -компоненті пристрою;

m – сумарна кількість обчислювальних компонентів пристрою;

n – максимальна кількість послідовно з'єднаних j компонентів пристрою.

Дані оцінки системних характеристик пристроїв застосовуються для визначення ефективності удосконалених схмотехнічних рішень шляхом їх порівняння з відомими схмотехнічними рішеннями пристрою. Отже, загальна оцінка апаратної та часової складності мікроелектронних компонентів пристроїв релейного захисту (ПРЗ) розраховується згідно виразів:

$$A_{\text{ПРЗ}} = A_{\text{АЦП}} + A_{\text{БРЗ}} + A_{\text{ХОР}} + A_{\text{КВ}},$$

$$\tau_{\text{ПРЗ}} = \tau_{\text{АЦП}} + \tau_{\text{БРЗ}} + \tau_{\text{ХОР}} + \tau_{\text{КВ}}$$

$$A_{\text{АЦП}} = A_{\Gamma} + A_{\text{R}} + A_{\text{ЦАП}} + A_{\text{K}} + A_{\text{V}},$$

$$\text{де } A_{\Gamma} = 10; A_{\text{R}} = 16; A_{\text{ЦАП}} = 24; A_{\text{K}} = 5; A_{\text{V}} = 1,$$

$$A_{\text{БРЗ}} = 60 \cdot 256 \cdot 2 = 30720 \text{ v}$$

$$A_{\text{ХОР}} = 2; A_{\text{КВ}} = A_2 + A_3 + A_4 + A_7 + A_{10}$$

$$A_{\text{КВ}} = 16 + 8 \cdot 16 + 8 + 32 + 6 = 190$$

$$\text{Отже, } A_{\text{ПРЗ}} = 56 + 30720 + 2 + 190 = 30968 \text{ v}$$

$$\tau_{\text{ПРЗ}} = 8 + 2 + 1 + (8 \cdot 2 + 16 \cdot 2 + 2 + 2) = 63 \text{ v (мікротакти)}.$$

На основі розрахованих характеристик апаратної та часової складності мікроелектронних компонентів пристроїв релейного захисту на основі нейропроцесорів, процесорів рандомізації та запропонованого інтегрально-квадратичного процесора з вдосконаленими компонентами побудовані порівняльні діаграми їх системних характеристик, показані на рис. 4.14.

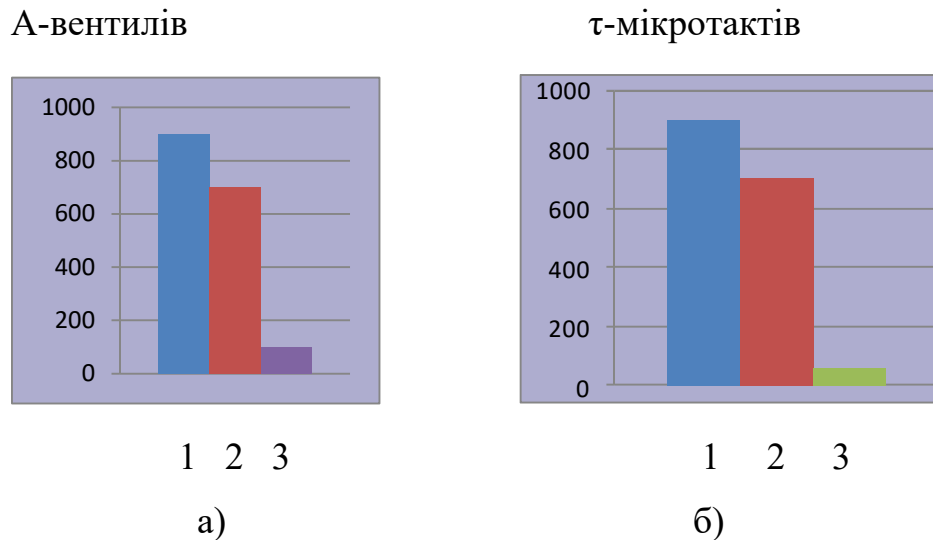


Рис. 4.14. Діаграми порівняльної апаратної (а) та часової (б) складності мікроелектронних пристроїв релейного захисту, 1 – нейропроцесор, 2 – процесор рандомізації, 3 – інтегрально-квадратичний процесор.

Таким чином, у результаті проведених теоретичних та експериментальних досліджень, виконаних в дисертаційній роботі при розробці мікроелектронного пристрою релейного захисту, досягнуто зменшення апаратної складності,

$$K_{e1} = \frac{A_1}{A_3} = 2,5 \text{ рази,}$$

$$K_{e2} = \frac{A_2}{A_3} = 2,5 \text{ рази,}$$

а підвищення швидкодії у 20 разів.

$$K_{\tau_1} = \frac{\tau_1}{\tau_3} = 20 \text{ разів, } K_{\tau_2} = \frac{\tau_2}{\tau_3} = 20 \text{ разів}$$

4.3 Розробка програми випробувань електронних компонентів дослідного взірця пристрою релейного захисту ПРЗ. 36-10

Програма лабораторних випробувань дослідних взірців пристрою релейного захисту в мережах 6-10 кв. Титульна сторінка програми наведена в додатку И.

I. ПІДСТАВА ДЛЯ ПРОВЕДЕННЯ ЛАБОРАТОРНИХ ВИПРОБУВАНЬ ДОСЛІДНИХ ВЗІРЦІВ ПРИСТРОЮ РЕЛЕЙНОГО ЗАХИСТУ В МЕРЕЖАХ 6-10 КВ

Лабораторні випробування виконуються згідно другого етапу (Авторський супровід лабораторних випробувань дослідних взірців ПРЗ.6-10.) на основі договору та технічного завдання, погодженого з ІМСКОЕ від 01.12.2016р. № СКС-70-2016 «Авторський нагляд за розробкою схемних рішень та випробувань дослідних взірців пристрою релейного захисту в мережах 6-10 кВ».

Програма та методика проведення лабораторних випробувань розроблена на основі ДСТУ 3974-2000 (Система розроблення та поставлення продукції на виробництво. – Держстандарт України. – Київ, 2001.) та Стандарту національного космічного агентства України (СОУ НКАУ 0007:2007) (Порядок проведення експериментального відпрацювання. – НКАУ. – 2007, п.8.1-8.3)

II. МЕТА ТА ЗАВДАННЯ ЛАБОРАТОРНИХ ВИПРОБУВАНЬ ДОСЛІДНОГО ВЗІРЦЯ ПРЗ.6-10

Основною метою науково-дослідної роботи є авторський нагляд за лабораторними випробуваннями схемних рішень дослідних взірців ПРЗ.6-10.

III. ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБІТ

Виконання лабораторних випробувань дослідного взірця ПРЗ.6-10 виконується відповідно до двох етапів:

1. Лабораторні випробування базових компонентів ПРЗ.6-10:

- трансформатор струму (перевіряється відповідність вхідних та вихідних сигналів);
- двохпівперіодний випрямляч (перевіряється осцилограма формування двохпівперіодного випрямлення синусоїдального сигналу),
- аналого-цифровий перетворювач (встановлюється відповідність формування унітарних кодів до амплітуди вхідних сигналів),

- багаторозрядний регістр зсуву (БРЗ) (встановлюється відповідність затримки заданого числа унітарних кодів у БРЗ на основі D-тригерів),
- логічний елемент "Виключаюче АБО" (встановлюється правильність виконання логічної операції XOR на виході логічного елемента),
- інтегруючий квадратор (встановлюється правильність накопичення суми кодів квадратів на виході компонента),
- елемент порівняння з пороговою уставкою (перевіряється правильність виконання порогової операції по модулю та формування сигналу його перевищення).

2. Лабораторні випробування дослідного взірця ПРЗ.6-10 (виконується шляхом формування вихідного ідентифікаційного сигналу накиду або замикання на землю, що формується лабораторним стендом імітаційного моделювання.

Випробування компонентів та дослідного взірця ПРЗ.6-10 виконуються за допомогою комплекту вимірювальних приладів:

- цифровий вольтметр: 4.5-30В LED, діапазон вимірювання 0 – 99,9 В;
- цифровий амперметр: АМ1, діапазон вимірювання 0,05-5,5 А;
- осцилограф С1-99;
- ПК для опрацювання результатів експериментів;
- лабораторний стенд імітаційного моделювання накидів та коротких замикань.

Лабораторні випробування базових компонентів ПРЗ.6-10 трансформатора струму, двохпівперіодного випрямляча виконуються за допомогою цифрового вольтметра, амперметра та осцилографа.

Випробування БРЗ, логічного елемента "Виключаюче АБО" та інтегруючого квадратора виконуються за допомогою ПК.

За результатами проведених лабораторних випробувань базових компонентів та дослідного взірця ПРЗ.6-10 складаються та затверджуються відповідні акти згідно ДСТУ 3974-2000.

Випробування двохпівперіодного випрямляча (див. рис. 4.15).

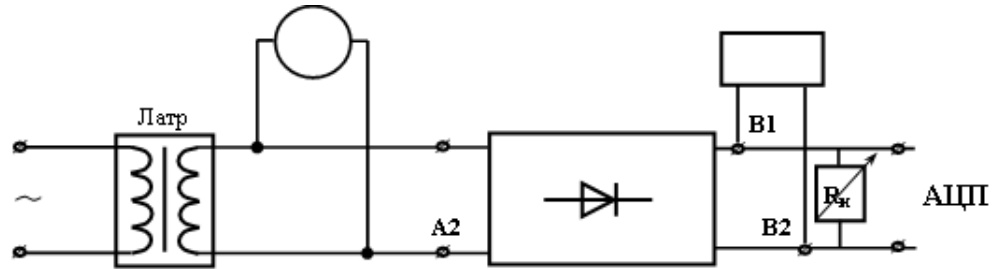




Рис. 4.15. Структурна схема стенду випробування двохпівперіодного випрямляча.

На рис. 4.15: латр – трансформатор змінної напруги, V – цифровий вольтметр,  - кристал двохпівперіодного випрямляча, O - осцилограф, R_н – регульований резистор навантаження.

Випробування виконуються наступним чином: до виходів A1, A2 регульованого трансформатора зажимами під'єднується цифровий вольтметр V та входи кристалу двохпівперіодного випрямляча, виходи B1, B2 якого з'єднуються з входами осцилографа та регульованим резистором навантаження., значення якого відповідає вхідному опоріві кристала АЦП та використовується для задання уставки порогового спрацювання пристрою. Шляхом регулювання вихідної напруги у діапазоні 0,5 В реєструється пропорційна зміна випрямленої напруги на екрані осцилографа. При невідповідності вихідних параметрів двохпівперіодного випрямляча зміні вхідної напруги, виконується відбраковка випробовуваного кристалу.

Випробування АЦП (див. рис. 4.16).

На рис. 4.16: регульований трансформатор струму, V – цифровий вольтметр,  - двохпівперіодний випрямляч, O – осцилограф, АЦП – кристал АЦП, ПК – персональний комп'ютер.

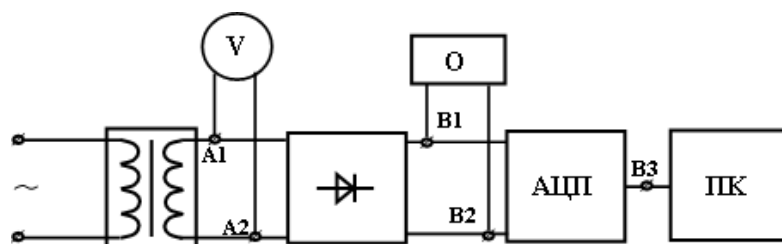


Рис. 4.16. Структурна схема стенду випробування АЦП.

Випробовування виконуються наступним чином: зміною напруги на виході латера 1, яка відображається цифровим вольтметром V , який з'єднаний з входами двохпівперіодного випрямляча $A1, A2$, виходи якого $B1, B2$ з'єднані з входами АЦП та осцилографом, на якому демонструється випрямлений струм. Вихід АЦП $B3$ з'єднаний з інформаційним входом ПК, на дисплеї якого відображаються цифрові коди, що відповідають значенням цифрового вольтметра V .

Випробовування багатоканального регістра зсуву (див. рис. 4.17).

На рис. 4.17: ПК – персональний комп'ютер, БРЗ – багатоканальний регістр зсуву, логічний елемент "Виключаюче АБО".

БРЗ та логічний елемент "Виключаюче АБО" реалізовані на кристалі ПЛІС фірми Analog Divaices.

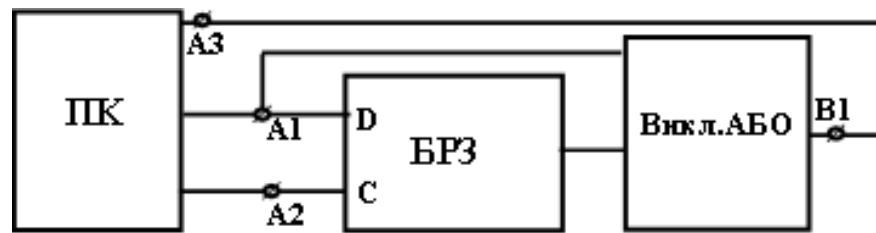


Рис. 4.17. Структурна схема стенду випробування багатоканального регістра зсуву.

