

Вінницький національний технічний університет

(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет електроенергетики та електромеханіки

(повне найменування інституту, назва факультету (відділення))

Кафедра комп'ютеризованих електромеханічних систем і комплексів

(повна назва кафедри (предметної, циклової комісії))


МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему:

«Система діагностування вакуумного високовольтного вимикача»

Виконав: студент 2-го курсу, гр. ЕПА-21м
спеціальності 141 – Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка

(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)

 Олексій ДЕРЖАВЕЦЬ

(прізвище та ініціали)

Керівник: д.т.н., професор кафедри КЕМСК

 Володимир ГРАБКО

(прізвище та ініціали)

« 15 » листопада 2022 р.

Опонент: к.т.н., доцент кафедри ЕЕЕМ

 Олександр ШЧЕРБАК

(прізвище та ініціали)

« 19 » грудня 2022 р.

Допущено до захисту

кафедрою КЕМСК 

В. о. зав. кафедри Микола МОШНОРИЗ

« 30 » листопада 2022 р.

Вінниця ВНТУ – 2022 рік

Вінницький національний технічний університет
Факультет Електроенергетики та електромеханіки
Кафедра Комп'ютеризованих електромеханічних систем і комплексів
Рівень вищої освіти II-й (магістерський)
Галузь знань 14 – Електрична інженерія
Спеціальність 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
Освітньо-професійна програма «Електромеханічні системи автоматизації та електропривод»

ЗАТВЕРДЖУЮ

В.о. завідувача кафедри

к.т.н., доц.

Микола МОШНОРІЗ

“06” вересня 2022 року

З А В Д А Н Н Я
НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Державець Олексій Олександрович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Система діагностування вакуумного високовольтного вимикача

керівник роботи Грабко Володимир Віталійович, д.т.н., проф. каф. КЕМСК

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від “14” вересня 2022 року № 203

2. Строк подання студентом роботи: «30» листопада 2022 р.

3. Вихідні дані до роботи: тип високовольтного вимикача – вакуумний; клас напруги 6 – 35 кВ. Необхідно здійснювати оцінку залишкового комутаційного ресурсу та оцінку стану контактної системи з повідомленням оперативному персоналу про необхідність виконання регулювання відстані між рухомими та нерухомими контактами.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити): Вступ. 1 Аналіз сучасного стану з питань діагностування технічного стану вакуумних вимикачів. 2 Розробка математичних моделей для діагностування технічного стану вакуумних вимикачів. 3 Розробка пристроїв діагностування технічного стану вакуумних вимикачів. 4. Практична реалізація пристроїв діагностування технічного стану вакуумних вимикачів. 5. Економічна частина. 6. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях. Висновки.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): 1. Мета, задачі, об'єкт та предмет дослідження. 2. Аналіз існуючих засобів діагностування комутаційних апаратів. 3. Математична модель оцінки витрачання комутаційного ресурсу за значеннями комутуваних струмів. 4. Математична модель оцінки та налаштування синхронної роботи контактної системи вакуумного вимикача. 5. Пристрої для оцінки комутаційного ресурсу вакуумного вимикача. 6. Пристрій для визначення неузгодження одночасності ввімкнення полюсів вимикача.

7. Пристрій для формування керуючої дії налаштування синхронної роботи контактної системи. 8. Реалізація пристрою діагностування неузгодження одночасності ввімкнення полюсів вимикача із застосуванням програмованих логічних інтегральних мікросхем. 9. Мікропроцесорний засіб для оцінки залишкового комутаційного ресурсу вакуумного високовольтного вимикача. 10. Наукова новизна та практичне значення одержаних результатів.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Спеціальна частина	д.т.н., проф. каф. КЕМСК Грабко В.В.	06.09.2022 р.	15.11.2022 р.
Економічна частина	Шулле Ю.А. к.т.н., доц. каф. ЕСЕЕМ	06.09.2022 р.	22.11.2022 р.
Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	Зав. каф. БЖДПБ, д.пед.н., проф. Кобилянський О.В.	06.09.2022 р.	29.11.2022 р.

7. Дата видачі завдання 06.09. 2022

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

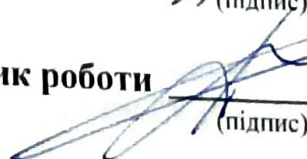
№ з/п	Назва етапів роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Формування та затвердження теми магістерської кваліфікаційної роботи (МКР)	06.09.2022 р.	вик
2	Виконання спеціальної частини МКР. Перший рубіжний контроль виконання МКР	15.11.2022 р.	вик
3	Виконання спеціальної частини МКР. Другий рубіжний контроль виконання МКР	15.11.2022 р.	вик
4	Виконання розділу «Економічна частина»	22.11.2022 р.	вик
5	Виконання розділу «Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях»	29.11.2022 р.	вик
6	Попередній захист МКР	30.11.2022 р.	вик
7	Нормоконтроль МКР	30.11.2022 р.	вик
8	Рецензування МКР	19.12.2022 р.	вик
9	Захист МКР	20.12.2022 р.	вик

Студент


(підпис)

Олексій ДЕРЖАВЕЦЬ
(прізвище та ініціали)

Керівник роботи


(підпис)

Володимир ГРАБКО
(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Державець О.О. «Система діагностування вакуумного високовольтного вимикача». Магістерська кваліфікаційна робота зі спеціальності 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка, освітня програма - електрична інженерія. Вінниця: ВНТУ, 2022. 118 с.

На укр. мові. Бібліогр.: 97 назв; рис.: 17; табл. 11.

В магістерській кваліфікаційній роботі здійснено аналіз існуючих методів та засобів для діагностування вакуумних високовольтних вимикачів. Розроблена математична модель для оцінки залишкового комутаційного ресурсу вимикачів. Запропонована математична модель для оцінки та налаштування синхронної роботи контактної системи вакуумного вимикача. За розробленими математичними моделями здійснена реалізація пристроїв у вигляді структурних схем для оцінки залишкового комутаційного ресурсу вимикачів (з врахуванням апроксимації характеристики перетворення датчика струму, з визначенням відпрацьованого комутаційного ресурсу по енергії дуги в момент комутації, з врахуванням роботи вимикача в циклі АПВ, з урахуванням застосування пристрою для вимикачів з різними ресурсними характеристиками). Розроблено структуру пристрою для оцінки неузгодження одночасності ввімкнення полюсів вимикача, для формування керуючої дії налаштування синхронної роботи контактної системи. Здійснена технічна реалізація розроблених пристроїв на базі мікроконтролера та ПЛІС.

Графічна частина складається з 11 плакатів із результатами роботи.

В розділі охорони праці визначено основні положення щодо безпечної експлуатації досліджуваного електротехнічного комплексу в умовах дії шкідливих чинників оточуючого середовища.

Ключові слова: вакуумний високовольтний вимикач, діагностування, комутаційний ресурс, синхронність контактів, математична модель, структура пристрою, мікроконтролер, алгоритм.

ABSTRACT

Derzhavec O.O. «Diagnostic system of the vacuum high-voltage circuit breaker». Master's qualification work. – Vinnytsia: VNTU, 2022. – 118 p.

In Ukrainian language. Bibliographer: 97 titles; fig.: 17; tabl. 11.

In the master's qualification work, an analysis of existing methods and tools for diagnosing vacuum high-voltage circuit breakers was carried out. A mathematical model for estimating the residual switching resource of switches has been developed. A mathematical model is proposed for evaluating and adjusting the synchronous operation of the contact system of the vacuum switch. According to the developed mathematical models, devices were implemented in the form of structural diagrams for evaluating the residual switching resource of circuit breakers (taking into account the approximation of the characteristics of the current sensor transformation, with the determination of the spent switching resource by the energy of the arc at the moment of switching, taking into account the operation of the circuit breaker in the recloser cycle, taking into account the use of the device for switches with different resource characteristics). The structure of the device has been developed to assess the mismatch of the simultaneous switching on of the switch poles, to form the control action of setting the synchronous operation of the contact system. The technical implementation of the developed device based on a microcontroller and FPGA was carried out.

The graphic part consists of 11 posters with the results of the work.

In the section on labor protection, the main provisions regarding the safe operation of the studied electrotechnical complex under the influence of harmful factors of the surrounding environment are defined.

Keywords: vacuum high-voltage switch, diagnostics, switching resource, contact synchronicity, mathematical model, structure of device, microcontroller, algorithm.

ЗМІСТ

ВСТУП	5
1 АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ З ПИТАНЬ ДІАГНОСТУВАННЯ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ВАКУУМНИХ ВИСОКОВОЛЬТНИХ ВИМИКАЧІВ	9
1.1 Аналіз методів діагностування комутаційних апаратів	9
1.2 Аналіз засобів діагностування приводів вимикачів	15
1.3 Аналіз засобів діагностування контактної системи вимикачів	18
1.4 Узагальнення результатів аналізу і постановка задачі дослідження	21
2 РОЗРОБКА МАТЕМАТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ ДІАГНОСТУВАННЯ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ВАКУУМНИХ ВИМИКАЧІВ	22
2.1. Математична модель оцінки витрачання комутаційного ресурсу вакуумного вимикача.....	22
2.2 Математична модель оцінки та налаштування роботи контактної системи високовольтного вакуумного вимикача у синхронному режимі	24
3 РОЗРОБКА ПРИСТРОЇВ ДІАГНОСТУВАННЯ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ВАКУУМНИХ ВИМИКАЧІВ	31
3.1 Розробка структурних схем пристроїв для оцінки залишкового робочого комутаційного ресурсу вакуумного вимикача	31
3.2 Розробка структурної схеми пристрою для визначення неузгодження одночасності включення полюсів вимикача	49
3.3 Розробка структурної схеми пристрою для формування керуючої дії налаштування контактної системи у синхронному режимі роботи.....	51
4 ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ ПРИСТРОЇВ ДІАГНОСТУВАННЯ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ВАКУУМНИХ ВИМИКАЧІВ	55
4.1 Мікропроцесорна реалізація пристрою оцінки залишкового робочого комутаційного ресурсу вакуумного вимикача	55

4.2 Реалізація пристрою для діагностування неузгодження одночасності включення полюсів вимикача з використанням програмованих логічних інтегральних мікросхем.....	59
5 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА	62
5.1 Визначення капітальних вкладень.....	63
5.2 Розрахунок експлуатаційних витрат	64
6 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ.....	72
6.1 Технічні рішення щодо безпечного виконання роботи.....	73
6.2 Технічні рішення з виробничої санітарії	75
6.3 Безпека у надзвичайних ситуаціях. Дослідження безпеки роботи системи діагностування вакуумного високовольтного вимикача в умовах дії загрозливих чинників надзвичайних ситуацій	81
6.4 Розробка заходів по підвищенню безпеки роботи системи діагностування вакуумного високовольтного вимикача в умовах надзвичайних ситуацій	86
ВИСНОВКИ	88
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	89
Додаток А (обов'язковий) Технічне завдання	100
Додаток Б (обов'язковий) Ілюстративна частина.....	104

ВСТУП

Актуальність роботи. Відомо, що електропостачання споживачів можливе забезпечити лише у разі надійної роботи усього обладнання енергосистеми. Значна роль в тракті електропостачання відводиться високовольтним вимикачам, за допомогою яких здійснюється комутація потоків електричної енергії [1]. Від їх надійності функціонування залежить стійкість забезпечення електропостачання споживачів. Особливо гостро це відчувається в теперішній час, коли відбуваються віялові відключення електроенергії. При цьому комутаційний ресурс вимикачів витрачається набагато інтенсивніше, ніж в звичайному режимі роботи, коли відключення споживачів електроенергії відбувається зовсім рідко. Трапляються випадки, коли вимикачем відключаються струми короткого замикання. В таких ситуаціях комутаційний ресурс витрачається ще інтенсивніше. Досвідчений оперативний персонал, боячись аварійних ситуацій, відслідковує ситуацію щодо роботи високовольтних вимикачів і застерезливо проводить їх огляди та профілактичні ремонти.

Протягом останніх 30 – 40 років відбувається заміна поширених маломасляних та масляних вимикачів розрахованих на напругу 6-35 кВ на вакуумні вимикачі. В електричних мережах вищої напруги застосовуються елегазові вимикачі [2]. Вакуумні високовольтні вимикачі мають найкращу динаміку розвитку і є дуже перспективними для застосування в розподільчих мережах. Дугогасильні пристрої таких вимикачів мають високу надійність і зносостійкість [3]. Але, незважаючи на це, вони теж виходять з ладу, як і масляні. Крім того, в них є також і інші недоліки, зокрема можуть виникати перенапруги, обумовлені неодноразовою комутації полюсів вимикача, розрегулювання механічних рухомих частин, що призводить до погіршення роботи контактної системи та привода в процесі довготривалої роботи. Окрім того відзначається порівняно висока вартість такого типу високовольтних вимикачів.

Для оцінки технічного стану вакуумного вимикача використовуються різноманітні підходи та засоби діагностування [4]. Особлива увага під час процесу діагностування технічного стану вакуумного високовольтного вимикача приділена дослідженню роботи його контактної системи та приводу [5]. Від технічного стану приводу залежить, чи зможе вимикачі здійснити комутацію черговий раз і як це може відобразитись на швидкісних характеристиках вимикача. В процесі експлуатації вимикача дугові процеси внаслідок комутації призводять до зношення контактної системи (змінюється форма, розмір, з'являються раковини на поверхні контактів тощо).

Відомі засоби та підходи до діагностування вакуумних вимикачів не дозволяють в достатній мірі дати відповіді на питання, як довго зможе функціонувати вимикач, коли вичерпається комутаційний ресурс, як довго працюватиме механічна рухома частина вимикача без погіршення комутаційних властивостей.

Ці та інші питання вимагають додаткових досліджень та отримання відповідних рекомендацій і створення відповідних технічних засобів.

У зв'язку з наведеним дана робота є актуальною.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.

Виконання роботи проводилось на кафедрі комп'ютеризованих електромеханічних систем і комплексів Вінницького національного технічного університету.

Мета і завдання дослідження. Метою дослідження є підвищення надійності функціонування вакуумних високовольтних вимикачів через вдосконалення методів і засобів діагностування контактної системи вакуумного високовольтного вимикача.

Згідно до вказаної мети потрібно розв'язати такі основні задачі:

- здійснити аналіз існуючих методів та засобів діагностування високовольтних комутаційних апаратів;
- створити математичні моделі діагностування контактної системи вакуумних високовольтних вимикачів;

– за розробленими математичними моделями створити структурні схеми пристроїв для оцінки залишкового комутаційного ресурсу та діагностування контактної системи вакуумного вимикача;

– здійснити реалізацію розроблених засобів в мікропроцесорному виконанні та з використанням ПЛІС;

Об'єктом дослідження є процеси зміни технічного стану вакуумних високовольтних вимикачів під час їх експлуатації.

Предмет дослідження є методи та засоби визначення технічного стану контактної системи вакуумних високовольтних вимикачів та діагностичні ознаки останніх під час експлуатації.

Методи дослідження. Для розв'язання поставлених задач та аналізу сформованих схемотехнічних та алгоритмічних рішень використані методи: технічної діагностики, теорії загальної електротехніки, методи комп'ютерного проектування та моделювання, аналітичні можливості комп'ютерної алгебри для здійснення розрахунків математичних моделей.

Наукова новизна та практичне значення отриманих результатів:

1. Розроблено математичну модель для оцінки залишкового комутаційного ресурсу за ресурсними характеристиками вакуумного вимикача, яка дозволяє оцінювати ступінь витрачання комутаційного ресурсу вимикача при комутації останнім різних значень комутуваного струму.

2. Розроблено математичну модель оцінки синхронності роботи контактної системи високовольтного вимикача, яка на відміну від існуючих, дає можливість розраховувати відхилення від допустимого значення часу ввімкнення вимикача та сформувані сигнали керуючої дії оперативному персоналу щодо регулювання рухомих контактів полюсів вимикача. По кожному полюсу формується сигнал керуючої дії (віддалення або наближення рухомих контактів вимикача від нерухомих) для забезпечення роботи контактної системи вакуумного вимикача у синхронному режимі.

3. На основі розроблених математичних моделей створені структурні схеми пристроїв для оцінки залишкового робочого комутаційного ресурсу вакуумних вимикачів, для визначення рівня неузгодження одночасності ввімкнення полюсів високовольтного вимикача та визначення допустимого відхилення положення рухомих контактів полюсів вимикача.

4. Запропонована мікропроцесорна структура та алгоритм роботи засобу для оцінки залишкового комутаційного ресурсу вакуумних вимикачів.

5. Реалізовано пристрій визначення неузгодження одночасності ввімкнення полюсів вимикача на базі ПЛІС компанії Altera марки MAXII EMP570T100C5 в середовищі Quartus II 15.0. Шляхом комп'ютерної симуляції доведено коректність реалізації пристрою. Зазначена реалізація пристрою забезпечує підвищену його швидкодію, зменшення енергоспоживання та розмірів.

5. Розроблені пристрої можливо реалізувати у вигляді системи діагностування високовольтного вакуумного вимикача.

Особистий внесок здобувача. Основні результати магістерської кваліфікаційної роботи отримано автором самостійно.

Апробація результатів роботи. Основні положення і результати досліджень доповідалися та обговорювалися на науково-технічній конференції «Молодь в науці: дослідження, проблеми, перспективи» (МН-2022).

Публікації. За результатами досліджень опубліковані одні тези доповідей в матеріалах науково-технічної конференції.

1 АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ З ПИТАНЬ ДІАГНОСТУВАННЯ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ВАКУУМНИХ ВИСОКОВОЛЬТНИХ ВИМИКАЧІВ

1.1 Аналіз методів діагностування комутаційних апаратів

Відомо [6], [7], що діагностування – це процес визначення реального технічного стану об'єкта чи системи із визначеною точністю та характеру його змін у часі. Основна мета технічної діагностики полягає у розпізнаванні стану технічної системи за умови обмеження інформації і, як результат, підвищення надійності та оцінка залишкового ресурсу всієї системи (обладнання) [8].

Діагностування технічного стану високовольтних вимикачів передбачає проведення різнопланових досліджень. Засоби діагностування вимикачів мають визначати та сповіщати оперативний персонал, чи зможе вимикач здійснити черговий цикл ввімкнення-вимкнення того навантаження, яке живиться від цього вимикача [9].

Моніторинг вимикачів необхідно здійснювати за оцінкою стану його компонент [10]:

1. Визначається залишковий робочий комутаційний ресурс головних контактної системи високовольтного вимикача. Зазначимо, що цей ресурс має забезпечувати можливість відключення найбільших струмів короткого замикання в лінії, що відходить, відповідно до розташування вимикача в системі електропостачання.

2. Визначається технічний стан всієї механічної рухомої частини та привода вимикача, який має бути забезпечувати виконання комутацій. Привод має забезпечувати комутаційний цикл.

3. Визначається стан ізоляційних конструкцій вимикача, від чого залежить надійність його роботи та безпека експлуатації в цілому.

Відомо, що не існує єдиних підходів до визначення технічного стану різних конструкцій високовольтних вимикачів. Цілий ряд методів та підходів зорієнтовано на виведення їх з роботи з подальшим дослідженням [11]. Однак

це порівняно просто здійснювати перед введенням вимикача в роботу або в процесі введення в експлуатацію після поточного або капітального ремонтів. Очевидно, що такі підходи неможливо використовувати для спостереження за станом вимикача в процесі його неперервної експлуатації.

Відомо, що для якісного діагностування електрообладнання здебільшого необхідно виводити його з роботи [11]. Такий підхід не завжди є ефективним та призводить до незапланованих втрат та збитків. Саме тому виникає необхідність здійснювати діагностування технічного стану обладнання під час його роботи.

В паспорті високовольтного вимикача наведено ряд параметрів, які необхідно контролювати і яких їх меж необхідно дотримуватись для коректної експлуатації вимикачів [12], [13].

Як зазначається в літературі [14]-[18] існує два напрямки розробки пристроїв діагностування високовольтних вимикачів, які діляться на два класи – універсальні пристрої та спеціалізовані.

Універсальні пристрої дають можливість досліджувати технічний стан всіх типів високовольтних вимикачів. Вони є складними по своїй суті, мають велику вартість і при застосуванні для обстеження конкретних типів вимикачів мають надлишкову структуру.

Спеціалізовані пристрої зорієнтовані на дослідження, як правило одного-двох типів вимикачів, є суттєво дешевшими, простішими в обслуговуванні та управлінні. Такі пристрої є переважно використовуваними для підприємств, споряджених однотипними вимикачами.

Очевидно, що у випадку використання різних типів вимикачів доцільніше використовувати універсальні пристрої діагностування [19].

В цілому зазначені пристрої дозволяють виявляти приховані дефекти та скоротити час їх пошуку. Часто в універсальних приладах зберігається в електронному вигляді «паспорт» вимикача, тобто всі його технічні характеристики, отримані під час попереднього обстеження [20].

В залежності від типів високовольтних вимикачів та кількості контрольованих параметрів існують різноманітні пристрої діагностування [21]. Інформація про деякі засоби контролю вимикачів зведено в таблицю 1.1.

Таблиця 1.1 – Порівняльна таблиця пристроїв діагностування

Тип пристрою	Тип вимикачів				Кількість дискретних каналів	Вимірвальні канали струму	Сенсори лінійні (Л), Кутові (К)	Енергонезалежна пам'ять	Пристрій введення/виведення інформації
	Вакуумні	Елегазові	Масляні	Повітряні					
ПКВ/УЗ	+	+	+	+	20	+	+	+	+
ПКВ/М6	+	+	+	-	3	-	+	-	-
ПКВ/М7	+	+	+	-	4	+	+	+	-
ПОЛІКОМ	+	+	+	+	18	+	Л	+	+
<u>Рекон</u>	+	+	+	+	16	+	-	+	-
ТМ-1800	+	+	+	+	16	+	+	+	-
СОВА-2	+	+	+	+	16	+	Л	+	+
РК-АЦП-03М	+	+	+	+	18	+	+	+	+
МАРС-1	-	-	+	-	3	-	-	+	-
НІКТА	+	+	+	+	14	+	-	+	+

Пристрої ПКВ/УЗ, Поліком, СОВА-2, РК-АЦП містять у своєму складі комп'ютер, а самі системи спроектовані та виконані у вигляді двох блоків. Решта приладів із табл. 1.1 використовують вбудований мікропроцесор. Наявність комп'ютера створює ширші можливості опрацювання вимірних параметрів і можливість застосування складніших розгалужених алгоритмів діагностування, які неможливо застосувати для обстеження на звичайному мікропроцесорі [21].

Серед поширених засобів діагностування одним з найпопулярніших є пристрій [22] ПКВ/М7, призначений для контролю технічного стану високовольтних вимикачів. Схема підключення такого пристрою наведена на рис. 1.1.

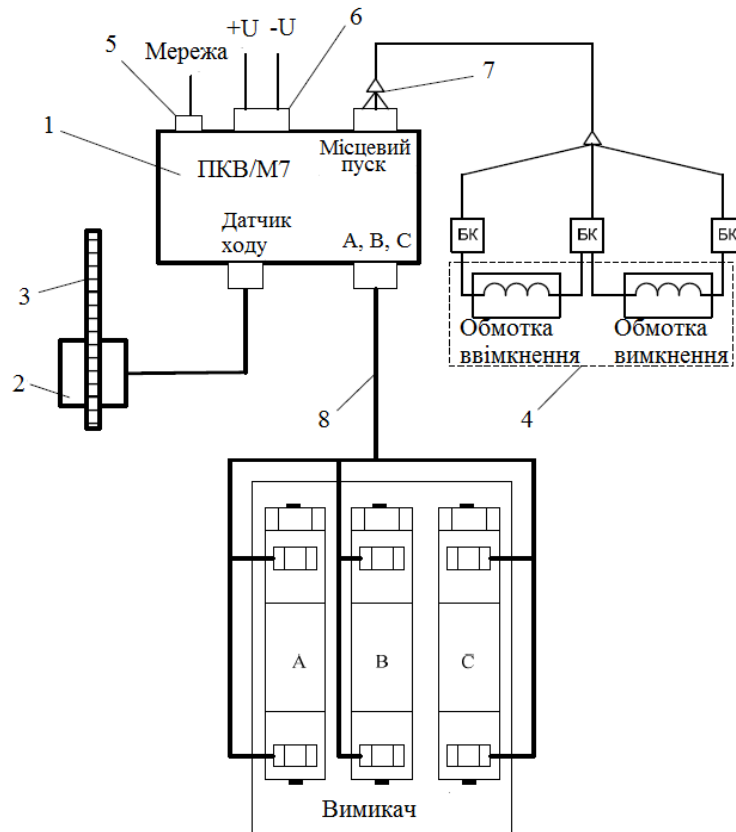


Рисунок 1.1 – Схема підключення пристрою ПКВ/М7 для оцінки технічного стану високовольтних вимикачів

На рис. 1.1: 1 – вимірювальний блок ПКВ/М7; 2 – датчик переміщення лінійний (кутовий); 3 – вимірювальний стержень; 4 – привод вимикача; 5 – мережевий кабель; 6 – кабель живлення комутатора; 7 – кабель місцевого пуску; 8 – кабель полюсів.

Даний прилад здійснює контроль параметрів ходу, часу і швидкості рухомих частин масляних, електромагнітних, вакуумних і элегазових високовольтних вимикачів українського, зарубіжного та радянського

виробництв. Крім того, прилад забезпечує вимірювання часових характеристик роз'єднувачів і короткозамикачів.

У роботах [23], [24] представлені системи моніторингу, оперативного контролю технічного стану, що використовуються для різних типів вимикачів. Ці системи мають можливість інтегруватись в комплексну систему моніторингу роботи електричних мереж. Такі інформаційно-діагностичні комплекси дозволяють окрім визначення роботоздатності вмикачів знаходити місця пошкодження при коротких замиканнях на лініях електропередачі, формування добових відомостей режимів, а також передачу інформації на вищі рівні аналізу та управління [25], [26].

У роботах [27]-[30] автори пропонують подавати тестовий сигнал в коло з силовими контактами вимикача під час виконання операцій ввімкнення та вимкнення. За результатами аналізу можливо визначати швидкісні характеристики в умовах резонансу напруг і порівнювати отримані характеристики з еталонними.

Такий комбінований методу діагностування реалізовано в структурній схемі діагностичного комплексу [31] (рис. 1.2). На схемі: 1 – вимикач; 2 – комутатор; 3 – пристрій контролю технічного стану вимикачів, введено позначення: С – сенсор, ДТС – джерело тестового сигналу, ПК – пристрій контролю.

В роботі [32] пропонується математична модель, якою передбачено змінювати струм тестового сигналу, чим враховуються параметри середовища дугогасіння та опір ізоляції апаратних ввідів відносно заземлених частин вимикача.

В роботі [33] вказується, що засобами інфрачервоної техніки можливо ідентифікувати незадовільні контактні з'єднання, дефекти збору конструкції та ін.

В роботі [34] зазначається важливість тепловізійного обстеження електроенергетичного обладнання, у т. ч. високовольтних вимикачів.

Пропонується за тепловим портретом формувати алгоритм прийняття рішення про результат тепловізійного обстеження.

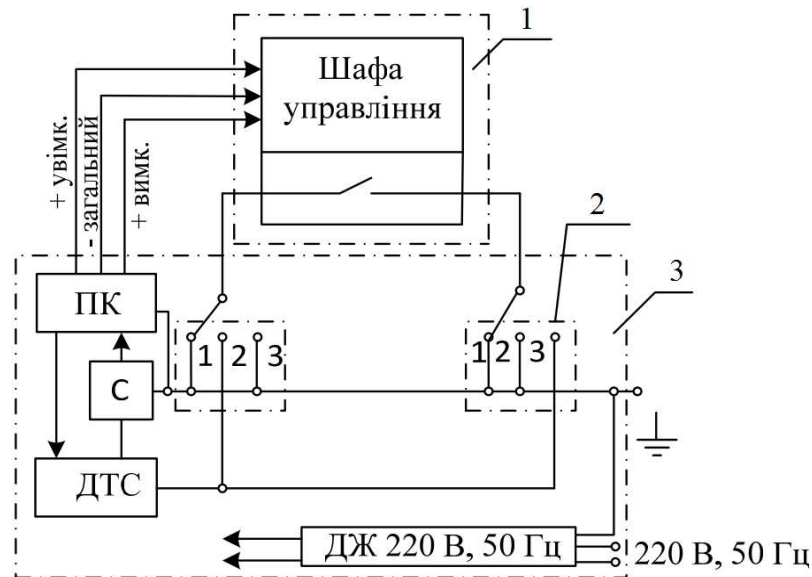


Рисунок 1.2 – Структурна схема застосування методу діагностування

Є очевидним, що застосування тепловізійних технологій дозволяє виявляти місця відхилення температури від допустимих значень. Порівняння отриманих теплових портретів в різні терміни дозволяє робити висновки про роботоздатність електрообладнання та приймати рішення про виведення обладнання в ремонт або продовжувати спостереження [35]-[37]. Безумовно, переваги застосування тепловізійної діагностики дозволяють підвищити безпеку персоналу при проведенні обстеження обладнання. Такі обстеження здійснюються без відключення досліджуваного обладнання, дозволяють вишукувати дефекти на ранніх стадіях їх розвитку. Крім того, тепловізійні обстеження потребують набагато менше часу, а тому, діагностика великої кількості електрообладнання здійснюється в коротші терміни [38], [39].

Ще одним напрямком контролю технічного тану високовольтного електрообладнання є застосування технологій вібродіагностики. Такий підхід дозволяє контролювати найдорожчі елементи високовольтного

електрообладнання [40], [41]. Первинною інформацією в процесі вібродіагностики є наявність гучного шуму та вібрації під час спрацьовування обладнання. Аналіз результатів вібродіагностування передбачає порівняння амплітуд складових спектрів та фаз зсуву вимірних сигналів. За таким аналізом визначаються люфти у всіх механічних конструкціях, щільність укладки витків обмоток електромагнітів ввімкнення та вимкнення високовольтного вимикача

Технічно для забезпечення вібраційної діагностики використовуються високоточні засоби вимірювання вібрації та цифрової обробки сигналів [42].

1.2 Аналіз засобів діагностування приводів вимикачів

Високовольтні вимикачі оснащуються приводами, які реалізуються у вигляді різних конструкцій. Від технічного стану привода залежить надійність виконання комутацій вимикача [43], [44].

Привод вимикача складається з багатьох окремих елементів. Найпоширенішими методами оцінки технічного стану привода вимикача є [45]:

- контроль швидкісних і часових параметрів роботи привода вимикача з використанням кутового або лінійного датчика швидкості, що дозволяє оцінювати динамічні параметри роботи привода вимикача;
- контроль вібраційних процесів, які супроводжують роботу привода, за рахунок використання датчика вібрації;
- контроль кривої струму управління вимикачем, за формою якої визначаються швидкісні параметри роботи привода вимикача.

Відомий пристрій РІП-2, який призначений для перевірки роботи електромагнітних приводів вимикачів [46], застосування якого дозволяє здійснювати перевірку мінімальної напруги, за якої відбувається спрацьовування вимикачів, згідно з нормами заводів-виробників комутаційного обладнання. Тестер В10Е виробника Megger є аналогом такого

пристрою. Він забезпечує подачу постійної напруги різних рівнів на обмотки електромагнітного привода вимикача [47].

Існують підходи, якими передбачається діагностування стану привода на основі аналізу вебер-амперних характеристик [48]–[52].

Відомий спосіб вимірювання магнітних характеристик без вимірювальної обмотки [53], [54]. Робоча обмотка підключається до джерела живлення. При цьому визначається сигнал струму в ній через напругу та опір в намагнічуючому колі.

Відомий пристрій ABC MagHyst, призначений для визначення квазістатичних характеристик магнітних матеріалів [55], [56]. Функціональна схема ABC MagHyst зображена на рис. 1.3. На схемі: БУ – блок управління; КДС – кероване джерело струму; ЗЗ – зворотній зв'язок.

Напруга керування $u(t)$ блоку управління надходить в кероване джерело струму, яке змінює струм намагнічування $i_p(t)$. Навантаженням КДС є намагнічувальна обмотка W_p кільцевого типу досліджуваного електромагніта. Індукована у вимірювальній обмотці W_s , при перемагнічуванні електромагніту, ЕРС $u_s(t)$ інтегрується і відбувається визначення потокозчеплення Ψ вимірювальної обмотки W_s . Для опосередкованого вимірювання напруженості магнітного поля за струмом $i_p(t)$ в електромагніті під'єднаний шунт $R_{ш}$, що включений послідовно із намагнічувальною обмоткою. Первинна і вторинна обмотки рівномірно розподілені по електромагніту. Електромагніт має такі геометричні розміри: внутрішній діаметр D_i , зовнішній діаметр D_a , товщина h , площа поперечного перерізу A_{Fe} , довжина середньої лінії L_{Fe} . Струм первинної обмотки $i_p(t)$ формує силу, що намагнічує Θ , і магнітний потік Φ в електромагніті.

Вимірювальні величини напруг і струмів відображаються на моніторі комп'ютера в процесі дослідження квазістатичних характеристик.

ABC MagHyst має можливість працювати у «безсенсорному» режимі визначення магнітних характеристик приладів, що дещо спрощує процес

вимірювання параметрів. Для цього використовується робоча обмотка пристрою.

Запропонована система застосовується на етапах виготовлення та перевірки якості електричних апаратів. Вона не може використовуватися у задачах діагностування поточного технічного стану електромагніту високовольтного вакуумного вимикача.

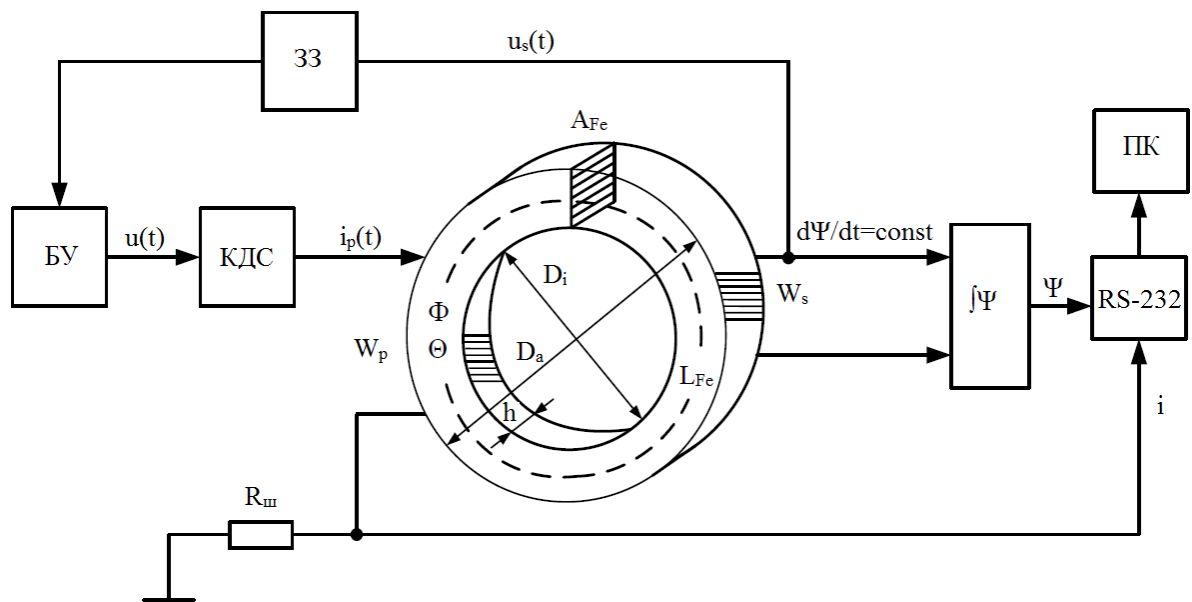


Рисунок 1.3 – Функціональна схема ABC MagHyst

У роботах [57], [58] автори досліджують ступінь впливу вихрових струмів у осерді електромагнітного привода вакуумного вимикача на динамічні характеристики самого привода. В залежності від типу матеріалів і конструктивного виконання змінюються динамічні характеристики електромагнітного привода вакуумного вимикача.

В роботах [59]-[63] приведено результати розрахунку статичних тягових характеристик електромагнітних систем. Одержано залежності для розподілу магнітного потоку при перехідних режимах, проаналізований вплив додаткового опору на швидкість роботи електромагнітів постійного струму із магнітною защіпкою.

Зауважимо, що такі підходи доцільно використовувати на етапі конструювання або виготовлення високовольтних вимикачів.

1.3 Аналіз засобів діагностування контактної системи вимикачів

Враховуючи те, що під час роботи головні контакти високовольтного вимикача завжди знаходяться під робочою напругою, то визначення залишкового комутаційного ресурсу виконується тільки непрямими засобами. Кожен з таких підходів є в певній мірі унікальним і орієнтованим на конкретне застосування, як правило, з конкретним типом високовольтного вимикача.

Існують ряд методів діагностування технічного стану контактів вимикачів, які згруповані нижче [64] – [68].

Класичний метод контролю комутаційного ресурсу, базується на вимірюванні відключеної фази величини потужності короткого замикання з підсумовуванням всіх критичних комутацій. Недоліком цього методу є ускладненість врахування фактичного технічного стану контактів.

Опосередкований контроль стану головних контактів за величиною струму, що протікає через високовольтний вимикач, час та тип замикання і розмикання головних контактів, зіставлення роботи окремих фаз між собою. В цьому випадку аналізуються криві наростання і спадання струмів, що протікають через вимикач, через контакти з використанням швидкодіючих АЦП, які пов'язані із фактичним станом поверхні головних контактів.

Непрямий контроль стану головних контактів, що визначається за тривалістю горіння і видом дуги при відключенні. Тривалість горіння визначається шляхом аналізу спеціалізованих сигналів від первинних датчиків. В якості результативних джерел інформації щодо інтенсивності та тривалості горіння дуги всередині вимикача можуть бути встановлені: вібро сигнали від датчиків, змонтованих на поверхні корпусу вимикача; сигнали із датчиків часткових розрядів, імпульсних струмів і перенапруг, що встановлені в колах заземлення вимикача; сигнали електромагнітного

випромінювання від дуги на контактах, зафіксовані за допомогою спеціалізованих антен.

У роботі [69] розроблена модель розрахунку граничного струму зварювання контактів високовольтного вакуумного вимикача. Ця модель є зручною для аналізу теплових процесів та розрахунку граничного струму зварювання, але її застосування у задачах діагностування ступеню зносу контактної системи є неможливим. Запропонований спосіб перевірки високовольтних вакуумних вимикачів на стійкість при струмах короткого замикання [70] дозволяє підвищувати надійність роботи вакуумного вимикача. Даний спосіб складний для реалізації і має низьку точність вимірювання. В роботі [71] показано вплив зміщення розташування елементів контактної пари на комутацію високовольтного вакуумного вимикача. В роботі [72] висвітлено, як використовувати силу утримання привода, як критерій оцінки основних характеристик високовольтних вакуумних вимикачів. Такий спосіб не може застосовуватися для електромагнітного привода вакуумних високовольтних вимикачів із магнітною защіпкою, тому що утримання привода у крайніх положеннях здійснюється магнітною защіпкою із фіксованою утримуваною силою.

Відомий підхід, в якому пропонується аналізувати механічний процес із врахуванням електродинамічної сили при ввімкненні вакуумного вимикача [73], [73]. В роботі [75] детально описується дуговий процес в момент комутації вакуумного вимикача, однак пропозицій щодо використання цієї інформації не наводиться. Методи обчислення напруги відновлення перехідних процесів при комутаціях вакуумних вимикачів викладені в [76], однак відсутній зв'язок з дуговими процесами, які мають більший вплив на роботоздатність контактної системи вакуумного вимикача.

Для аналізу характеристик високовольтних вимикачів розроблено пристрій, що дозволяє записувати швидкісні характеристики, характерні точки процесу комутації [77], [78]. Структурна схема пристрою контролю характеристик вимикача зображена на рис. 1.4.

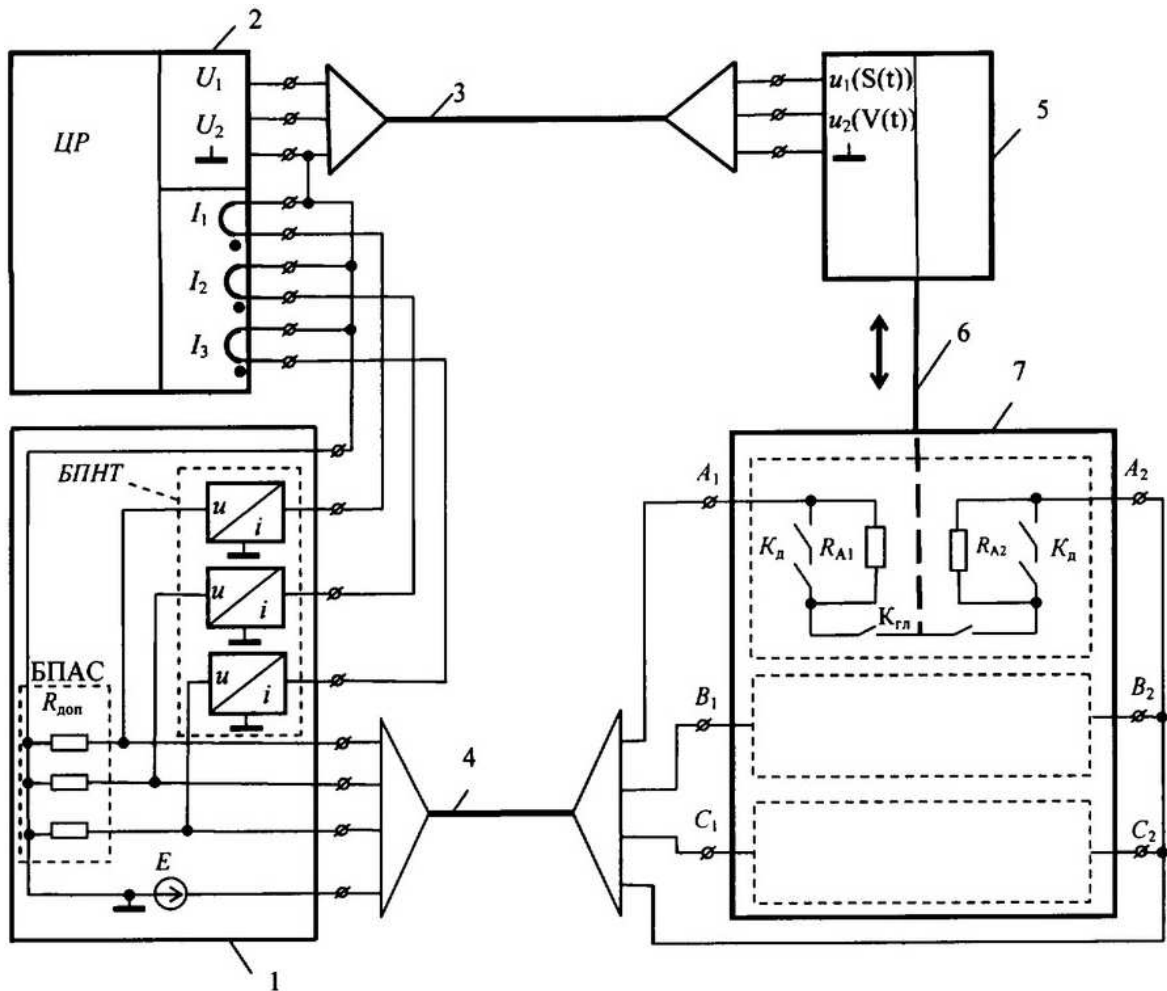


Рисунок 1.4 – Структурна схема пристрою прискореного контролю характеристик високовольтних вимикачів

На схемі: 1 – джерело постійної напруги; 2 – цифровий реєстратор; 3 – трьохпровідний кабель; 4 – чотирьохпровідний кабель; 5 – блок з двома вихідними каналами швидкості і переміщення із нульовим спільним виводом; 6 – зовнішній рухомий стержень; 7 – високовольтний вимикач.

Зазначений пристрій реалізує контроль за характеристиками високовольтних вимикачів, що містять шунтуючі опори для вимірювання швидкості руху та ходу рухомих частин вимикача. Виявлення неодночасного замикання рухомих контактів з нерухомими контактами у кожній фазі відбувається за допомогою одночасного цифрового реєстрування сигналів в контактній системі всіх фаз високовольтного вимикача та синхронно з ними

сигналів, що пропорційні швидкості руху, а також величині ходу рухомих частин покровоно на всіх полюсах високовольтного вимикача у режимі його вмикання та вимикання з наступним аналізом осцилограм у автоматичному режимі. Обмеженням цього пристрою є те, що він придатний для аналізу роботи тільки масляних вимикачів.

Відома група пристроїв [79], в яких вимірюються параметри руху основних контактів. Також визначається інформація про механічне навантаження амортизатора та залишковий комутаційний ресурс.

В роботі [80] проведено дослідження і показано, що ерозія контактів, внаслідок якої змінюється їх форма і маса, є однією з причин збільшення часу горіння дуги, що може суттєво обмежити використання вакуумного вимикача.

1.4 Узагальнення результатів аналізу і постановка задачі дослідження

Використовуючи системний підходу, для розв'язання задачі розробки системи діагностування технічного стану вакуумних вимикачів слід виконати такі дослідження:

- на базі аналізу методів діагностування технічного стану вакуумних високовольтних вимикачів та їх складових створити математичні моделі діагностування контактної системи, застосування яких дасть можливість підвищити надійність роботи вакуумного вимикача порівняно з відомими підходами;

- розробити за запропонованими математичними моделями структурні схеми пристроїв для оцінки залишкового комутаційного ресурсу та пристрою для оцінки стану контактної системи вимикача з формуванням вказівок оперативному персоналу щодо регулювання рухомих контактів по відношенню до нерухомих;

- розробити мікропроцесорний засіб у вигляді структури та алгоритму функціонування для оцінки залишкового комутаційного ресурсу та пристрій на базі ПЛІС для оцінки стану контактної системи вакуумного вимикача.

2 РОЗРОБКА МАТЕМАТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ ДІАГНОСТУВАННЯ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ВАКУУМНИХ ВИМИКАЧІВ

2.1. Математична модель оцінки витрачання комутаційного ресурсу вакуумного вимикача

На підставі аналізу, здійсненого в першому розділі, стає очевидним, що загальну кількість комутацій, яку може здійснити вакуумний вимикач, суттєво залежить від значень комутуваного струму. Чим більше значення комутуваного струму, тим швидше витрачається залишковий комутаційний ресурс.

Заводи виробники високовольтної комутаційної апаратури в паспорті високовольтного вимикача наводять залежність у вигляді декількох точок, що відображають комутаційну спроможність вимикача в залежності від значень комутуваного струму.

Приклад такої залежності наведено на рис. 2.1.

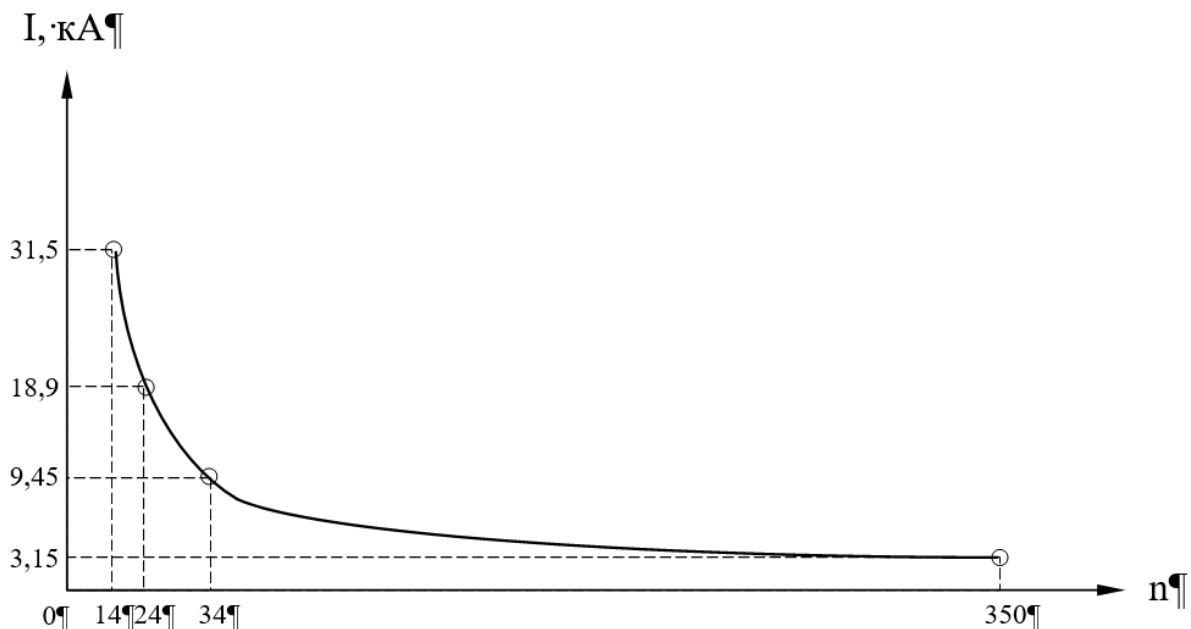


Рисунок 2.1 – Приклад залежності кількості комутацій n
від значень комутуваного струму I

Очевидно, що для підвищення точності оцінки залишкового ресурсу вимикача необхідно мати неперервну залежність кількості комутацій n від значень комутуваного струму I . Така залежність може слугувати математичною моделлю, застосування якої дозволить оцінювати комутаційний ресурс, швидкість витрачання якого залежить від струму комутації.

Отже, відповідно до залежності $n = f(I)$, можна знаходити вагові коефіцієнти r_i , за якими оцінюється витрачання комутаційного ресурсу вакуумного високовольтного вимикача за будь-яких значеннях струму I_i , який протікає через високовольтний вимикач в момент здійснення комутації.

Обчислюємо вказані вагові коефіцієнти за формулою

$$r_i = \frac{1}{n_i}, \quad (2.1)$$

в якій n_i - значення кількості комутацій струму I_i .

Тоді оцінювати залишковий комутаційний ресурс вакуумного вимикача у відносних одиницях будемо за формулою

$$R = 1 - \sum_{i=1}^X r_i. \quad (2.2)$$

Для того, щоб перейти в практичну площину технічної реалізації пристрою для оцінки залишкового робочого ресурсу вакуумного високовольтного вимикача здійснимо прив'язку до комутації номінального робочого струму. Таким чином можна буде оцінювати залишковий комутаційний ресурс по приведеній кількості комутацій номінального робочого струму вакуумного вимикача. Очевидно, що таку прив'язку можна пропонувати для будь-якого значення струму комутації.

Враховуючи викладене, позначимо $r_H = \frac{1}{n_H}$ ресурс вакуумного вимикача, що витрачається в процесі однієї комутації номінального робочого струму вимикача I_H . Це свідчить про те, що загальна кількість комутацій, яку може здійснити вакуумний вимикач, дорівнює n_H . Тоді для будь-якого іншого

значення комутованого струму I_i витрачання робочого ресурсу вимикача під час проведення однієї комутації визначається за формулою (2.1).

Підкреслимо, що відношення

$$k_i = \frac{r_i}{r_H}, \quad (2.3)$$

яке характеризує як витрачається комутаційний ресурс вакуумного вимикача за одну струмову комутацію I_i по відношенню до струму I_H та представляє собою ваговий коефіцієнт k_i , що відображає в кількісних одиницях як витрачається робочий ресурс вимикача за одну комутацію в перерахунку еквівалентно кількості комутацій номінального робочого струму вимикача.

Отже, залишковий комутаційний ресурс вакуумного вимикача знаходимо за формулою

$$R = n_H - \sum_{i=1}^X k_i m_i, \quad (2.4)$$

в якій X - загальна попередньо невизначена кількість комутацій, яку може здійснити вакуумний вимикач до повного витрачання робочого ресурсу, m_i - кількість комутацій i -го значення струму, що протікає через вимикача в момент комутації.

2.2 Математична модель оцінки та налаштування роботи контактної системи високовольтного вакуумного вимикача у синхронному режимі

Зауважимо, що мають номінальний робочий ресурс, який витрачається під час кожної комутації з урахуванням їх інтенсивності. В процесі тривалої роботи в механічній конструкції вимикачів виробляються металеві вузли, утворюються люфти, які можуть спричинити неоднчасне ввімкнення або вимкнення всіх полюсів вимикача. При цьому вакуумний вимикач погіршує свої механічні властивості, з'являється шум, механічні з'єднання розрегулюються, що призводить до зміни часу його перемикання, зміни

відстані між рухомими та нерухомими контактами, що в певних умовах може викликати аварійну ситуацію [81].

В даній роботі спробуємо відслідковувати тривалість кожної комутації та неодноразовність перемикачання полюсів у кожній фазі під час процесу експлуатації вакуумного високовольтного вимикача.

Нехай швидкість переміщення контактів вимикача з вимкненого стану у ввімкнений та в зворотному напрямку є величиною сталою. Тоді можна прийняти, що відстань між контактами змінюється лінійно в часі.

Виходячи з наведеного, вважатимемо, що відстань при ввімкненні вимикача між контактами можна визначати шляхом вимірювання часу його ввімкнення. Очевидно, що враховуючи малі відстані між рухомими та нерухомими контактами вакуумного вимикача, розрахувати час руху контактів безпосередньо до моменту увімкнення високовольтного вимикача досить складно. Тому за точку відліку візьмемо момент подачі сигналу на обмотку ввімкнення привода вакуумного вимикача. Кінцевим моментом завершення визначення часу ввімкнення будемо вважати торкання рухомого контакту з нерухомим, тобто той момент, при якому опір між ними наближається до мінімального значення. Зрозуміло, що у такому розумінні час ввімкнення вакуумного вимикача складається з часу реакції електромагніту ввімкнення високовольтного вимикача та часу вільного ходу штока електромагніту, часу вільного ходу механічної його рухомої рами, а також часу руху рухомого контакту вимикача.

Тому час ввімкнення вимикача розраховуємо за формулою:

$$t_{\text{ввім.}} = t_{\text{ем.}} + t_{\text{ш.}} + t_{\text{м.р.}} + t_{\text{р.к.}}, \quad (2.5)$$

в якій $t_{\text{ем.}}$ – час реагування електромагніту ввімкнення;

$t_{\text{ш.}}$ – час вільного ходу штока електромагніту;

$t_{\text{м.р.}}$ – час вільного ходу механічної рухомої рами;

$t_{\text{р.к.}}$ – час руху рухомого контакту вимикача.

За цією формулою будемо розраховувати час ввімкнення кожного полюса вакуумного вимикача.

Розглянемо спрощену ситуацію, коли усі складові часу комутації, за винятком часу руху рухомого контакту, є однаковими за величиною.

Зробимо декілька припущень.

1. Відстань між контактами вимикача може набувати значення в діапазоні від мінімального до максимального серед допустимих значень.

2. Середня відстань між контактами високовольтного вимикача знаходиться за виразом:

$$l_{\text{кс}} = \frac{(l_{\text{к.маx}} + l_{\text{к.мін}})}{2}, \quad (2.6)$$

в якій $l_{\text{к.маx}}$ – найбільша відстань між контактами високовольтного вимикача в зоні допустимих значень;

$l_{\text{к.мін}}$ – мінімальна відстань між контактами високовольтного вимикача в діапазоні допустимих значень.

Середня відстань між контактами вимикача $l_{\text{кс}}$ пропорційна часу $t_{\text{кс}}$, який відводиться для проходження цієї відстані:

$$l_{\text{кс}} \cdot k = t_{\text{кс}}, \quad (2.7)$$

де k – коефіцієнт пропорційності.

Коли новий вакуумний вимикач вводиться в експлуатацію рухомі контакти всіх полюсів високовольтного вимикача розташовані на однаковій відстані всіх полюсів високовольтного вимикача розташовані на однаковій відстані по відношенню до нерухомих контактів. Уявімо, що рухомі контакти кожного полюсу високовольтного вимикача знаходяться на однаковій відстані від відповідних нерухомих контактів (на середній лінії між найбільшою та найменшою відстанями між контактами вимикача з області допустимих значень). Тоді середній час $t_{\text{сеп}}$ руху рухомих контактів від середньої лінії до нерухомих контактів визначаємо за формулою:

$$t_{\text{сеп}} = \frac{t_{\text{маx}} + t_{\text{мін}}}{2}, \quad (2.8)$$

в якій t_{\max} – максимальний час руху контактів високовольтного вимикача із вимкненого у ввімкнений стан;

t_{\min} – мінімальний час руху контактів високовольтного вимикача із вимкненого у ввімкнений стан.

Під час експлуатації вакуумного вимикача технічний стан контактної системи погіршується внаслідок чого відстань між рухомими і нерухомими контактами змінюється. В роботі [82] зазначено, що паспорт високовольтного вимикача регламентує допустиме відхилення від одночасного ввімкнення кожного полюса високовольтного вимикача.

Для контролювання прийняттого відхилення через L позначимо найменше значення неузгодженості ввімкнення всіх полюсів високовольтного вимикача у вигляді:

$$L = \min \left\{ |t_A - t_{\text{cep}}|; |t_B - t_{\text{cep}}|; |t_C - t_{\text{cep}}| \right\} \quad (2.9)$$

де t_A , t_B , t_C – час ввімкнення відповідно полюсів А, В і С вимикача.

При введенні в експлуатацію вакуумний вимикач налагоджується таким чином, що різниця між часом ввімкнення кожного полюсу є мізерною, але в процесі довготривалої експлуатації зазначені відстані змінюються як в одному, так і в іншому напрямках. Це вимагає при обчисленні мінімального значення згідно формули (2.9) розраховувати різницю часу ввімкнення кожного полюса за модулем. Протягом певного терміну роботи вимикача значення L зростає, і в момент досягнення ним нормованого значення допустимого відхилення має відбуватися регулювання механічної частини вакуумного вимикача.

У випадку, коли час ввімкнення полюса високовольтного вимикача змінюється в сторону збільшення часу ввімкнення, регулювання контактної системи вимикача необхідно здійснювати в напрямку зменшення часу ввімкнення полюса вимикача:

$$t_{\Pi} - t_{\text{cep}} \geq L \rightarrow \Pi \downarrow, \quad (2.10)$$

де t_{Π} – час ввімкнення полюса вимикача;

$\Pi \downarrow$ – примусова дія, якою визначається напрямок регулювання полюса вимикача в бік зменшення відстані між контактами.

Аналогічно, коли контактна поверхня рухомого полюсу високовольтного вимикача перебуває занадто близько до відповідного нерухомого контакту, то регулювання потрібно здійснювати в напрямку збільшення часу ввімкнення полюса вимикача, що записується у вигляді формули:

$$\left. \begin{array}{l} t_{\Pi} - t_{\text{сеп}} < 0 \\ t_{\text{сеп}} - t_{\Pi} \geq L \end{array} \right\} \rightarrow \Pi \uparrow, \quad (2.11)$$

в якій $\Pi \uparrow$ – примусова регулювальна дія, якою визначається напрямок регулювання полюса вимикача в бік збільшення відстані між контактами.

Формула (2.10) за умови, якщо відхилення від середнього значення більше за L та може досягати значення допустимої межі Δl , приймає вид:

$$t_{\Pi} - t_{\text{сеп}} > L + \Delta l \rightarrow \Pi \downarrow. \quad (2.12)$$

або

$$L < t_{\Pi} - t_{\text{сеп}} < L + \Delta l \rightarrow \Pi \downarrow. \quad (2.13)$$

Формула (2.11) за умови, якщо відхилення від середнього значення більше за L та може досягати значення допустимої межі Δl , приймає вид:

$$t_{\text{сеп}} - t_{\Pi} > L - \Delta l \rightarrow \Pi \uparrow \quad (2.14)$$

або

$$L < t_{\text{сеп}} - t_{\Pi} < L - \Delta l \rightarrow \Pi \uparrow. \quad (2.15)$$

Якщо вакуумний вимикач використовують у позаграничних режимах експлуатації, то при досягненні додаткового значення неузгодження відносно одночасного ввімкнення всіх трьох полюсів, близького до $2L$, відстеження за роботою вакуумного вимикача підпорядковується формулам:

$$L < t_{\Pi} - t_{\text{cep}} < 2L \rightarrow \Pi \downarrow\downarrow \quad (2.16)$$

та

$$L < t_{\text{cep}} - t_{\Pi} < 2L \rightarrow \Pi \uparrow\uparrow, \quad (2.17)$$

в яких $\Pi \downarrow\downarrow$, $\Pi \uparrow\uparrow$ – примусова регулювальна дія, яка свідчить про необхідність термінового регулювання полюсів вакуумного вимикача в сторону зменшення (збільшення) відстані між контактами. Очевидно, що це передбачає термінове виведення вимикача з експлуатації.

На рис. 2.2 зображено можливий варіант розташування контактів полюсів вакуумного вимикача з позначенням всіх характерних відстаней, які описуються формулами (2.10) – (2.17).

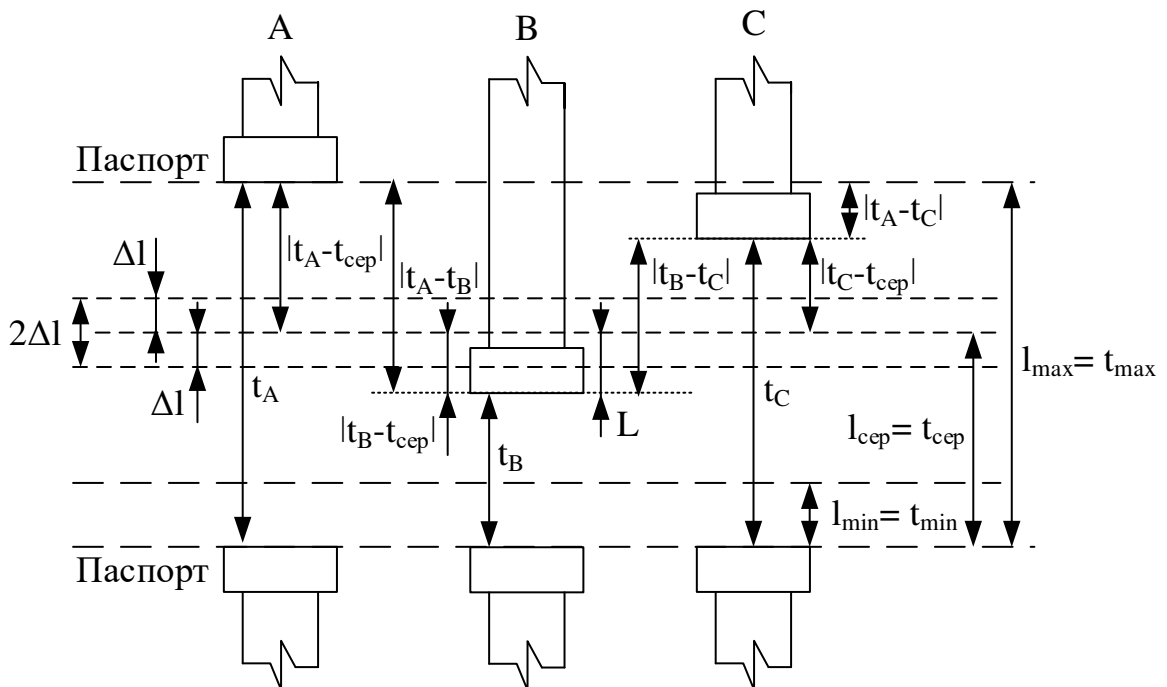


Рисунок 2.2 – Ілюстрація положення контактів полюсів вимикача у разі неузгодження одночасності їх ввімкнення

Слід зазначити, що додатковою ознакою визначення робочого стану вимикача при його ввімкненні є часова різниця при замиканні всіх полюсів вимикача відносно кожного з них, що описується формулою:

$$|t_A - t_B| \vee |t_B - t_C| \vee |t_C - t_A| \leq \Delta t_{\text{доп}}, \quad (2.18)$$

в якій $\Delta t_{\text{доп}}$ – допустимий час (з паспорта вакуумного вимикача) неузгодженого ввімкнення полюсів вимикача.