Випробовування виконуються під дією прикладної програми формування 2^k -розрядних унітарних кодів та імпульсів синхронізації, які через з'єднання $A1$ поступають на інформаційний D-вхід БРЗ, через з'єднання $A2$ на вхід синхронізації БРЗ (C) поступають сигнали зсуву. З виходу $B1$ знімаються імпульсні потоки модульної різниці ($\Delta_i = |x_i - x_{i-j}|$), які поступають на вхід $A3$ ПК.

Випробовування інтегруючого квадратора (див. рис. 4.18).

На рис. 4.18: ПК – персональний комп'ютер, ІК – інтегруючий квадратор.

Випробовування виконуються наступним чином: згідно прикладної програми на з'єднанні $A1$ входу кристалу ПЛІС, у якому синтезована структура інтегруючого квадратора, формується потік імпульсів унітарного

коду $[\Delta_i]$, з виходу В1 якого на вході А2 ПК формується сигнал порогового спрацювання інтегруючого квадратора.

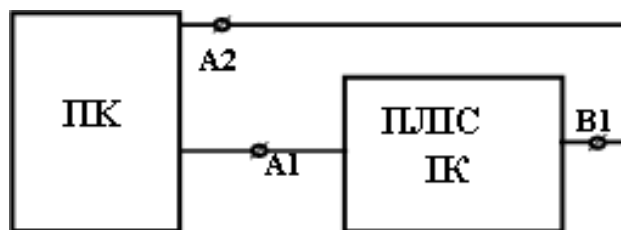


Рис. 4.18. Структурна схема стенду випробування інтегруючого квадратора.

Акти про закінчення робіт:

1. Акт про закінчення робіт із виготовлення і налагодження дослідного зразка ПРЗ.6-10 для подання його до попередніх випробувань.
2. Акт попередніх випробувань компонентів дослідного зразка ПРЗ.6-10

4.5 Проектування на ПЛІС топології удосконаленого багаторозрядного регістра зсуву у якості мікроелектронного компонента пристрою релейного захисту високовольтних ліній електропередач

Реалізація VHDL-моделі удосконаленого багатоканального регістра зсуву виконана у середовищі Active-HDL.

На рис. 4.19 подано функціональну схему удосконаленого багатоканального регістра зсуву цифрового корелятора.

На даній схемі на вхід D_ADC поступають двійкові імпульси з виходів АЦП. CLK – вхід синхронізації. Пакет двійкових імпульсів записується в двійковий лічильник (counter1), з виходів якого поступає на входи масиву D-тригерів, який містить вісім лінійок, кожна з яких містить 64 D-тригери. Останні номери тригерів в схемі формують інверсні значення, які записуються в двійковий лічильник (counter2), коли сигнал LOAD=1. З виходів двійкового лічильника дані поступають на входи 8-входового елемента I-HE (nand 8_1), вихід якого з'єднаний з першим входом логічного елемента «І», другий вхід якого з'єднаний з входом синхронізації CLK лічильника U1, вихід з'єднаний з

першим входом логічного елемента «Виключаюче АБО», другий вхід якого з'єднаний з інформаційним входом D_ADC лічильника U1. Таким чином, в лічильник U1 записується унітарний код поточного цифрового значення фазного струму, який на виході лічильника U1 перетворюється у 8-розрядний паралельний двійковий код. Під дією сигналів синхронізації CLK отримані двійкові коди зсуваються у матриці D-тригерів U2. На виході БРЗ інверсний код фазного струму затриманого на m -мікротактів записується в лічильник U3 сигналом LOAD.

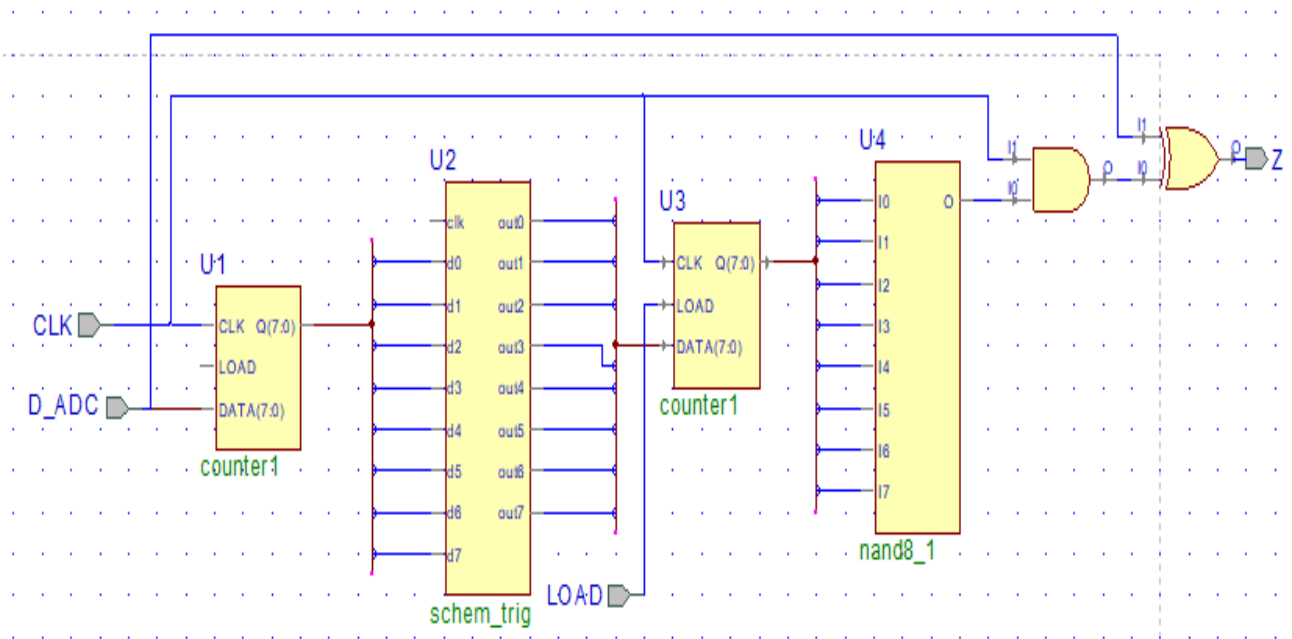


Рис. 4.19. Схематехнічна реалізація удосконаленої схеми багатоканального регістра зсуву в середовищі Active-HDL.

Таким чином, під дією сигналів синхронізації CLK відбувається формування на виході логічного елемента «Виключаюче АБО» унітарного коду модульної різниці між поточними та затриманими на півперіода промислової частоти цифровими значеннями фазних струмів. Отримані коди модульних різниць у подальшому поступають на вхід інтегруючого квадратора.

На рис. 4.20 подано схематехнічну реалізацію матриці 8x8 D-тригерів, з яких складається основний 8-ми розрядний регістр зсуву на 64 мікротакти.

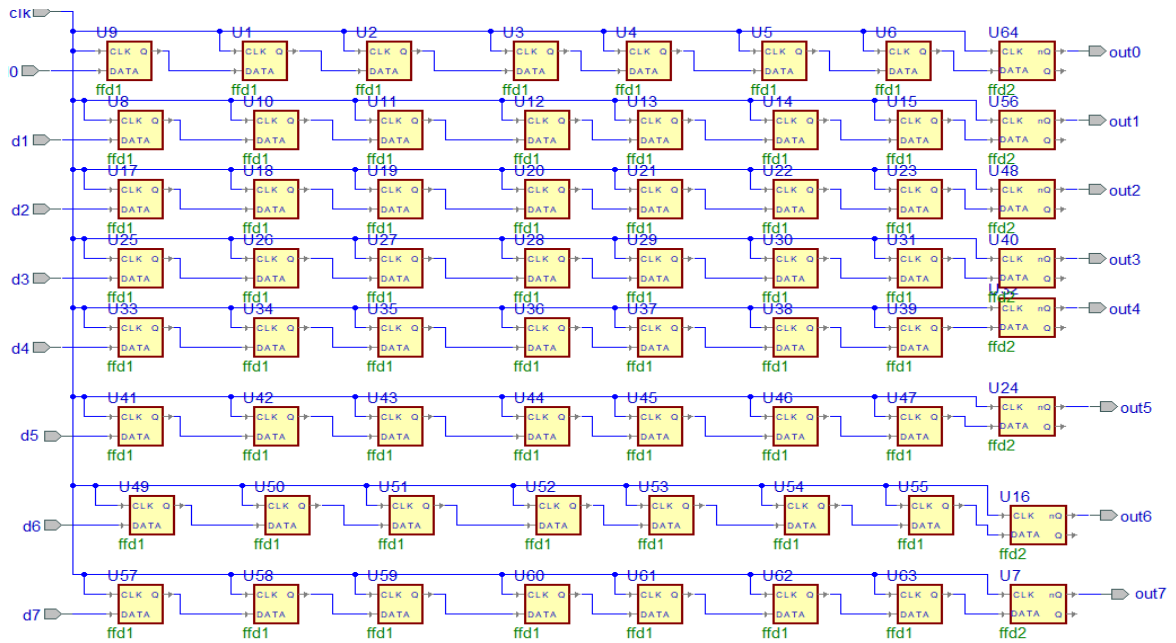


Рис. 4.20. Схематехнічна реалізація матриці D-тригерів 8x8.

На рис. 4.21 подано діаграму функціональної симуляції матриці D-тригерів 8x8.

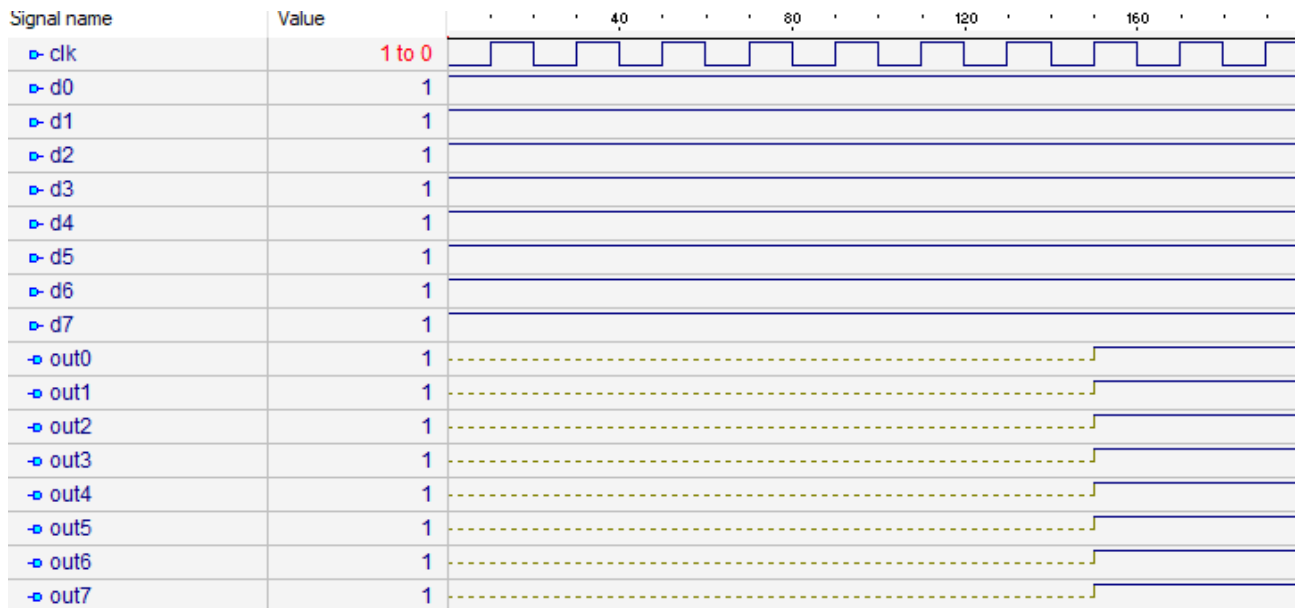


Рис. 4.21. Функціональна симуляція матриці D-тригерів 8x8.

На діаграмі видно, що на входи (d0,...,d7) матриці D-тригерів подано код 11111111 і через 8 мікротактів вони появляються на виходах (out0,...,out7).

На рис. 4.22 подано схематехнічну реалізацію завершеного 8-розрядного удосконаленого двійкового регістра зсуву на 64 мікротакти. Даний регістр містить 8 блоків матриці D-тригерів розміром 8x8.

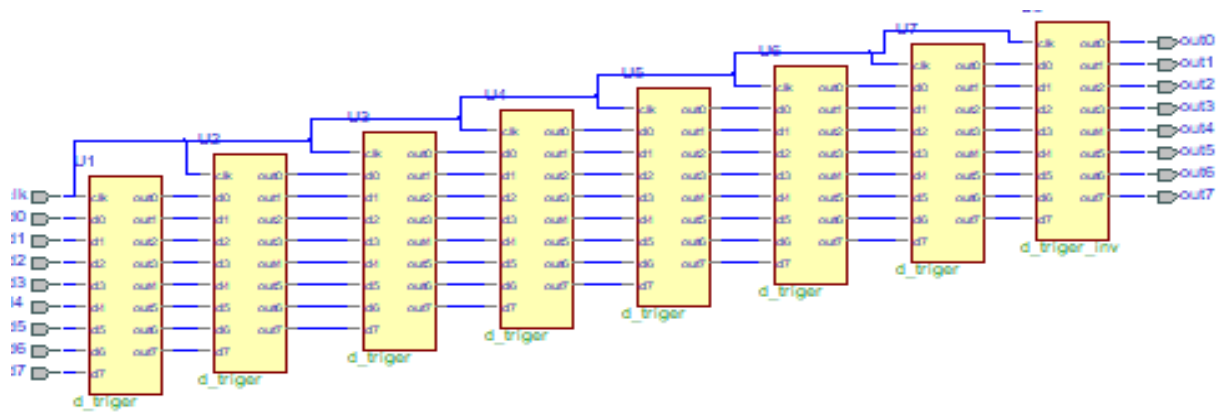


Рис. 4.22. Схемотехнічна реалізація удосконаленого 8-розрядного регістра зсуву.