Представимо наведені вище рівняння (2.10 – 2.18) в одній системі рівнянь, які є математичною моделлю оцінки роботоздатності вакуумного вимикача за станом його контактів:

$$\left\{ \begin{array}{l} t_{\text{сеп}} = \frac{t_{\text{max}} + t_{\text{min}}}{2}; \\ I_c = \frac{I_{\text{max}} + I_{\text{min}}}{2}; \\ L = \min \left\{ |t_A - t_{\text{сеп}}|; |t_B - t_{\text{сеп}}|; |t_C - t_{\text{сеп}}| \right\}; \\ t_{\text{min}} \leq t_{\text{п}} \leq t_{\text{max}}; \\ t_{\text{п}} - t_{\text{сеп}} \geq L \rightarrow \text{П} \downarrow; \\ \left. \begin{array}{l} t_{\text{п}} - t_{\text{сеп}} < 0 \\ t_{\text{сеп}} - t_{\text{п}} \geq L \end{array} \right\} \rightarrow \text{П} \uparrow; \\ t_{\text{п}} - t_{\text{сеп}} = 0 \rightarrow \text{норма}; \\ t_{\text{п}} - t_{\text{сеп}} > L + \Delta l \rightarrow \text{П} \downarrow\downarrow; \\ t_{\text{сеп}} - t_{\text{п}} > L - \Delta l \rightarrow \text{П} \uparrow\uparrow; \\ |t_A - t_B| \vee |t_B - t_C| \vee |t_C - t_A| \leq \Delta t_{\text{доп}}. \end{array} \right. \quad (2.19)$$

Таким чином, при застосуванні наведеної вище математичної моделі (2.19) з'являється можливість розраховувати відхилення від допустимого значення часу ввімкнення вакуумного вимикача та формувати відповідні сигнали оперативному персоналу, як здійснювати регулювання рухомих контактів полюсів вимикача. По кожному з полюсів передбачено формування сигналів, за якими оперативний персонал виконає наближення або віддалення рухомих контактів вимикача від нерухомих для реалізації синхронних комутацій контактною системою вимикача.

3 РОЗРОБКА ПРИСТРОЇВ ДІАГНОСТУВАННЯ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ВАКУУМНИХ ВИМИКАЧІВ

3.1 Розробка структурних схем пристроїв для оцінки залишкового робочого комутаційного ресурсу вакуумного вимикача

Структурна схема пристрою, що відповідає математичній моделі, розробленій в підрозділі 2.1, зображена на рис. 3.1.

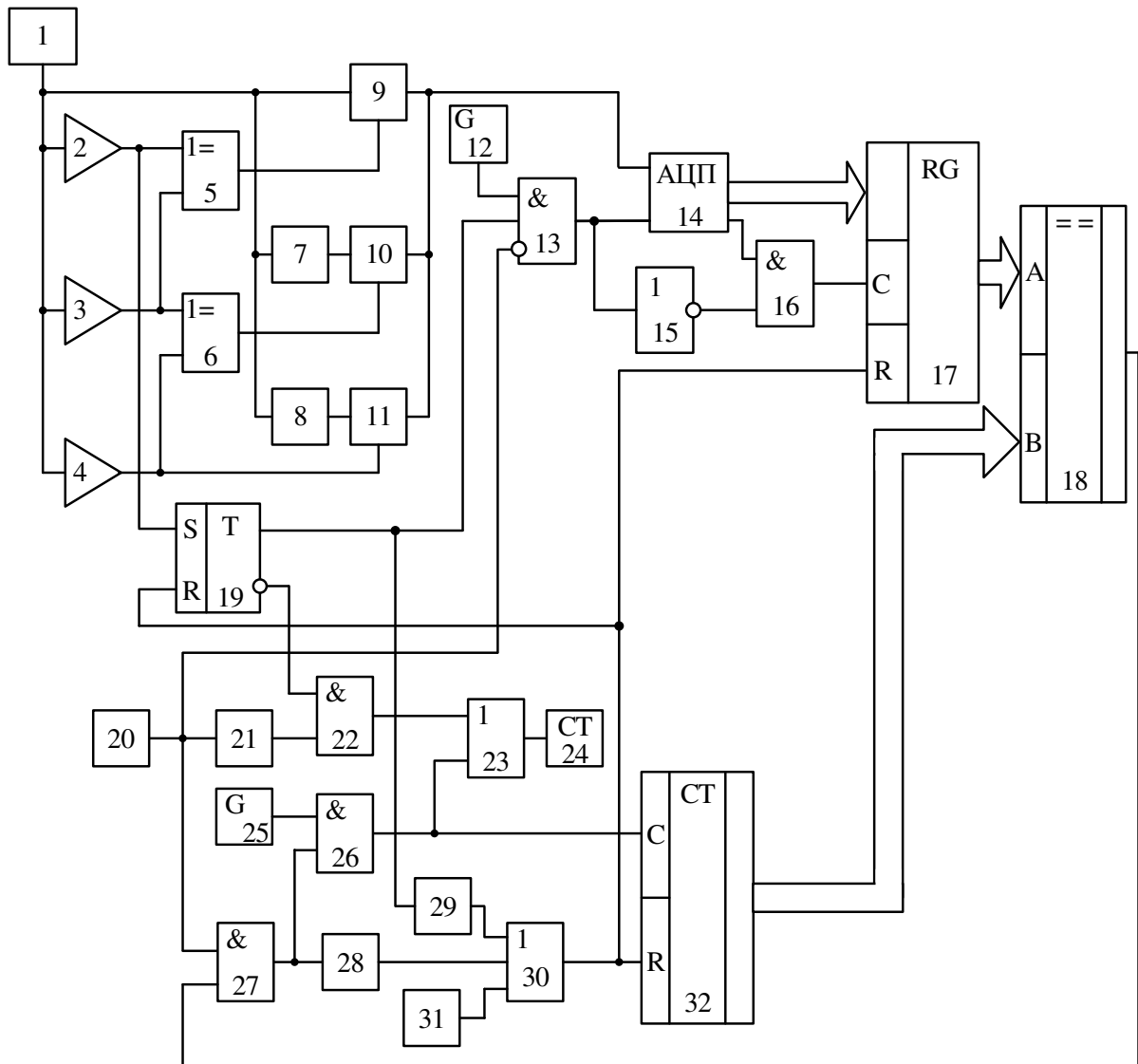


Рисунок 3.1 – Структурна схема пристрою для оцінки залишкового робочого комутаційного ресурсу вакуумного високовольтного вимикача

Особливістю реалізації такого пристрою є наявність апроксиматора характеристики перетворення трансформатора струму (датчика струму) за умови його роботи за межами лінійності залежності вихідного сигналу від вхідного.

На схемі: 1 – датчик струму; 2, 3, 4 – компаратори; 5, 6 – елементи ВИКЛЮЧНЕ АБО; 7, 8 – масштабуючі підсилювачі; 9, 10, 11 – електронні ключі; 12 – генератор імпульсів; 13 – елемент І; 14 – аналого-цифровий перетворювач; 15 – елемент НІ; 16 – елемент І; 17 – регістр; 18 – цифровий компаратор; 19 – тригер; 20 – датчик початку комутації; 21 – диференціюючий елемент; 22 – елемент І; 23 – елемент АБО; 24 – лічильник імпульсів; 25 – генератор імпульсів; 26, 27 – елементи І; 28 – формувач сигналу; 29 – блок затримки сигналу; 30 – елемент АБО; 31 – блок установки нуля; 32 – лічильник імпульсів.

Запропонований пристрій працює так. В момент подачі напруги живлення на схему блок установки нуля 31 коротким імпульсом через елемент АБО 30 встановлює у нульове положення регістр 17, тригер 19 і лічильник імпульсів 32.

Слід зазначити, що датчик струму 1 використовує трансформатор струму, а його вихідний сигнал має нелінійну залежність по відношенню до вхідного сигналу. Для того, щоб лінеаризувати цей сигнал використовуються блоки 2–11. Кусково-лінійна лінеаризація характеристики перетворення в цих блоках виконується за трьома ділянками кривої намагнічування.

Якщо напруга на виході датчика струму 1 приймає значення, пропорційне номінальному робочому струму, то спрацьовує компаратор 2, який відповідає першій ділянці, з виходу якого логічна одиниця надходить на вхід логічного елемента ВИКЛЮЧНЕ АБО 5. В цей момент на його виході з'являється сигнал одиниці, що надходить на керуючий вхід електронного ключа 9, тим самим відкриваючи останній та дозволяючи проходження сигналу з виходу датчика струму 1 на аналоговий вхід аналого-цифрового перетворювача 14.

Одночасно з відкриванням компаратора 2 тригер 19 встановлюється в одиничний стан, внаслідок чого відкривається елемент І 13 (на його третьому вході присутній сигнал логічного нуля) і імпульси з виходу генератора імпульсів 12 надходять в аналого-цифровий перетворювач 14. При цьому аналого-цифровий перетворювач 14 здійснює перетворення вхідного сигналу у відповідний цифровий код. Після закінчення формування зазначеного коду на виході аналого-цифрового перетворювача 14 з'являється сигнал, що подається на перший вхід елемента І 16. В момент появи на його другому вході сигналу одиниці з виходу елемента НІ 15 (в цей момент на виході генератора імпульсів 12 та елемента І 13 з'являється сигнал нуля) цифровий код, який пропорційний струму комутації в поточний момент, запам'ятовується з виходу аналого-цифрового перетворювача 14 в регістр 17. Така послідовність дій відбувається до моменту відключення високовольтного вимикача, коли на виході датчика комутації 20 з'являється сигнал логічної одиниці.

Якщо напруга, що пропорційна струму, на виході датчика струму зростає далі, то спрацьовує ще і компаратор 3, що вказує на другу ділянку характеристики датчика струму 1. На виході логічного елемента ВИКЛЮЧНЕ АБО 5 при цьому з'являється сигнал нуля, а на виході елемента ВИКЛЮЧНЕ АБО 6 з'являється сигнал логічної одиниці, який відкриває електронний ключ 10. Значення напруги, пропорційної струму, яка поступає на вхід масштабуючого підсилювача 7, на вказаній ділянці множиться на пропорційний коефіцієнт, що призводить до отримання лінійної залежності між вхідним і вихідним сигналами з виходу датчика струму 1 на обраній ділянці нелінійної характеристики перетворення. В подальшому нове значення сигналу через електронний ключ 10 поступає на вхід аналого-цифрового перетворювача 14.

Якщо напруга на виході датчика струму 1 досягає ще більшого значення, то спрацьовує компаратор 4, електронні ключі 9 і 10 закриваються, а електронний ключ 11 відкривається. Значення вхідного сигналу при цьому множиться на другий коефіцієнт, що зазначений у масштабуючому

підсилювачі 8, в результаті чого третя ділянка кривої намагнічування має лінійну залежність між вхідним і вихідним сигналами датчика струму 1. З виходу електронного ключа 11 сигнал знову ж надходить на вхід аналого-цифрового перетворювача 14.

Далі під значенням величини напруги, що пропорційна струмові на виході датчика струму 1, будемо сприймати сигнал, який з'являється на виходах електронних ключів 9–11.

Якщо вимикач, що діагностується, відмикає коло зі струмом, значення якого менше за поріг спрацювання компаратора 2, то при цьому спрацьовує датчик початку комутації 20, сигнал логічної одиниці з виходу якого через диференціюючий елемент 21 подається на перший вхід елемента І 22 (на другому вході при цьому знаходиться сигнал одиниці, який отриманий з виходу тригера 19, оскільки компаратор 2 не активований). З виходу елемента І 22 через елемент АБО 23 короткий імпульс надходить на вхід лічильника імпульсів 24, що призводить до спрацювання лічильника імпульсів 24. Комутаційний ресурс вимикача у цьому випадку зменшується на одиницю, фіксує тим самим спрацювання вимикача.

Якщо високовольтний вимикач відмикає коло зі струмом, величина якого більша порога спрацювання компаратора 2, то відповідно до викладеного вище алгоритму напруга, пропорційна струму відключення вимикача, перетворюється в цифровий код в аналого-цифровому перетворювачі 14 та постійно перезаписується в регістр 17.

Зазначимо, що коли в регістр 17 записується цифровий код, то на виході цифрового компаратора 18 з'являється сигнал логічної одиниці. Окрім того, безпосередньо перед моментом комутації в регістрі 17 зберігається останнє значення комутуваного струму, за яким обчислюється спрацювання комутаційного ресурсу за одну комутацію, і коли датчик початку комутації 20 спрацьовує, то елемент І 13 закривається і процес перетворення аналогового сигналу в цифровий припиняється.

При відключенні високовольтного вимикача на виході датчика початку комутації 20 формується сигнал одиниці, що надходить на перший вхід елемента І 27 (на виході елемента І 22 зберігається сигнал логічного нуля, оскільки на другий вхід надходить логічний нуль з виходу тригера 19), а на другий вхід надходить сигнал одиниці з виходу цифрового компаратора 18. При цьому з виходу елемента І 27 сигнал логічної одиниці подається на формувач сигналу 28 та на другий вхід елемента І 26, внаслідок чого послідовність імпульсів з виходу генератора імпульсів 25 починає надходити в лічильник імпульсів 32. Одночасно імпульси надходять і на вхід лічильника імпульсів 24 через елемент АБО 23. Лічильник імпульсів 32 відраховує імпульси генератора імпульсів 25 доти, поки цифрові коди на входах цифрового компаратора 18 не зрівняються. В момент зрівняння зазначених цифрових кодів на виході цифрового компаратора 18 формується сигнал нуля, що надходить на другий вхід елемента І 27, та на другий вхід елемента І 26. Лічильники імпульсів 24 і 32 зупиняють відлік імпульсів. На виході формувача сигналу 28 при цьому з'являється короткий імпульс, який через елемент АБО 30 поступає на входи регістра 17, тригера 19, а також на вхід лічильника імпульсів 32 і обнуляє їх.

За час роботи лічильника імпульсів 32 послідовність імпульсів, яка поступила на вхід лічильника імпульсів 24, зменшує залишковий ресурс вимикача на певне число одиниць, що залежить від значення комутованого вимикачем струму з врахуванням перерахунку на кількість комутацій номінального робочого струму вимикача.

Якщо струм короткого замикання протікає через вимикач, тобто в момент спрацювання компаратора 2 і тригера 19, але відключення струму здійснюється іншим вимикачем (за умови узгодженої селективної роботи релейного захисту), то за певний час згодом на виході блока затримки сигналу 29 з'являється сигнал логічної одиниці, яким обнуляються регістр 17 та тригер 19 і пристрій переходить в режим очікування.

Зазначимо, що кусково-лінійна лінеаризація може бути здійснена з використанням більшої кількості ділянок кривої намагнічування, але для цього слід збільшити кількість компараторів, логічних елементів ВИКЛЮЧНЕ АБО та масштабуючих підсилювачів, а також електронних ключів.

Розглянемо структуру ще одного пристрою для оцінки залишкового комутаційного ресурсу, в якій залишковий ресурс визначається по кількості енергії, яка виділяється в момент комутації вимикача. Очевидно, що накопичення певної кількості здійснених комутацій призводить до погіршення стану контактної системи (поява раковин, зменшення площі контактів тощо), що призводить до збільшення перехідного опору і в кінцевому випадку буде передумовою виведення з ладу вакуумного вимикача.

Структурна схема такого пристрою для оцінки залишкового комутаційного ресурсу наведена на рис. 3.2.

На схемі: 1 – генератор імпульсів; 2 – елемент І; 3 – розподілювач тактів; 4 – сенсор струму; 5 – компаратор; 6 – тригер; 7 – АЦП; 8 – регістр; 9 – функціональний перетворювач; 10 – суматор; 11 – регістр; 12 – датчик комутації; 13 – задавач ресурсу; 14 – цифровий компаратор; 15 – диференціюючий елемент; 16 – елемент І; 17 – елемент АБО; 18 – лічильник імпульсів; 19 – елемент АБО; 20 – індикатор; 21 – формувач сигналу; 22 – елемент І; 23 – регістр; 24 – цифровий компаратор; 25 – генератор імпульсів; 26 – елемент І; 27 – елемент І; 28 – формувач сигналу; 29 – блок установки нуля; 30 – елемент АБО; 31 – лічильник імпульсів; 32 – елемент АБО.

Робота пристрою пояснюється так. В момент подачі напруги живлення на пристрій блок установки нуля 29 коротким сигналом встановлює у нульове положення регістри 8 і 11 та через елемент АБО 30 обнуляє тригер 6, регістр 23 і лічильник імпульсів 31. Одночасно генератори імпульсів 1 і 25 починають формування послідовностей імпульсів.

Якщо вимикач вимикає коло зі струмом, величина якого нижча за поріг спрацювання компаратора 5, то при цьому датчик комутації 12 формує сигнал одиниці, який через диференціюючий елемент 15 надходить на другий вхід

логічного елемента І 16 (при цьому на першому вході знаходиться сигнал одиниці з другого виходу тригера б). З виходу елемента І 16 через елемент АБО 17 короткий імпульс надходить на вхід лічильника імпульсів 18, внаслідок чого комутаційний ресурс високовольтного вимикача стає меншим на одиницю, що фіксує спрацювання вимикача.

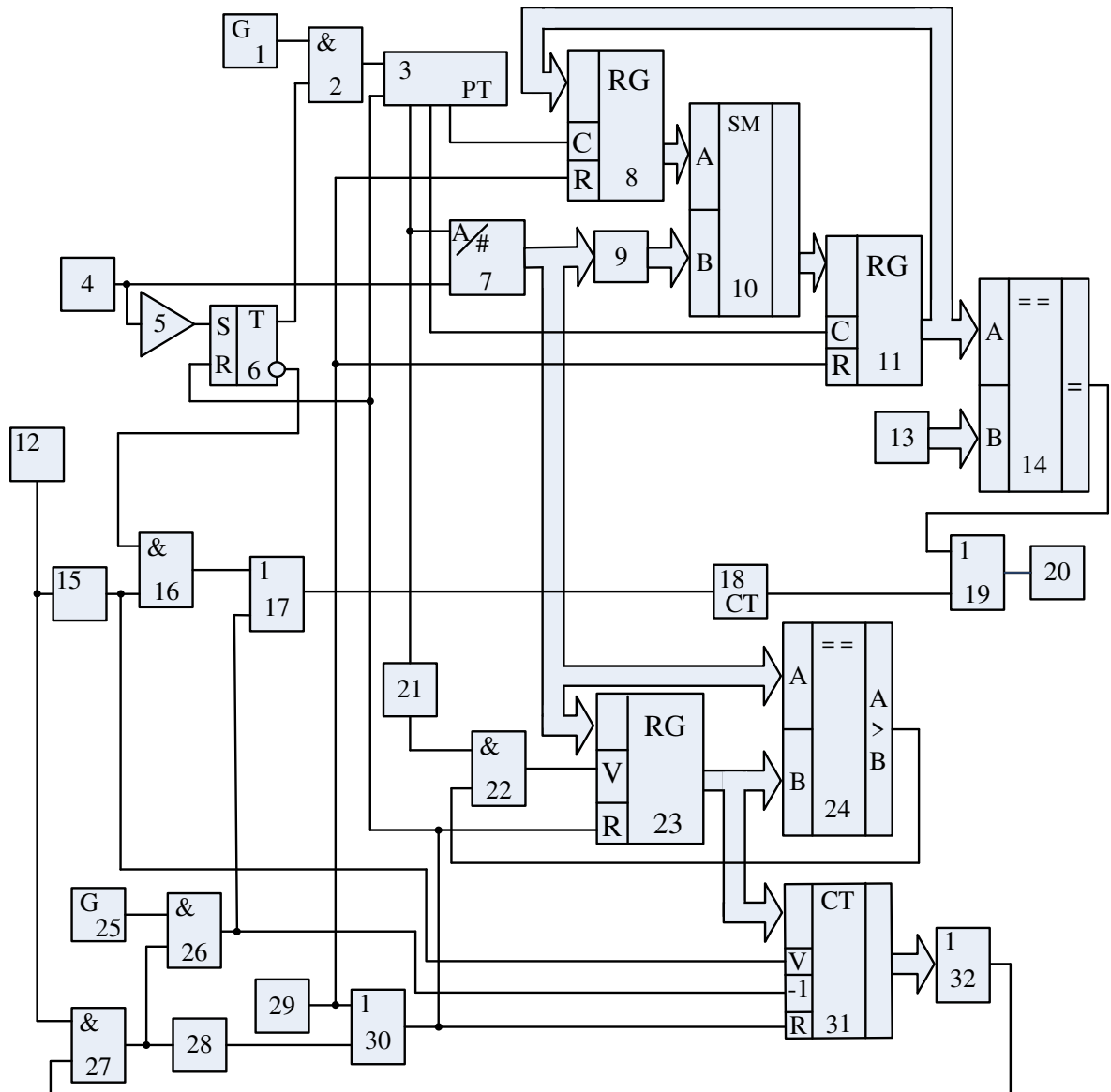


Рисунок 3.2 – Структурна схема пристрою для оцінки залишкового робочого комутаційного ресурсу вакуумного високовольтного вимикача, спрацювання робочого ресурсу в якому визначається по сумарній кількості енергії дуги в моменти комутації

Якщо вимикач вимикає коло зі струмом, величина якого вища за поріг спрацювання компаратора 5, то ним встановлюється тригер 6, з його першого виходу сигнал одиниці відкриває елемент І 2 та послідовність імпульсів з виходу генератора імпульсів 1 починає поступати на вхід розподільвача тактів 3. Після надходження першого імпульсу на першому виході розподільвача тактів 3 формується логічний сигнал, що запускає АЦП 7, а після закінчення перетворення вихідний код з його виходу, пропорційний величині струму комутації на виході датчика струму 4, поступає на вхід функціонального перетворювача 9, де зазначений код перетворюється у миттєву величину енергії електричної дуги під час вимкнення вимикача і надходить на вхід суматора 10. З виходу суматора 10 цифровий код надходить до регістру 11 та зберігається в ньому при наявності сигналу з другого виходу розподільвача тактів 3. За появи логічного сигналу на третьому виході розподільвача тактів 3 цифровий код з виходу регістра 11 перезаписується у регістрі 8. Так при наступній появі логічного сигналу на першому виході розподільвача тактів 3 струм комутації, що вимірюється в процесі на виході датчика струму 4 після закінчення перетворення у миттєву величину енергії електричної дуги додається в суматорі 10 до попереднього відповідного значення, яке було записане раніше. Так, під час розриву електричної дуги в регістр 11 записується величина енергії електричної дуги, що була отримана за повний період вимикання вимикача, а це свідчить про спрацювання комутаційного ресурсу високовольтного вимикача за одну комутацію за величиною енергії електричної дуги. Якщо під час експлуатації високовольтного вимикача величина енергії електричної дуги, що збережена в регістрі 11, наближається до граничного значення, що знаходиться у задавачі ресурсу 13, то на виході цифрового компаратора 14 формується сигнал одиниці, що через логічний елемент АБО 19 включає індикатор 20 для оповіщення робочого персоналу.

В момент перетворення аналогового сигналу в цифровий код в АЦП 7 його вихідний код надходить також в регістр 23. При першому перетворенні сигналу з виходу АЦП 7 однаковий цифровий код подається і в регістр 23, і на перший вхід цифрового компаратора 24. При цьому на виході останнього з'являється сигнал логічної одиниці, який поступає на елемент І 22. По спаду сигналу на першому виході розподільвача тактів 3 на виході формувача сигналу 21 з'являється імпульс, яким через відкритий елемент І 22 цифровий код з виходу АЦП 7 записується в регістр 23. При черговому перетворенні аналогового сигналу в цифровий код з виходу АЦП 7 цифровий код надходить на перший вхід цифрового компаратора 24, в якому він порівнюється з кодом, записаним в регістрі 23. У разі перевищення поточним значенням цифрового коду значення, що записано в регістрі 23, аналогічним чином здійснюється перезапис більшого значення цифрового коду в регістр 23. В протилежному разі вихідний цифровий код АЦП 7 ігнорується. Таким чином, в процесі відключення вимикачем струму в момент відключення в регістрі 23 зберігається максимальне значення комутованого струму.

В момент відключення вакуумного вимикача на виході датчика комутації 12 формується сигнал одиниці, який у формі імпульсу з виходу диференціюючого елемента 15 перезаписує цифровий код з виходу регістра 23 у лічильник імпульсів 31. На виході останнього при цьому з'являється цифровий код, що є пропорційним найбільшій величині струму в процесі комутації, внаслідок чого на виході елемента АБО 32 формується сигнал одиниці, який разом з вихідним сигналом датчика комутації 12 відкриває елемент І 27 і сигнал одиниці поступає на вхід елемента І 26. При цьому імпульси з виходу генератора імпульсів 25 починають надходити до лічильника імпульсів 31, що зменшує його значення до досягнення цифрового коду нульового значення. При цьому на виході елемента АБО 32 встановлюється сигнал логічного нуля, елементи І 26 та 27 закриваються і подача імпульсів з генератора імпульсів 25 припиняється. В момент

закривання елемента І 27 на виході формувача сигналу 28 з'являється імпульс, яким через елемент АБО 30 встановлюються у нульовий стан розподілювач тактів 3, тригер 6 та обнуляється регістр 23 та лічильник імпульсів 31.

Слід зазначити, що під час проходження імпульсів з виходу елемента І 26 на вхід лічильника імпульсів 31 ці ж імпульси через елемент АБО 17 надходили до лічильника імпульсів 18. Зрозуміло, що в залежності від величини струму комутації в лічильник імпульсів 18 надходить різна кількість імпульсів, підтверджуючи факт зменшення залишкового комутаційного ресурсу на різні значення. Якщо відбувається вичерпання комутаційного ресурсу високовольтного вимикача, то на виході лічильника імпульсів 18 з'являється сигнал логічної одиниці, яким через елемент АБО 19 включається індикатор 20 для оповіщення робочого персоналу.

Розглянемо іншу структуру пристрою для оцінки залишкового робочого комутаційного ресурсу вакуумного вимикача, в якій передбачено уточнення при оцінці залишкового робочого комутаційного ресурсу вимикача, який працює в циклі АПВ. Це обумовлено тим, що в момент відключення вимикача середовище, в якому гаситься електрична дуга, послаблює свої комутаційні властивості, на відновлення яких потрібен деякий час. При роботі вимикача в циклі АПВ відбувається повторне ввімнення вимикача і у разі наявності в електричній мережі короткого замикання вимикач відключається знову в той момент, поки середовище гасіння електричної дуги не відновило свої властивості в повній мірі. Тому в такому випадку повторне відключення вимикача спричиняє підвищене спрацювання комутаційного ресурсу, ніж після першої комутації.

Технічно підвищене спрацювання робочого комутаційного ресурсу визначається із застосуванням інших ресурсних характеристик комутаційного апарата в момент роботи АПВ.

Структурна схема відповідного пристрою зображена на рис. 3.3.

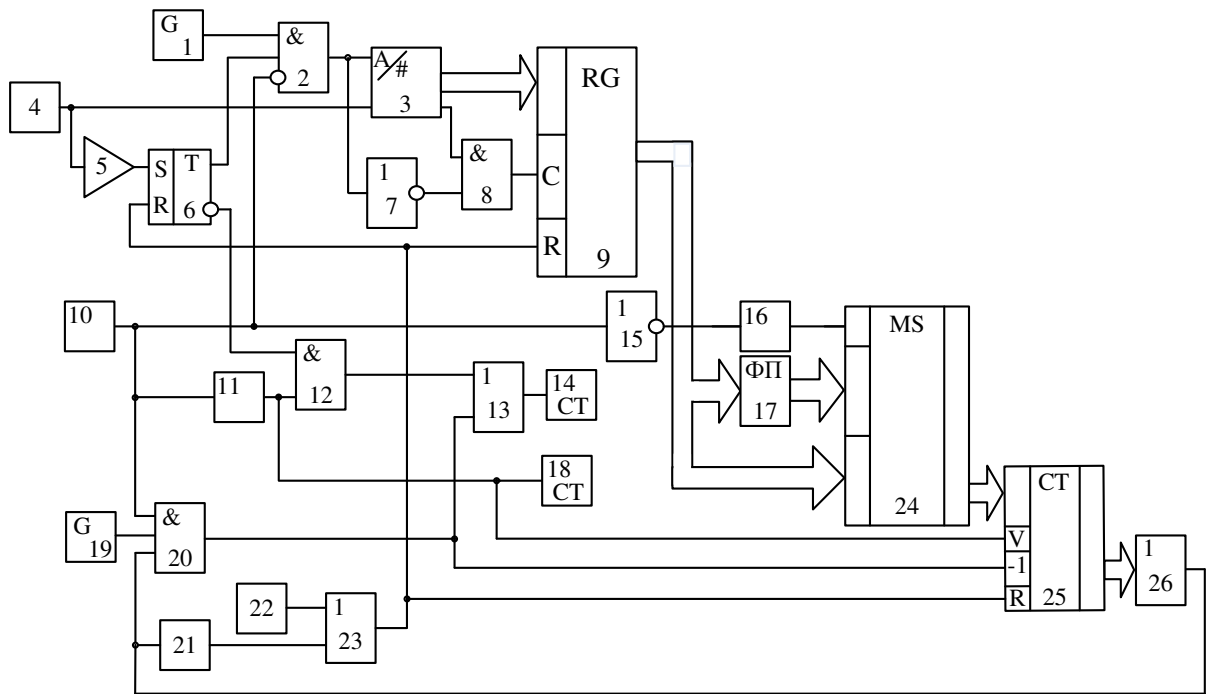


Рисунок 3.3 – Структурна схема пристрою для оцінки залишкового робочого комутаційного ресурсу вакуумного високовольтного вимикача, яким враховується робота вимикача в циклі АПВ

На схемі: 1 – генератор імпульсів; 2 – елемент І; 3 – аналого-цифровий перетворювач; 4 – датчик струму; 5 – компаратор; 6 – тригер; 7 – елемент НІ; 8 – елемент І; 9 – регістр; 10 – датчик початку комутації; 11 – диференціюючий елемент; 12 – елемент І; 13 – елемент АБО; 14 – лічильник імпульсів; 15 – елемент НІ; 16 – одновібратор; 17 – функціональний перетворювач; 18 – лічильник імпульсів; 19 – генератор імпульсів; 20 – елемент І; 21 – формувач сигналу; 22 – блок установки нуля; 23 – елемент АБО; 24 – цифровий комутатор; 25 – лічильник імпульсів; 26 – елемент АБО.

Запропонований пристрій працює так. При появі напруги живлення, що надходить на схему блок установки нуля 22 через логічний елемент АБО 23 коротким імпульсом обнуляє тригер 6, регістр 9, а також лічильник імпульсів 25.

Якщо діагностуємий вимикач відключає коло зі струмом, величина якого менша порогу спрацювання компаратора 5, то при цьому спрацьовує датчик початку комутації 10, сигнал логічної одиниці через диференціюючий елемент 11 подається на перший вхід елемента І 12 (при цьому на другому вході присутній сигнал логічної одиниці, отриманий з другого виходу тригера б), а також на вхід лічильника імпульсів 14, що призводить до зменшення заданого механічного ресурсу комутаційного апарата на одиницю. З виходу елемента І 12 через елемент АБО 13 короткий імпульс надходить на вхід лічильника імпульсів 14, що приводить до спрацювання останнього. При цьому комутаційний ресурс комутаційного апарату зменшується на одиницю, тим самим фіксуєчи спрацювання вимикача.

Якщо вимикач відключає коло зі струмом, величина якого більша порога спрацювання компаратора 5 від вихідного сигналу датчика струму 4, то при цьому спрацьовує тригер б, елемент І 2 відкривається (на його третьому вході, інверсному, присутній сигнал логічного нуля) і імпульси з виходу генератора імпульсів 1 починають надходити на перший вхід АЦП 3. Одночасно з виходу датчика струму 4 постійна напруга, пропорційна струму, що протікає через вимикач, надходить на другий вхід АЦП 3, в якому здійснюється її перетворення в цифровий код. В момент закінчення формування зазначеного коду на виході АЦП 3 з'являється сигнал, який надходить на перший вхід елемента І 8.

Під час появи на другому вході елемента І 8 сигнала одиниці з виходу елемента ІІ 7 (в цей момент на виході генератора імпульсів 1 та елемента І 2 присутній сигнал нуля) цифровий код, пропорційний комутованому струму в даний момент, з виходу АЦП 3 зберігається у регістрі 9. Дії у такій послідовності повторюються до моменту вимкнення вимикача, коли датчик початку комутації 10 на виході формує сигнал одиниці. Логічний елемент І 2 при цьому закривається, подача імпульсів в АЦП 3 призупиняється, а регістр 9 зберігає останню величину струму, у вигляді цифрового коду, перед моментом вимкнення.

В цей же момент на виході датчика початку комутації 10 формується сигнал одиниці, який через диференціюючий елемент 11 у вигляді імпульсу через другу вхідну цифрову шину цифрового комутатора 24 у лічильник імпульсів 25 перезаписується величина цифрового коду, який збережений у регістрі 9. Одночасно з цим, сигнал одиниці поступає на перший вхід елемента І 20, на його третьому вході також знаходиться сигнал одиниці з виходу логічного елемента АБО 26 (у разі ненульового цифрового коду на виході лічильника імпульсів 25). При цьому імпульси з виходу генератора імпульсів 19 починають надходити на вхід лічильника імпульсів 25, в результаті цього його вміст починає зменшуватися. З виходу елемента І 20 імпульси одночасно надходять через елемент АБО 13 в лічильник імпульсів 14.

Лічильник імпульсів 25 відраховує імпульси генератора імпульсів 19 доки на цифровий код на його вихідній цифровій шині не стане нульовим, в результаті чого на виході елемента АБО 26 встановлюється сигнал логічного нуля, елемент І 20 закривається. При цьому відлік імпульсів лічильниками імпульсів 14 та 25 зупиняється. Разом з цим формувач сигналу 21 на своєму виході формує короткий імпульс, який через логічний елемент АБО 23 надходить на другі входи тригера 6, регістра 9 та лічильника імпульсів 25 тим самим обнуляючи їх.

Послідовність імпульсів, яка надійшла на вхід лічильника імпульсів 14, за час роботи лічильника імпульсів 25, зменшує величину залишкового ресурсу високовольтного вимикача на конкретне число одиниць, що залежить від значення струму комутації з перерахуванням на число комутацій номінального робочого струму високовольтного вимикача.

Слід зазначити, що в такому циклі роботи до лічильника імпульсів 18 знову ж надходить один імпульс.

Якщо в електричній мережі присутнє коротке замикання під час ввімкнення високовольтного вимикача, то при цьому на виході датчика початку комутації 10 формується сигнал нуля, який через логічний елемент ІІ 15 зростаючим сигналом запускає одинвібратор 16, на виході якого також

формується сигнал логічної одиниці, що надходить до цифрового комутатора 24 та під'єднує через функціональний перетворювач 17 вихідну цифрову шину регістра 9 до вхідної цифрової шини лічильника імпульсів 25, в якому величина струму, яка з'являється на цифровому виході другого лічильника імпульсів 25 після відключення вимикача системою релейного захисту, множиться на коефіцієнт, що дозволяє враховувати додаткове спрацювання ресурсу високовольтного вимикача, що зменшується згідно ресурсних характеристик на ввімкнення. Отже, в запропоновану пристрої при згаданих обставинах здійснюється враховування спрацювання робочого ресурсу високовольтного вимикача за ресурсними характеристиками на ввімкнення і вимкнення при його вмиканні на коротке замикання в електричній мережі.

Робота однофазного генератора 16 налаштована таким чином, щоб реалізувати можливість надходження максимально допустимої кількості імпульсів до лічильника імпульсів 14 після вимкнення вимикача.

Розглянемо ще одну структурну схему пристрою для оцінки залишкового робочого комутаційного ресурсу вакуумного вимикача. Відомо, що в розподільчому пристрої електроенергетичного підприємства розташовується, як правило, декілька одиниць або десятків високовольтних вимикачів. Досить часто трапляються ситуації, коли зазначені вимикачі мають різні типи з різними комутаційними властивостями їхніх камер дугогасіння. Це обумовлює розробку пристрою діагностування вакуумного вимикача, який може працювати з різними типами вимикачів. Очевидно, що в такому випадку пристрій має містити інформацію про різні типи ресурсних характеристик та коефіцієнти для розрахунку залишкового комутаційного ресурсу.

Структурна схема пристрою, що відповідає зазначеним вимогам, наведена на рис. 3.4.

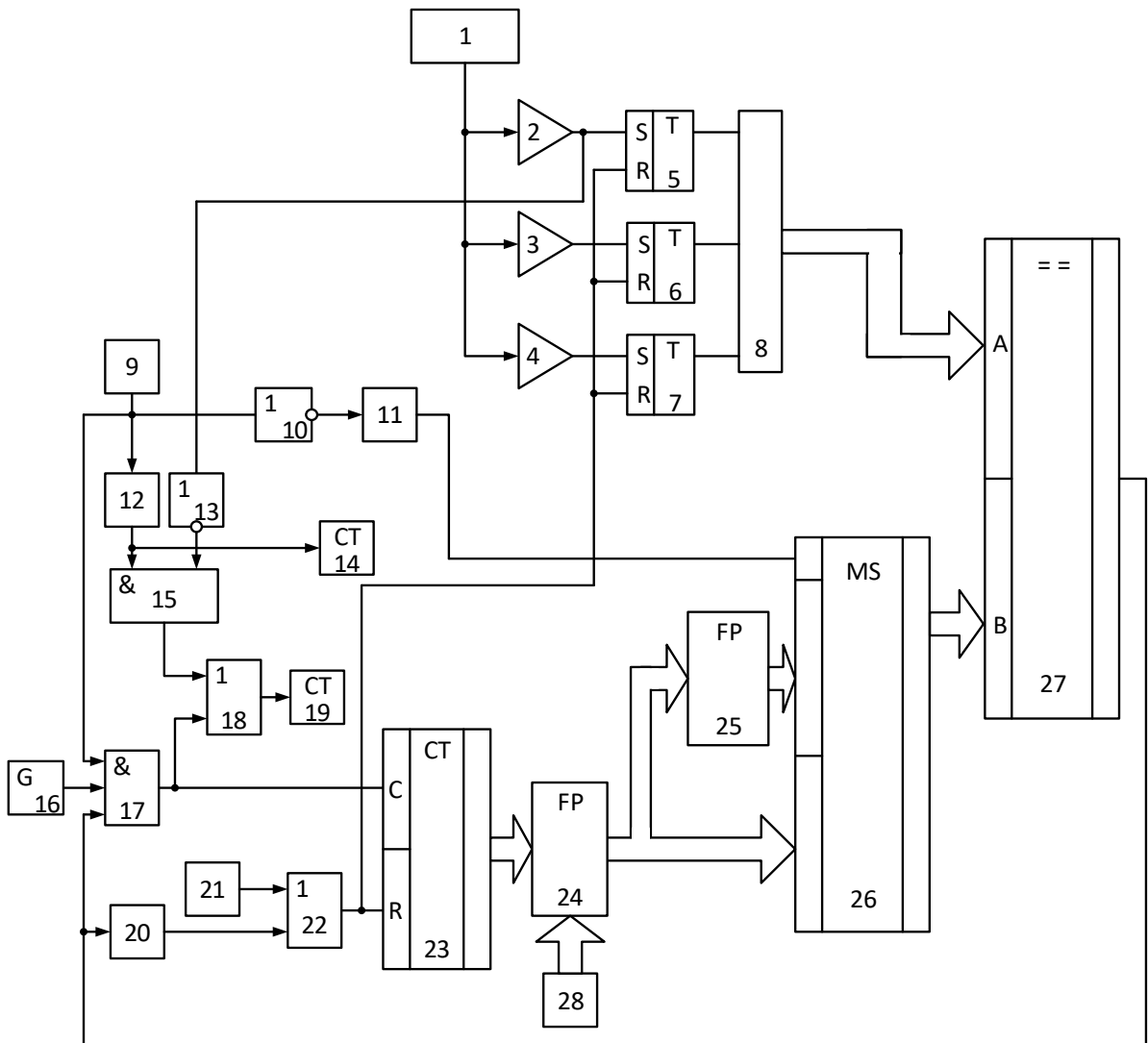


Рисунок 3.4 – Структурна схема пристрою для оцінки залишкового робочого комутаційного ресурсу вакуумного високовольтного вимикача, яким враховується різні ресурсні характеристики різних типів вимикачів

На схемі: 1 – датчик струму; 2, 3, 4 – компаратори; 5, 6, 7 – тригери; 8 – шифратор; 9 – датчик початку комутації; 10 – елемент НІ, 11 – одновібратор; 12 – диференціюючий елемент; 13 – елемент НІ; 14 – лічильник імпульсів; 15 – елемент І; 16 – генератор імпульсів; 17 – елемент І; 18 – елемент АБО; 19 – лічильник імпульсів; 20 – формувач сигналу; 21 – блок установки нуля; 22 – елемент АБО; 23 – лічильник імпульсів; 24 – функціональний перетворювач; 25 – функціональний перетворювач; 26 – цифровий комутатор; 27 – цифровий

компаратор, 28 – блок вибору типу комутаційного апарата.

Запропонований пристрій працює так. В момент подачі на схему напруги живлення блок установки нуля 21 формує на виході короткий імпульсом, який через елемент АБО 22 встановлює у нульове положення тригери 5, 6, 7 і лічильник імпульсів 23.

Якщо діагностуємий вакуумний вимикач вимикає коло зі струмом, значення якого менше за поріг спрацювання компаратора 2, то датчик початку комутації 9 спрацьовує, сигнал одиниці через диференціюючий елемент 12 надходить на перший вхід логічного елемента І 15 (на його другому вході знаходиться сигнал одиниці, що надходить з виходу елемента НІ 13, оскільки на вхід останнього надходить сигнал логічного нуля з виходу тригера 5), а також на вхід лічильника імпульсів 14, що призводить до зменшення встановленого механічного ресурсу високовольтного вимикача на одиницю. З виходу елемента І 15 через елемент АБО 18 короткий імпульс надходить на вхід лічильника імпульсів 19, що приводить до спрацювання останнього. При цьому залишковий комутаційний ресурс вимикача зменшується також на одиницю.

Якщо діагностуємий вимикач вимикає коло зі струмом, значення якого більше за поріг спрацювання компаратора 2, то одержана на виході датчика струму 1 постійна напруга подається на входи компараторів 2, 3 та 4. В залежності від величини струму, що вимикається, спрацьовує певне число компараторів, сигнали з виходів яких надходять відповідно на входи тригерів 5, 6 та 7. На виходах тригерів, що спрацювали при цьому, з'являються сигнали одиниці. Якщо, скажімо, спрацювали компаратори 2 і 3, то спрацьовують тригери 5 і 6, на їхніх виходах з'являються сигнали одиниці, які надходять на перший та другий входи шифратора 8. Дана комбінація вхідних сигналів призводить до того, що на виході шифратора 8 з'являється пропорційний цифровий код, що надходить на цифровий вхід цифрового компаратора 27, і як наслідок, на виході останнього з'являється сигнал одиниці, тому що цифровий код першої вхідної цифрової шини більший за цифровий код другої

вхідної цифрової шини.

При відключенні високовольтного вимикача з виходу датчика початку комутації 9 сигнал одиниці подається на другий вхід елемента І 17 (на виході елемента І 15 присутній сигнал нуля, тому що на другий вхід надходить логічний нуль), на його третій вхід надходить сигнал одиниці з виходу цифрового компаратора 27. При цьому на виході елемента І 17 формується послідовність імпульсів з виходу генератора імпульсів 16, що надходить на перший вхід лічильника імпульсів 23 і на вхід лічильника імпульсів 19 через елемент АБО 18. Цифровий код з виходу лічильника імпульсів 23 через функціональний перетворювач 24, в якому обчислення витраченого комутаційного ресурсу здійснюється за вибраними ресурсними характеристиками діагностованого вакуумного вимикача, та через цифровий комутатор 26 поступає на вхід цифрового компаратора 27. Імпульси з виходу генератора імпульсів 16 надходять до лічильника імпульсів 23 доки коди на обох входах цифрового компаратора 27 не стануть рівними. На виході цифрового компаратора 27 при цьому формується сигнал логічного нуля, який надходить на третій вхід елемента І 17. При цьому лічильники імпульсів 19 і 23 припиняють лічити імпульси, а формувач сигналу 20 на своєму виході формує короткий імпульс, який через елемент АБО 22 поступає на другі входи тригерів 5, 6 та 7, а також на другий вхід лічильника імпульсів 23 та обнуляє їх.

Під час роботи лічильника імпульсів 23 послідовність імпульсів, яка поступила на вхід лічильника імпульсів 19, зменшує значення залишкового ресурсу комутаційного апарата на конкретне число одиниць, що залежить від величини струму, що відключається, у перерахунок на кількість комутацій номінального робочого струму високовольтного вимикача.

Слід зазначити, що у такому випадку роботи до лічильника імпульсів 14 - лічильник механічного ресурсу комутаційного апарата - знову ж надходить один імпульс.

Якщо комутаційний апарат вмикається, а електрична мережа містить

коротке замикання, тоді при його ввімкненні на виході датчика початку комутації 9 встановлюється сигнал логічного нуля, який проходить через логічний елемент НІ 10 і переднім фронтом запускає одновібратор 11, який сформованим вихідним сигналом одиниці в свою чергу надходить до цифрового комутатора 26, підключає вихідну цифрову шину лічильника імпульсів 23 через функціональний перетворювач 24 до цифрового компаратора 27 через функціональний перетворювач 25, в якому цифровий код, що встановлюється на виході лічильника імпульсів 23 після вимкнення вимикача системою релейного захисту, домножується на пропорційний коефіцієнт, що дозволяє враховувати додаткове використання ресурсу високовольтного вимикача, що витрачається відповідно до ресурсних характеристик на вмикання. Отже, в такому пристрої у згаданому режимі роботи здійснюється врахування спрацювання робочого ресурсу високовольтного вимикача за ресурсними характеристиками на ввімкнення і вимкнення при його вмиканні в електричну мережу за наявності в ній короткого замикання.

Зазначимо, що ресурсні характеристики діагностованого комутаційного апарата в функціональному перетворювачі 24 фіксуються шляхом подачі на його другу вхідну цифрову шину цифрового коду з виходу блока вибору типу комутаційного апарата 28. У разі визначення залишкового ресурсу іншого типу комутаційного апарата з виходу блока вибору типу комутаційного апарата 28 на вхід функціонального перетворювача 24 подається цифровий код, яким активується інша область пам'яті останнього, де записані ресурсні характеристики іншого типу діагностованого вакуумного вимикача.

Робота одновібратора 11 налаштована таким чином, щоб після вимкнення високовольтного вимикача забезпечити надходження найбільшої можливої кількості імпульсів в лічильник (ресурсний) імпульсів 19.

3.2 Розробка структурної схеми пристрою для визначення неузгодження одночасності включення полюсів вимикача

В підрозділі 2.2 розроблена математична модель по визначенню неузгодження одночасності включення полюсів вакуумного вимикача.

Застосування розробленої математичної моделі дозволяє здійснити розрахунок відхилення між полюсами із врахуванням допустимої величини неузгодженого включення полюсів вимикача.

На основі цієї математичної моделі пропонується пристрій визначення неузгодження одночасності ввімкнення полюсів вимикача (рис. 3.5).

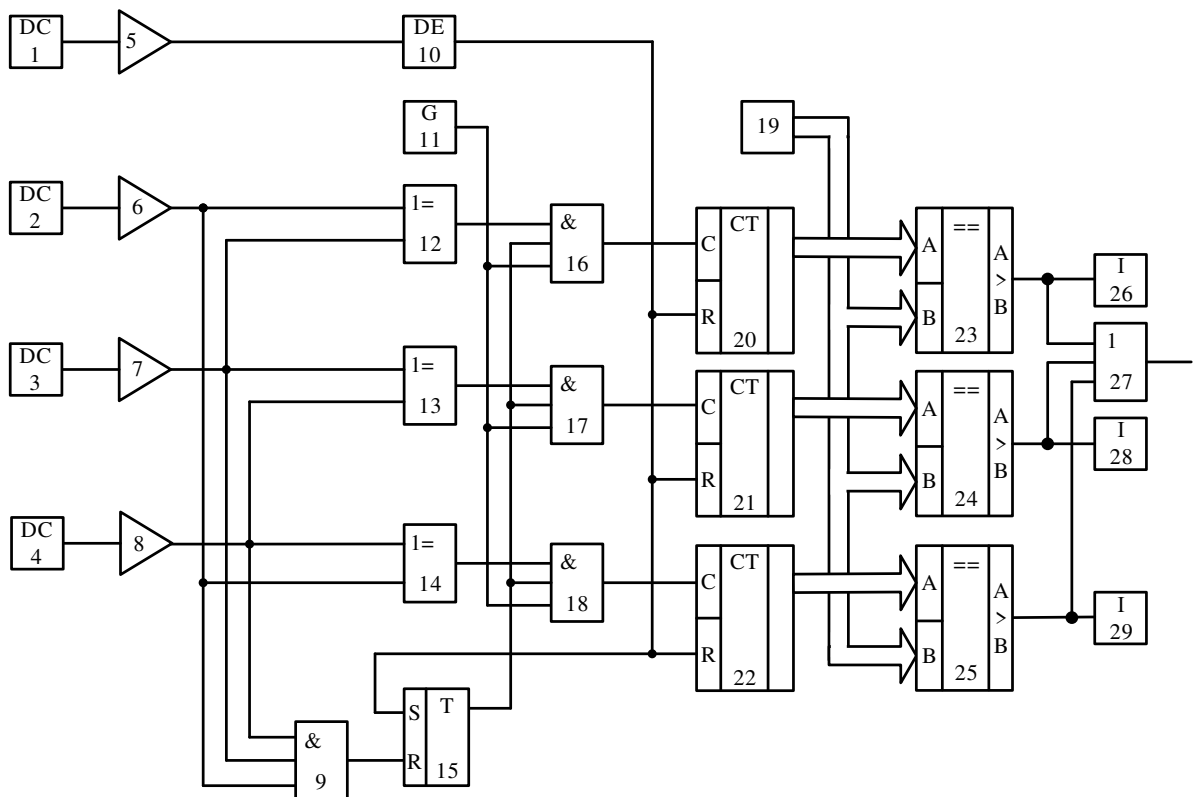


Рисунок 3.5 – Структурна схема пристрою для оцінки неузгодження одночасності ввімкнення полюсів вимикача

На схемі: 1 – датчик струму, що ввімкнений в коло ввімкнення обмотки електромагніту ввімкнення вимикача; 2, 3, 4 – датчики струму, що встановлені у фазах відповідно А, В та С вимикача; 5, 6, 7, 8 – компаратори; 9 – елемент І; 10 – диференціальний елемент; 11 – генератор імпульсів; 12, 13, 14 – елементи «Виключне АБО»; 15 – тригер; 16, 17, 18 – елементи І; 19 – блок задання допустимого часу $\Delta t_{\text{доп}}$ неузгодженого ввімкнення полюсів вимикача; 20, 21, 22 – лічильники імпульсів; 23, 24, 25 – цифрові компаратори; 26, 28, 29 – індикатори; 27 – елемент АБО.

Контроль за різницею замикання усіх полюсів високовольтного вимикача відбувається при включенні вимикача, коли вихідний сигнал датчика струму обмотки ввімкнення 1 поступає на вхід диференціюючого елемента 10 через компаратор 5, а потім у формі імпульсу встановляє у нульовий стан лічильники 20, 21 і 22 та у одиничний стан тригер 15. Процедура ввімкнення вимикача при цьому виконується далі і якщо, скажімо, спочатку відбулося замикання контактів в полюсі фази А, то на виході датчика струму 2 формується сигнал, який надходить на компаратор 6, потім на елемент ВИКЛЮЧНЕ АБО 12 та відкриває логічний елемент І 16. Імпульси з виходу генератора імпульсів 11 починають поступати до лічильника імпульсів 20. При цьому також відкривається елемент ВИКЛЮЧНЕ АБО 14, в результаті цього з виходу генератора імпульсів 11 імпульси поступають на вхід лічильника 22. Це відбувається доки контакти, що знаходяться в іншому полюсі вимикача, не замкнуться, скажімо, в полюсі С. Сигнал з сформований на виході датчика струму 4 при цьому через компаратор 8 поступає на вхід елемента ВИКЛЮЧНЕ АБО 14, що призводить до зупинки подачі імпульсів до лічильника імпульсів 22. Але сигнал на виході компаратора 8 відкриває логічний елемент І 17 через елемент ВИКЛЮЧНЕ АБО 13 та імпульси з виходу генератора імпульсів 11 починають поступати до лічильника імпульсів 21. Це відбувається доки контакти полюса В високовольтного вимикача не замкнуться, в результаті цього подача імпульсів до лічильників імпульсів 20

та 21 завершується. Аналогічним чином здійснюється визначення часу неузгодженого включення між іншими полюсами високовольтного вимикача.

Під час початку протікання струму у всіх фазах високовольтного вимикача вихідний сигнал логічного елемента І 9 скидає тригер 15 та відбувається блокування подачі імпульсів до лічильників. Цифровий код, що зберігається у лічильниках 20, 21 та 22, порівнюється з цифровим кодом, що пропорційний значенню $\Delta t_{\text{доп}}$ та збережений в блоці 19. При перевищенні граничного часу неузгодженого вмикання полюсів високовольтного вимикача відповідний індикатор 26, 28 або 29 показує повідомлення і сигнал через логічний елемент АБО 27 подається робочому персоналу.

3.3 Розробка структурної схеми пристрою для формування керуючої дії налаштування контактної системи у синхронному режимі роботи

Згідно з математичною моделлю, розробленою у підрозділі 2.2 розробимо структурну схему пристрою, який дозволяє формувати сигнали керуючої дії для оперативного персоналу відносно регулювання рухомих контактів полюсів вимикача. Запропонований пристрій формує для кожного полюса вимикача сигнал для наближення або відхилення рухомих контактів вимикача від нерухомих для організації синхронної роботи його контактної системи. В результаті отримуємо структурну схему, зображену на рисунку 3.6.

На рис. 3.6: 1 – блок установки нуля; 2 – датчик струму фази А; 3 – датчик струму в колі обмотки електромагніту ввімкнення вимикача; 4 – елемент АБО; 5 – компаратор; 6 – диференціальний елемент; 7 – компаратор; 8, 9 – одновібратори; 10 тригер; 11 – генератор імпульсів; 12 – тригер; 13 – елемент І; 14 – блок задання часу $t_{\text{сер}}$; 15 – лічильник; 16 – цифровий компаратор; 17 – формувач імпульсів; 18 – елемент НІ; 19, 20 – мультиплексори; 21 – цифровий суматор; 22 – цифровий компаратор; 23, 24 – елементи І; 25, 26, 27 – індикатори; 28, 30 – цифрові компаратори; 29, 31 – мультиплексори; 32 – реєстр.

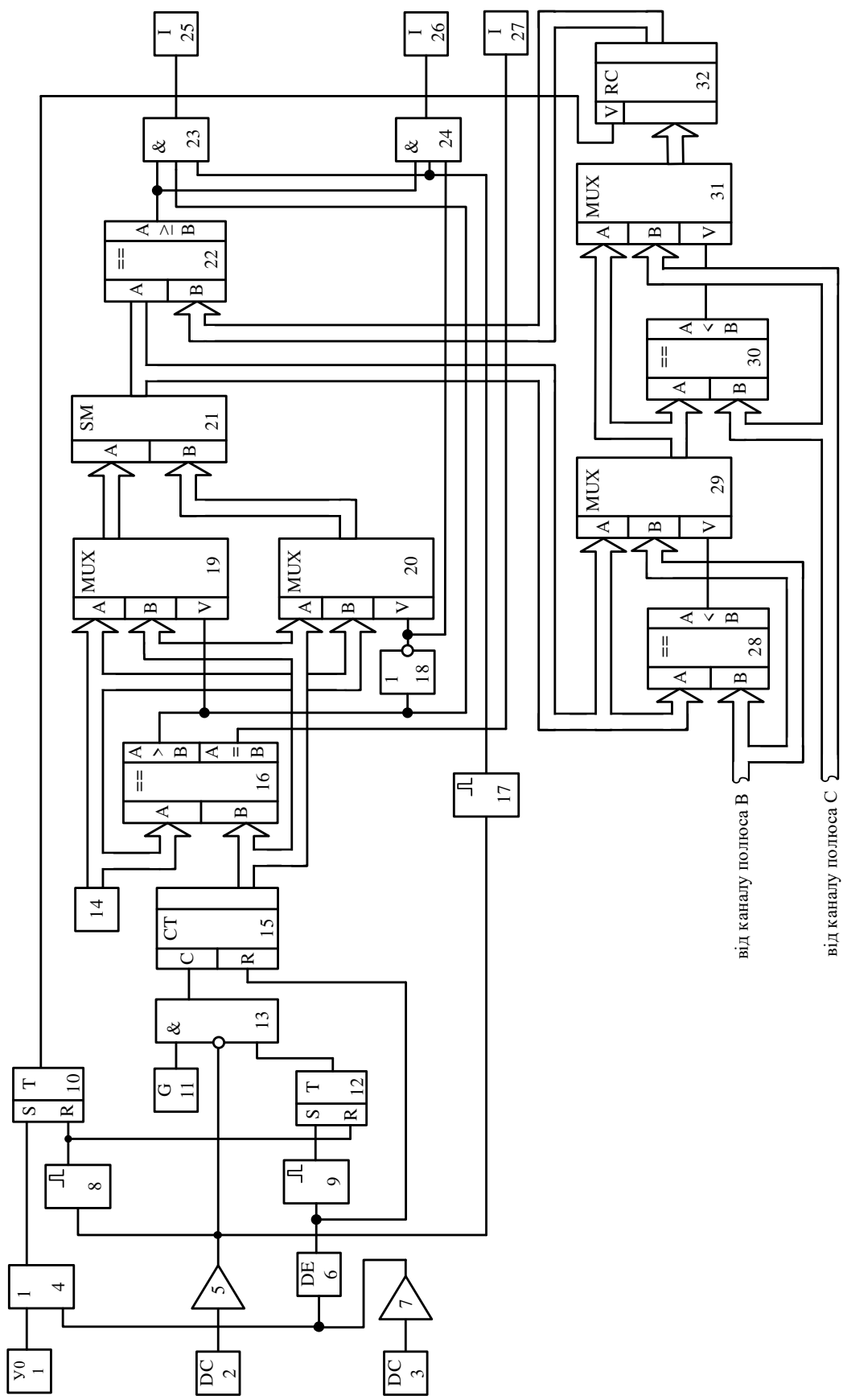


Рисунок 3.6 – Структура пристрою визначення допустимого відхилення положення рухомих контактів полюсів вимикача

Представлена структурна схема роз'яснює як працює пристрій тільки за одним полюсом вимикача (наприклад А). Формування інформативного сигналу по двом іншим полюсам здійснюється аналогічною. Отже, для відтворення повної структурної схеми пристрою необхідно ввести ще два канали, ідентичні зазначеному.

При подачі напруги живлення блок установки нуля 1 формує сигнал, який поступає через елемент АБО 4 та встановлює тригер 10, а його вихідний сигнал дає можливість для запису інформації у регістр 32.

В момент ввімкнення вимикача в обмотці електромагніту вмикання починає протікати струм, в результаті чого на виході датчика струму 3 формується сигнал, який через компаратор 7 та диференціюючий пристрій 6 переводить лічильник 15 у нульовий стан та запускає одинвібратор 9, який встановлює тригер 12. Логічний елемент І 13 при цьому відкривається (датчик струму 2 в фазі А не має вихідного сигналу), імпульси з виходу генератора імпульсів 11 поступають у лічильник імпульсів 15. Цей процес триває доки контакти полюса А високовольтного вимикача не замкнулися. В цей момент на виході елемента І 13 з'являється сигнал нуля, а лічильник 15 зберігає певну кількість імпульсів, яка відповідає часу вмикання полюса А високовольтного вимикача. Цифровий код з виходу лічильника 15 порівнюється зі значенням часу $t_{сер}$, який записаний у блоці 14, і співвідношення цих сигналів призводить до появи на якомусь з виходів цифрового компаратора 16 відповідного сигналу. У випадку додатної різниці зазначених кодів, тобто математичний вираз (2.10) має місце на існування, то мультиплексори 19 та 20 відкриваються так, щоб цифровий суматор 21 відняв від більшої величини меншу, а результат при цьому є додатнім числом у двійковій системі числення. У випадку від'ємної різниці вказаних кодів мультиплексори 19 та 20 виконують подачу сигналів на цифровий суматор 21 таким чином, щоб на його виході різниця також була додатною. Цифровий код на виході суматора 21 надходить до цифрового компаратора 22 де порівнюється з величиною найменшої неузгодженості при одночасності включення всіх полюсів високовольтного

вимикача L, цифровий код якої надходить з виходу регістра 32 і у випадку перевищення величини L через логічні елементи I 23 або 24 сигнал поступає на індикатори 25 або 26, що показує необхідність регулювання рухомого контакту полюса фази А донизу або доверху відповідно (для наближення або віддалення рухомого контакту від нерухомого). Якщо при порівнянні кодів на виході цифрового компаратора 16 визначається рівність, то відповідний сигнал з його другого виходу включає індикатор 27, що означає нормальний технічний стан полюса високовольтного вимикача.

Зауважимо, що робота кожного полюса вимикача контролюється аналогічно. Для визначення мінімального значення L на виході цифрового суматора 21 з'являється код, який поступає на вхід цифрового компаратора 28, де він порівнюється з аналогічним кодом, що був знайденим у фазі В високовольтного вимикача і в залежності від того, величина якого коду є меншою, мультиплексор 29 відкривається і менший значення коду порівнюється у цифровому компараторі 30 з значенням коду, що був визначеним у фазі С високовольтного вимикача. В якості результату порівняння цифровий код з виходу мультиплексора 31 запам'ятовується у регістрі 32, що є мінімальною величиною L. В момент появи сигналу з виходу одновібратора 8 тригер 10 обнуляється, а вказана величина L залишається у регістрі.

4 ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ ПРИСТРОЇВ ДІАГНОСТУВАННЯ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ВАКУУМНИХ ВИМИКАЧІВ

4.1 Мікропроцесорна реалізація пристрою оцінки залишкового робочого комутаційного ресурсу вакуумного вимикача

Очевидним є той факт, що застосування мікропроцесорної техніки в задачах керування технологічними процесами є нормою.

Аналогічно ставиться питання і в задачах автоматизації управління електроенергетичним підприємством. Очевидно, що, зокрема, засоби для оцінки технічного стану вакуумних вимикачів необхідно реалізовувати на мікроконтролерах.

Найважливіша властивість мікроконтролерів — висока гнучкість, можливість швидкого переналаштування, а при необхідності навіть зміни алгоритмів управління. На мікроконтролерах легко виконувати принцип відкритих систем, можливості функціонування яких можуть збільшуватися за умови необхідності або за умови виникнення більш сучасних технічних засобів.

Сучасний період розвитку містить велике різноманіття мікрочіпів, що дозволяє використовувати в якості мікроконтролера розробки наступних фірм – Atmel, Microchip, Motorola, Intel, Analog Devices, Texas Instruments тощо.

Здійснимо реалізацію засобу для оцінки залишкового робочого комутаційного ресурсу вакуумного вимикача на базі мікроконтролера типу STM32F723ZET6, використання якого є прийнятним для побудови подібних пристроїв.

Оскільки архітектура застосовуваних мікропроцесорних пристроїв є традиційною, то основну увагу потрібно зосереджувати на розробці алгоритмічного забезпечення.

В роботі пропонується структурна схема пристрою для оцінки залишкового робочого комутаційного ресурсу вакуумного вимикача (рис. 4.1), на якій введено позначення: 1 – сенсори струму; 2 – сенсор комутації; 3 –

перетворювачі змінного струму в змінну напругу; 4 – нормуючі перетворювачі; 5 – мікроконтролер; 6 – клавіатура; 7 – дисплей; 8 – блок узгодження сигналів для передачі інформації в систему моніторингу електрообладнання.

Зазначимо, що в пристрої реалізовано циклічне опитування сенсорів 1 і 2 та обчислення залишкового комутаційного ресурсу контактної системи вакуумного вимикача. Дисплей та клавіатура використовується як допоміжні засоби, які необхідні для введення початкових параметрів. На дисплеї відображається поточне значення залишкового ресурсу. Блок узгодження сигналів 8 забезпечує передачу даних з мікроконтролера 5 в систему збору даних та відображення інформації оперативному персоналу.