Як видно з рис. 4.22, удосконалений 8-розрядний регістр зсуву містить 8 блоків матриці D-тригерів розміром 8x8.

На рис. 4.23 подано діаграму функціональної симуляції удосконаленого двійкового регістра зсуву на 64 мікротакти.



Рис. 4.23. Функціональна симуляція удосконаленого двійкового регістра зсуву на 64 мікротакти.

На діаграмі видно, що на входи (d_0, \dots, d_7) удосконаленого регістра зсуву подано код 11111111 і через 64 мікротакти вони появляються на виходах (out_0, \dots, out_7).

На рис. 4.24 показано реалізацію топології проекту на ПЛІС у збільшеному вигляді.

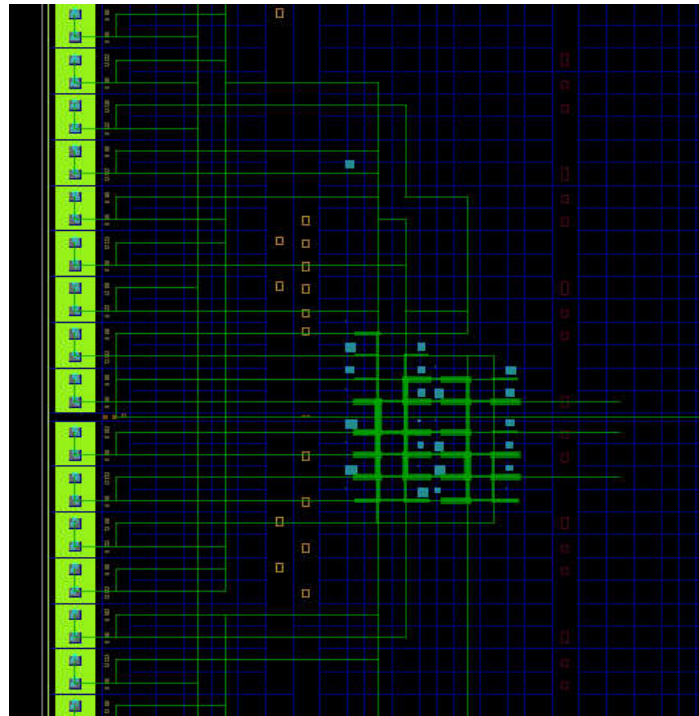


Рис.4.24. Вигляд збільшеної топології імплементації інтегруючого квадратора в системі Vivado на ПЛІС.

Провівши синтез проекту САПР Vivado формує відповідні системні характеристики (затрати обладнання ПЛІС, які необхідні для реалізації проекту, споживану потужність та часові характеристики). На рис. 4.25 показано таблицю затрат обладнання ПЛІС для реалізації пристрою та характеристики потужності у Ватах.

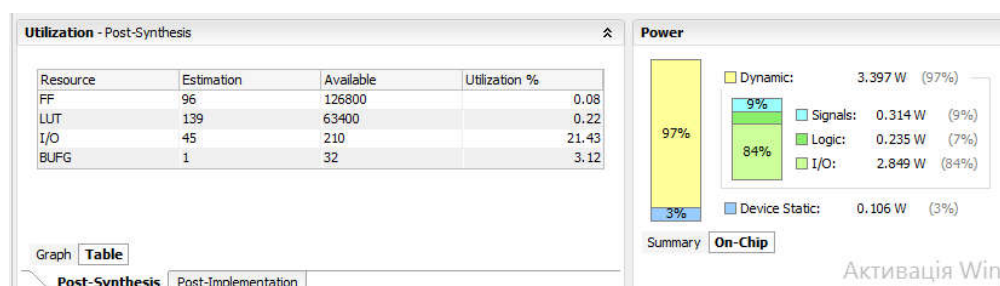


Рис.4.25. Системні характеристики реалізації проекту на ПЛІС в системі Vivado.

У результаті проведення синтезу та імплементації проекту на ПЛІС, бачимо, що розроблений проект потребує 139 (1%) LUT із наявних 63400 на кристалі, 96 (1%) тригерів із наявних 126800 та має 45 (23%) входів і виходів із наявних 210 на ПЛІС.

Динамічний діапазон потужності складає 3,397 Ватт на 97% кристалу. У сформованому звіті по часових характеристиках вказано, що даний проект буде функціонувати на частоті 258 МГц.

Реалізація інтегрально-різницевого квадратора зображена на рис. 4.26.

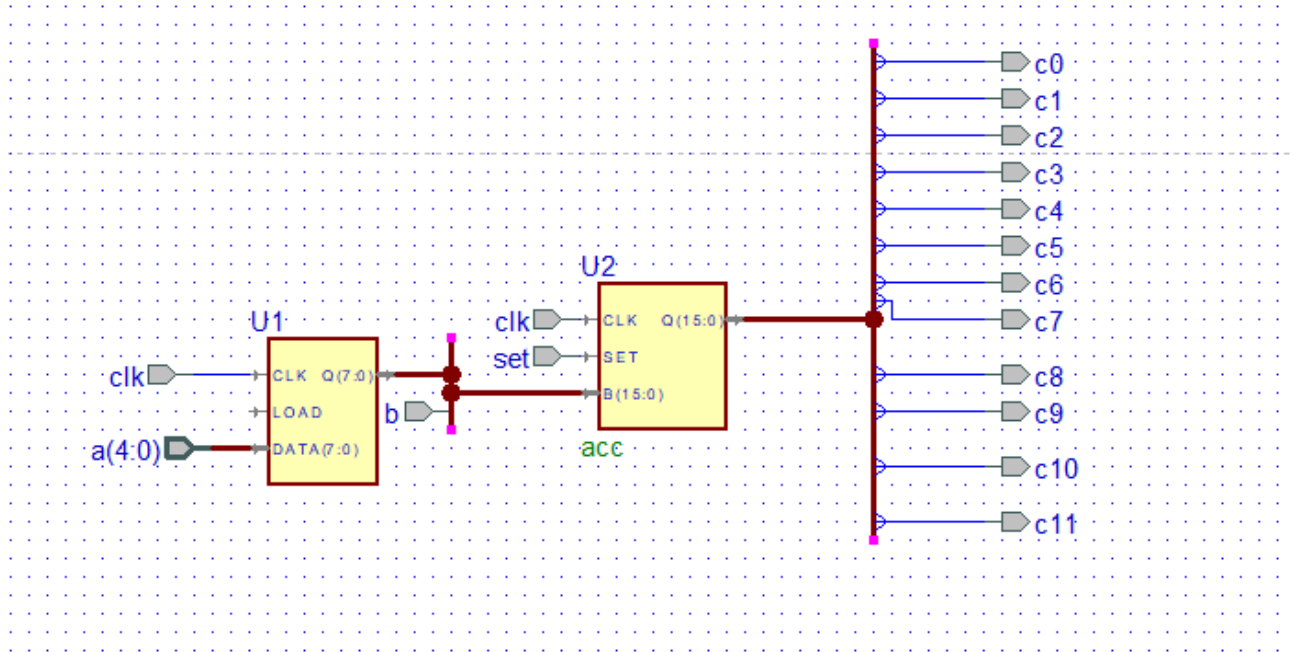


Рис. 4.26. Схемотехнічна реалізація інтегрально-різницевого квадратора в середовищі Active-HDL.

ВИСНОВКИ ДО ЧЕТВЕРТОГО РОЗДІЛУ

1. Здійснено обґрунтування вибору електронних компонентів пристрою релейного захисту: трансформатора струму та двохпівперіодного випрямляча, які задовільняють вимогам їх застосування у високовольтних електромережах 6-10кВ.

2. Досліджені структури та характеристики відомих АЦП та здійснено обґрунтування застосування у якості компонента пристрою релейного захисту АЦП розгортуючого типу, який характеризується низькою апаратною складністю та забезпечує формування вихідних кодів в унітарному ТЧБ, що дозволило спростити реалізацію автокореляційного компонента визначення модульної різниці поточного та затриманого в часі на півперіода промислової частоти цифрового значення фазного струму.

3. Удосконалена схемотехнічна реалізація БРЗ шляхом перетворення унітарних кодів у коди базису Радемахера на його вході та відновлення його унітарних кодів на його виході, що у порівнянні з БРЗ на основі унітарних кодів дозволило зменшити його апаратну складність у 26 разів.

4. Розроблена структура інтегруючого квадратора, який дозволяє розпізнавати накиди та короткі замикання у високовольтних електромережах.

5. Виконаний розрахунок апаратної та часової складності мікроелектронних компонентів розробленого пристрою релейного захисту та його порівняння з аналогічними характеристиками відомих пристроїв на основі нейропроцесорів та процесорів рандомізації. У результаті чого отримана оцінка зменшення апаратної складності запропонованого пристрою у порівнянні з відомими у 20 разів та підвищена швидкодія пристрою у 10-30 разів.

6. Розроблена програма та здійснені лабораторні випробування компонентів дослідного взірця пристрою релейного захисту, які підтвердили адекватність практичної реалізації розробленого методу та схемотехнічних рішень удосконалених компонентів пристрою.

7. Здійснено проектування на ПЛІС топології багаторозрядного регістра зсуву та інтегруючого квадратора, у якості мікроелектронних компонентів пристрою релейного захисту високовольтних ліній електропередач.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

В дисертаційній роботі вирішена актуальна науково-технічна задача розробки методів та спецпроцесорів релейного захисту високовольтних електромереж шляхом цифрового опрацювання збурень типу коротких замикань та накидів, інваріантних до амплітуди фазних струмів у приєднаннях високовольтних підстанцій.

1. Виконаний аналіз архітектур та характеристик збурень у промислових високовольтних електромережах, досліджені особливості топологій електромереж електропостачання, технологічних установок нафтогазовидобувної промисловості. Встановлено, що найбільш складні задачі релейного захисту потребують ефективного вирішення у розподілених електромережах 6-10 кВ видобування нафти глибинними установками верстатів гойдалок. Досліджені та систематизовані інформаційні характеристики існуючих комп'ютеризованих систем моніторингу режимних параметрів та станів обладнання високовольтних електромереж, в яких застосовуються електромеханічні та мікроконтролерні пристрої релейного захисту. Проаналізовані переваги, недоліки та функціональні обмеження існуючих систем. На основі цифрограм, зареєстрованих керувально-діагностичною системою «Альтра», досліджені характеристики перехідних процесів у високовольтних електромережах при виникненні збурень типу накидів та коротких замикань. В результаті встановлено, що при комутації режимів роботи енергосистем фазні струми можуть зростати у кілька разів. При цьому не спостерігається від'ємна експоненціальна складова, характерна для коротких замикань.

2. Вперше розроблені двополярна та однополярна моделі накиду та короткого замикання у вигляді решітчастих функцій цифрових відліків фазних струмів. Показано, що однополярна модульна дискретна модель накиду дозволяє у 2 рази підвищити швидкодію ідентифікації типу збурення на інтервалі одного періоду промислової частоти. Удосконалено метод рандомізованого опрацювання гармонічних сигналів шляхом застосування

розширеної М-послідованості, що дозволило у 2 рази підвищити порогове значення центрального пелюстка функції автокореляції та покращити інформативність діагностування збурень у високовольтних електромережах.

3. Вперше запропоновано метод та досліджені характеристики дискретної моделі формування різниці поточних та запам'ятовуваних значень гармонічного сигналу згідно кореляційної оцінки Хеммінгової віддалі між поточним та затриманим на півперіода фазними сигналами при виникненні накиду та короткого замикання в електромережі. Удосконалена структура багаторозрядного регістра зсуву компонента цифрового корелятора шляхом застосування міжбазисних перетворень унітарного коду та коду базису Радемахера, що дозволило у 15 разів зменшити його апаратну складність без втрати швидкодії. Розроблена структура інтегруючого квадратора пристрою релейного захисту, який дозволяє розпізнавати накиди та короткі замикання у високовольтних електромережах.

4. Розроблені мікроелектронні компоненти пристрою релейного захисту реалізовані на ПЛІС, розраховані характеристики їх апаратної та часової складності, які у порівнянні з відомими, дозволили зменшити у 18 разів апаратну складність та при застосування k-розрядного АЦП для кодування фазних струмів підвищити швидкодію у $2^k/2k$ разів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Яндульський О.С., Дмитренко О.О. Релейний захист. Цифрові пристрої релейного захисту, автоматики та управління електроенергетичних систем. Під загальною редакцією д.т.н. О.С. Яндульського. – Київ: НТУУ «КПІ» 2016. – 102 с.
2. Равлик О.М. Використання цифрового моделювання для розроблення та впровадження мікропроцесорних систем релейного захисту й автоматики / О.М. Равлик, І.О. Сабадаш, Т.М. Гречин / Праці інституту електродинаміки, Енергоефективність. – 2000. – С. 36 – 41.
3. Кідиба В.П. Релейний захист електроенергетичних систем / навчальний посібник / В.П.Кідиба. – Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2015. – 504 с.
4. Alstom, [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.alstom.com> – 2014р.
5. ABB, [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.abb.com> – 2016р.
6. Siemens, [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.downloads.siemens.com> – 2016р.
7. Sepam series 80 - Protection Relays for Custom Applications, [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.schneider-100electric.com/products/ww/en/4700-protection-relays-by-range/4755-sepamseries-80/935-sepam-series-80> – 2014р
8. Шнеерсон Э.М. Цифровая релейная защита / Э.М. Шнеерсон. – М.: Энергоатомиздат, 2007. - 549 с.
9. Гловацкий В.Г., Пономарев И.В. Современные средства релейной защиты и автоматики электросетей, К.:Энергомашвин, 2003. – 535 с.
10. Андреев В.А. Релейная защита, автоматика и телемеханика в системах электроснабжения: Учебник для студентов вузов спец. "Электроснабжение промышленных предприятий, городов и сельского хозяйства". – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Высш. шк., 2006, – 639 с.