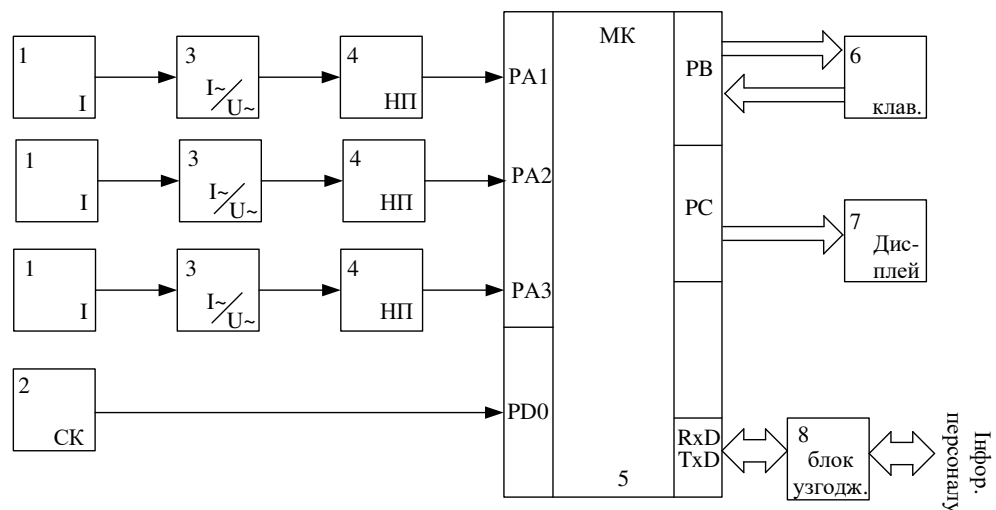


Рисунок 4.1 – Структура мікропроцесорного пристрою для оцінки залишкового робочого комутаційного ресурсу вакуумного вимикача

Зауважимо, що перевагами застосування мікроконтролера є, як зазначалось вище, можливість його використання для одночасного обслуговування декількох вакуумних вимикачів. В такому випадку структура мікропроцесорного засобу практично не змінюється – додаються лише додаткові сенсори та відповідні перетворювачі сигналів.

Але алгоритм для обслуговування декількох вакуумних вимикачів суттєво відрізняється від того, коли діагностується тільки один вимикач.

Принцип функціонування такого алгоритму полягає в тому, щоб циклічно опитувати всі сенсори і у разі виникнення ситуації, коли необхідно певним вакуумним вимикачем здійснювати комутацію, здійснити вирахування витраченого комутаційного ресурсу та зберегти цю інформацію, а після завершення циклу обслуговування цього вимикача продовжувати циклічне опитування стану всіх сенсорів.

Відповідний алгоритм роботи мікропроцесорного пристрою для оцінки залишкового комутаційного ресурсу наведений на рис. 4.2.

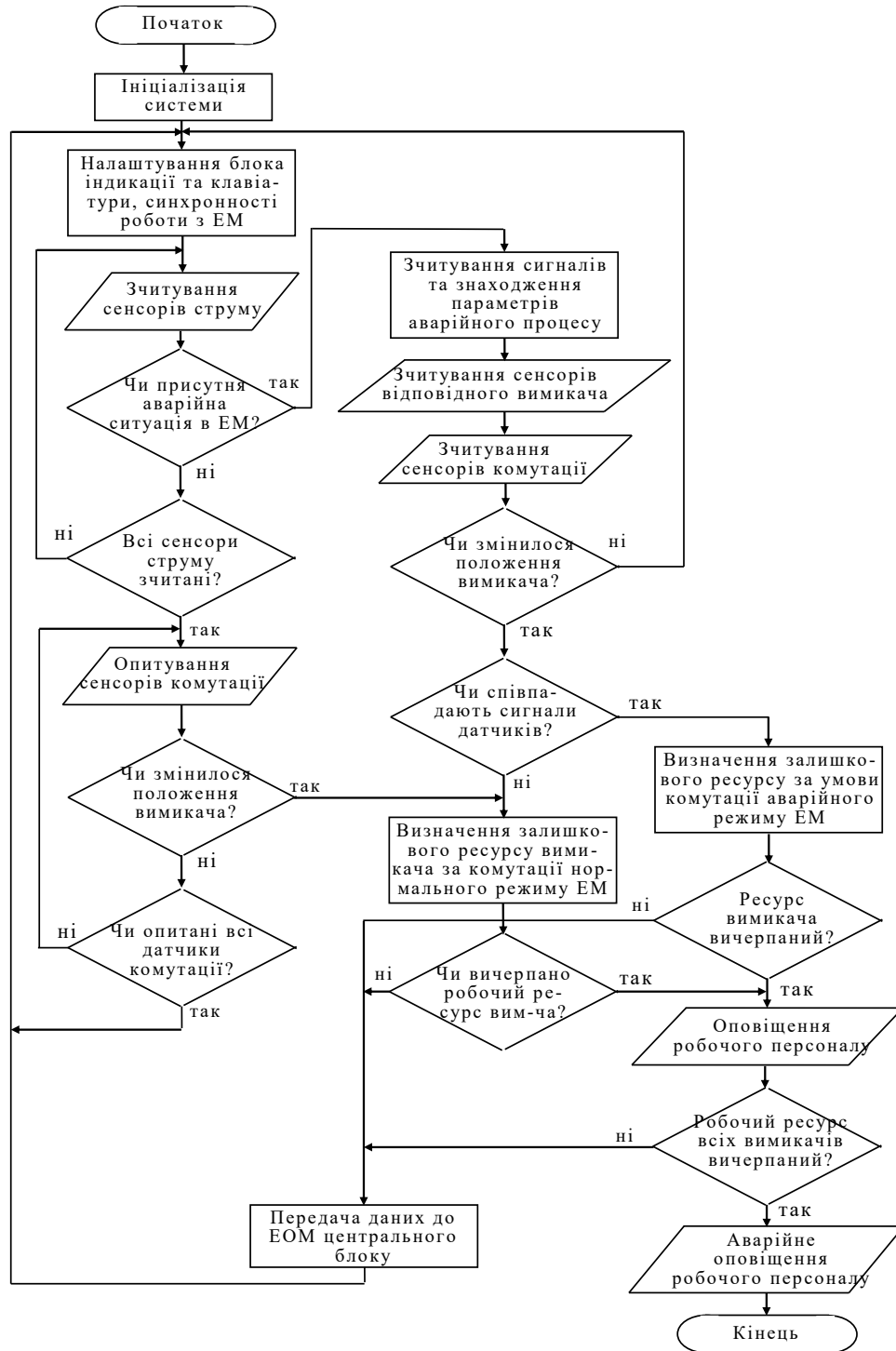


Рисунок 4.2 – Алгоритм роботи мікропроцесорного пристрою для оцінки залишкового комутаційного ресурсу вакуумного вимикача

4.2 Реалізація пристрою для діагностування неузгодження одночасності включення полюсів вимикача з використанням програмованих логічних інтегральних мікросхем

Програмовані логічні інтегральні схеми (ПЛІС) або FPGA (field programmable gate arrays) – це електронні компоненти, які використовують для розробки конфігурованих електронних цифрових схем. Робота таких інтегральних схем задається за допомогою програмування [83], [84].

У відповідності до розробленої математичної моделі та пристрою розглядатимемо задачу по створенню та моделюванню роботи пристрою для діагностування неузгодження одночасності включення полюсів вимикача. Спробуємо здійснити реалізацію такого пристрою на базі ПЛІС, наприклад, використаємо продукцію виробника Altera марки MAXII EMP570T100C5 [85] з використанням середовища Quartus II 15.0.

В результаті виконаної роботи отримали структурну схему пристрою діагностування неузгодження одночасності ввімкнення полюсів вимикача в середовищі Quartus II, яка зображена на рис. 4.3.

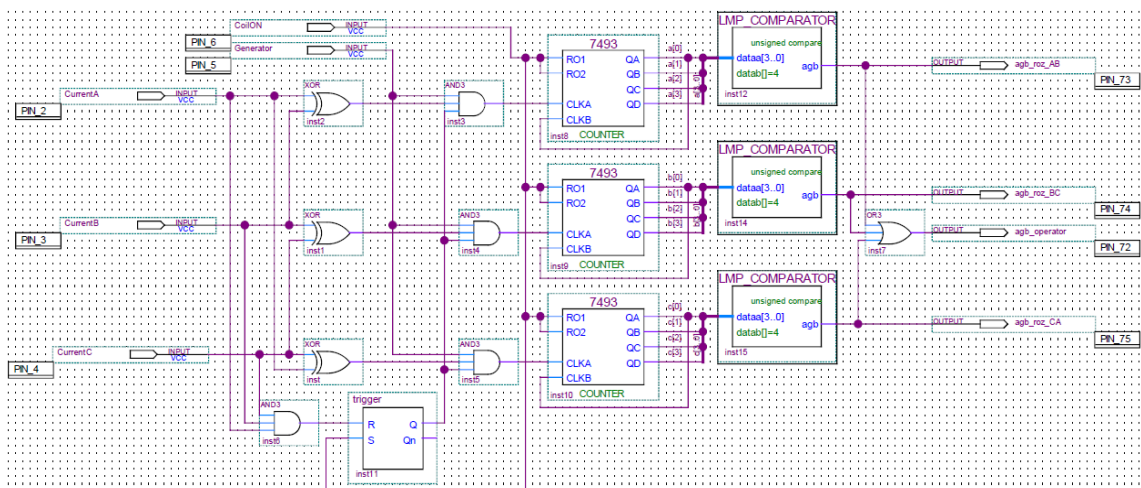


Рисунок 4.3 – Структурна схема пристрою діагностування неузгодження одночасності ввімкнення полюсів вимикача

Для завершальної стадії реалізації пристрою налаштуємо конфігурацію входів та виходів мікросхеми (рисунок 4.4).

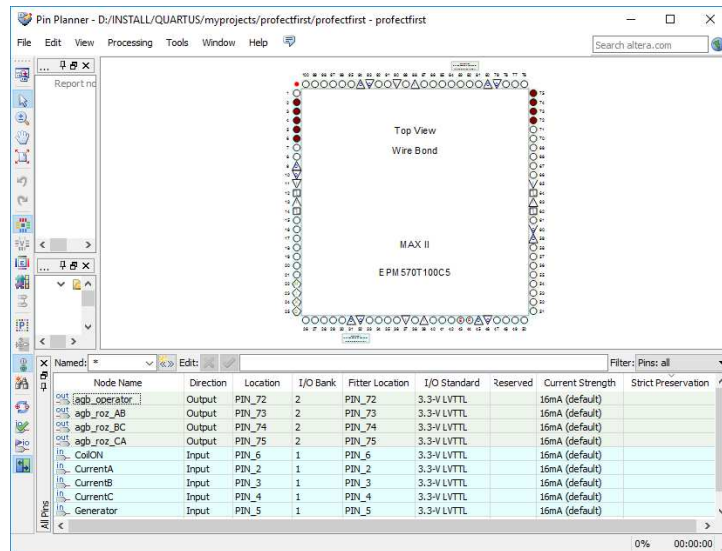


Рисунок 4.4 – Вікно конфігурації входів та виходів мікросхеми

Черговою операцією є симуляція роботи пристрою вмонтованими в Quartus II додатками. На рисунку 4.5 зображені діаграми сигналів, які пояснюють роботу пристрою в характерних точках при перевірці його роботоздатності.

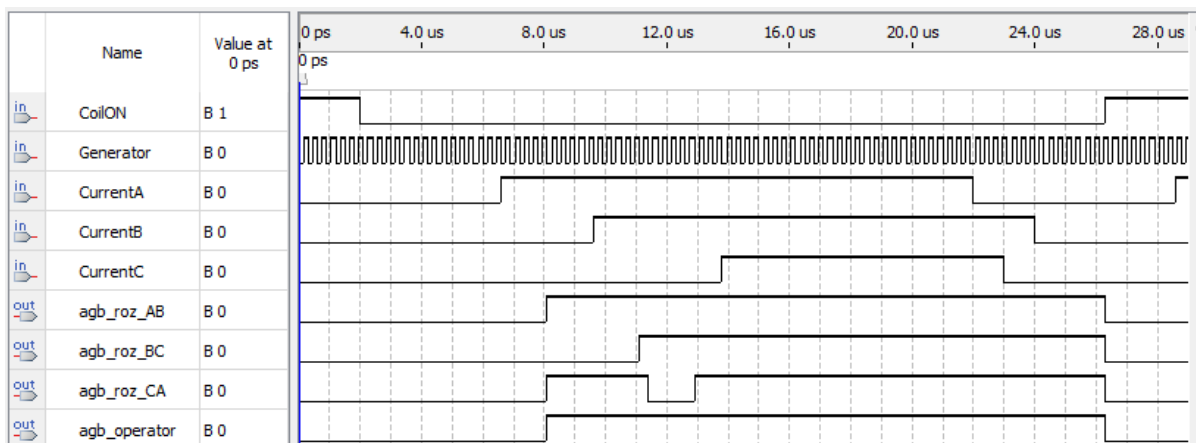


Рисунок 4.5 – Діаграми сигналів, що показують роботу пристрою для діагностування неузгодження включення полюсів високовольтного вимикача

Визначимо введені скорочення діаграм сигналів: CoilON – сигнал з виходу сенсора струму обмотки включення, що показує про початок включення вимикача; Generator – імпульси з виходу генератора імпульсів, що відповідає за синхронізацію роботи частини пристрою для вимірювання

неодночасності включення полюсів високовольтного вимикача у кожній фазі; CurrentA, CurrentB, CurrentC – вхідні сигнали від датчиків струму, які встановлені у фазах А, В та С високовольтного вимикача відповідно; agb_roz_AB, agb_roz_BC, agb_roz_CA – сигнали на виходах, що показують неузгодженість перемикачів між фазами А та В, А та С, В та С відповідно; agb_operator – інформативний сигнал, що оповіщує оператора про перевищення граничного часу неузгодженого включення полюсів високовольтного вимикача.

Після завершення процедури формування конфігурації ПЛІС та поєднавши її з вхідними сенсорами та вихідними колами, реалізуємо пристрій для діагностування неузгодженого ввімкнення полюсів вакуумного вимикача відповідно до запропонованої математичної моделі.

Зрозуміло, що інші засоби, які мають структуру, що реалізована на елементах цифрової техніки можна реалізувати за приведеною аналогією. Така реалізація дозволяє суттєво підвищити надійність роботи пристроїв та швидкодію, зменшити енергоспоживання та розміри в порівнянні з реалізацією на інтегральних мікросхемах низької степені інтеграції.

5 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

В магістерській кваліфікаційній роботі розрахунок капітальних вкладень виконується для система діагностування вакуумного високовольтного вимикача.

Збитки залежать від раптовості перерви, її тривалості і глибини. Математичне сподівання збитків від переривання електропостачання через несправність високовольтного вимикача може бути визначене за виразом:

$$Z_{\text{пер}} = \omega \cdot Z_{\text{пер}}(0) + \omega \cdot t_B \cdot Z(t),$$

де $Z_{\text{пер}}(0)$ – прямі збитки від самого факту переривання електропостачання;

$Z(t)$ – прямі і додаткові збитки, які залежать від тривалості перерви електропостачання;

ω – частота відмов;

t_B – тривалість відновлення після відмови.

Збитки від переривання електропостачання можна оцінити за спрощеною формулою:

$$Z_{\text{пер}} = Z_{\text{пер.а}} M(W_{\text{нед.а}}) + Z_{\text{пер.п}} M(W_{\text{нед.п}}),$$

де $Z_{\text{пер.а}}$, $Z_{\text{пер.п}}$ – питомі складові збитків від, відповідно, аварійного і планового недовідпущень електроенергії;

$M(W_{\text{нед.а}})$, $M(W_{\text{нед.п}})$ – математичні сподівання середньорічних аварійного і планового недовідпущень електроенергії.

Математичне сподівання аварійного і планового недовідпущень електроенергії знаходять з формул:

$$M(W_{\text{нед.а}}) = k_a P_M T_M;$$

$$M(W_{\text{нед.п}}) = k_p P_M T_M,$$

де k_a , k_p – коефіцієнти аварійного і планового простоїв.

Всі витрати, пов'язані з реалізацією проекту мікропроцесорної реалізації пристрою оцінки залишкового робочого комутаційного ресурсу вакуумного

вимикача називають капітальними вкладеннями. До капітальних вкладень відносять витрати на розробку проекту, придбання обладнання, доставку на підприємство, монтаж і налагодження.

Витрати на монтаж обладнання визначають розрахунковим методом, виходячи з нормативів вартості монтажних робіт. Витрати на налагоджувальні роботи визначають аналогічно. Для загальних розрахунків витрати на доставку, витрати на монтаж обладнання, витрати на налагоджувальні роботи приймають рівними 10% від вартості обладнання.

Одноразові витрати на поновлення оборотних фондів у зв'язку з впровадженням нової техніки включають витрати на придбання необхідної кількості запасів основних матеріалів, запасних частин, комплектуючих виробів та ін. З використанням системи технічного обслуговування і ремонту енергетичного обладнання (ТОР ЕО) визначають необхідний рівень запасів матеріалів.

Витрати на технічні заходи з охорони навколишнього середовища, навчання персоналу, покращення умов праці персоналу та інші, відносять до інших капітальних вкладень. Вони включають в себе також залишкову вартість неповністю зношеного обладнання, що ліквідується.

5.1 Визначення капітальних вкладень

Виробник залучає власні кошти для реалізації технічного рішення зі створення мікропроцесорної реалізації пристрою оцінки залишкового робочого комутаційного ресурсу вакуумного вимикача. Він несе витрати на розробку, впровадження та експлуатацію розробки.

В таблиці 5.1 приведено розрахунок капітальних вкладень на розробку мікропроцесорної реалізації пристрою оцінки залишкового робочого комутаційного ресурсу вакуумного вимикача.

Таблиця 5.1 – Капітальні витрати на електроустаткування

Найменування обладнання	Кошторисна вартість, грн.
Сенсори струму та комутації	2150
Перетворювачі змінного струму в змінну напругу	1400
Нормуючі перетворювачі	1200
Блок узгодження сигналів для передачі інформації в систему моніторингу електрообладнання	2844
CPU (центральний процесор) типу STM32F723ZET6	4250
Кабелі, апаратура захисту, комутаційні апарати, сенсори та ін.	2200
Ноутбук, діагональ 15,6	13500
Периферійні пристрої (програмувальники) та кабелі для підключення ноутбука	1350
Програмне забезпечення та розробка ПЗ	18000
Всього	46894
Монтажні та налагоджувальні роботи (10%)	4689,4
Всього капітальні вкладення	51583,4

Отже, капітальні витрати $E_k = 51583,4$ грн.

5.2 Розрахунок експлуатаційних витрат

Експлуатаційні витрати включають витрати на забезпечення нормального функціонування певного технічного рішення в період його експлуатації в розрахунку на рік .

Експлуатаційні витрати E включають:

1. Амортизаційні відрахування E_a ;
2. Заробітна плата $E_{зп}$ обслуговуючого персоналу (основна, додаткова, нарахування на заробітну плату);

3. Витрати на силову електроенергію E_e ;
4. Витрати на поточний ремонт $E_{пр}$;
5. Інші витрати $E_{ін}$.

Тобто:

$$E = E_a + E_{зп} + E_e + E_{пр} + E_{ін}. \quad (5.1)$$

5.2.1 Розрахунок амортизаційних відрахувань

Річні амортизаційні відрахування становлять (норма амортизації 10% в рік):

$$E_a = 10\% \cdot E_k, \quad (5.2)$$

$$E_a = 0,1 \cdot 51583,4 = 5158,3 \text{ (грн)}.$$

5.2.2 Розрахунок заробітної плати обслуговуючого персоналу

Згідно ПУЕ обслуговувати установки до 1000 В може робітник, у якого розряд не нижче четвертого, група допуску не нижча третьої групи по електробезпеці.

Таблиця 5.2 – Тарифна сітка погодинників

Тарифні розряди	I	II	III	IV	V	VI
Тарифні коефіцієнти	1	1,5	1,8	2,03	2,33	2,7

Витрати на заробітну плату обслуговуючого персоналу розраховуємо за формулою:

$$E_{зп} = E_{зо} + E_{зд} + E_{зн}. \quad (5.3)$$

де $E_{зо}$ – основна заробітна плата по тарифу;

$E_{зд}$ – додаткова заробітна плата;

$E_{зн}$ – нарахування на заробітну плату.

$$E_{30} = N \cdot T_1 \cdot K \cdot \Phi_{\text{эф}} \cdot K_c \cdot \beta. \quad (5.4)$$

де N – кількість робітників, що обслуговують установку ($N = 1$ чол.);

T_1 – погодинна тарифна ставка робітника 1-го розряду ($T_1 = 22$ грн/год);

K – тарифний коефіцієнт. Враховуючи надзвичайно високий рівень відповідальності даного об'єкта діагностування ($K = 2,33$);

$\Phi_{\text{эф}}$ – ефективний фонд робочого часу на обслуговування системи діагностування високовольтного вимикача за рік (приймаємо рівним 110 год);

K_c – коефіцієнт співвідношення, встановлений Генеральною угодою між профспілками і урядом ($K_c = 1$);

β – частка часу, який витрачає робітник на обслуговування установки в загальному часі своєї роботи ($\beta = 1$).

Розраховуємо основну заробітну плату по тарифу:

$$E_{30} = 1 \cdot 22 \cdot 2,33 \cdot 100 \cdot 1 \cdot 1 = 5638,6 \text{ (грн.)}$$

Додаткова заробітна плата $E_{3д}$ становить 10% основної заробітної плати:

$$E_{3д} = 5638,6 \cdot 0,10 = 563,9 \text{ (грн.)}$$

Розрахунок нарахувань на заробітну плату зведемо в таблицю 5.3.

Таблиця 5.3 – Розрахунок нарахувань на заробітну плату

Показник	Сума
Основна заробітна плата, E_{30} грн.	5638,6
Додаткова заробітна плата, $E_{3д}$ грн.	563,9
Разом основна і додаткова заробітна плата, ($E_{30} + E_{3д}$) грн.	6202,5
Єдиний внесок на загальнообов'язкове соціальне страхування, (22%) грн.	1364,6
Всього нарахування, грн	7567,1

Таким чином, за формулою (5.3) маємо:

$$E_{\text{зп}} = 5638,6 + 563,9 + 1364,6 = 7567,1 \text{ (грн.)}$$

5.2.3 Розрахунок витрат на силову електроенергію

Витрати на силову електроенергію знаходимо за формулою:

$$E_e = \frac{P}{\eta} \cdot V \cdot \Phi_{\text{еф}} \cdot K_{\text{вм}} \cdot K_3. \quad (5.5)$$

де V – вартість електроенергії Ціна на універсальні послуги для не побутових споживачів, електроустановки яких приєднані до електричних мереж згідно з II класом напруги з ПДВ складає приблизно 6,1 грн/кВтгод. (4,59 грн. - вартість закупівлі 1 кВт год, 1,51 грн. – вартість розподілу 1 кВт год. електроенергії – <https://vin.enera.ua/el/tariff>);

P – номінальна потужність;

η – коефіцієнт корисної дії ($\eta = 0,85$);

$T_{\text{еф}}$ – ефективний фонд часу роботи в рік;

$K_{\text{вм}}$ – коефіцієнт ввімкнення (використання за часом $K_{\text{вм}}=0,8$);

K_3 – коефіцієнт завантаження (використання за потужністю).

Номінальна потужність системи діагностування складає 280 Вт. Коефіцієнт ввімкнення приймаємо рівним 0,8, а коефіцієнт завантаження рівний 0,72.

Ефективний фонд робочого часу системи діагностування при цілодобовому режимі роботи протягом 90% часу за рік (обумовлено плановими вимкненнями системи електропостачання, обслуговуванням, аварійними ситуаціями) становить:

$$\Phi_{\text{ефр}} = 365 \text{ днів} \cdot 24 \text{ год.} \cdot 0,9 = 7884 \text{ (год.)}$$

Отже, за формулою (5.5) маємо:

$$E_E = \frac{0,280}{0,85} \cdot 6,1 \cdot 7884 \cdot 0,8 \cdot 0,7 = 8872 \text{ (грн./рік)}.$$

5.2.4 Розрахунок витрат на поточний ремонт обладнання

Поточний ремонт електроустаткування здійснюється на місці встановлення з його відключенням і зупинкою, силами змінного ремонтного персоналу.

Витрати на проведення ремонтних робіт включають витрати на комплектуючі і запасні частини та інші елементи, які підлягають заміні та витрати на оплату праці персоналу, який проводить ремонтні роботи. Для визначення витрат на оплату праці робітників-ремонтників необхідно розрахувати трудомісткість ремонтних робіт. Трудомісткість ремонтних робіт визначається згідно графіка планово-попереджувальних ремонтів (таблиця 5.4), у якому зазначено тривалість міжремонтних періодів та трудомісткість кожного виду ремонту.

Таблиця 5.4 – Графік ремонтів

Найменування обладнання	Види ремонтів по місяцях												Трудомісткість, люд·год
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Сенсори			2				2				2		6
Нормуючі перетворювачі		3				3					3		9
Перетворювачі струму в напругу				3				3				3	9
СРУ		4				4				4			12
Блок узгодження	3				3				3				9
Загальна трудомісткість												45	

Вважаємо, що ремонтні роботи проводить електрик шостого розряду. З врахуванням того, що нам відома трудомісткість робіт (таблиця 5.3), основну заробітну плату розрахуємо за формулою:

$$E_{зо} = T_1 \cdot K \cdot \Phi_{эф}, \quad (5.6)$$

З попередніх розрахунків відомо, що $T_1 = 22$ грн./год, отже, маємо:

$$E_{зо} = 22 \cdot 2,7 \cdot 45 = 2673 \text{ (грн.)}.$$

Нарахування на заробітну плату (322 %):

$$E_{зн} = 2673 \cdot 0,22 = 588 \text{ (грн.)},$$

Всього витрати на заробітну плату для проведення ремонтних робіт становлять:

$$E_{зр} = 2673 + 588 = 3261 \text{ (грн.)}.$$

Витрати на матеріали, комплектуючі та запасні частини для поточного ремонту приймають рівними 15% витрат від основної заробітної плати. Тобто, витрати на матеріали для ремонтів становить:

$$E_{м} = 3261 \cdot 0,15 = 489,2 \text{ (грн.)}.$$

Всього витрати на поточний ремонт обладнання становлять:

$$E_{пр} = E_{зр} + E_{м}, \quad (5.7)$$

$$E_{пр} = 3261 + 489,2 = 3750,2 \text{ (грн.)}.$$

5.2.5 Інші витрати

Розмір інших витрат приймаємо рівним 5% від загальної суми попередніх витрат. Тобто:

$$E_{\text{ін}} = (E_a + E_{\text{зп}} + E_e + E_{\text{пр}}) \cdot 5\%, \quad (5.8)$$

$$E_{\text{ін}} = (5158,3 + 7567,1 + 8872 + 3750,2) \cdot 0,05 = 234\,036,4 \text{ (грн.)},$$

Розрахунок загальної суми експлуатаційних витрат за (5.1) наведемо у вигляді таблиці 5.5.

Таблиця 5.5 – Експлуатаційні витрати

Найменування витрат	Новий варіант
Амортизаційні відрахування E_a , грн.	5158,3
Заробітна плата $E_{\text{зп}}$ обслуговуючого персоналу, грн.	7567,1
Витрати на електроенергію E_e , грн.	8872,0
Витрати на поточний ремонт $E_{\text{пр}}$, грн.	3750,2
Інші витрати $E_{\text{ін}}$, грн.	1 267,4
Всього експлуатаційні витрати Z , грн.	26615

Оскільки можливу вигоду від впровадження даної системи наразі оцінити неможливо, тому термін окупності не розраховується. Відносним економічним показником є в даному випадку експлуатаційні витрати.

Проте доречно виконати розрахунок потенційних збитків від перерв електропостачання через несправність вакуумного високовольтного вимикача

Приклад 1. Розрахувати збитки від перерв електропостачання у разі застосування однострансформаторної підстанції, якщо питомі збитки від переривання електропостачання складають:

$$Z_{\text{пер.а}} = 23,6 \text{ грн./кВт}\cdot\text{год.} - \text{у разі аварійних вимкнень};$$

$$Z_{\text{пер.п}} = 17,6 \text{ грн./кВт}\cdot\text{год.} - \text{у разі планових вимкнень}.$$

Розв'язування. Математичне сподівання аварійного невідпущення електроенергії становить

$$M(W_{\text{нед.а}}) = \omega t_{\text{в}} P_{\text{м}} T_{\text{м}} = 0,01 \cdot 45 \cdot 10^{-3} \cdot 5,12 \cdot 103 \cdot 6451 = 14900 \text{ кВт}\cdot\text{год},$$

де $\omega = 0,01 \text{ рік}^{-1}$; $t_{\text{в}} = 45 \cdot 10^{-3}$ року – частота відмов і середній час відновлення високовольтного вимикача.

Математичне сподівання планового невідпущення електроенергії

$$M(W_{\text{нед.п}}) = k_{\text{п}} P_{\text{м}} T_{\text{м}} = 4 \cdot 10^{-3} \cdot 5,12 \cdot 103 \cdot 6451 = 132400 \text{ кВт}\cdot\text{год},$$

де $k_{\text{п}} = 4 \cdot 10^{-3}$ – середній час планового простою трансформатора напругою 35кВ.

Математичне сподівання збитків від переривання електропостачання

$$M(Z_{\text{пер}}) = Z_{\text{пер.а}} \cdot M(W_{\text{нед.а}}) + Z_{\text{пер.п}} \cdot M(W_{\text{нед.п}}) = 23,6 \cdot 14900 + 17,6 \cdot 132400 = 2682000 \text{ грн.}$$

Висновок:

В даному розділі було проведено розрахунок капітальних вкладень створення засобу для діагностування вакуумного високовольтного вимикача. Була розрахована основна заробітна плата, витрати на електроенергію, на планові ремонти та інші витрати. Оскільки, прибуток від засобу невідомий, або не розраховується як такий, то термін окупності неможливо розрахувати, тому зупиняємося на експлуатаційних витратах.

6 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

В цьому розділі розглянуті заходи та засоби з охорони праці під час розробки та монтажу системи діагностування вакуумного високовольтного вимикача.

Аналіз причин смертності в Україні свідчить, що саме нещасні випадки у виробничій та невиробничій сферах є головною причиною смерті чоловіків у працездатному віці. Тому питання охорони праці та здоров'я громадян у процесі їх трудової та будь-якої іншої діяльності повинні стати пріоритетними та увійти до розряду найвищого державного рівня, оскільки саме люди, їх життя та здоров'я є найбільшим багатством будь-якої держави. Окрім соціального, охорона праці має, безперечно, важливе економічне значення. Це й висока продуктивність праці, зниження витрат на оплату лікарняних, компенсацій за важкі та шкідливі умови праці тощо. Незадовільний стан охорони праці важким тягарем лягає на економіку держави.

Умови та безпека праці, їх стан та покращення – самостійна і важлива задача соціальної політики будь-якої сучасної промислово розвинутої держави, яку вирішує така невід'ємна складова БЖД, як охорона праці.

Отже, на електротехнічний персонал, що розробляє та здійснює монтаж і експлуатацію системи діагностування вакуумного високовольтного вимикача, впливають такі небезпечні та шкідливі виробничі фактори [86, 87].

Фізичні фактори: мікроклімат (температура, вологість, швидкість руху повітря, інфрачервоне випромінювання); виробничий шум, ультразвук, інфразвук; освітлення: природне (недостатність), штучне (недостатня освітленість, прямий і відбитий сліпучий відблиск тощо).

Хімічні фактори: речовини хімічного походження, переважно аерозолі фіброгенної дії (нетоксичний пил).

Фактори трудового процесу: важкість (тяжкість) праці; напруженість праці. Важкість праці характеризується рівнем загальних енергозатрат організму або фізичним динамічним навантаженням, масою вантажу, що

піднімається і переміщується, загальною кількістю стереотипних робочих рухів, величиною статичного навантаження, робочою позою, переміщенням у просторі. Напруженість праці характеризують: сенсорні, емоційні навантаження, ступінь монотонності навантажень, режим роботи.

6.1 Технічні рішення щодо безпечного виконання роботи

6.1.1 Технічні рішення щодо безпечної організації робочого місця

Робоче місце для дослідження призначене для роботи з комп'ютером, комплектується одномісним столом і стільцем, які виконані з дотриманням нормативних вимог. Робоче місце – це зона простору, що оснащена необхідним устаткуванням, де відбувається трудова діяльність одного працівника чи групи працівників.

Стіл дослідника має дві різновисотні горизонтальні поверхні – робочу і додаткову. Ширина і глибина робочої поверхні столу та додаткової поверхні забезпечує виконання роботи у межах моторного поля і становить 750 x 600 мм та 750 x 350 мм відповідно. Обидві поверхні повинні регулюються по висоті у межах 460 – 760 мм. Стіл дослідника, який використовується для обладнання комп'ютеризованого робочого місця має кріплення до підлоги.