11. Дьяков А.Ф. Микропроцессорная релейная защита и автоматика электроэнергетических систем. Учебное пособие для студентов вузов / А.Ф. Дьяков, Н.И. Овчаренко. – М.: Издательство МЭИ, 2000. - 199 с.
12. Головкин В.А. Нейронные сети: обучение, организация и применение / В.А. Головкин. – М.: ИПРЖР, 2001. – 256 с.
13. Костишин В.С. Електрична частина станцій та підстанцій / В.С. Костишин, М.Й. Федорів, Я.В. Бацала / Навчальний посібник. – Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2017. – 243 с.
14. Голота А.Д. Автоматика в електроенергетичних системах: Навч. посібник – К.:Вища шк., 2006. – 367 с.
15. Кідиба В.П. Фільтрація аналогових сигналів в мікропроцесорних пристроях релейного захисту й автоматики / В.П. Кідиба, О.М. Равлик, І.О. Сабадаш / Технічна електродинаміка. – 2003. – № 6. – С. 53–56.
16. Маліновський А.А. Основи електроенергетики та електропостачання: підручник / А.А. Маліновський, Б.К. Хохулин. – Львів: Вид-во Нац. ун-ту «Львівська політехніка», 2007. – 380 с.
17. Сегеда М. С. Обмеження струмів однофазних замикань на землю в електричних мережах 6 – 35 кВ / М. С. Сегеда, О. М. Равлик, О. І. Гроностацька // Технічна електродинаміка. – 2002. – № 6. – С. 59–61.
18. Палагін А.В. Системная интеграция средств компьютерной техники: монографія / А.В. Палагін, Ю.С. Яковлев. – Вінниця: УНИВЕРСУМ – Вінниця, 2005. – 680 с.
19. A.V. Palagin, N.G. Petrenko, V.Y. Velychko, K.S. Malakhov "Development of formal models, algorithms, procedures, engineering and functioning of the software system" Instrumental complex for ontological engineering purpose" arXiv preprint arXiv:1803.10684, 2018.
20. Мельник А.О. Архитектура комп'ютера: підруч. / А.О. Мельник. – Луцьк: Волинська обласна друкарня, 2008. – 471 с.
21. Мельник А.О. Персональні суперкомп'ютери: архітектура, проектування, застосування: монографія / А.О. Мельник, В.А. Мельник. – Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2013. – 516 с.

22. Тарасенко В.П. Надійність комп'ютерних систем: Навч. Посібник / В.П. Тарасенко, А.Ю. Маламан, Ю.П. Черніченко, В.І. Корнійчук – К.: «Корнійчук», 2007. – 256 с.

23. Николайчук Я.М. Теорія джерел інформації / Монографія Я.М. Николайчук. – Тернопіль: ТНЕУ, 2010. – 256 с.

24. Николайчук Я. М. Коды поля Галуа : теория та застосування : монографія / Я. М. Николайчук. – Тернопіль : Тернограф, 2012. – 576 с.

25. Николайчук Я.М. Спеціалізовані комп'ютерні технології в інформатиці. Монографія / за загальною редакцією Я.М. Николайчука. – Тернопіль: «Бескиди», 2017. – 919 с.

26. Krivoulya G.F. Intellectual diagnostics of linearly distributed objects using wireless sensor networks G.F. Krivoulya, O.E. Chukwunonso, V.A. Vlasov Энергетика та комп'ютерно-інтегровані технології в АПК, 2017, 80-84.

27. Дунець Р.Б. Аналіз та синтез топологій комп'ютерних видавничо-поліграфічних систем: монографія / Р.Б. Дунець. – Львів: НВФ «Українські технології», 2003. – 192 с.

28. Дрозд А.В. Специализированные архитектуры ЭВМ: Учебное пособие / А.В. Дрозд, М.В. Лобачев, Ю.В. Дрозд. – Одесса, 2005. – 120 с.

29. Основи теорії розпізнавання образів : навч. посіб. : у 2 ч. / А. С. Довбиш, І. В. Шелехов. – Суми : Сумський державний університет, 2015. – Ч. 1. – 109 с.

30. Інформаційна підтримка мікроконтролерів Fujitsu [Електронний ресурс] // Офіційний сайт. – Режим доступу: <http://www.fujitsu.com>.

31. Архітектура системи Motorola Canopу [Електронний ресурс] // Офіційний сайт. – Режим доступу: <http://rmt.ru/canopу.html> – Назва з титул. екрану.

32. РЕЛСіС [Електронний ресурс] // Офіційний сайт. – Режим доступу: <http://www.relsis.ua>

33. Intel microcontrollers [Електронний ресурс] // Офіційний сайт. – Режим доступу: <http://www.intel.com/design/embcontrol/index.htm>.

34. Електротехнологічні об'єкти та їх електропостачання / навчальний посібник / М.Й. Олійник. – Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2016. – 334 с.

35. Соломчак О.В. / Електропостачання підприємств нафтогазової промисловості. Підручник – Івано-Франківськ. Факел, 2008. – 433 с.

36. Калужний Б.С. / Електрообладнання та автоматизація видобування нафти : навчальний посібник для студентів спец. 7.092203 «Електромеханічні системи автоматизації та електропривід» / Б.Д. Денис, Б.Г. Бойчук, Б.С. Калужний; В.о. Нац. ун-т «Львівська політехніка». — Львів: Вид-во Нац. ун-ту «Львівська політехніка», 2007. — 172 с. ISBN 966-553-622-2

37. Євтух П.С., Оробчук Б.Я, Рафалюк О.О. Автоматизована система диспетчерського керування електропостачанням районних електромереж / Вісник. Національного університету «Львівська політехніка» Електроенергетичні та електромеханічні системи. – 2008. - №1. – С. 190-194

38. **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.

39. **Oleh Liura**, Igor Sabadash, Nataliia Vozna, Ivan Ostrovka. Project of Structural Solutions and Components of Special Processor of Relay Protection in High-Voltage Lines of Electricity Transmission. *2017 XIIIth International Conference. Perspective Technologies and Methods in MEMS Design (MEMSTECH)*. Proceedings. – PP. 70-73.

40. **Люра О.П.** Методи, перетворювачі та обчислювальні засоби захисту високовольтних ЛЕП від накидів та замикань на землю. Матеріали проблемно-наукової міжгалузевої конференції. *Юриспруденція та проблеми інформаційного суспільства (ЮПИС-2016)*. Надвірна-Яремче. – 2016. – С.146-150.

41. Київприлад [Електронний ресурс] // Офіційний сайт. – Режим доступу: <http://www.kievpribor.com.ua/>.

42. Радіус Автоматика [Електронний ресурс] // Офіційний сайт. – Режим доступу: <https://www.rza.ru/catalog/>.

43. Николайчук Я.М., **Люра О.П.** / Дослідження алгоритму розпізнавання накидів та коротких замикань у промислових електромережах / *Матеріали IV Всеукраїнської школи-семінару молодих вчених і студентів. Сучасні комп'ютерні інформаційні технології. Advanced computer information technologies. ACIT'2014.* ТНЕУ. Тернопіль. – 2014. – С.252-255.

44. T. Zavediuk, Y. Franko, **O. Liura**, I. Ostrovka. Methods of recognition and identification of disturbances in high-voltage power lines. Матеріали XIII Міжнародної науково-технічної конференції. *Досвід розробки та застосування приладо-технологічних САПР в мікроелектроніці: CADSM 2015.* – Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2015. – С.282-286.

45. **Oleh Liura**, Ivan Ostrovka, Iryna Sabadash, Yaroslav Nykolaichuk. Theoretical Principles and Methods of Distortions Recognition in Load Surges, Short Circuits and Powerful Electric Drives Launching Type Power Lines. *2016 13th International Conference on Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunications and Computer Science (TCSET 2016).* - PP. 33-36.

46. **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. Випуск № 9. Тернопіль. – 2014. – С.216-222.

47. **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 ІФНТУНГ*, 2018. – № 2 (45). – Івано-Франківськ С.57-65.

48. **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.

49. T. Zavediuk, Y. Franko, **O. Liura** / Recognition of images based on special processors with neural components / збірник «Computer technologies in information security», Edited by Valeriy Zadiraka, Yaroslav Nykolaichuk. – Ternopil: «Cart-blansh», 2015. 387p. – С.299-313.

50. Возна Н.Я., **Люра О.П.**, Сабадаш І.О. / Теоретичні засади і алгоритми ідентифікації перехідних процесів у високовольтних ЛЕП та розробка пристрою розпізнавання накидів та коротких замикань. / Спеціалізовані комп'ютерні технології в інформатиці. За загальною редакцією Я.М. Николайчук. – Тернопіль: 2017. 919с. – С.396-437.

51. Возна Н.Я., **Люра О.П.** / Метод структурного розпізнавання накидів та коротких замикань в ЛЕП / Матеріали II Всеукраїнської науково-практичної конференції "Інформаційні технології в освіті, техніці та промисловості", інститут інформаційних технологій. Івано-Франківськ. – 2015. – С.180-181.

52. Сидор А.І., **Люра О.П.**, Николайчук Я.М. / Теоретичні засади та задачі розпізнавання гармонічних сигналів та образів на основі оцінки Хеммінгової віддалі / Національний лісотехнічний університет України. Науковий вісник НЛТУ України. Збірник науково-технічних праць. Засновано 1994р. Том 28, № 3 Львів – 2018р. – С.131-137.

53. Хемминг Р. В. Теория кодирования и теория информации: Пер. с англ. - М.: Радио и связь, 1983. - 176 с.

54. А.с. № 840924 СССР, G 06f 15/36. Многоканальное устройство для вычисления структурной функции / Я.Н. Николайчук, С.Я. Зевелев, Л.А.Гнатив (СССР). - Опубл. 23.06.81, Бюл. № 23.

55. Возна Н.Я., Заведюк Т.М., Николайчук Я.М., Островка І.І., Сабадаш І.І. Ідентифікація структуризованих даних на основі нелінійного квадратично-імпульсного перетворення Праці VII міжнародної школи-семінару «Теорія прийняття рішень». – Ужгород, УжНУ, 2014.-с.60-61.

56. Заведюк Т.О. Кореляційні нейропроцесори розпізнавання сигналів. // Матеріали проблемно-наукової міжгалузевої конференції “Юриспруденція та проблеми інформаційного суспільства” – 25-29 жовт. 2011р. – Яремче.

57. Заведюк Т.О. Методи опрацювання та розпізнавання інформації в кореляційних нейропроцесорах // Матеріали міжнародної проблемно-наукової міжгалузевої конференції "Інформаційні проблеми комп'ютерних систем, юриспруденції, енергетики, економіки, моделювання та управління (ПНМК-2011)". – 2011р. – Бучач – С.73-77.

58. Колесников С. Распознавание образов. Общие сведения // «Компьютер-Информ». – 2006. – № 3.

59. Николайчук Я.М. Проектування спеціалізованих комп'ютерних систем / Николайчук Я.М., Возна Н.Я., Пітух І.Р./ Навчальний посібник/ - Тернопіль: ТзОВ «Терно-граф», 2010.-392 с.

60. Потапов А.С. Распознавание образов и машинное восприятие. - С-Пб.: Политехника, 2007. - 548 с.

61. Возна Н.Я. Структуризація поліфункціональних даних: теорія, методи та засоби: монографія – Тернопіль: ТНЕУ, 2018. – 378 с.

62. A. Sydor, Y. Nykolaychuk, N. Vozna, B. Krulikovskiyi, A. Davletova, **Oleh Liura** / Methods and processors for image recognition in a linear and quadratic Hamming space / 2019 15th International Conference. The Experience of Designing and Applicatson of CAD System (CADSM' 2019). - PP. 9-12.

63. **Люра О. П.** / Метод розпізнавання накидів на основі цифрового опрацювання сигналів при запуску потужних електроприводів / АСІТ 2017. Матеріали Всеукраїнської конференції з міжнародною участю. "Сучасні комп'ютерні інформаційні технології", Тернопіль. – 2017. – С.71-73.

64. **Люра О.П.**, Возна Н.Я. / Дослідження та оптимізація характеристик компонентів мікроелектронного пристрою релейного захисту високовольтних ліній електропередач / Національний лісотехнічний університет України. Науковий вісник НЛТУ України. Збірник науково-технічних праць. Засновано 1994р. Випуск 27 [5] Львів – 2017р. – С.148-155.

65. Сабадаш І.О., **Люра О.П.** / Алгоритм опрацювання даних та компоненти спецпроцесора релейного захисту високовольтних ліній електропересялень / ISSN 2008-5916 Математичне та комп'ютерне моделювання. Кам'янець-Подільський національний університет імені Івана Огієнка. – 2017. – С.209-215.

66. Возна Н.Я., **Люра О.П.**, Сабадаш І.О., Островка І.І. / Метод розпізнавання та ідентифікації накидів і замикань на землю у високовольтних лініях електропересялень / Національний лісотехнічний університет України. Науковий вісник НЛТУ України. Збірник науково-технічних праць. Засновано 1994р. Том 28, № 1 Львів – 2018р. – С.79-85.

67. Трембач Б.Р., Трембач Р.Б, Сидор А.І., Возна Г.В. Структура та системні характеристики спецпроцесорів визначення Хеммінгової віддалі реалізовані в різних теоретико-числових базисах. *Збірник наукових праць Математичне та комп'ютерне моделювання (технічні науки) Випуск 15 Кам'янець-подільський національний університет імені Івана Огієнка 2017 с. 244-249.*

68. Вбудовані процесори Cirrus Logic [Електронний ресурс] // Офіційний сайт. – Режим доступу: <http://www.cirrus.com>. – Назва з титул. екрану.

69. Fedak V., Nakonechny A. Adaptive wavelet thresholding for image denoising using sure minimization and clustering of wavelet coefficients // Technical Transactions. Electrical Engineering, Wydawnictwo Polytechniki Krakowskiej vol. 2-E/2015, pp. 197-210.

70. Nakonechny A., Veres Z. The wavelet based trained filter for image interpolation // The 1-th IEEE International Conference on Data Stream Mining & Processing, 23-27 August 2016, Lviv, Ukraine, pp. 218-221.

71. Поморова О.В. Теоретичні основи, методи та засоби інтелектуального діагностування комп'ютерних систем: Монографія. – Хмельницький: Тріада-М, 2007. – 252с.

72. А. Й. Наконечний, Р.А. Наконечний, В.А. Павлиш Цифрова обробка сигналів / Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2010.– 368 с.

73. Куликовский Л.Ф., Мотов В.В. Теоретические основы информационных процессов: Учеб. Пособие для вузов по спец. “Автоматизация и механизация процессов обработки и выдачи информации”. – М.: Высш. шк., 1987. – 248 с.

74. Николайчук Я.М. Проектування спеціалізованих комп’ютерних систем. / Я.М. Николайчук, Н.Я. Возна, І.Р. Пітух./ навчальний посібник/, – Тернопіль: ТЗОВ “Терно -граф”, 2010 – с. 187-190.

75. Романов В.О., Галелюка І.Б., Груша В.М., Чернега П.П. Розподілена система збору і обробки інформації на базі інтелектуальних портативних приладів // Комп’ютерні засоби, системи та мережі. – 2009, № 8. – С. 64–72.

76. Березин С. Я. Корреляционные измерительные устройства в автоматике / С.Я. Березин, О.Г. Каратаев. - Л. : Энергия. Ленингр. отд-ние, 1976. - 103 с.

77. Харченко В.С. Структурная организация и оценка надежности отказоустойчивых цифровых систем на ПЛИС // Электронное моделирование. – 2002. – №4. – С. 34-42.

78. Персональні суперкомп’ютери: архітектура, проектування, застосування: монографія / А.О.Мельник, В.А.Мельник. – Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2013. – 516 с.

79. Тарасенко В.П. Вычислительные устройства на микросхемах / В.И. Корнейчук, В.П.Тарасенко, Ю.Н.Мишинский – К., Техника, 1986. – 360 с.

80. Возна Н.Я., Сидор А.І. Критерій структурної складності та оцінки розширеної Хеммінгової віддалі для просторових об’єктів. *Науковий вісник НЛТУ України* 2017 р. №4, Львів с. 159-165.

81. Проектирование и диагностика компьютерных систем и сетей / М.Ф.Бондаренко, Г.Ф.Кривуля, В.Г.Рябцев, С.А.Фрадков, В.И.Хаханов. – Киев: НМЦ ВО, 2000. – 306 с.

82. Дрозд, А. В. Машинная арифметика [Текст] : учеб. пособие / А.В. Дрозд; Ин-т системных исследований образования, Одесский политехнический ун-т. - К.: ИСИО, 1993. - 56 с.

83. Николайчук Я.М., Зевелев С.Я., Крикун З.Н. Выбор оптимальных параметров кодирования методом вычетов. Респ. сб. “Автоматизация и телемеханизация нефтяной промышленности”. – 1975. – №2. – С. 22-24.

84. Інтелектуальне діагностування мікропроцесорних пристроїв та систем: Навч. посіб. для вузів / В.М. Локазюк, О.В. Поморова, А.О. Домінов.– Хмельницький.– Київ, 2001.– 286 с.

85. Зотов В.Ю. Проектирование встраиваемых микропроцессорных систем на основе ПЛИС фирмы XILINX / В.Ю. Зотов. –М.:Телеком,2006.– 522с.

86. Аналогові та змішані мікросхеми [Електронний ресурс] // Офіційний сайт. – Режим доступу: <http://www.st.com/internet/analog/family/124.jsp>.

87. Заміховський Л.М. Проектування систем діагностування: Навчальний посібник. – Івано-Франківськ: Полум'я, 2004. – 248 с.

88. Задирака В.В. Цифровая обработка сигналов / В.К. Задирака, С.С. Мельникова. – К.: Наук. Думка, 1993. – 294 с.

89. Николайчук Я.М. Структура та функції кореляційного спецпроцесора для ідентифікації та реєстрації гармонічних сигналів / Я.М. Николайчук, Т.О. Заведюк // Праці міжнародної наукової конференції “Питання оптимізації обчислень (ПОО-XL)”.–Київ-Кацивелі.–2013.–С.190-191.

90. Возна Н.Я., Николайчук Я.М. Основи теорії функції та задачі структуризації даних в інформаційних системах. Праці міжнародної наукової конференції «Питання оптимізації обчислень (РОО-XL)» Київ: інститут кібернетики ім. В.М. Глушкова НАН України, 2013. С. 56-57.

91. Мікропроцесорні пристрої фірми ELTEK [Електронний ресурс] // Офіційний сайт. – Режим доступу: <http://www.eltek.com/>.

92. Басюк Т.М. Методи та засоби мультимедійних інформаційних систем: навч. Посібник / Т.М. Басюк, П.І. Жежнич. – Львів : Видавництво Львівської політехніки, 2015. – 428 с.

93. Вимірювальні перетворювачі (сенсори) : підручник / В.М. Ванько, Є.С. Поліщук, М.М. Дорожовець, В.О. Яцук, Ю.В. Яцук; за ред.. проф. Є.С.

Поліщука та проф. В.М. Ванька. – Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2015. – 584 с.

94. Брамер Ю.А. Цифровые устройства / Ю.А. Брамер, И.Н. Пащук. – К.: Высшая школа, 2006. – 432 с.

95. Журахівський А. В. Захист трансформаторів напруги від надструмів під час дугових замикань фази на землю в мережі 10 кВ з ізольованою нейтраллю / А. В. Журахівський, Ю. А. Кенс, А. М. Равлик, Р. В. Мединський // Энергетика и электрификация. – 2001. – № 6. – С. 21 – 26.

96. Фізична модель системи телемеханіки для оперативно-диспетчерського управління підстанціями / М.В. Базилевич, П.М. Баран, В.П. Кідиба, Г.М. Лисяк, І.О. Сабадаш // Вісник Національного університету "Львівська політехніка" "Електроенергетичні та електромеханічні системи". – 2017. – № 870. – С. 3-8.

97. Рекомендации по выбору защит электротехнического оборудования с использованием микропроцессорных устройств концерна ALSTOM.-К.: ООО «Энергомашвин».-2000.- 142 с.

98. Яндульський О.С., Дмитренко О.О., Заколюдажний В.В., Настенко Д.В./ Автоматична багаторівнева система збору та передачі інформації від МП РЗА різних виробників// Інформаційний збірник «Промислова електроенергетика та електротехніка» Промелектро. – 2010. – № 2. – С.14-18.

99. Николайчук Я.М. Теорія джерел інформації // Монографія: Тернопіль:-ТНЕУ, Економічна думка, 2008.-396с.

100. Николайчук Я.М., Заведюк Т.О. Функції, математичні основи та структура компонентів нейропроцесорів // Збірник праць міжнародної наукової конференції “Нейросетеві технології і їх застосування” – 5-7 грудня 2012р. – Краматорськ – С.113-121.

101. Николайчук Я.М., Круліковський Б.Б., Шатний С.В. мікропроцесорні системи / Мікропроцесорні системи. Навчальний посібник. – Рівне: НУВГП, 2016. – 191с.

102. Волинський О.І., Гуменний Т.І., Пастух Я.М., Николайчук Я.М. Методи між базисних перетворень багато розрядних кодів теоретико-числових

базисів Радемахера-Крестенсона / Математичне та комп'ютерне моделювання. Серія: Технічні науки. – Кам'янець-Подільський. – Вип.15, 2017. – С. 143-149.

103. Цилькер Б.Я. Орлов С.А. Организация СВМ и систем: Учебник для вузов. – СПб.: Питер, 2007. – 667 с.

104. *Патент* на корисну модель № 115861 МПК (2017.01) H02N 9/00. Опублікований 25.04.2017 Бюл. №8. Давлетова А.Я. Николайчук Я.М. / Однорозрядний напівсуматор.

105. Круліковський Б.Б., Николайчук Я.М., Возна Н.Я., Давлетова А.Я. Числоімпульсний пристрій для множення / Пат. 112182 Україна, опубл. 25.09.2017, Бюл.№ 11.

106. Lazarowych I. Theory and Methods of Digital Streams Randomization in Telecommunicational Systems. Proceedings of the International Conference TCSET 2002 pp.265.

107. Шило В.Л. Популярные цифровые микросхемы: Справочник. – М: Радио и связь, 1988 г.

108. Цифровые и аналоговые микросхемы: Справочник/С.В. Якубовский, Л.И.Ниссельсон, В.И. Кулешова и др.; Под ред. С.В. Якубовского. – М.: Радио и связь, 1990. – 496 с.

109. Албанський, І. Б. Спецпроцесори кореляційної обробки інформації в різних теоретико-числових базисах / І. Б. Албанський // Вісник національного університету “Львівська політехніка”. Комп'ютерні системи та мережі. – Львів : видавництво “Львівська політехніка”, 2010. – № 688. – С. 10-16.

110. *Патент* на корисну модель № 103938 МПК (2015.01) H02N 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.

111. ІМСКОЕ, [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.imskoe.org.ua> – 2018р.

112. Албанський І.Б., Волинський О.І. Дослідження системних характеристик цифрових пристроїв множення реалізованих в різних

теоретико-числових базисах. // Вісник національного університету “Львівська політехніка”. Комп’ютерні системи та мережі. – Львів: видавництво «Львівська політехніка», 2014. – № 806. – С. 179-185.

113. Studfiles, [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://studfiles.net>.

114. Лазарович І.М. Методи та цифрові процесори обробки даних на основі процедури рандомізації. Івано-Франківський національний технічний ун-т нафти і газу. - Івано-Франківськ, 2004. - 168 арк. - арк. 137-142

115. Маліновський А.А. Основи електроенергетики та електропостачання / підручник / А.А. Маліновський, Б.К. Хохулин. – Львів: видавництво «Львівська політехніка», 2007. – 380 с.

116. Милосердов В.О. Електротехнологічні установки та пристрої. Навчальний посібник. – Вінниця: ВНТУ, 2007. – 135 с.

117. Яремійчук Р.С., Возний В.Р. Основи гірничого виробництва. Підручник. – Київ: Українська книга, 2000. – 360 с.

118. Копей Б.В. Розрахунок, монтаж і експлуатація бурового обладнання. Івано-Франківськ: Факел. – 2001. – 446 с.

119. Журахівський А.В. Надійність електричних систем і мереж. Навчальний посібник. Львів – 2012. – 280 с.

120. Сегеда М.С. Математичне моделювання в електроенергетиці. Навчальний посібник. Львів. – 2013. – 608 с.



Текст програми на алгоритмічній мові C++.