Під час розміщення робочого місця було дотримано такі основні вимоги: відстань від стін з вікнами становить 1 м, від інших стін – 0,5 м; відстань між бічними поверхнями відеомоніторів – не менше 1,2 м. При роботі з ПК важливу роль відіграє дотримання правильного режиму праці і відпочинку. Інакше у персоналу виникає напруга зорового апарату з появою скарг на незадоволеність роботою, головні болі, дратівливість, порушення сну, утомленість і хворобливі відчуття в очах, в поясниці, в області шиї і руках.

Положення екрану визначається:

- відстанню прочитування (0,6-0,7м);
- кутом прочитування, напрямом погляду на 20 нижче горизонталі до центру екрану, причому екран перпендикулярний цьому напрямку.

Повинна також передбачатися можливість регулювання екрану:

- по висоті +3 см;
- по нахилу від -10 до +20 щодо вертикалі;
- в лівому і правому напрямках.

Істотне значення для продуктивної і якісної роботи на комп'ютері мають розміри знаків, густину їх розміщення, контраст і співвідношення яскравості символів і фону екрану. Якщо відстань від очей оператора до екрану дисплея становить 60-80 см, то висота знака повинна бути не менше 3мм, оптимальне співвідношення ширини і висоти знака становить 3:4, а відстань між знаками – 15-20% їх висоти. Співвідношення яскравості фону екрану і символів – від 1:2 до 1:15.

6.1.2 Електробезпека

Електробезпека – система організаційних і технічних заходів та засобів, що забезпечують захист людей від шкідливої і небезпечної дії електричного струму, електричної дуги, електричного поля і статичної електрики [89, 90].

Живлення силового обладнання дослідної лабораторії та системи освітлення здійснюється від чотирьохпровідної трифазної мережі 380 х 220В (фазна напруга (фаза – "0") – 220В, а міжфазна лінійна (фаза – фаза) – 380В).

Категорія умов по небезпеці електротравматизму – без підвищеної небезпеки.

Персонал, який обслуговує електроустановки, повинен бути забезпечений випробуваними засобами захисту. Перед застосуванням засобів захисту персонал зобов'язаний перевірити їх справність, відсутність зовнішніх пошкоджень, очистити і протерти від пилу, перевірити за штампом дату наступної перевірки. Користуватися засобами захисту, термін придатності яких вийшов, забороняється.

Для запобігання електротравмам у приміщенні здійснюються:

1) Технічні рішення із запобігання електротравм від контакту з нормально струмоведучими елементами електроустаткування – ізоляція нормально струмоведучих елементів електроустаткування відповідно з

вимогами нормативів.

2) Технічні рішення щодо запобігання електротравмам при переході напруги на нормально неструмовідні елементи електроустаткування – захисне заземлення із використанням природних заземлювачів.

3) Використовувати засоби орієнтації в електроустаткуванні - написи, таблички, попереджувальні знаки.

4) При живленні однофазних споживачів струму від трипровідної мережі при напрузі до 1000 В використовується нульовий захисний провідник. При його використанні пробій на корпус призводить до КЗ. Спрацьовує захист від КЗ і пошкоджений споживач відключається від мережі.

5) Використання основних електрозахисних засобів. Основними електрозахисними засобами називаються засоби, ізоляція яких тривалий час витримує робочу напругу, що дозволяє дотикатися до струмопровідних частин, які знаходяться під напругою. До них відносяться (до 1000В): ізолювальні штанги; ізолювальні та струмовимірювальні кліщі; покажчики напруги; діелектричні рукавиці; слюсарно-монтажний інструмент з ізольованими ручками.

б) Використання додаткових електрозахисних засобів. Додатковими електрозахисними засобами називаються засоби, які захищають персонал від напруги дотику, напруги кроку та попереджають персонал про можливість помилкових дій. До них відносяться (до 1000 В): діелектричні калоші; діелектричні килимки; переносні заземлення; ізолювальні накладки і підставки; захисні пристрої; плакати і знаки безпеки.

6.2 Технічні рішення з виробничої санітарії

6.2.1 Мікроклімат

До параметрів мікроклімату, що нормуються відносяться температура ($t^{\circ}\text{C}$) і відносна вологість повітря ($W, \%$), швидкість його переміщення (м/с), потужність теплових випромінювань (Вт/м^2). Нормується мікроклімат на робочому місці дослідника згідно ДСН 3.3.6.042-99 «Санітарні норми

мікроклімату виробничих приміщень» [91].

Робота по дослідженню напівпровідникових структур за енерговитратами відноситься до категорії Іб [91].

Допустимі мікрокліматичні умови – поєднання параметрів мікроклімату, які при тривалому та систематичному впливі на людину можуть викликати зміни теплового стану організму, що швидко минають і нормалізуються та супроводжуються напруженням механізмів терморегуляції в межах фізіологічної адаптації. При цьому не виникає ушкоджень або порушень стану здоров'я, але можуть спостерігатися дискомфортні тепловідчуття, погіршення самопочуття та зниження працездатності. Допустимі величини мікрокліматичних умов встановлюються у випадках, коли на робочих місцях не можна забезпечити оптимальні величини мікроклімату за технологічними вимогами виробництва, технічною недосяжністю та економічно обґрунтованою недоцільністю.

Допустимі параметри мікроклімату для категорії Іб відповідно до [92] наведені в табл. 6.1.

Таблиця 6.1 – Допустимі параметри мікроклімату

Період року	Допустимі		
	t, °C	W, %	V, м/с
Теплий	22 - 28	55 при 28°C	0,1-0,2
Холодний	21 - 25	Не більше 75	Не більше 0,1

Для забезпечення необхідних за нормативами параметрів мікроклімату проектом передбачено [92]:

1. У холодний період року для обігріву будівлі використовується централізована система опалення.
2. Забезпечення допустимих метеорологічних умов праці в приміщенні здійснюється за допомогою системи припливно-витяжної вентиляції та регулярного провітрювання.

6.2.2 Склад повітря робочої зони

В приміщенні, де здійснюється розробка системи діагностування вакуумного високовольтного вимикача використовуються макетування за допомогою пайки, тому можливими шкідливими речовинами у повітрі є речовини для пайки та фарбування. До складу припою та флюсу входять такі речовини: ацетон, каніфоль соснова, олово, свинець, спирт етиловий.

Забруднення повітря робочої зони регламентується гранично допустимими концентраціями (ГДК) в мг/м³ [91].

Вміст шкідливих речовин у повітрі робочої зони не повинен перевищувати гранично допустимі концентрації (ГДК). ГДК шкідливих речовин у повітрі робочої зони наведені у табл. 6.2.

Для забезпечення складу повітря робочої зони відповідно до [92] проектом передбачені такі рішення:

1. Вентиляцію дослідницьких приміщень;
2. Вентиляцію окремих робочих місць, для відвернення отруєння працюючих;
3. Технічні перерви для працюючих.

Таблиця 6.2 – ГДК шкідливих речовин у повітрі

Назва речовини	ГДК, мг/м ³		Клас небезпечності
	Максимальна разова	Середньо добова	
Фенол	0,01	0,01	3
Пил нетоксичний	0,5	0,15	4
Озон	0,16	0,03	4
Ацетон	0,35	0,35	4
Олово	-	0,02	3
Свинець	0,001	0,0003	1
Спирт етиловий	5,0	5,0	4

6.2.3 Виробниче освітлення

У приміщенні для проведення досліджень використовується штучне та природне освітлення.

В залежності від джерела світла промислове освітлення поділяється на: природне освітлення – освітленість приміщень світлом неба (прямого або відображеного), яке проникає через світлові пройми в зовнішніх огорожених конструкціях. По своєму спектральному складу воно є найбільш сприятливим. Природне освітлення характеризується коефіцієнтом природної освітленості КПО (e_n). КПО – відношення природного освітлення, яке створюється в деякій точці заданої площини всередині приміщення світлом неба, до значення зовнішньої горизонтальної освітленості.

Основною величиною для розрахунку і нормування природного освітлення є коефіцієнт природної освітленості (КПО). Прийняте роздільне нормування КЕО для бічного і верхнього освітлення.

Штучне освітлення використовується двох систем: загальне або комбіноване. Загальне освітлення - освітлення, при якому світильники розміщуються у верхній зоні приміщення рівномірно або пристосоване до розташування обладнання. Комбіноване освітлення - додаткове освітлення, при якому до загального освітлення додається ще й місцеве. Місьцеве освітлення - освітлення, яке створюється світильниками, які концентрують світловий потік безпосередньо на робочих місцях.

Характеристика зорових робіт – високої точності. Розряд зорової роботи – III, Підрозряд зорової роботи – а [93].

Таблиця 6.3 – Нормовані значення виробничого освітлення

Харак-ка зорової роботи	Наймен-ший або еквівалентний розмір об'єкта розрізнення, мм	Розряд зорової роботи	Підрозряд зорової роботи	Контраст об'єкту з фоном	Характеристика фону	Штучне при системі комбінованого освітлення		Природне $E_{н пр}$	Суміщене $E_{н сум}$
						всього	у т. ч. від загального		
Високої точності	Від 0,3 до 0,5	III	а	Малий	Темний	2000	200	3,0	1,2

Для забезпечення нормативного значення комбінованого освітлення передбачено:

1. Використання світлодіодних ламп, для забезпечення достатнього освітлення кожного робочого місця;
2. Наявність в виробничому приміщенні достатньої кількості вікон, для загального освітлення приміщень.
3. Систематичне очищення скла від бруду – не рідше двох разів на рік.

6.2.4 Виробничий шум

Для відносної логарифмічної шкали в якості нульових рівнів обрані показники, що характеризують мінімальний поріг сприйняття звуку людським вухом на частоті 1000 Гц. Нормативним документом, який регламентує рівні шуму для різних категорій робочих місць службових приміщень, є «ССБТ. Шум Загальні вимоги безпеки» [94].

Таблиця 6.4 – Допустимі рівні звукового тиску

Характер робіт	Допустимі рівні звукового тиску (дБ) в стандартизованих октавних смугах зі середньгеометричними частинами (Гц)							
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000
Основні виробничі приміщення	86	71	61	54	49	45	42	40

Засоби боротьби із шумом в залежності від числа осіб, для яких вони призначені, поділяються на засоби індивідуального захисту і на засоби колективного захисту - «ССБТ. Засоби індивідуального захисту органів слуху. Загальні технічні умови і методи випробувань» і «Засоби і методи захисту від шуму. Класифікація».

Для забезпечення допустимих параметрів шуму (поліпшення

шумового клімату) в приміщенні роботою передбачено:

1. Своєчасне проведення профілактичних робіт обладнання;
2. Зниження аеродинамічного шуму, причиною якого є робота системи вентиляції, здійснюється шляхом звукової ізоляції джерела;
3. Розміщення на шляху поширення звукових хвиль звукоізолюючого огороження у вигляді стін та перегородок.

6.2.5 Психофізіологічні фактори

Фактори трудового процесу вибираються відповідно з Гігієнічною класифікацією праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу [86].

Фізичні навантаження. Робоча поза: Періодичне перебування в незручній та/або фіксованій позі до 50% часу зміни; перебування у вимушеній позі (навпочіпки, на колінах і т. ін.) від 10% до 25% часу зміни; знаходження в позі стоячи від 60% до 80% часу зміни.

Сумарна маса вантажів, що переміщуються протягом кожної години зміни: з робочої поверхні (чоловіки): до 1500

Нахили корпуса (вимушені, більше 30), кількість за зміну: 101 –300

Переміщення у просторі (переходи, обумовлені технологічним процесом протягом зміни), км

По горизонталі: до 12

По вертикалі: до 8

Інтелектуальні навантаження: Рішення складних завдань з вибором за відомим алгоритмом (робота за серією інструкцій)

Зміст роботи: Сприймання сигналів з наступним порівнянням фактичних значень параметрів з їх номінальними значеннями. Заключна оцінка фактичних значень параметрів, Обробка, перевірка і контроль за виконанням завдання, Робота в умовах дефіциту часу

Сенсорні навантаження:

Тривалість зосередженого спостереження (в % від часу зміни) 51 -75

Щільність сигналів (світлових, звукових) та повідомлень в середньому за годину роботи 176–300

Навантаження на слуховий аналізатор (при виробничій необхідності сприйняття мови чи диференційованих сигналів) Розбірливість слів та сигналів від 70% до 50%

Навантаження на голосовий апарат (сумарна кількість годин, що наговорюються протягом тижня) 20-25

Емоційне навантаження:

Ступінь відповідальності за результат своєї діяльності. Значущість помилки – Несе відповідальність за функціональну якість основної роботи (завдань). Вимагає виправлень за рахунок додаткових зусиль всього колективу (групи, бригади та ін.)

Монотонність навантажень:

Кількість елементів (прийомів), необхідних для реалізації простого завдання або в операціях, які повторюються багаторазово 5-2

Тривалість виконання простих виробничих завдань чи операцій, що повторюються (сек.) 24-2

Монотонність виробничої обстановки (час пасивного спостереження за технологічним процесом в % від часу зміни) 91-95

Режим праці

Фактична тривалість робочого дня (год.) 8

Змінність роботи Однозмінна робота

Наявність регламентованих перерв та їх тривалість Перерви регламентовані тривалості 1 год.

6.3 Безпека у надзвичайних ситуаціях. Дослідження безпеки роботи системи діагностування вакуумного високовольтного вимикача в умовах дії загрозливих чинників надзвичайних ситуацій

У зв'язку з тим, що система діагностування вакуумного високовольтного вимикача може мати подвійне застосування і на нього

можуть справляти значний вплив загрозливі чинники надзвичайних ситуацій різного типу то необхідно провести оцінку безпеки роботи електропривода. До найвпливовіших НС можна віднести: іонізуючі випромінювання та ЕМІ. Тому при забезпеченні даних пристроїв слід забезпечити найвищий рівень захисту від цих факторів НС, оскільки кожна справляє свій вплив і може вивести дану систему системи діагностування вакуумного високовольтного вимикача з ладу.

Тож, в даній частині розділу необхідно виконати оцінку безпеки роботи та розробити заходи по підвищенню стійкості роботи системи діагностування вакуумного високовольтного вимикача в умовах дії іонізуючих випромінювань та електромагнітного імпульсу.

В РЕА застосовуються елементи, до складу яких входять такі матеріали: метали, неорганічні матеріали (в основному діелектрики), провідники і різноманітні органічні сполуки (діелектрики, смоли тощо). Серед цих матеріалів метали найбільш чутливі до впливу іонізуючих випромінювань, оскільки їм властива висока концентрація вільних носіїв.

В радіоелектронній апаратурі іонізуючі випромінювання, викликають зворотні і незворотні процеси, внаслідок яких можуть відбуватися порушення роботи електричних елементів схеми, що призводять до виходу з ладу апаратури. Так, проходячи через елементи РЕА, потік гамма-випромінень створює в них вільні носії електричних зарядів, в результаті переміщення яких виникає помилковий імпульс, який призводить до спрацьовування пристрою. При великих дозах випромінювання втрачають працездатність комплектуючі елементи системи системи діагностування вакуумного високовольтного вимикача. В результаті опромінення у транзисторах змінюється обернений струм і коефіцієнт підсилення, у конденсаторах знижуються напруги пробною та опір стікання, змінюється провідність і внутрішній нагрів; руйнується електрична ізоляція дротів з полімерних матеріалів. В органічних ізоляційних і діелектричних матеріалах змінюються такі параметри, як: електрична

провідність, діелектрична проникність і тангенс кута втрат. Неорганічні матеріали менш чутливі до впливу іонізуючих випромінювань [96].

Для інженерної практики найбільший інтерес представляє перший випадок, тобто безпека роботи РЕА при перебуванні її в зараженій радіоактивними речовинами місцевості протягом певного часу після випадання радіоактивних речовин у даній місцевості.

ЕМІ ушкоджує напівпровідникові прилади, резистори, конденсатори. Це являє велику небезпеку для апаратури, добре захищеної від впливу інших загрозливих чинників. Тому слід пам'ятати про те, що захист апаратури від механічних ушкоджень не захищає від впливу ЕМІ. Апаратура може втратити працездатність, знаходячись у надійних захисних спорудженнях [96].

6.3.1 Дослідження безпеки роботи системи діагностування вакуумного високовольтного вимикача в умовах дії іонізуючих випромінювань

За критерій безпеки роботи системи діагностування вакуумного високовольтного вимикача від прослуховування в цих умовах приймається таке граничне значення рівня ($P_{зв}$, $P/год$), при якому можуть виникнути тимчасові зміни, але пристрій буде працювати з потрібною якістю. Приймаючи до уваги елементну базу, що використовується для реалізації системи діагностування вакуумного високовольтного вимикача, складається таблиця потужностей експозиційних доз кожного елемента $P_{зв,i}$, що викликають початок зворотних змін, а отримані значення занесемо до таблиці 6.5.

Визначається елемент, який найбільшою мірою піддається впливу випромінюванням, тобто елемент із мінімальним значенням $P_{зв}$.

$$P_{зв} = 10^3 P/год$$

Таблиця 6.5 – Потужність експозиційної дози для кожного елемента, що викликають початок зворотних змін

№	Елементи радіоелектронної системи	$P_{зв.i}$, Р/год	$P_{зв.}$, Р/год
1	Процесори, інтегральні мікросхеми	10^3	10^3
2	Діоди загального призначення	10^4	
3	Транзистори загального призначення	10^4	
4	Мікросхеми	10^5	
5	Конденсатори	10^7	
6	Резистори	10^8	

В якості критерію стійкості роботи пристрою використовується граничне значення рівня іонізуючих випромінювань:

$$P_{гр} = K_{над} \cdot P_{зв} \cdot K_{посл}, \quad (6.1)$$

де $P_{зв}$ - рівень радіації незворотних змін пристрою в цілому;

$K_{над}$ - коефіцієнт надійності ($K_{над} = 0,9 \div 0,95$);

$K_{посл}$ - коефіцієнт послаблення.

$$P_{гр} = 0,95 \cdot 10^3 \cdot 2 = 7,63 \text{ Р/год.}$$

З наведеної таблиці слідує, що мінімальні значення граничних рівнів радіації елементів, при яких в елементній базі можливі необоротні зміни мають інтегральні мікросхеми великої ступені інтеграції та мікропроцесори – $P_{зв}=10^3$, $k_{посл}=2$.

Визначаємо допустимий час роботи пристрою:

$$t_{доп} = \left(\frac{D_{зр} \cdot K_{осл} + 2 \cdot P_1 \cdot \sqrt{1}}{2 \cdot P_1} \right)^2, \quad (6.2)$$

$$t_{доп} = \left(\frac{10^3 \cdot 2 + 2 \cdot 7,63 \cdot \sqrt{1}}{2 \cdot 7,63} \right)^2 = 17308(\text{год}).$$

Таким чином, допустимий час роботи пристрою складатиме 17308 годин при максимальному рівні радіації 7,63 Р/год.

6.3.2 Дослідження безпеки роботи системи діагностування вакуумного високовольтного вимикача в умовах дії електромагнітного імпульсу

За критерієм безпеки роботи системи діагностування вакуумного високовольтного вимикача в умовах дії електромагнітного імпульсу можна прийняти коефіцієнт безпеки:

$$K_6 = 20 \lg \frac{U_d}{U_r} \geq 40 \text{ [дБ]},$$

де U_d – допустиме коливання напруги живлення (для мікросхем 5 В);

U_r – напруга наведена за рахунок електромагнітних випромінювань у вертикальних (горизонтальних) струмопровідних частинах, В.

Допустимі коливання напруги живлення:

$$U_d = U_{ж} + \frac{U_{ж}}{100} * N = 5 + \frac{5}{100} = 5,25(B)$$

В зв'язку з тим, що окремі елементи приладу можуть мати різні значення коефіцієнтів безпеки, то безпека роботи пристрою в цілому визначається мінімальним значенням коефіцієнта безпеки.

З рівняння (6.1) визначаємо:

$$U_r = \frac{U_d}{10^{\frac{40}{20}}} = \frac{5,25}{100} = 0,05(B).$$

Приймемо максимальну довжину горизонтальних струмопровідних частин $l_r=0,58$ м. Тоді горизонтальна складова напруженості електричного поля визначається за формулою:

$$E_r = U_r / l_r = 0,05 / 0,58 = 0,09 \text{ (В/м)}.$$

Звідси вертикальна складова напруженості буде $E_v=90$ В/м.

Таким чином, робота системи діагностування вакуумного високовольтного вимикача можлива у випадку, якщо не перевищується значення вертикальної складової напруженості електричного поля 90 В/м.

6.4 Розробка заходів по підвищенню безпеки роботи системи діагностування вакуумного високовольтного вимикача в умовах надзвичайних ситуацій

З метою зменшення негативного впливу на система діагностування вакуумного високовольтного вимикача можна використати наступні методи.

Для захисту розробки, як і любых радіоелектронних пристроїв від дії іонізуючих випромінювань можна використати алюмінієві сплави, леговані елементами з високим атомним номером (лантаноїдами і рідкоземельними елементами), сплави на основі тугоплавких і рідкоземельних елементів і багатошарові матеріали. Також для боротьби з впливом іонізуючого випромінювання використовують захисні покриття виконані у вигляді наноструктури, яка включає сукупність атомів рідкоземельних елементів, введених в структуру армованої атомно-молекулярної матриці, яка утворює захисний шар.

Найкращим для захисту від ЕМІ є захищене металічним екраном приміщення, в якому розміщена радіоелектронна апаратура. На практиці частіше використовують струмопровідні сітки та плівкові покриття вікон, стільникові металеві конструкції для повітрозбірників та вентиляційних отворів і контактні пружинні прокладки, що розміщуються по периметру дверей і люків. Для захисту від проникнення електромагнітного імпульсу в апаратуру через різні кабельні вводи використовується перехід від електричних мереж зв'язку до практично не залежних від впливів ЕМІ волоконно-оптичних. Також для захисту кабельних вводів використовують в їх конструкції зенерівські діоди.

Отже, досліджуючи безпеку роботи системи діагностування вакуумного високовольтного вимикача в умовах дії іонізуючих випромінювань було виявлено, що він є стійким та не потребує розробки додаткових заходів. Однак при дослідженні безпеки роботи системи діагностування вакуумного високовольтного вимикача під дією електромагнітного імпульсу було

з'ясовано, що є потреба у розробці певних заходів.

Найбільш ефективним заходом є екранування пристрою. Отже, при застосуванні екрана зі сталі система діагностування вакуумного високовольтного вимикача буде стійким в роботі у цих умовах. Для сталюого матеріалу $K=5,2$.

$$A_{\text{екр}} = 40 - K_{\text{ос_min}} - \text{необхідне гасіння в екрані.}$$

$$F=15000 \text{ (Гц).}$$

Проведемо розрахунок додаткового екрана у наступній послідовності:

$$A_{\text{екр}} = K_B - K_{B.\text{розр}} = 40 - (-47) = 87(\text{дБ});$$

$$T = \frac{A_{\text{екр}}}{K\sqrt{F}} = \frac{87}{5,2 \cdot \sqrt{15000}} = 0,14(\text{см}).$$

Отже, необхідне екранування струмоведучих частин сталевим екраном товщиною більше 0,14 (см).

В ході виконання було розглянуто вплив іонізуючого випромінювання та ЕМІ на компоненти схеми, виконано розрахунки з яких видно, що ні один з класів елементів схеми не зазнає більшого впливу за граничне значення, також розраховано термін безпечної роботи пристрою, який складає 17308 год. Що стосується впливу електромагнітного імпульсу, то з урахуванням необхідного рівня коефіцієнта безпеки було розраховано значення напруженості електричного поля. Для підвищення безпеки роботи системи діагностування вакуумного високовольтного вимикача наведено основні заходи боротьби з впливом загрозливих чинників НС.

Отже основною метою даної частини розділу було дослідження оцінки безпеки роботи системи діагностування вакуумного високовольтного вимикача та розробка заходів по підвищенню безпеки його роботи.

ВИСНОВКИ

Основні наукові та практичні результати проведеної роботи є такими:

1. Запропоновано математичну модель для оцінки залишкового комутаційного ресурсу за ресурсними характеристиками вакуумного вимикача, яка дозволяє оцінювати ступінь витрачання комутаційного ресурсу вимикача при комутації останнім різних значень комутуваного струму.

2. Розроблено математичну модель оцінки синхронної роботи контактної системи високовольтного вимикача, яка відрізняється від вже існуючих тим, що дозволяє розрахувати відхилення від граничної величини часу включення високовольтного вимикача та сформувати сигнали керувальної дії оперативному персоналу щодо регулювання рухомих контактів полюсів вимикача. По кожному полюсу формується сигнал керуючої дії (наближення або відхилення його рухомих від нерухомих контактів) для налаштування роботи контактної системи вакуумного вимикача у синхронному режимі.

3. На основі розроблених математичних моделей створені структурні схеми пристроїв для оцінки залишкового робочого комутаційного ресурсу вакуумних вимикачів, для визначення рівня неузгодження одночасності включення полюсів високовольтного вимикача та визначення граничного відхилення положення рухомих контактів полюсів високовольтного вимикача.

4. Запропонована мікропроцесорна структура та алгоритм роботи засобу для оцінки залишкового комутаційного ресурсу вакуумних вимикачів.

5. Реалізовано пристрій визначення неузгодження одночасності ввімкнення полюсів вимикача на базі ПЛІС компанії Altera марки MAXII EMP570T100C5 в середовищі Quartus II 15.0. Шляхом комп'ютерної симуляції доведено коректність реалізації пристрою. Зазначена реалізація пристрою забезпечує підвищену його швидкодію, зменшення енергоспоживання та розмірів.

6. Розроблені пристрої можливо реалізувати у вигляді системи діагностування високовольтного вакуумного вимикача.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. K. Niayesh, and M. Runde, *Power Switching Components: Theory, Applications and Future Trends*. Cham, Switzerland: Springer International Publishing AG, 2017.
2. P. Gill, *Electrical Power Equipment Maintenance and Testing. Second Edition*. Bosa Roca, United States: Taylor & Francis Inc, 2009.
3. R. Smeets, L. Sluis, M. Kapetanovic, D. Peelo, and A. Janssen, *Switching in Electrical Transmission and Distribution Systems*. Chichester, United Kingdom: John Wiley & Sons, Ltd, 2015.
4. D. F. Peelo, *Current Interruption Transients Calculation*. Chichester, United Kingdom: John Wiley & Sons, Ltd, 2014.
5. S.G. Jeyaraj, and Y. Habtay, «Effective and efficient circuit breaker analysis», in *IET Conference on reliability of transmission and distribution networks (RTDN 2011)*, London, 2011, pp. 157-162.
6. В. М. Кутін, М. О. Ілюхін, та М. В. Кутіна, *Діагностика електрообладнання: навчальний посібник*. Вінниця: ВНТУ, 2014.
7. В. Я. Кучер, *Основы технической диагностики и теории надежности*. Санкт-Петербург, Россия: СЗТУ, 2004.
8. В. М. Казак, *Основы контролю та технічної діагностики*. Київ, Україна: НАУ, 2013.
9. А. И. Хальясма, С. А. Дмитриев, С. Е. Кокин, и Д. А. Глушков, *Диагностика электрооборудования электрических станций и подстанций: учебное пособие*. Екатеринбург: Издательство Урал. Ун-та, 2015.
10. W. Hauschild, and E. Lemke, *High-Voltage Test and Measuring Techniques*. Cham, Switzerland: Springer International Publishing AG, 2019.
11. Г. М. Михеев, *Цифровая диагностика высоковольтного оборудования*. М.: Изд. дом «ДОДЭКА», 2009.
12. ПУЕ-2017. *Правила улаштування електроустановок*. Київ: Міненерговугілля України, 2017.

13. СОУ-Н ЕЕ 20.302:2007. *Норми випробування електрообладнання*. Харків: Мінпаливенерго України норми, 2009.
14. В. И. Григорьев и др., *Приборы и средства диагностики электрооборудования и измерений в системах электроснабжения: Справочное пособие*. М.: Колос. - 2006.
15. Е. Е. Привалов, *Диагностика электроэнергетического оборудования: учебное пособие*. М.: Директ-Медиа, 2015.
16. Е. Е. Привалов, *Диагностика электроэнергетического оборудования*. Ставрополь: Параграф, 2014.
17. В. М. Левин, *Диагностика и эксплуатация оборудования электрических сетей*. Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2011.
18. Г. М. Михеев, *Электростанции и электрические сети. Диагностика и контроль оборудования*. М.: Изд. дом «Додэка-XXI», 2010.
19. В. Н. Кольцов, и Ю. М. Миرونюк, «Современные мобильные комплексы для диагностики объектов электроснабжения», *Контроль. Диагностика*. № 12. с. 39-43, 2014.
20. Н. И. Овчаренко, *Автоматизированный анализ состояния высоковольтного оборудования*. М.: Изд. Дом МЭИ, 2009.
21. Обзор отечественных и импортных приборов для контроля высоковольтных выключателей, 2020. [Электронный ресурс]. Доступно: <https://skbpribor.ru/info/reviews/5746>. Дата обращения: Октябрь. 1, 2022.
22. Прибор контроля высоковольтных выключателей ПКВ/М7, 2020. [Электронный ресурс]. Доступно: <https://skbpribor.ru/instrument/pkv-m7/>. Дата обращения: Июнь. 1, 2020.
23. Б. Г. Стогній, М. Ф. Сопель, О. І. Стасюк, В. В. Сорочинський, та О. С. Михайлевський «Інформаційно-діагностичний комплекс РЕГІНА», *МПК G06F 11/00 (2014.01)*. № 88652, Бер. 25, 2015.
24. «BDM» – система мониторинга и диагностики дефектов коммутационного оборудования, 2020. [Электронный ресурс]. Доступно: <https://dimrus.ru/manuals/bdm.pdf>. Дата обращения: Октябрь. 1, 2022.

25. О. Ф. Буткевич, та В. Л. Тутик, «Моніторинг та діагностування електроенергетичних об'єктів та систем України на базі комплексів «Регіна», *Гідроенергетика України*, № 3, с. 46-49, 2010.

26. Б. С. Стогній, О. В. Кириленко, О. Ф. Буткевич, М. Ф. Сопель, О. Б. Рибіна, та В. Л. Тутик, «Система збору та обробки інформації, що реєструється комплексами «Регіна-Ч», *Праці Інституту електродинаміки НАН України*, Вип. 29, с. 35-46, 2011.

27. О. Є. Рубаненко, *Вдосконалення методів і засобів діагностування високовольтних вимикачів: монографія*. Вінниця: ВНТУ, 2012.

28. В. М. Кутін, О. Є. Рубаненко, та С. В. Мисенко, «Вдосконалення методів діагностування високовольтних вимикачів», *Вісник Вінницького політехнічного інституту*, №1, с. 109-113, 2012.

29. В. М. Кутін, О. Є. Рубаненко, та С. В. Мисенко, «Досвід впровадження та забезпечення надійності елегазових вимикачів в умовах експлуатації», *Наукові праці ВНТУ*, №1, с. 1-7, 2013.

30. В. М. Кутін, О. Є. Рубаненко, та С. В. Мисенко, «Визначення діагностичних параметрів оцінки технічного стану високовольтного вимикача», *Енергетика: економіка, технології, екологія*, № 3, с. 33-39, 2014.

31. В. М. Кутін, О. Є. Рубаненко, та С. В. Мисенко, «Визначення технічного стану елегазових високовольтних вимикачів в умовах експлуатації», *Вісник НТУ «ХПІ»*, №60 (1102), с. 57-68, 2014.

32. О. Є. Рубаненко, Ю. Г. Ведміцький, та С. В. Мисенко, «Вдосконалення методів визначення технічного стану високовольтних вимикачів», *Вісник Вінницького політехнічного інституту*, № 3, с. 78-86, 2016.

33. Є. І. Удод, Р. М. Горбей, та В. Ф. Чернов, *Діагностування електроустановок 0,4–750 кВ засобами інфрачервоної техніки*. К.: «КВІЦ», 2007.

34. В. М. Кутін, О. О. Шпачук, М. В. Нікітчук, та В. М. Світко, «Автоматизація аналізу теплового стану електрообладнання», *Вісник Вінницького політехнічного інституту*, № 3, с. 51-56, 2018.

35. В. П. Вавилов, и А. Н. Александров, *Инфракрасная термографическая диагностика в строительстве и энергетике*. М.: Энергопрогресс, 2014.

36. С. А. Бажанов, *Инфракрасная: диагностика электрооборудования РУ*. М.: НТФ «Энергопрогресс», 2000.

37. Е. Е. Привалов, *Диагностика и тепловизионный контроль электроэнергетического оборудования: учебное пособие*. Ставрополь: Изд-во ПАРАГРАФ, 2014.

38. Д. Ю. Уразов, «О преимуществах тепловизионного метода анализа работы электрооборудования», *Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий*. № 3 (53), с. 51-53, 2012.

39. А. Ю. Хренников, и М. Г. Сидоренко, «Тепловизионное обследование электрооборудования подстанций и промышленных предприятий и его экономическая эффективность», *Рынок Электротехники*, № 2 (14), с. 96-100, 2009.

40. M. Landry, F. Leonard, C. Landry, R. Beauchemin, O. Turcotte and F. Brikci, «An Improved Vibration Analysis Algorithm as a Diagnostic Tool for Detecting Mechanical Anomalies on Power Circuit Breakers» in *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 23, no. 4, 2008, pp. 1986-1994.

41. J. V. Anjaneyulu, and G. K. Mohan Rao, «Analysis and Vibration Behavior of a Medium Voltage Spring Operated Switch Gear Mechanism used for Circuit Breaker» in *16th National Conference on Machines and Mechanisms (iNaCoMM2013)*, IIT Roorkee, India, 2013, pp. 972-979.

42. О. Є. Рубаненко, С. В. Мисенко, та О. О. Рубаненко, «Вплив вібрації на подальшу роботу високовольтних вимикачів», *Вібрації в техніці та технологіях*, № 1 (69), с. 72-77, 2013.

43. П. М. Сви, *Методы и средства диагностики оборудования высокого напряжения*. М.: Энергоатомиздат, 1992.

44. А. И. Ящура, *Система технического обслуживания и ремонта общепромышленного оборудования: справочник*. М.: Энас, 2012.
45. С. И. Чичев, В. Ф. Калинин, и Е. И. Глинкин, *Система контроля и управления электротехническим оборудованием подстанций*. М.: Спектр, 2011.
46. Стабилизированный источник постоянного тока РИП-2. Руководство по эксплуатации, 2020. [Электронный ресурс]. Доступно: <http://www.elizpribor.ru/files/products/rip-2.pdf>. Дата обращения: Октябрь. 1, 2022.
47. B10E AC/DC Voltage Power Supply, 2020. [Online]. Available: http://www.stevoelectric.be/user/image/megger-b10e_ds_en_v03.pdf. Accessed on: October 1, 2022.
48. Gadyuchko, and E. Kallenbach, «Magnetische Messung - Neue Wege der Funktionsprüfung bei der Herstellung von Magnetaktoren», in *Innovative Klein- und Mikroantriebstechnik*, Würzburg, 2010, pp. 59-64.
49. M. Ruderman, and A. Gadyuchko, «Phenomenological Modeling and Measurement of Proportional Solenoid with Stroke-dependent Magnetic Hysteresis Characteristics», *IEEE International Conference on Mechatronics*, Takamatsu, 2013, pp. 180-185.
50. Д. В. Шайхутдинов, С. Г. Январев, К. М. Широков, и Р. И. Леухин, «Метод технической диагностики межвитковых замыканий электромагнитных устройств на базе их вебер-амперных характеристик», *Современные наукоемкие технологии*, № 8, с. 69–71, 2014.
51. Д. В. Шайхутдинов, С. Г. Январев, К. М. Широков, и Ш. В. Ахмедов, «Метод технической диагностики нарушений геометрических параметров магнитной системы электромагнитных устройств на базе их вебер-амперных характеристик», *Международный журнал экспериментального образования*, № 8, с. 84–86, 2014.

52. К. М. Широков, «Алгоритм определения магнитных характеристик электротехнических изделий», *Известия вузов. Сев.-Кавк. регион. Техн. науки.*, № 1, с. 70-73, 2013.

53. Е. В. Комаров и др., *Испытание магнитных материалов и систем*. М.: Энергоатомиздат, 1984.

54. Н. И. Горбатенко, М. В. Ланкин, и Н. Д. Наракидзе, «Прибор для определения магнитных характеристик образцов и деталей из магнитомягких материалов», на *Металлургия. Машиностроение. Станкоинструмент – 2006*, Ростов-на-Дону, 2006, с. 77- 80.

55. U. Glet, «Verfahren und Vorrichtung zum Ermitteln von magnetischen Kenngrößen», *Patent DE 102005011227A1*, Br. 11, 2005.

56. J. Vaumbach, E. Kallenbach, U. Kucera, and K. Neumann, «MagHyst®-modular — ein universelles Gerät zur Messung magnetischer Größen und Kennlinien an Materialien, Halbzeugen und Magnetaktoren», *Messeartikel für die Sensor+Test*, 2009.

57. А. М. Гречко, «Экспериментальное исследование влияния вихревых токов в сердечнике магнитопровода на динамические характеристики электромагнитного привода», *Вісник НТУ «ХПИ»*, № 49 (955), с. 9-17, 2012.

58. Б. В. Клименко, и А. М. Гречко, «Электромагнитный привод с двухпозиционной магнитной защелкой для вакуумного выключателя среднего напряжения», *Електротехніка і Електромеханіка*, № 6, с. 40-43, 2007.

59. Е. И. Байда, «Расчет динамики двухпозиционного электромагнита постоянного тока с магнитной защелкой», *Електротехніка і Електромеханіка*, № 4, с. 10-12, 2010.

60. Е. И. Байда, «Динамика нечеткого срабатывания бистабильного электромагнитного актуатора на базе высококоэрцитивных постоянных магнитов», *Електротехніка і Електромеханіка*, № 5, с. 18-20, 2012.

61. R. Alexandru, M. Mihai, V. N. Iosif, and C. Radu, «New solution of linear DC actuator with additional permanent magnets: Working principle, design

and testing», *Revue Roumaine des Sciences Techniques – Serie Électrotechnique et Énergétique*, no. 62, pp. 3-7, 2017.

62. Y. Yong-Min, K. Dae-Kyung, and K. Byung-Il, «Optimal Design of a Permanent Magnetic Actuator for Vacuum Circuit Breaker using FEM», *Journal of Electrical Engineering & Technology*, no. 1, pp. 92-97, 2006.

63. W. A. Zhenxing, S. Liqiong, H. Sainan, G. Yingsan, and L. Zhiyuan, «Permanent Magnetic Actuator for 126 kV Vacuum Circuit Breakers», *IEEE TRANSACTIONS ON MAGNETICS*, vol. 50, no. 3, pp. 129-135, 2014.

64. Y. Fan, and H. Xiaoquang, «Research on the mechanical state parameter extraction method of high voltage circuit breakers», in *10th IEEE International Conference on Industrial Informatics*, Beijing, China, 2012, pp. 1062-1066.

65. M.-H. Kim, A. Smajkic, M. Kapetanovic, and M. Muratovic, «Influence of contact erosion on the state of SF6 gas in interrupted chambers of HV SF6 circuit breakers», in *2014 IEEE International Power Modulator and High Voltage Conference*, Santa Fe, New Mexico, 2014, pp. 466-469.

66. Manea, C. Chiciu, F. Balasiu, and N. Tulici, «Complex method to diagnose the technical state of the medium and high voltage circuit breakers after short-circuit events», in *16th International conference and exhibition on electricity distribution*. Amsterdam, Netherlands, 2001, pp. 1-5.

67. F. Mei, K. Zhu, J. Zheng, and M. Zhu, «Design of high voltage vacuum circuit breaker's on-line monitoring and fault diagnosis system», in *2016 IEEE Advanced Information Management, Communicates, Electronic and Automation Control Conference*, Xi'an, China, 2016, pp. 408-413.

68. L. Wenhua, Y. Xiaoquang, L. Jun, Y. Man, and Z. Sheng, «Study on the comprehensive test technology of circuit breaker mechanical life and its accessories based on virtual instrument», in *26th International Conference on Electrical Contacts*, Beijing, China, 2012. pp. 465-470. doi: <http://doi.org/10.1049/cp.2012.0698>

69. Е. И. Байда, «Мультифизическая модель расчета граничного тока сваривания контактов вакуумного выключателя», *Вісник НТУ «ХПИ»*, № 41, с. 3-9, 2014.

70. А. А. Перцев, В. П. Белотелов, и Л. А. Рыльская, «Способ испытаний вакуумных выключателей на стойкость при сквозных токах короткого замыкания», *МПК G01R 31/327 (2006.01)*. № 2269140, Янв. 1, 2006.

71. В. С. Деева, и С. М. Слободян, «Модель коагуляции контакта вакуумного выключателя», *Вопросы электромеханики. Труды ВНИИЭМ*, № 4, с. 39-42, 2013.

72. О. А. Аношин, П. В. Петров, и С. И. Малаховский, «О возможности использования силы удержания привода как критерия оценки основных характеристик вакуумных выключателей», *Электрические сети и системы*, № 6, с. 10-12, 2005.

73. X. Wang, M. Rong, Y. Wu, F. Yang, and S. Jia, «Analyses of mechanical characteristics of vacuum circuit breaker during the closing process taking electrodynamic force into account», *IET Sci. Meas. Technol*, no. 6. pp. 323-328, 2007.

74. M. Rong, X. Wang, W. Yang, and S. Jia, «Theoretical and experimental analyses of the mechanical characteristics of a medium-voltage circuit breaker», *IEE Proc.-Sci. Meas. Technol.* vol. 152, no. 2, pp. 45-49, 2005.

75. X. Zhan, X. Liu, L. Li, G. Zhu, and P. Li, «Experimental research on arc characteristics for a 40.5-kV vacuum circuit breaker», in *The 14th IET International Conference on AC and DC Power Transmission (ACDC 2018)*. J., Eng., 2018, pp. 2777-2780.

76. Soloot, A. Gholami, and K. Niayesh, «Study on Post Arc Current and Transient Recovery Voltage in Vacuum Circuit Breaker», *International Review of Modeling and Simulation*, vol. 4, no. 2, pp. 1-11, 2011.

77. Г. М. Михеев, *Цифровая диагностика высоковольтного оборудования*. М.: Изд. дом «ДОДЭКА-XX1», 2008.

78. Ю. А. Федоров, Г. М. Михеев, и В. М. Шевцов, «Способ контроля характеристик высоковольтных выключателей и устройство для его осуществления», *МПК G01R 31/327 (2006.01)*. № 2330302, Июнь 27, 2008.

79. A. Razi-Kazemi, M. Vakilian, K. Niayesh, and M. Lehtonen, «Data mining of online diagnosed waveforms for probcondition assessment of SF6 circuit», *IEEE Transaction on power delivery*, vol. 30, no. 3, pp. 1354-1362, 2015.

80. T. Suwanasri, S. Wattanawongpitak, T. Homkeanchan, and C. Suwanasri «Failure statistics and inventory management or high voltage circuit breaker using statistical distribution techniques», in *2012 IEEE International Conference on Condition Monitoring and Diagnosis*, Bali, Indonesia, 2012, pp. 513-516.

81. А. А. Базавлук, А. Р. Бакиров, и Д. А. Шкитов, «Исследование перенапряжений при коммутациях вакуумных выключателей», *Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал)*, № S4, с. 265-279, 2011.

82. Высоковольтный союз РЗВА, *Выключатели вакуумные серии ВР Техническая информация НК АИ.670049.011*. Ровно, Украина: Высоковольтный союз РЗВА, 2013.

83. Сравнительный анализ применения ПЛИС и микропроцессоров при разработке информационно-управляющих систем, важных для безопасности АЭС, Научно-технический отчет. НАУ им. Н. Е. Жуковского ХАИ, НТСКБ Полисвит, ИПМЭ им. Г. Е. Пухова НАН Украины, ИПММС НАН Украины, 2005.

84. І. А. Клименко, «Класифікація та архітектурні особливості програмування мультіпроцесорних систем-на-кристалі», *Проблеми інформатизації та управління*, № 1, с. 55-72, 2012.

85. Altera Corporation MAXII EPM570T100C5, 2020. [Online]. Available: <http://datasheet.buhieen.net/EPM570T100C5N.pdf>. Accessed on: October 1, 2022.

86. ДСНіП «Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості

трудового процесу». Наказ МОЗ № 248 від 08.04.2014. [Чинний від 2014-05-30]. URL: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=58073.

87. ДСТУ-Н Б А 3.2-1: 2007. Настанова щодо визначення небезпечних і шкідливих факторів та захисту від їх впливу при виробництві будівельних матеріалів і виробів та їх використання в процесі зведення та експлуатації об'єктів будівництва. [Чинний від 2007-12-01]. URL: <https://profidom.com.ua/a-3/a-3-2/824-dstu-n-b-a-3-2-12007-nastanova-shhodo-viznachenna-nebezpechnih-i-shkidlivih-faktoriv->.

88. ДБН А.3.2-2-2009. ССБП. Охорона праці і промислова безпека у будівництві. Основні положення. [Чинний від 2009-01-27]. Вид. офіц. К. : Мінрегіонбуд України, 2009. 116 с.

89. ДСТУ Б В.2.5-82:2016. Електробезпека в будівлях і спорудах. Вимоги до захисних заходів від ураження електричним струмом. [Чинний від 2017-04-01]. Вид. офіц. К. : ДП «УкрНДНЦ», 2016. 109 с.

90. НПАОП 40.1-1.32-01. (ДНАОП 0.00-1.32-01). Правила будови електроустановок. Електрообладнання спеціальних установок. [Чинний від 2002-01-01]. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0272203-01#Text>.

91. ДСН 3.3.6.042-99. Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень. Постанова МОЗ № 42 від 01.12.1999. [Чинний від 1999-12-01]. URL: <http://mozdocs.kiev.ua/view.php?id=1972>.

92. ДБН В.2.5-67:2013. Опалення, вентиляція та кондиціонування. [Чинний від 2014-01-01]. Вид. офіц. К. : Мінрегіонбуд України, 2013. 149 с.

93. ДБН В.2.5-28:2018 Природне і штучне освітлення. [Чинний від 2019-03-01]. Вид. офіц. К. : Мінрегіонбуд України, 2018. 133 с.

94. ДСН 3.3.6.037-99. Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку. Постанова МОЗ № 37 від 01.12.1999. [Чинний від 1999-12-01]. URL: <http://document.ua/sanitarni-normi-virobnichogo-shumu-ultrazvuku-ta-infrazvuku-nor4878.html>.

95. ДСН 3.3.6.039-99. Державні санітарні норми виробничої загальної та локальної вібрації. Постанова МОЗ № 39 від 01.12.1999. [Чинний від 1999-12-01]. URL: <http://zakon2.rada.gov.ua/rada/show/va039282-99>.

96. Кодекс цивільного захисту України. К.: ВР України, 2012. URL: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/5403-17>.

97. Державець О.О. Діагностування високовольтних вакуумних вимикачів [електронний ресурс] / В.В. Грабко, О.О. Державець // Матеріали конференції «Молодь в науці: дослідження, проблеми, перспективи (МН-2023)», Вінниця, ВНТУ, 2022. Режим доступу: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/mn/mn2023/paper/viewFile/16881/1408>
0. (2 стор.)

Додаток А
Міністерство освіти і науки України
Вінницький національний технічний університет
Факультет електроенергетики та електромеханіки

ЗАТВЕРДЖУЮ

В.о. зав. кафедри КЕМСК

к.т.н., доц.


Микола МОШНОРІЗ

« 20 » вересня 2022р.

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

на магістерську кваліфікаційну роботу

**СИСТЕМА ДІАГНОСТУВАННЯ ВАКУУМНОГО
ВИСОКОВОЛЬТНОГО ВИМИКАЧА**

08-16.МКР.002.00.000 ТЗ

Керівник роботи

д.т.н., проф.


Володимир ГРАБКО

« 20 » вересня 2022р.

Виконавець: ст. гр. ЕПА-21м


Олексій ДЕРЖАВЕЦЬ

« 20 » вересня 2022р.

1 Загальні відомості

Повне найменування розробки «Система діагностування вакуумного високовольтного вимикача».

Скорочене найменування розробки – «Система діагностування вакуумного високовольтного вимикача».

Замовник – Кафедра комп'ютеризованих електромеханічних систем і комплексів.

2 Підстави для розробки

Індивідуальне завдання та наказ ректора Вінницького національного технічного університету про затвердження тем дипломного проектування.

3 Призначення розробки і галузь використання

Розробка спрямована на використання сумісно з високовольтними вакуумними вимикачами і призначена для оцінки їх технічного стану. Зокрема, передбачається контролювання за витрачанням комутаційного ресурсу та контроль одночасності руху силових контактів.

4 Вимоги до розробки

Результатом роботи має бути створення пристроїв, які дозволяють оцінювати комутаційний ресурс вакуумних високовольтних вимикачів. Враховуючи те, що в зазначених вимикачах в процесі роботи погіршується стан механічної конструкції та відбувається розрегулювання контактної системи, доцільно розробити підхід для визначення синхронності ввімкнення контактів та формування керувальних дій для регулювання відстані між контактами у разі її зміни в більшу або меншу сторону.

5 Комплектація розробки

Пропонована система діагностування вакуумних вимикачів реалізується на основі створення ряду пристроїв, які дозволяють оцінювати стан

роботоздатності вимикачів за вимірюванням комутованого струму та швидкісних характеристик.

6 Джерела розробки

1. Бржезицький В. О., Зелінський В. Ц., Лежнюк П. Д., Рубаненко О. Є. Анищенко В. А. Електричні апарати: підручник // Херсон: Олді-плюс, 2016. – 602 с.

2. Клименко Б.В. Електричні апарати. Електромеханічна апаратура комутації, керування та захисту. Загальний курс : навчальний посібник. – Харків: Вид-во «Точка», 2012. – 340 с.

3. Кисельов М. І. Конспект лекцій із дисципліни «Електричні апарати» (для студентів 2 курсу денної та 3 курсу заочної форм навчання за напрямом підготовки 6.050702 – «Електромеханіка» зі спеціальності «Електромеханічні системи автоматизації та електропривод») / М. І. Кисельов, В. М. Фатеев; Харк. нац. акад. міськ. госп–ва. – Х. : ХНАМГ, 2012. – 84 с.

4. Чунихин А. А. Электрические аппараты: общий курс: учеб. для электротехн. и электроэнергет. специальностей вузов. Изд. 2-е, перераб. и доп. М.: Энергоатомиздат, 1988. – 720 с.

7 Технічні характеристики

Для розв'язання задачі оцінки комутаційного ресурсу вимикача необхідно забезпечити діапазон вимірювання струмів від номінального робочого значення струму до максимального значення струму комутації. Ці значення струмів різні для різних типів вакуумних вимикачів в залежності від виконання камери гасіння дуги. Необхідно передбачити можливість покращання характеристики перетворення трансформатора струму у разі його роботи на кривій насичення магнітопроводу.

Для визначення розбіжності у регулюванні відстані рухомих контактів від нерухомих необхідно оцінювати напрямок регулювання контактів та знаходити відстань між ними.

8 Етапи виконання

Основна частина	
Графічна частина	

9 Елементна база

Використовувати елементи аналогової та цифрової схемотехніки промислової елементної бази.

10 Конструктивне виконання

Необхідно розробити структурні схеми та здійснити частково їх комп'ютерне моделювання.

11 Показники технологічності

Для розробки пристроїв використовується сучасна елементна база та комп'ютерні середовища створення таких засобів.

12 Технічне обслуговування і ремонт

Технічне обслуговування та ремонт здійснюється фахівцями електромеханіками, які володіють методами схемотехніки та програмування мікропроцесорних засобів.

13 Живлення системи діагностування

Живлення розроблених окремих засобів системи діагностування здійснюється від електричної мережі напругою 220 В.

14 Порядок контролю та прийняття

Виконання етапів графічної та розрахункової документації магістерської кваліфікаційної роботи контролюється керівником згідно з графіком виконання роботи. Прийняття роботи здійснюється комісією затвердженою зав. кафедрою згідно з графіком захисту.

Додаток Б
(обов'язковий)

ІЛЮСТРАТИВНА ЧАСТИНА

**СИСТЕМА ДІАГНОСТУВАННЯ ВАКУУМНОГО
ВИСОКОВОЛЬТНОГО ВИМИКАЧА**

Вінницький національний технічний університет

Кафедра комп'ютеризованих електромеханічних систем і комплексів

Державець Олексій Олександрович

**Система діагностування вакуумного високовольтного
вимикача**

Науковий керівник

Грабко Володимир Віталійович

Д.Т.Н., професор

Активация Windows
Чтобы активировать Windows,
перейдите на страницу
"Параметры".

Вінниця – 2022

Мета, задачі, об'єкт та предмет дослідження

Метою дослідження є підвищення надійності роботи вакуумних вимикачів шляхом вдосконалення методів і засобів діагностування контактної системи вакуумного вимикача.

Відповідно до вказаної мети необхідно розв'язати такі основні задачі:

- провести аналіз існуючих методів та засобів діагностування комутаційних апаратів;
- розробити математичні моделі діагностування контактної системи вакуумних вимикачів;
- за математичними моделями розробити структурні схеми пристроїв для оцінки залишкового комутаційного ресурсу та діагностування контактної системи вакуумного вимикача;
- здійснити реалізацію розроблених засобів в мікропроцесорному виконанні та з використанням ПЛІС.

Об'єктом дослідження в магістерській роботі є процеси зміни технічного стану вакуумних вимикачів в процесі їх експлуатації.

Предметом дослідження є методи та засоби визначення технічного стану контактної системи вакуумних вимикачів.

Аналіз існуючих засобів діагностування комутаційних апаратів

Таблиця 1 – Порівняльна таблиця пристроїв діагностування

Тип пристрою	Тип вимикачів				Кількість дискретних каналів	Вимірювані канали струму	Сенсори лінійні (Л), Кутові (К)	Енергонезалежна пам'ять	Пристрій введення/виведення інформації
	Вакуумні	Елегазові	Масляні	Повітряні					
ПКВ/УЗ	+	+	+	+	20	+	+	+	+
ПКВ/М6	+	+	+	-	3	-	+	-	-
ПКВ/М7	+	+	+	-	4	+	+	-	-
ПОЛІКОМ	+	+	+	+	18	+	Л	+	+
Рекон	+	+	+	+	16	+	-	+	-
ТМ-1800	+	+	+	+	16	+	+	+	-
СОВА-2	+	+	+	+	16	+	Л	+	+
РК-АЦП-03М	+	+	+	+	18	+	+	+	+
МАРС-1	-	-	+	-	3	-	-	+	-
НИКТА	+	+	+	+	14	+	-	+	+

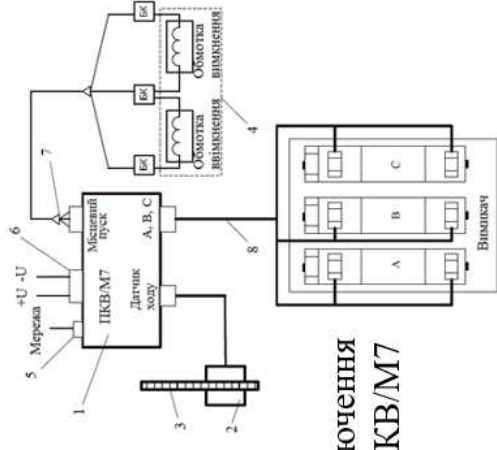
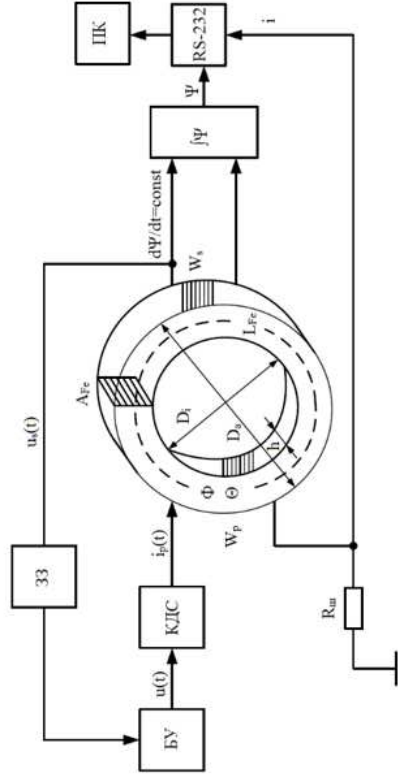
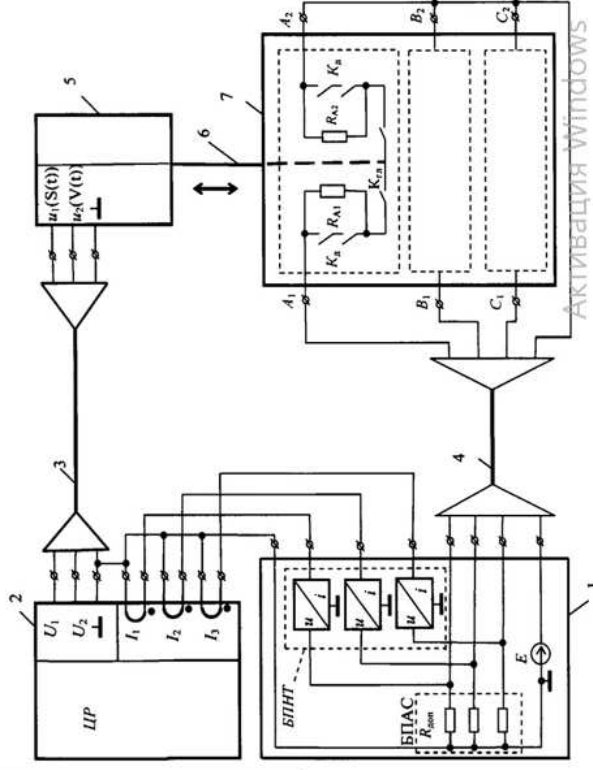


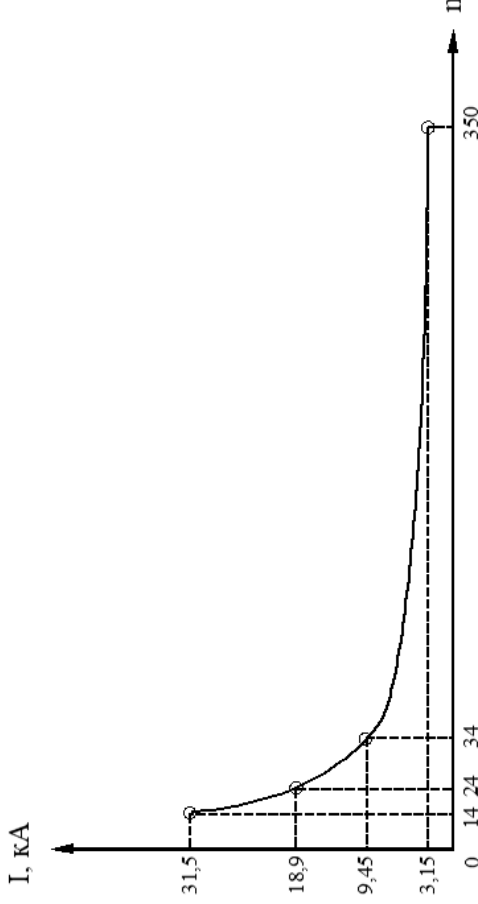
Схема підключення пристрою ПКВ/М7



Активіція Windows

Структурна схема пристрою прискореного контролю характеристик високовольтних вимикачів

Математична модель витрачання комутаційного ресурсу за значеннями комутуваних струмів



Знаючи залежність $n = f(I)$, знаходимо вагові коефіцієнти Γ_i , якими враховується витрачання комутаційного ресурсу вимикача при різних значеннях струму I_i , що протікає через вимикач в момент комутації.

$$\Gamma_i = \frac{1}{n_i}$$

Залишковий комутаційний ресурс

$$R = 1 - \sum_{i=1}^X \Gamma_i$$

X - загальна попередньо невідома кількість комутацій, яку може виконати вимикач до повного вичерпання робочого ресурсу.

Ресурс вимикача, що витрачається під час однієї комутації номінального робочого струму вимикача I_H

$$\Gamma_H = \frac{1}{n_H}$$

Ваговий коефіцієнт k_i , що кількісно відповідає ступеню витрачання ресурсу вимикача за одну комутацію в перерахунку на кількість комутацій номінального робочого струму вимикача

$$k_i = \frac{\Gamma_i}{\Gamma_H}$$

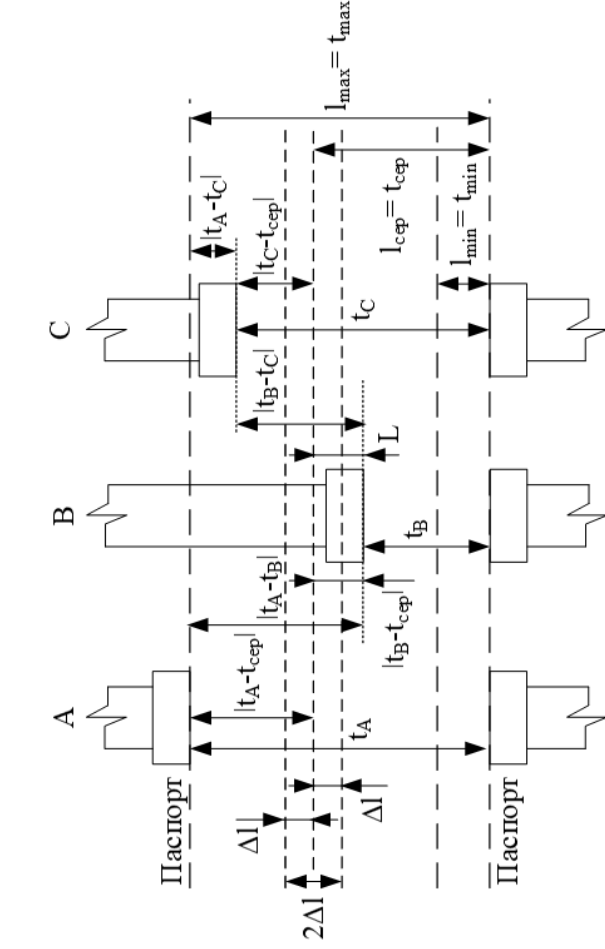
Залишковий комутаційний ресурс вакуумного вимикача

$$R = n_H - \sum_{i=1}^X k_i m_i$$

Активация Window
Чтобы активировать Winс
"Параметры".

m_i - кількість комутацій i-го значення комутуваного струму.