MainForm.cs

```

using System;
using System.Collections;
using System.Collections.Generic;
using System.Data;
using System.Globalization;
using System.Linq;
using System.Windows.Forms;

namespace ElectricalShortCircuitCalcApp
{
    public partial class MainForm : Form
    {
        public MainForm()
        {
            InitializeComponent();
            btnTestThree.Visible = false;
        }

        private void MainForm_Load(object sender, EventArgs e)
        {
            btnOneTest_Click(null, null);
        }

        private void btnOneTest_Click(object sender, EventArgs e)
        {
            nudFuncPartitionCount.Value = 16;
            nudFuncScaleRate.Value = 10;

            dgvFuncP.Rows.Clear();

            dgvFuncP.Rows.Add("sin(x)", "4");
            dgvFuncP.Rows.Add("2*sin(x)", "4");
        }

        private void btnTestTwo_Click(object sender, EventArgs e)
        {
            nudFuncPartitionCount.Value = 16;
            nudFuncScaleRate.Value = 10;

            dgvFuncP.Rows.Clear();

            dgvFuncP.Rows.Add("sin(x)", "4");
            dgvFuncP.Rows.Add("sin(x)*exp(-0.1*x)", "4");
        }

        private void btnTestThree_Click(object sender, EventArgs e)
        {
            nudFuncPartitionCount.Value = 16;
            nudFuncScaleRate.Value = 10;

            dgvFuncP.Rows.Clear();

            dgvFuncP.Rows.Add("sin(x)", "4");
            dgvFuncP.Rows.Add("2*sin(x)", "4");
            dgvFuncP.Rows.Add("2*sin(x)*exp(-0.5*x)", "4");
            dgvFuncP.Rows.Add("2*sin(x)", "2");
            dgvFuncP.Rows.Add("sin(x)", "4");
            dgvFuncP.Rows.Add("sin(x)*exp(-0.5*x)", "2");
            dgvFuncP.Rows.Add("2*sin(x)", "4");
        }
    }
}

```

```

        dgvFuncP.Rows.Add("sin(x)", "2");
    }

    private void btnCalc_Click(object sender, EventArgs e)
    {
        try
        {
            var model = new ViewModel
            {
                FunctionPartitionsCount = (uint)
nudFuncPartitionCount.Value,
                FunctionScaleRate = (uint) nudFuncScaleRate.Value,
                FunctionsWithPeriods = GetFunctionsValues()
            };

            var manager = new AppManager(model);

            var result = manager.Calculate();
            ShowResult(result);

            var excelWorker = new ExcelWorker();
            excelWorker.Process(result);

        }
        catch (Exception exception)
        {
            MessageBox.Show(exception.Message);
        }
    }

    private List<KeyValuePair<string, uint>> GetFunctionsValues()
    {
        var functions = new List<KeyValuePair<string,
uint>>(dgvFuncP.Rows.Count - 1);

        foreach (DataGridViewRow row in dgvFuncP.Rows)
        {
            if (row.Cells["Func"].Value == null)
                continue;

            functions.Add(new KeyValuePair<string, uint>(
                row.Cells["Func"].Value.ToString(),
                Convert.ToUInt32(row.Cells["PeriodCount"].Value)
            ));
        }

        return functions;
    }

    private void ShowResult(MainCalcResult result)
    {
        if (result.CalculatedFunctions != null)
        {
            var dt = new DataTable();

            for (var i = 0; i < result.CalculatedFunctions.Count;
i++)
            {
                dt.Columns.Add(string.Format("F{0}:{1}", i+1,
result.CalculatedFunctions[i].Function), typeof(string));
            }

            var maxRow = result.CalculatedFunctions.Select(fp =>
fp.ModulusValues).Max(v => v.Count);

            for (var i = 0; i < maxRow; i++)
            {

```



```

        public List<double> P { get; set; }

        public int FunctionPartitionsCount { get; set; }
    }
}

```

MainCalc.cs

```

using System;
using System.Collections.Generic;
using System.Linq;
using System.Text.RegularExpressions;

namespace ElectricalShortCircuitCalcApp
{
    internal class MainCalc
    {
        private MainCalcInput InputData { get; set; }

        private readonly List<CalculatedFunctionResult>
_calculatedFunctions;
        private readonly List<double> _deltas;
        private readonly List<double> _p;

        public MainCalc(MainCalcInput inputData)
        {
            InputData = inputData;

            _calculatedFunctions = new List<CalculatedFunctionResult>();
            _deltas = new List<double>();
            _p = new List<double>();
        }

        public MainCalcResult Calculate()
        {
            CalculateFunctions();
            CalculateDiff();

            return new MainCalcResult
            {
                CalculatedFunctions = _calculatedFunctions,
                Deltas = _deltas,
                P = _p,
                FunctionPartitionsCount =
(int)InputData.FunctionPartitionsCount
            };
        }

        private void CalculateFunctions()
        {
            _calculatedFunctions.Clear();

            foreach (var functionPair in InputData.FunctionsWithPeriods)
            {
                var data = CalculateValuesForFunction(functionPair.Key,
functionPair.Value);

                _calculatedFunctions.Add(data);
            }
        }

        private void CalculateDiff()
        {
            _deltas.Clear();
            _p.Clear();
        }
    }
}

```

```

        // make our data flat - we dont need to know exact function
        var flatData = _calculatedFunctions.SelectMany(f =>
f.ModulusValues).ToList();

        var partitionCount = (int)InputData.FunctionPartitionsCount;
        for (var currentIndex = 0; currentIndex < flatData.Count;
currentIndex++)
        {
            double diff = 0;

            if (currentIndex > partitionCount)
                diff = Math.Abs(flatData[currentIndex] -
flatData[currentIndex-partitionCount]);

            _deltas.Add(diff);

            var diffSq = Math.Round(Math.Pow(diff, 2), 10);
            if(currentIndex > 0)
                _p.Add(_p[currentIndex - 1] + diffSq);
            else
                _p.Add(diffSq);
        }
    }

    private CalculatedFunctionResult
CalculateValuesForFunction(string function, uint periods)
    {
        var result = new CalculatedFunctionResult { Function =
function };

        // calculate X for function
        var xPoints =
DividePiToPoints((int)InputData.FunctionPartitionsCount, (int)periods);

        var modulusValues = new List<double>(xPoints.Count);

        var mathEvaluator = new MathFunctionEvaluator(function);
        var invokeData = new List<double>(modulusValues.Count);

        // invoke function for each X => f(x)
        // make f(x) absolute
        xPoints.ForEach(rp =>
invokeData.Add(Math.Abs(mathEvaluator.Invoke(rp))));

        // scale f(x) to Scale rate
        var skaleKoff = InputData.FunctionScaleRate;

        modulusValues.AddRange(invokeData.Select(d =>
Math.Round(skaleKoff * d, 10)));

        result.ModulusValues = modulusValues;

        // calc max function
        var regex = new
Regex(@"(?<sinus>(?(koefficient>\d{0,5}) (?(operator>\*?) sin\((.*?)\))\*?(?<expo
nent>exp\((.*?)\))?)", RegexOptions.Compiled);
        var match = regex.Match(function);
        var isExp = match.Groups["exponent"].Success;

        var baseFunctionValues = new List<double>();

        if (isExp)
        {
            var baseFunction = string.Format("{0}{1}{2}",
match.Groups["koefficient"].Value, match.Groups["operator"].Value,

```



```

        match.Groups["exponent"].Value);
        //var baseFunction = match.Groups["exponent"];
        //var mathEvaluatorBf = new
MathFunctionEvaluator(baseFunction.Value);
        var mathEvaluatorBf = new
MathFunctionEvaluator(baseFunction);
        invokeData.Clear();
        xPoints.ForEach(rp =>
invokeData.Add(mathEvaluatorBf.Invoke(rp)));

        baseFunctionValues.AddRange(invokeData.Select(d =>
Math.Round(skaleKoff * d, 10)));
    }
    else
    {
        var maxValue = modulusValues.Max();
        for(var i = 0; i < modulusValues.Count; i++)
        {
            baseFunctionValues.Add(maxValue);
        }
    }

    result.BaseFunctionValues = baseFunctionValues;
    return result;
}

private static List<double> DividePiToPoints(int pointsCount, int
periodsCount)
{
    var result = new List<double>(pointsCount * periodsCount);

    var resultForPi = new List<double>(pointsCount);

    var step = Math.PI / (pointsCount);

    for (var i = 0; i < pointsCount; i++)
    {
        resultForPi.Add(step * i);
    }

    for (var i = 0; i < periodsCount; i++)
    {
        result.AddRange(resultForPi.Select(t => t + Math.PI *
i));
    }

    return result;
}
}
}

```

AppManager.cs

```

using System;
using System.Linq;

namespace ElectricalShortCircuitCalcApp
{
    internal class AppManager
    {
        private readonly ViewModel _viewModel;

        private string _modelValidationError;

        public AppManager(ViewModel viewModel)
        {
            _viewModel = viewModel;

```

```

    }

    public MainCalcResult Calculate()
    {
        ThrowExceptionIfNotValidModel();

        var mainCalc = new MainCalc(new MainCalcInput
        {
            FunctionPartitionsCount =
            _viewModel.FunctionPartitionsCount,
            FunctionScaleRate = _viewModel.FunctionScaleRate,
            FunctionsWithPeriods = _viewModel.FunctionsWithPeriods
        });

        return mainCalc.Calculate();
    }

    private void ValidateModel()
    {
        _modelValidationError = string.Empty;

        if (_viewModel.FunctionPartitionsCount < 1)
        {
            _modelValidationError = "FunctionPartitionsCount > 0";
            return;
        }

        if (_viewModel.FunctionScaleRate < 1)
        {
            _modelValidationError = "FunctionScaleRate > 0";
            return;
        }

        if (_viewModel.FunctionsWithPeriods == null ||
            !_viewModel.FunctionsWithPeriods.Any())
        {
            _modelValidationError = "Потрібно задати ф-ї";
            return;
        }

        if (_viewModel.FunctionsWithPeriods.Any(f => f.Value == 0 ||
            f.Value > 50))
        {
            _modelValidationError = "Період ф-ї повинен бути в
            діапазоні: 1-50";
        }
    }

    public void ThrowExceptionIfNotValidModel()
    {
        ValidateModel();
        if (!string.IsNullOrEmpty(_modelValidationError))
            throw new Exception(_modelValidationError);
    }
}
}

```

DoubleExtensions.cs

```

using System;
using System.Globalization;

namespace ElectricalShortCircuitCalcApp
{
    public static class DoubleExtensions
    {

```

```

public static string ToPiString(this double value)
{
    if (value.Equals(0))
        return "0";

    var remainder = (int)(value % Math.PI);

    var koeficient = remainder == 0
        ? (int) (value/Math.PI)
        : (int) (2 * value/Math.PI);

    var koeficientStr = koeficient != 1
        ? koeficient.ToString(CultureInfo.InvariantCulture)
        : "";

    return remainder == 0
        ? string.Format("{0}\u03C0", koeficientStr)
        : string.Format("{0}\u03C0/2", koeficientStr);
}
}
}

```

ExcelWorker.cs

```

using System;
using System.Collections.Generic;
using System.Globalization;
using System.Linq;
using Microsoft.Office.Interop.Excel;

namespace ElectricalShortCircuitCalcApp
{
    internal class ExcelWorker
    {
        protected Application ExcelApp;

        public ExcelWorker()
        {
            ExcelApp = new Application();
        }

        public void Process(MainCalcResult excelData)
        {
            if(excelData.CalculatedFunctions == null || excelData.Deltas
            == null || excelData.P == null)
                return;

            if (ExcelApp == null)
            {
                throw new Exception("EXCEL could not be started. Check
that your office installation and project references are correct.");
            }

            var workBook =
ExcelApp.Workbooks.Add(XlWBATemplate.xlWBATWorksheet);
            var workSheet = (Worksheet)workBook.Worksheets[1];

            if (workSheet == null)
            {
                throw new Exception("Worksheet could not be created.
Check that your office installation and project references are correct.");
            }

            workSheet.Name = "Розрахунок";
        }
    }
}

```

```

        WriteHeader(workSheet);

        WriteDataToExcel(workSheet, 2, 1,
excelData.CalculatedFunctions.SelectMany(f => f.ModulusValues).ToList());

        WriteDataToExcel(workSheet,
2+excelData.FunctionPartitionsCount, 2,
excelData.Deltas.Skip(excelData.FunctionPartitionsCount));

        WriteDataToExcel(workSheet, 2 +
excelData.FunctionPartitionsCount, 3,
excelData.P.Skip(excelData.FunctionPartitionsCount));

        DrawMainChart(workSheet, excelData);

        DrawPChart(workSheet, excelData);

        ExcelApp.Visible = true;
    }

    private void WriteHeader(Worksheet workSheet)
    {
        var titleRange = workSheet.Range["A1", "C1"];
        var titleData = new object[] {" $\Phi$ -i", "Дельта", "P"};
        titleRange.Font.Bold = true;
        titleRange.Value2 = titleData;
    }

    private void WriteDataToExcel(Worksheet worksheet, int startRow,
int targetColumn, IEnumerable<double> data)
    {
        var currentRow = startRow;
        foreach (var d in data)
        {
            var cell = (Range)worksheet.Cells[currentRow,
targetColumn];
            cell.Value2 = d;

            currentRow++;
        }
    }

    private void DrawMainChart(Worksheet worksheet, MainCalcResult
excelData)
    {
        ChartObjects xlCharts = worksheet.ChartObjects(Type.Missing);

        var myChart = xlCharts.Add(200, 50, 800, 250);
        var currentChart = myChart.Chart;

        var seriesCollection =
(SeriesCollection)currentChart.SeriesCollection();

        var functionSerie = seriesCollection.NewSeries();
        functionSerie.Name = " $\Phi$ -i";
        functionSerie.Values = worksheet.Range["A2",
string.Format("A{0}", excelData.Deltas.Count + 1)];
        functionSerie.ChartType = XlChartType.xlLine;
        functionSerie.Border.LineStyle = XlLineStyle.xlDash;

        var deltaSerie = seriesCollection.NewSeries();
        deltaSerie.Name = "Дельта";
        deltaSerie.Values = worksheet.Range["B2",
string.Format("B{0}", excelData.Deltas.Count + 1)];
        deltaSerie.ChartType = XlChartType.xlLineMarkers;
    }

```

```

        var baseFunctionSerie = seriesCollection.NewSeries();
        baseFunctionSerie.Name = "Базови  $\phi$ -i";
        baseFunctionSerie.Values =
excelData.CalculatedFunctions.SelectMany(f => f.BaseFunctionValues).ToArray();
        baseFunctionSerie.ChartType = XlChartType.xlLine;
        baseFunctionSerie.Border.LineStyle =
XlLineStyle.xlDashDotDot;

        currentChart.Legend.Position =
XlLegendPosition.xlLegendPositionBottom;
        currentChart.Legend.IncludeInLayout = false;

        var xAxis = (Axis)currentChart.Axes(XlAxisType.xlCategory);
        xAxis.HasTitle = true;
        xAxis.AxisTitle.Left = 825;
        xAxis.AxisTitle.Text = "Z2";
        xAxis.TickLabelSpacing = excelData.FunctionPartitionsCount;
        xAxis.TickMarkSpacing = excelData.FunctionPartitionsCount;
        xAxis.AxisBetweenCategories = false;
        xAxis.CategoryNames =
GenerateCategoryLabels(excelData).ToArray();

        var yAxis = (Axis)currentChart.Axes(XlAxisType.xlValue);
        yAxis.HasTitle = true;
        yAxis.AxisTitle.Top = 0;
        yAxis.AxisTitle.Text = "Z1";
        yAxis.MinimumScale = 0;
        yAxis.MaximumScale =
Math.Max(excelData.CalculatedFunctions.SelectMany(f => f.ModulusValues).Max(),
        excelData.CalculatedFunctions.SelectMany(f =>
f.BaseFunctionValues).Max());
        yAxis.TickLabelPosition =
XlTickLabelPosition.xlTickLabelPositionNone;
        yAxis.MajorGridlines.Delete();
    }

    private void DrawPChart(Worksheet worksheet, MainCalcResult
excelData)
    {
        ChartObjects xlCharts = worksheet.ChartObjects(Type.Missing);

        var myChart = xlCharts.Add(200, 350, 800, 250);
        var currentChart = myChart.Chart;

        var seriesCollection =
(SeriesCollection)currentChart.SeriesCollection();

        var pSerie = seriesCollection.NewSeries();
        pSerie.Name = "P";
        pSerie.Values = worksheet.Range["C2", string.Format("C{0}",
excelData.P.Count + 1)];

        currentChart.Legend.Position =
XlLegendPosition.xlLegendPositionBottom;
        currentChart.Legend.IncludeInLayout = false;
        currentChart.HasTitle = false;
        //currentChart.ChartTitle.Delete();

        currentChart.ChartType = XlChartType.xlLine;

        var xAxis = (Axis)currentChart.Axes(XlAxisType.xlCategory);
        xAxis.HasTitle = true;
        xAxis.AxisTitle.Left = 825;
        xAxis.AxisTitle.Text = "Z2";
        xAxis.TickLabelSpacing = excelData.FunctionPartitionsCount;
        xAxis.TickMarkSpacing = excelData.FunctionPartitionsCount;
        xAxis.AxisBetweenCategories = false;

```



```

        {
            public static class LambdaCreator
            {
                public static Func<double,double> Create()
                {
                    return (x)=>";

private const string End = @"";
                }
            }
        }";

public MathFunctionEvaluator(string input)
{
    var normalized = PrepareInput(input);
    var provider = new CSharpCodeProvider();
    var parameters = new CompilerParameters { GenerateInMemory =
true };

    parameters.ReferencedAssemblies.Add("System.dll");

    var results = provider.CompileAssemblyFromSource(parameters,
Begin + normalized + End);
    try
    {
        var cls =
results.CompiledAssembly.GetType("MyNamespace.LambdaCreator");
        var method = cls.GetMethod("Create", BindingFlags.Static
| BindingFlags.Public);
        _parsedFunction = (method.Invoke(null, null) as
Delegate);
    }
    catch (FileNotFoundException)
    {
        throw new ArgumentException();
    }
}

private string PrepareInput(string input)
{
    return
input.ReplaceMath().ReplacePow().ReplaceMultipling().ReplaceToDoubles();
}
}
}

```

StringExtensions.cs

```

using System.Text.RegularExpressions;

namespace ElectricalShortCircuitCalcApp
{
    public static class StringExtensions
    {
        public static string ReplaceMultipling(this string input)
        {
            return Regex.Replace(input, @"(\d+) (x)", @"$1*$2");
        }

        public static string ReplacePow(this string input)
        {
            var result = input.ReplacePow(@"(\d*x)^\(\d+\.\?\d*)");
            return result.ReplacePow(@"\(([^\^]+)\)^\(\d+\.\?\d*)");
        }

        private static string ReplacePow(this string input, string
toReplace)
        {

```

```

        return Regex.Replace(input, toReplace, "Math.Pow($1,$2)");
    }

    public static string ReplaceToDoubles(this string input)
    {
        return Regex.Replace(input, @"(\d+)(?:[^\.]d+)", "$1.0");
    }

    public static string ReplaceMath(this string input)
    {
        return
            input.ReplaceMath("sin", @"Math.Sin")
                .ReplaceMath("cos", @"Math.Cos")
                .ReplaceMath("ctg", @"1.0/Math.Tan")
                .ReplaceMath("tg", @"Math.Tan")
                .ReplaceMath("exp", @"Math.Exp");
    }

    private static string ReplaceMath(this string input, string name,
string dotNetName)
    {
        return Regex.Replace(input, name, dotNetName,
RegexOptions.IgnoreCase);
    }
}

```

ViewModel.cs

```

using System.Collections.Generic;

namespace ElectricalShortCircuitCalcApp
{
    internal class ViewModel
    {
        public uint FunctionPartitionsCount { get; set; }

        public uint FunctionScaleRate { get; set; }

        public List<KeyValuePair<string, uint>> FunctionsWithPeriods {
get; set; }
    }
}

```

CalculatedFunctionResult.cs

```

using System.Collections.Generic;

namespace ElectricalShortCircuitCalcApp
{
    internal class CalculatedFunctionResult
    {
        public string Function { get; set; }

        public List<double> ModulusValues { get; set; }

        public List<double> BaseFunctionValues { get; set; }
    }
}

```




АКТ

впровадження результатів дисертаційної роботи Люри Олега Петровича на тему: **"Методи та спецпроцесори розпізнавання накидів та коротких замикань у високовольтних електромережах"**

Комісія у складі: голови – декана факультету комп'ютерних інформаційних технологій, д.т.н., проф. Дивака Миколи Петровича та членів: начальника науково-дослідної частини ТНЕУ Письменного Валерія Івановича, наукового керівника науково-дослідних робіт, д.т.н., професора Николайчука Ярослава Миколайовича склали цей акт про те, що дослідження та результати дисертаційної роботи Люри О.П. використані під час виконання науково-дослідних робіт, а саме:

1) науково-дослідної роботи на тему "Розробка теоретичних засад та алгоритмів ідентифікації запусків потужних електроприводів у високовольтних ЛЕП на основі теорії розпізнавання образів" (державний реєстраційний номер 0115U002340), у якій автором проведено дослідження спотворень при коротких замиканнях у високовольтних лініях електропередач та спотворень гармонічних сигналів при виникненні накидів;

2) науково-дослідної роботи на тему «Розробка структурної схеми та компонентів дослідного взірця пристрою розпізнавання накидів та коротких замикань на землю у високовольтних ЛЕП» (державний реєстраційний номер 0116U006790), у якій автором проведено аналіз характеристик відомих пристроїв захисту обладнання високовольтних ЛЕП від накидів та коротких замикань та розробка схемотехнічних рішень компонентів пристрою розпізнавання накидів та коротких замикань (РНКЗ), спецпроцесор інтегруючий квадрант;

3) науково-дослідної роботи на тему «Розробка теорії, методології та алгоритмів структуризації образно-кластерних моделей моніторингу станів електричних підстанцій високовольтних ЛЕП» (державний реєстраційний номер 0116U006792), у якій автором виконано аналіз типів електромереж, які пересилають електроенергію на електричних підстанціях (ПС).

Голова комісії:

декан факультету комп'ютерних інформаційних технологій,
д.т.н., проф.

Дивак М.П.

Члени комісії:

начальник науково-дослідної частини

Письменний В.І.

Науковий керівник науково-дослідних робіт,
д.т.н., професор

Николайчук Я.М.

ЗАТВЕРДЖУЮ
Директор Інституту мікропроцесорних
систем керування об'єктами
електроенергетики

" _____ Сабадаш І.О.
_____ 2018 р.
М. Львів

АКТ

впровадження результатів дисертаційної роботи Люри Олега Петровича на
тему: "Методи та спецпроцесори розпізнавання накидів та коротких замикань у
високовольтних електромережах"

Комісія у складі: головного інженера Кідиби Віктора Павловича, завідувача лабораторією мікропроцесорної техніки Барана Петра Михайловича склала цього акта про впровадження результатів дисертаційної роботи аспіранта кафедри комп'ютерних систем та мереж Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу Люри О.П. у тому, що він проводив роботу з розробки методів та спецпроцесорів розпізнавання накидів та коротких замикань у високовольтних електромережах.

У процесі розробки і впровадження спецпроцесорів розпізнавання збурень у високовольтних лініях електропересялень були одержані особисто Люрою О.П. і використані такі результати наукових досліджень:

- 1) аналіз типів електромереж, які пересилають електроенергію на ПС;
- 2) дослідження спотворень гармонічних сигналів при виникненні накидів та замикань на землю у високовольтних лініях електропересялень;
- 3) розробка спецпроцесора інтегруючого квадратора та мікроелектронних компонентів пристрою релейного захисту високовольтних ліній електропередач.

На основі проведених досліджень накидів та коротких замикань у високовольтних ЛЕП розроблений метод розпізнавання збурень такого класу у ЛЕП 6-35 кВ та схемотехнічні рішення спецпроцесора інтегруючого квадратора. Ці результати дозволили підвищити швидкодію розпізнавання перехідних процесів мікропроцесорно керувально-діагностувальною системою "Альтра", яка встановлюється на підстанціях підприємства "Закарпатобленерго".

Головний інженер ІМСКОЕ,
к.т.н., доцент



В.П.Кідиба

Завідувач лабораторією
мікропроцесорної техніки
ІМСКОЕ,
к.т.н., доц.



П.М. Баран

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Директор ПП «Енерготех НГ»

Гамкало Н.П.

« _____ »
2018р.**АКТ****впровадження результатів дисертаційної роботи****Люри Олега Петровича на тему:****« Методи та спец процесори розпізнавання накидів та коротких замикань у високовольтних електромережах »**

Комісія у складі : головного інженера Гамкала Ярослава Миновича, головного енергетика Турія Віталія Тарасовича склали цього акта про впровадження дисертаційної роботи аспіранта кафедри комп'ютерних систем і мереж Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу Люри О.П.

Удосконалення засобів релейного захисту на електричних підстанціях високовольтних ліній електропостачання підприємства ПП «Енерготех НГ» є актуальною технічною задачею.

Результати дослідження перехідних процесів у високовольтних мережах.

6-10 кВ електропостачання промислових установок та запропонованих здобувачем Люрою О.П. пристрій релейного захисту на основі спец процесора цифрового опрацювання фазних струмів впроваджені на підприємстві в наступному об'ємі, а саме:

1. Дослідженні та проаналізовані гістограми перехідних процесів при виникненні накидів та коротких замикань у ЛЕП 6-10 кВ.

2. Структура та характеристики компонентів пристрою релейного захисту.

3. Функціональна структура та дослідний взірець мікроелектронного спец процесора «інтегруючий квадратор» реалізований на ПЛІС.

У результаті обговорення комісія дійшла висновку. Результати впровадження досліджень дисертаційної роботи Люри О.П. у складі комп'ютеризованої системи контролю та управління обертами підприємства КП «Водотеплосервіс» дозволили підвищити надійність роботи насосних станцій водопостачання та водовідведення .Всі роботи та дослідження проводились на безоплатній основі .

Головний інженер

Гамколо Я.М.

Головний енергетик

Турій В.Т.

ЗАТВЕРДЖУЮ

Ректор

Івано-Франківського національного
технічного університету нафти і газу

д-р техн. наук, проф.

Є. І. Крижанівський
«...» 2018 р.

АКТ

Про використання у навчальному процесі наукових результатів дисертаційної роботи Люри Олега Петровича «Методи та спецпроцесори розпізнавання накидів та коротких замикань у високовольтних електромережах», представленої на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук.

Ми, що нижче підписалися, склали даний акт у тому, що на основі розроблених теоретичних засад та методів розпізнавання спотворень в лініях електропередач типу накидів та коротких замикань, розроблені ефективні методи та спецпроцесори розпізнавання накидів та коротких замикань у промислових високовольтних електромережах, які впроваджені у навчальний процес кафедри Комп'ютерних систем і мереж у дисципліні «Спеціалізовані комп'ютерні системи та мережі» для студентів спеціальності 123 – Комп'ютерна інженерія (освітній рівень – магістр).

**Розділи робочої програми, де використані наукові результати
дисертаційної роботи Люри О.П.**

Дисципліна – *Спеціалізовані комп'ютерні системи та мережі*

Шифр спеціальності - 123 – Комп'ютерна інженерія

№ п.п.	Тема лекції	Впровадження у навчальний процес	Обсяг, год.	Додаткова література
1	Особливості структур пристроїв релейного захисту високовольтних ліній електропередач	Розроблена структурна та схематична реалізація спецпроцесора визначення накидів та коротких замикань, що дозволяє підвищити рівень захищеності та ефективності роботи електрообладнання в умовах виникнення особливих перехідних режимів у енергосистемах	2	[1, 2, 3,4]

Додаткова література

1. Николайчук Я.М., Люра О.П. / Дослідження алгоритму розпізнавання накидів та коротких замикань у промислових електромережах / Матеріали IV Всеукраїнської школи-семінару молодих вчених і студентів. Сучасні комп'ютерні інформаційні технології. Advanced computer information technologies. ACIT'2014. ТНЕУ. Тернопіль. – 2014. – С.252-255.
2. Сабадаш І.О., Люра О.П. / Алгоритм опрацювання даних та компоненти спецпроцесора релейного захисту високовольтних ліній електропередач / ISSN 2008-5916 Математичне та комп'ютерне моделювання. Серія: Технічні науки, випуск 15. Збірник наукових праць включено до Переліку наукових фахових видань ДАК Міністерства освіти і науки України з технічних наук (наказ № 1021 від 07 жовтня 2015 р.) Кам'янець-Подільський національний університет імені Івана Огієнка. – 2017. – С.209-215.
3. Люра О. П. / Метод розпізнавання накидів на основі цифрового опрацювання сигналів при запуску потужних електроприводів / ACIT 2017. Матеріали Всеукраїнської конференції з міжнародною участю. "Сучасні комп'ютерні інформаційні технології", Тернопіль. – 2017. – С.71-73. Conference Proceedings. Advanced computer information technologies. (ACIT'2017). All-Ukrainian conference with International participation. Ternopil, 2017.
4. Пат. № 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 /

Проректор з науково-педагогічної роботи

Начальник навчального відділу

Директор інституту

Завідувач кафедри комп'ютерних систем і мереж,
д-р техн. наук, проф.



О.М. Мандрик



Я. В. Штанько



І. З. Лютак



М. І. Горбійчук



АКТ

Про використання у навчальному процесі наукових результатів дисертаційної роботи Люри Олега Петровича «Методи та спецпроцесори розпізнавання накидів та коротких замикань у високовольтних електромережах», представленої на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук.

Ми, що нижче підписалися, склали даний акт у тому, що на основі розроблених теоретичних засад та методів розпізнавання спотворень в лініях електропередач типу накидів та коротких замикань, розроблені ефективні методи та спецпроцесори розпізнавання накидів та коротких замикань у промислових високовольтних електромережах, які впроваджені у навчальний процес спеціальності «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» у дисципліні «Основи проектування та конструювання електроустановок» для студентів галузі знань 14 – Електрична інженерія.

Розділи робочої програми, де використані наукові результати дисертаційної роботи Люри О.П.

Дисципліна – *Основи проектування та конструювання електроустановок*

Шифр напрямку підготовки: 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

№ п.п.	Тема лекції	Впровадження у навчальний процес	Обсяг, год.	Додаткова література
1	Принципи проектування електрообладнання підстанцій та розподільчих установок. Особливості структур пристроїв релейного захисту ліній електропередач.	Досліджені та проаналізовані гістограми перехідних процесів при виникненні накидів та коротких замикань у ЛЕП 6 – 10 кВ. Розроблена структурна та схематична реалізація спецпроцесора визначення накидів та коротких замикань, що дозволяє підвищити рівень захищеності та ефективності роботи електрообладнання в умовах виникнення особливих перехідних режимів у енергосистемах.	4	[1, 2, 3, 4,5]

Додаткова література

1. Николайчук Я.М., Люра О.П. / Дослідження алгоритму розпізнавання накидів та коротких замикань у промислових електромережах / Сучасні комп'ютерні інформаційні технології. Advanced computer information technologies. ACIT'2014. THEU. Тернопіль. – 2014. – С.252-255.
2. Сабадаш І.О., Люра О.П. / Алгоритм опрацювання даних та компоненти спецпроцесора релейного захисту високовольтних ліній електропересялень / ISSN 2008-5916 Математичне та комп'ютерне моделювання. Кам'янець-Подільський національний університет імені Івана Огієнка. – 2017. – С.209-215.
3. Люра О. П. / Метод розпізнавання накидів на основі цифрового опрацювання сигналів при запуску потужних електроприводів / Сучасні комп'ютерні інформаційні технології. Тернопіль. – 2017. – С.71-73. Conference Proceedings. Advanced computer information technologies. (ACIT'2017). All-Ukrainian conference with International participation. Ternopil, 2017.
4. Люра О.П., Возна Н.Я. / Дослідження та оптимізація характеристик компонентів мікроелектронного пристрою релейного захисту високовольтних ліній електропересялень / Національний лісотехнічний університет України. Випуск 27 [5] Львів – 2017р. – С.148-155. Ukrainian National Forestry University. Scientific Bulletin of UNFU. Year of foundation – 1994. Volume Issue 27 [5]. Lviv – 2017.
5. Люра О.П. / Структура та функції мікроелектронного пристрою моніторингу накидів та замикань на землю у високовольтних лініях електропересялень / Автоматизоване управління багатовимірними об'єктами на засадах обчислювального інтелекту. Матеріали всеукраїнської науково-практичної конференції. Івано-Франківськ. – 2018. – С. 181-182.

Викладач


(підпис)

О.П. Люра
(прізвище та ініціали)

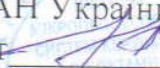
Завідувач електрично-
механічного
відділення


(підпис)

М.М. Романів
(прізвище та ініціали)


МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ТЕРНОПІЛЬСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ЕКОНОМІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ

ПОГОДЖЕНО

Директор інституту
 мікропроцесорних систем керування
 об'єктами електроенергетики
 КД ЦІЗІТ НАН України,
 к.т.н., доцент  І.О. Сабадаш
 «___» _____ 2017 р.



ЗАТВЕРДЖУЮ

Проректор з наукової роботи ТНЕУ,
 д.е.н., професор  З.-М.В. Задорожний
 «___» _____ 2017 р.



ПРОГРАМА

**лабораторних випробувань дослідних взірців пристрою релейного
 захисту в мережах 6-10 кВ**

В.о. директора науково-дослідного
 інституту іноваційного розвитку
 та державотворення



В.І.Письменний

Декан факультету
 комп'ютерних інформаційних технологій,
 д. т. н., професор



М.П.Дивак

Керівник НДР, д. т. н., професор



Я.М.Николайчук

Тернопіль – 2017

Список публікацій здобувача

1. Люра О.П., Возна Н.Я. Дослідження та оптимізація характеристик компонентів мікроелектронного пристрою релейного захисту високовольтних ліній електропересялень. *Науковий вісник НЛТЕУ України*, 2017. – №5. – Львів. – С. 148-155.
2. Сабадаш І.О., Люра О.П. Алгоритм опрацювання даних та компоненти спецпроцесора релейного захисту високовольтних ліній електропересялень. *Математичне та комп'ютерне моделювання. Серія: Технічні науки, випуск 15*. Кам'янець-Подільський національний університет імені Івана Огієнка, 2017. – С. 209-215.
3. Возна Н.Я., Люра О.П., Сабадаш І.О., Островка І.І. Метод розпізнавання та ідентифікації накидів і замикань на землю у високовольтних лініях електропересялень. *Науковий вісник НЛТЕУ України*, 2018. – №1. – Львів. – С. 79-85.
4. Сидор А.І., Люра О.П., Николайчук Я.М. Теоретичні засади та задачі розпізнавання гармонічних сигналів та образів на основі оцінки Хеммінгової віддалі. *Науковий вісник НЛТЕУ України*, 2018. – №3. – Львів. – С. 131-137.
5. Люра О.П., Возна Н.Я., Николайчук Я.М. Дослідження перехідних процесів у високовольтних лініях електропересялень 6 – 10 кВ та розроблення мікроелектронного спецпроцесора релейного захисту, інваріантного до зміни амплітуд фазних струмів. *Науковий вісник ІФНТУНГ*, 2018. – № 2 (45). – Івано-Франківськ. – С. 57-65.
6. 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*. Випуск № 9. Тернопіль. – 2014. – С. 216-222.
7. T. Zavediuk, Y. Franko, O. Liura, I. Ostrovka. Methods of recognition and identification of disturbances in high-voltage power lines. Матеріали XIII Міжнародної науково-технічної конференції. *Досвід розробки та*

застосування приладо-технологічних САПР в мікроелектроніці: CADSM 2015.
– Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2015. – С. 282-286.

8. Oleh Liura, Ivan Ostrovka, Iryna Sabadash, Yaroslav Nykolaichuk. Theoretical Principles and Methods of Distortions Recognition in Load Surges, Short Circuits and Powerful Electric Drives Launching Type Power Lines. *2016 13th International Conference on Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunications and Computer Science (TCSET 2016).* – PP. 33-36.

9. Oleh Liura, Igor Sabadash, Nataliia Vozna, Ivan Ostrovka. Project of Structural Solutions and Components of Special Processor of Relay Protection in High-Voltage Lines of Electricity Transmission. *2017 XIIIth International Conference. Perspective Technologies and Methods in MEMS Design (MEMSTECH). Proceedings.* – PP. 70-73.

10. Andriy Sydor, Yaroslav Nykolaychuk, Nataliia Vozna, Boris Krulikovskiy, Alina Davletova, Oleh Liura. Methods and processors for image recognition in a linear and quadratic Hamming space. *2019 15th International Conference. The Experience of Designing and Application of CAD System (CADSM' 2019).* – PP. 9-12.

11. Николайчук Я.М., Люра О.П. Дослідження алгоритму розпізнавання накидів та коротких замикань у промислових електромережах. Матеріали IV Всеукраїнської школи-семінару молодих вчених і студентів. *Сучасні комп'ютерні інформаційні технології.* ТНЕУ. Тернопіль. – 2014. – С. 252-255.

12. Возна Н.Я., Люра О.П. Метод структурного розпізнавання накидів та коротких замикань в ЛЕП. Матеріали II Всеукраїнської науково-практичної конференції. *Інформаційні технології в освіті, техніці та промисловості, інститут інформаційних технологій.* Івано-Франківськ. – 2015. – С. 180-181.

13. Люра О.П. Методи, перетворювачі та обчислювальні засоби захисту високовольтних ЛЕП від накидів та замикань на землю. Матеріали проблемно-наукової міжгалузевої конференції. *Юриспруденція та проблеми інформаційного суспільства (ЮПИС-2016).* Надвірна-Яремче. – 2016. – С. 146-150.

14. Люра О.П. Метод розпізнавання накидів на основі цифрового опрацювання сигналів при запуску потужних електроприводів. Матеріали Всеукраїнської конференції з міжнародною участю. *Сучасні комп'ютерні інформаційні технології*, Тернопіль. – 2017. – С. 71-73.

15. 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.

16. Люра О.П. Структура та функції мікроелектронного пристрою моніторингу накидів та замикань на землю у високовольтних лініях електропередач. Матеріали всеукраїнської науково-практичної конференції. *Автоматизоване управління багатомірними об'єктами на засадах обчислювального інтелекту*. Івано-Франківськ. – 2018. – С. 181-182.

17. T. Zavediuk, Y. Franko, O. Liura. Recognition of images based on special processors with neural components. *Computer technologies in information security. Edited by Valeriy Zadiraka, Yaroslav Nykolaichuk*. – Ternopil: «Cart-blansh», 2015. 387p. – С. 299-313.

18. Возна Н.Я., Люра О.П., Сабадаш І.О. Теоретичні засади і алгоритми ідентифікації перехідних процесів у високовольтних ЛЕП та розробка пристрою розпізнавання накидів та коротких замикань. *Спеціалізовані комп'ютерні технології в інформатиці. За загальною редакцією Я.М. Николайчука*. – Тернопіль: 2017. 919с. – С. 396-437.

19. № 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.

Продовж. дод. К

Апробація результатів дисертації.

Основні положення роботи викладено та обговорено на науково-практичних конференціях різного рівня:

1. IV-ій Всеукраїнській школі-семінарі молодих вчених і студентів «Сучасні комп'ютерні інформаційні технології (АСІТ-2014)» (Тернопіль, 2014р.);

2. Міжнародній науково-кординаційній нараді «Інформаційні проблеми комп'ютерних систем, юриспруденції, енергетики, економіки, моделювання та управління» (Тернопіль, 2014р.);

3. XIII-ій міжнародній науково-технічній конференції «Досвід розробки та застосування приладо-технологічних САПР в мікроелектроніці (CADSM 2015)» (Львів, 2015р.);

4. II-ій Всеукраїнській науково-практичній конференції «Інформаційні технології в освіті, техніці та промисловості» (Івано-Франківськ, 2015р.);

5. Міжнародній науковій конференції «13th International Conference on Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunications and Computer Science (TCSET 2016)» (Львів, 2016р.);

6. Проблемно-науковій міжгалузевій конференції «Юриспруденція та проблеми інформаційного суспільства (ЮПІС-2016)» (Надвірна-Яремче, 2016р.);

7. Міжнародній науковій конференції «XIIIth International Conference. Perspective Technologies and Methods in MEMS Design (MEMSTECH)», (Закарпаття, 2017р.);

8. Всеукраїнській конференції з міжнародною участю «Сучасні комп'ютерні інформаційні технології (АСІТ)» (Тернопіль, 2017р.);

9. Проблемно-науковій міжгалузевій конференції «Юриспруденція та проблеми інформаційного суспільства (ЮПІС – 2018)» (Надвірна, 2018р.);

10. Всеукраїнській науково-практичній конференції «Автоматизоване управління багатовимірними об'єктами на засадах обчислювального інтелекту» (Івано-Франківськ, 2018р.);

11. 15th International Conference. The Experience of Designing and Application of CAD System (CADSM' 2019) (Свалява, 2019р.).