Математична модель оцінки та налаштування синхронної роботи контактної системи вакуумного вимикача

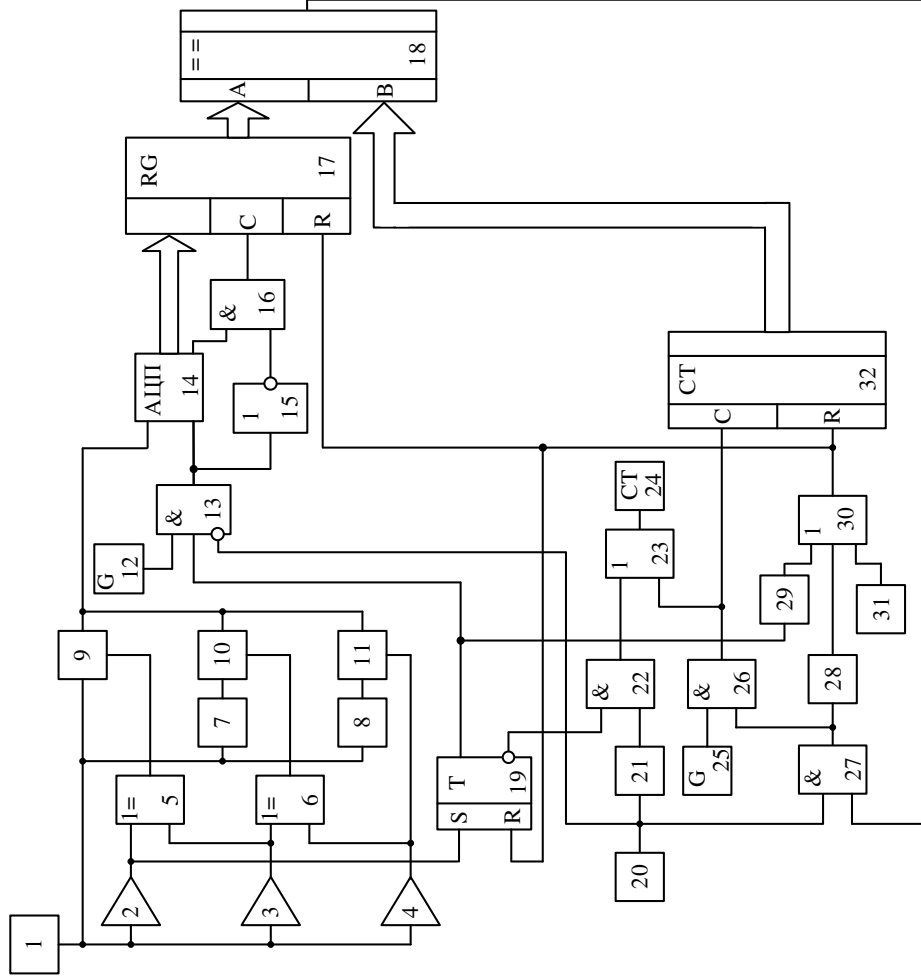


Часові діаграми узгодження ввімкнення контактної системи полюсів вимикача

$$\left. \begin{aligned}
 t_{\text{сер}} &= \frac{t_{\text{max}} + t_{\text{min}}}{2}; \\
 l_c &= \frac{l_{\text{max}} + l_{\text{min}}}{2}; \\
 L &= \min \left\{ |t_A - t_{\text{сер}}|; |t_B - t_{\text{сер}}|; |t_C - t_{\text{сер}}| \right\}; \\
 t_{\text{min}} &\leq t_{\text{п}} \leq t_{\text{max}}; \\
 t_{\text{п}} - t_{\text{сер}} &\geq L \rightarrow \text{П} \downarrow; \\
 t_{\text{п}} - t_{\text{сер}} < 0 &\left. \vphantom{t_{\text{п}} - t_{\text{сер}} < 0} \right\} \rightarrow \text{П} \uparrow; \\
 t_{\text{сер}} - t_{\text{п}} &\geq L \left. \vphantom{t_{\text{сер}} - t_{\text{п}} \geq L} \right\} \rightarrow \text{П} \uparrow; \\
 t_{\text{п}} - t_{\text{сер}} = 0 &\rightarrow \text{норма}; \\
 t_{\text{п}} - t_{\text{сер}} > L + \Delta l &\rightarrow \text{П} \downarrow \downarrow; \\
 t_{\text{сер}} - t_{\text{п}} > L - \Delta l &\rightarrow \text{П} \uparrow \uparrow; \\
 |t_A - t_B| \vee |t_B - t_C| \vee |t_C - t_A| &\leq \Delta t_{\text{доп}}.
 \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

t_{max} – найбільший час руху контактів вимикача із вимкненого стану у ввімкнений; t_{min} – найменший час руху контактів вимикача із вимкненого стану у ввімкнений; $t_{\text{сер}}$ – середній час руху контактів; l_{max} – максимальна відстань між контактами вимикача в діапазоні допустимих значень; l_{min} – мінімальна відстань між контактами вимикача в діапазоні допустимих значень; L – мінімальна неузгодженість ввімкнення; $t_{\text{п}}$ – час ввімкнення полюса вимикача; $\text{П} \downarrow$ – направлена дія регулювання полюса вимикача в сторону збільшення відстані між контактами; $\text{П} \uparrow$ – направлена дія регулювання полюса вимикача в сторону збільшення відстані між контактами; $\text{П} \downarrow \downarrow$ – направлена дія щодо термінового регулювання полюсів вимикача в сторону зменшення відстані між контактами; $\text{П} \uparrow \uparrow$ – направлена дія щодо термінового регулювання полюсів вимикача в сторону збільшення відстані між контактами; $\Delta t_{\text{доп}}$ – допустимий час з паспортних даних неузгодженого ввімкнення полюсів вимикача

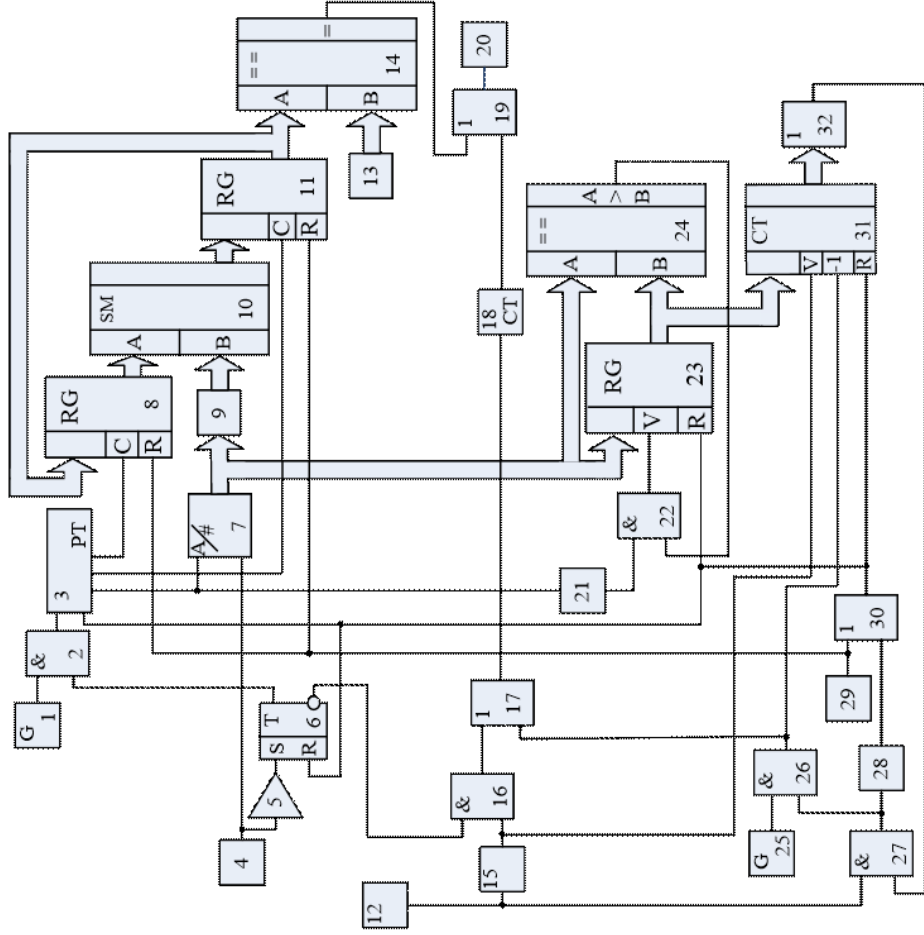
08-16.МКР.003.00.000 Е2



Ім'я, № ориг.	Пішнісі дата	Зам. імв. №	Імв. № дубл.	Пішнісі дата
---------------	--------------	-------------	--------------	--------------

08-16.МКР.003.00.000 Е2				
Зм. / Арк.	№ докумен.	Пішнісі	Дата	Масштаб
Розробив:	Дервась О.О.			
Перевірив:	Грибко В.В.			
Т. контр.				
Літ.	Маса	Літ.	Аркушів	І
Аркуш	І	Аркушів	І	
Система діагностування вакуумного високоточного вимісача				
Структурна схема пристрою з підвищеною точністю вимірювання струму				
Норм. кон.				Імв. № ориг.
Зат. верді.				Модернізіз М.М.
				Гр. ЕПА-21М

08-16.МКР.003.00.000 Е2

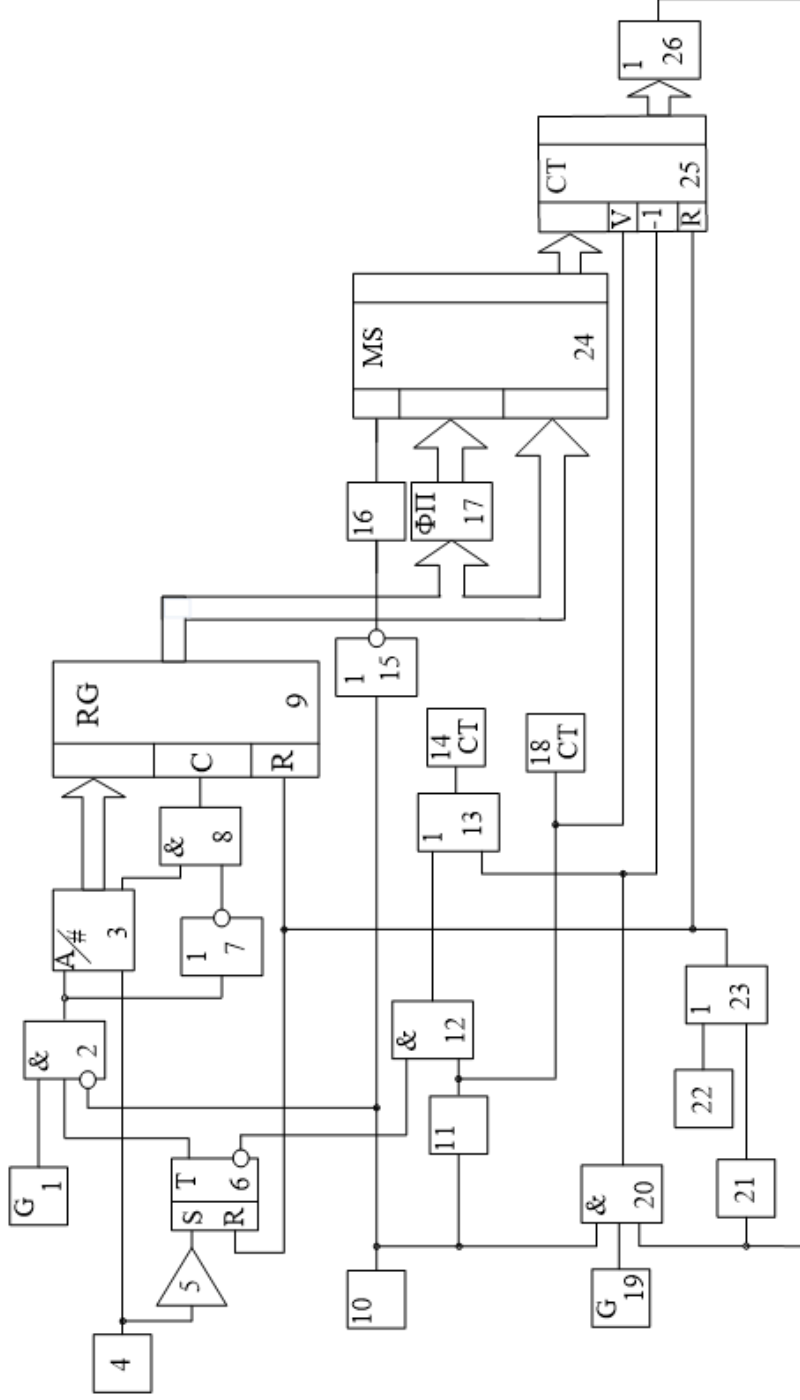


08-16.МКР.003.00.000 Е2

Зм. / Арк.	№ докумен.	Пішніс	Дата
Розробив:	Дервась О.О.		
Перевірив:	Грибко В.В.		
Т. конгр.			
Норак.кон.	Бомбик В.С.		
Зат.верд.	Мошторізі М.М.		
Система діагностування вакуумного високовольтного выключача			
Структурна схема пристрою з вимірюванням енергії електричної дуги			
Літ.	Маса	Масштаб	
Аркуш 1	Аркушів 1		
гр. ЕПА-21М			

Ім. № орг.	Пішніс і дата	Зам. ім. №	Ім. № дуб.	Пішніс і дата
------------	---------------	------------	------------	---------------

08-16.МКР.003.00.000.Е2



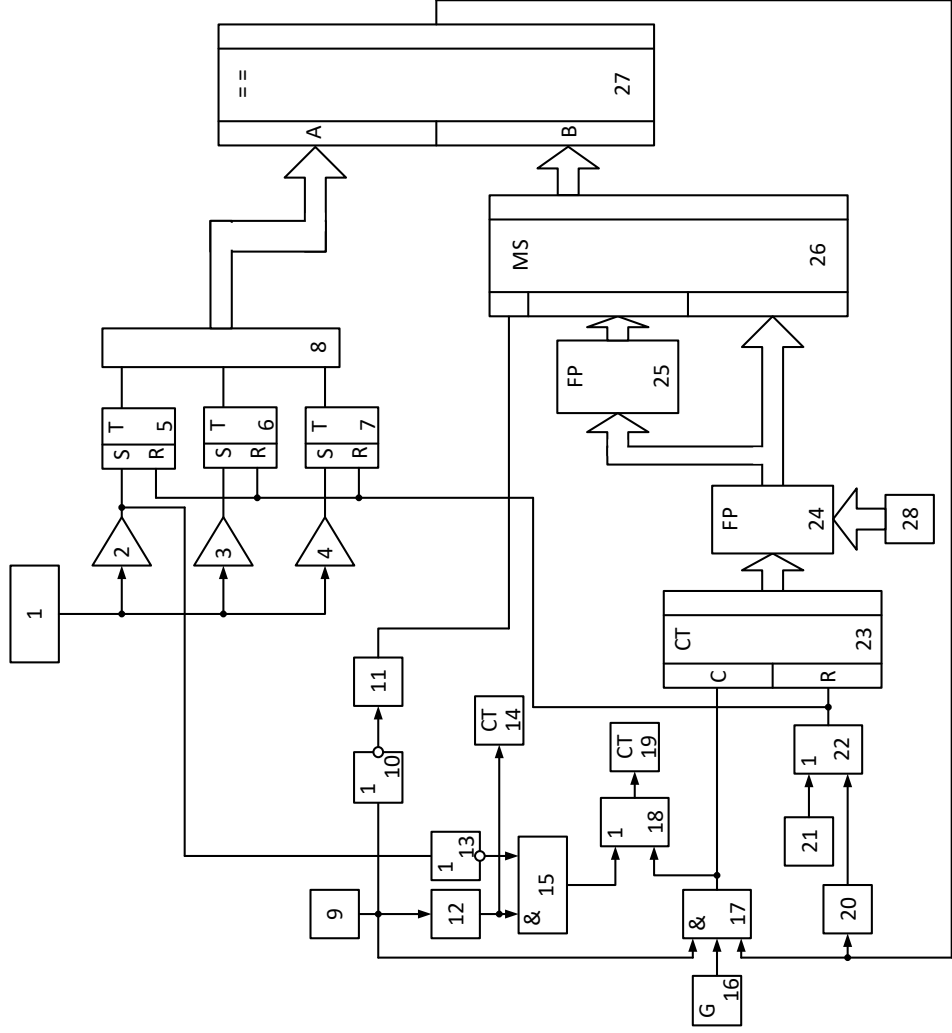
08-16.МКР.003.00.000.Е2

Зм.	Арк.	№ докумен.	Пілля	Дата	Літ.	Маса	Масштаб	
Розробив:	Дервась О.О.							
Перевірив:	Гришко В.В.							
Т. конгр.								
Норм. кон.	Бомбик В.С.							
Зат. версі.	Мошторізі М.М.							
							Аркуш 1	Аркушів 1
							гр. ЕПА-21М	

Система діагностики вакуумного високовольтного вимикача
Структурна схема пристрою з вимірюванням струму в момент розриву контактів

Ім. № ориг.	Пілля і дата	Зам. ім. №	Ім. № дубл.	Пілля і дата
-------------	--------------	------------	-------------	--------------

08-16.МКР.003.00.000 Е2

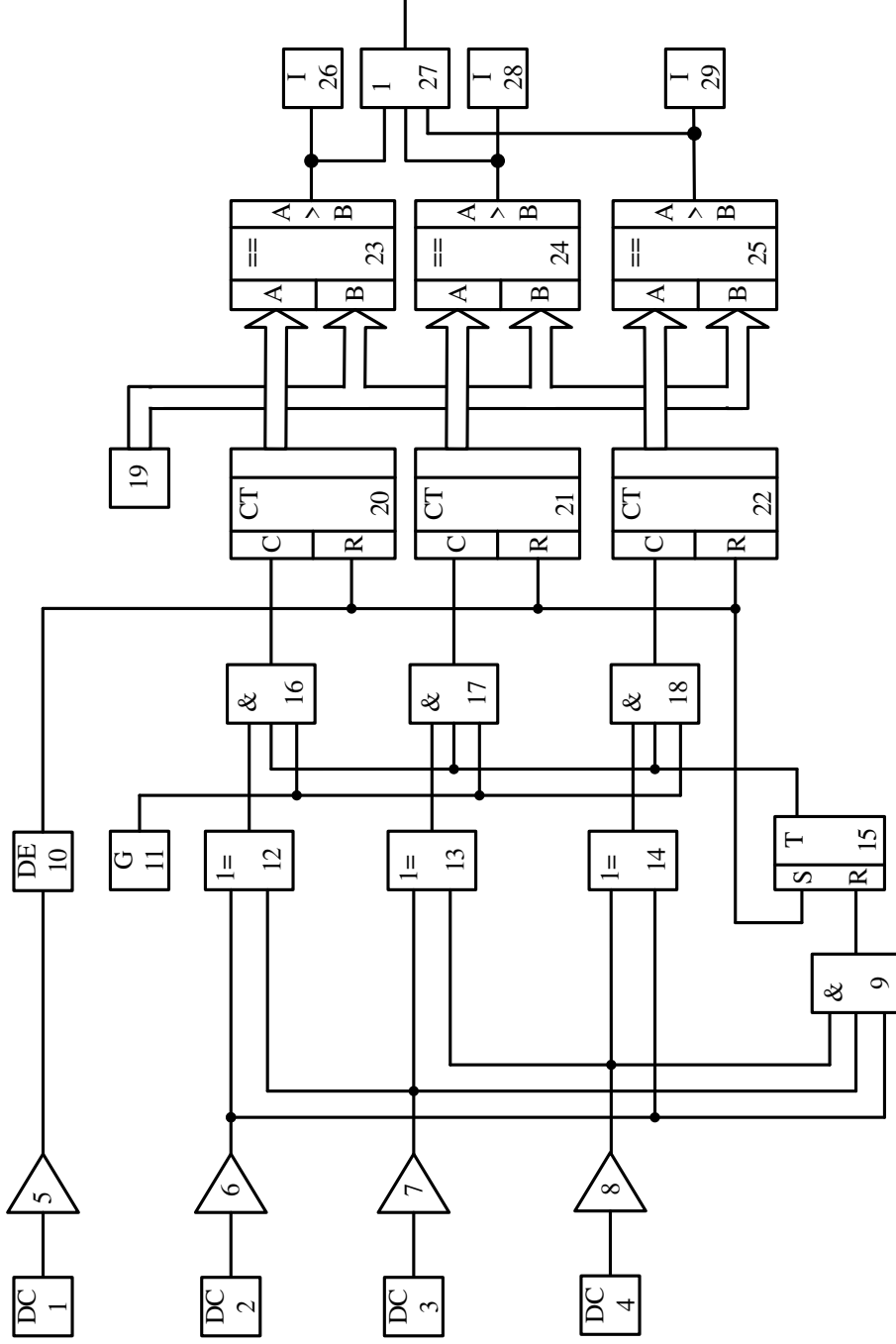


08-16.МКР.003.00.000 Е2

№ документа	Дата	Лист	Масштаб
08-16.МКР.003.00.000 Е2			
Зм. / Арк.	№ документа	Пішніс	Дата
Розробив:	Дервась О.О.		
Перевірив:	Гришко В.В.		
Т. конгр.			
Норм. кон.	Бомбик В.С.		
Зат. верд.	Мошторізі М.М.		
Система діагностики вакуумного високовольтного трансформатора			Літ.
Структурна схема пристрою з врахуванням ресурсних характеристик різних типів вимісачів			Аркуш 1
			Аркушів 1
			Гр. ЕПА-21М

Ім. № ориг.	Пішніс і дата	Зам. імв. №	Імв. № дубл.	Пішніс і дата

08-16.МКР.003.00.000.Е2



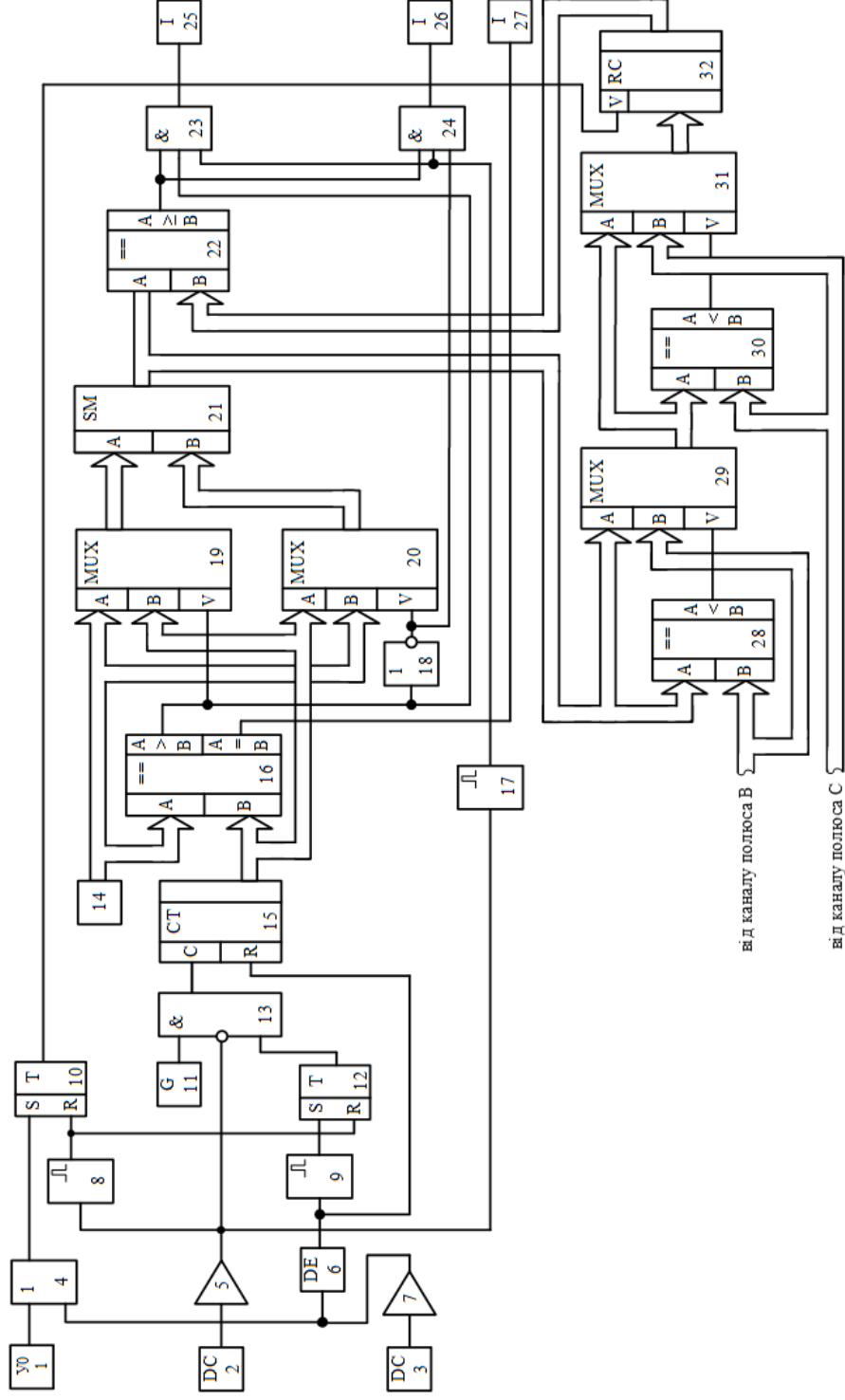
08-16.МКР.003.00.000.Е2

Зм.	Арк.	№ докумен.	Пішніс	Дата	Літ.	Маса	Масштаб	
		Розробив:	Дервась О.О.					
		Перевірив:	Грибко В.В.					
		Т. конгр.						
		Норм.кон.	Бомбик В.С.					
		Зат.верд.	Мошторіз М.М.					
							Аркуш	1
							Аркушів	1
							гр. ЕПА-21М	

Система діагностування вакуумного високовольтного вимикача
Структурна схема пристрою для визначення синхронності ввімкнення полюсів вимикача

Ім'я, № ориг.	
Пішніс і дата	
Зам. ім'я, №	
Ім'я, № дубл.	
Пішніс і дата	

08-16.МКР.003.00.000 Е2



від каналу полюса В
від каналу полюса С

08-16.МКР.003.00.000 Е2

08-16.МКР.003.00.000 Е2		Літ.		Маса		Масштаб	
Зм.	№ докум.	Пішис	Дата				
Розробив:	Дервась О.О.						
Перевірив:	Грибко В.В.						
Т. конгр.							
Система діагностики в акумуляторно високовольтного вимикача							
Структурна схема пристрою для формування літ налаштування електричної роботи і контактів системи							
Норм. кон.				Бомбик В.С.		гр. ЕПА-21М	
Зат. версі.				Мошторізі М.М.			

Ім. № орг.	Пішис і дата	Зам. ім. №	Ім. № дуг.	Пішис і дата
------------	--------------	------------	------------	--------------

Реалізація пристрою діагностування неузгодження одночасності ввімкнення полюсів вимикача із застосуванням програмованих логічних інтегральних мікросхем

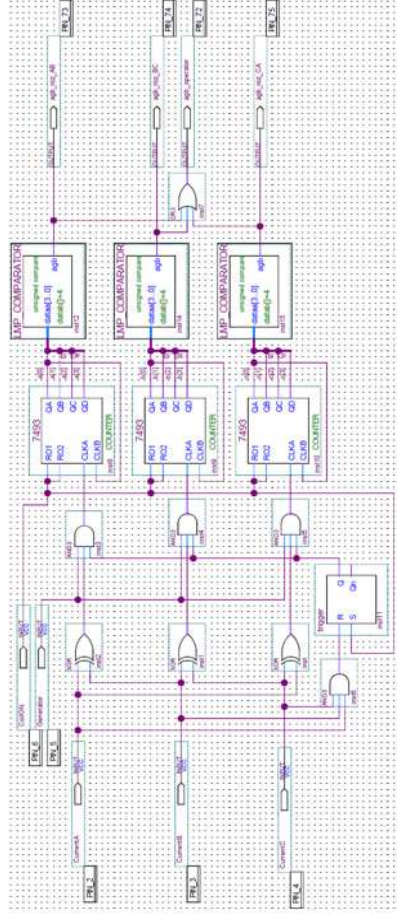
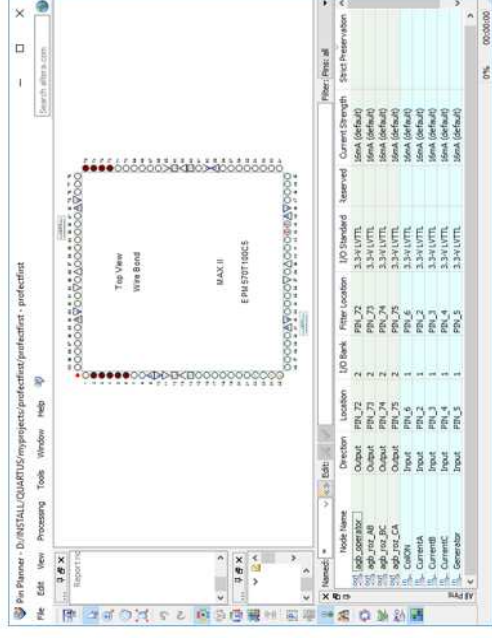
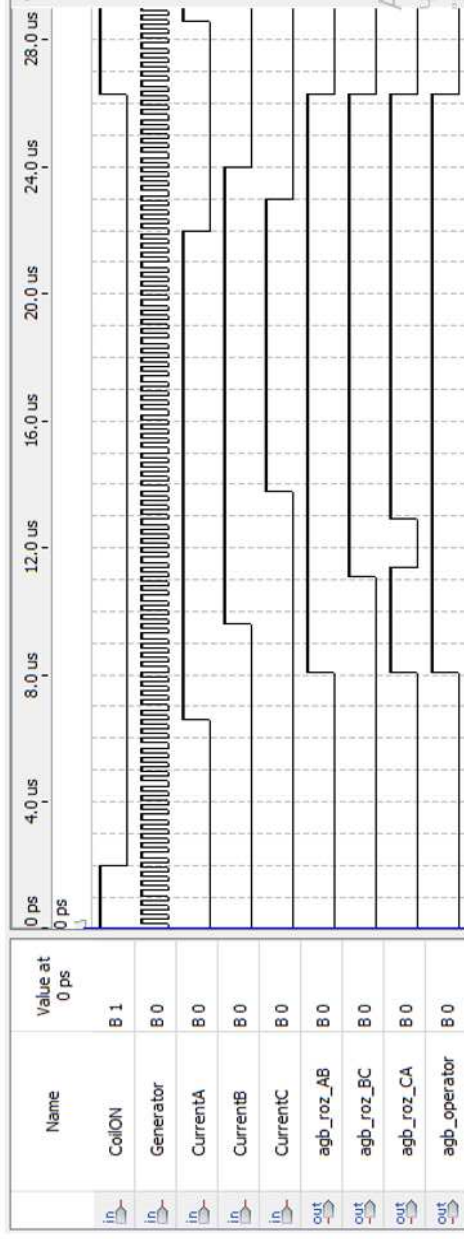


Схема засобу діагностування неузгодження одночасності
ввімкнення полюсів вимикача



Вікно конфігурації входів та виходів мікросхеми



Діаграма сигналів, що відображають роботу засобу для
діагностування неузгодження ввімкнення полюсів вимикача

Активация Windows
Чтобы активировать Windows
Параметры".

Наукова новизна та практичне значення одержаних результатів

1. Розроблено математичну модель для оцінки залишкового комутаційного ресурсу за ресурсними характеристиками вакуумного вимикача, яка дозволяє оцінювати ступінь витрачання комутаційного ресурсу вимикача при комутації останнім різних значень комутowanego струму.
2. Розроблено математичну модель оцінки синхронної роботи контактної системи вимикача, що на відміну від існуючих, дозволяє розраховувати відхилення від допустимого значення часу ввімкнення вимикача та формувати сигнали керуючої дії для оперативного персоналу щодо регулювання рухомих контактів полюсів вимикача. Для кожного полюса формується інформативний сигнал на зближення або віддалення його рухомих контактів від нерухомих для забезпечення синхронної роботи контактної системи вимикача.
3. На основі математичних моделей для визначення неузгодження одночасності ввімкнення полюсів вимикача та визначення допустимого відхилення положення рухомих контактів полюсів вимикача розроблені структурні схеми пристроїв, які реалізуються на програмованих логічних інтегральних схемах.
4. З використанням математичної моделі для визначення неузгодження одночасності ввімкнення полюсів вимикача реалізовано пристрій визначення неузгодження одночасності ввімкнення полюсів вимикача із використанням ПЛІС на базі мікросхеми Altera марки MAXII EPM570T100C5. Програму розроблено в середовищі Quartus II 15.0. Комп'ютерне моделювання підтверджує коректність реалізації пристрою. Таке виконання дозволяє підвищити швидкість пристрою, зменшити його енергоспоживання та розміри.
5. Розроблені пристрої можливо реалізувати у вигляді системи діагностування високовольтного вакуумного вимикача.

08-16.МКР.003.00.000

Зм.	Арк.	№ докумен.	Підпис	Дата	Система діагностування вакуумного високовольтного вимикача.	Літ.	Маса	Масштаб
Розробив:		Державець О.О.		15.11.22				
Перевірів		Грабко В.В.		15.11.22				
Т. контр.								
Решинзент		Шулє Ю.А.		19.12.22		Аркуш	Аркушів	
Норм.кон.		Бомбик В.С.		30.11.22		ВНТУ, гр. ЕПА-21м		
Затверд.		Мошноріз М.М.		30.11.22				

08-16.МКР.003.00.000

Зм.	Арк.	№ докумен.	Підпис	Дата	Система діагностування вакуумного високовольного вимикача. Мета задачі, об'єкт та предмет дослідження	Літ.	Маса	Масштаб
Розробив:		Державець О.О.		15.11.22				
Перевірів		Гرابко В.В.		15.11.22				
Т. контр.								
Рецизент		Шулле Ю.А.		19.12.22		Аркуш	Аркушів	
Норм.кон.		Бомбик В.С.		30.11.22	ВНТУ, гр. ЕПА-21м			
Затверд.		Мошноріз М.М.		30.11.22				






08-16.МКР.003.00.000

Зм.	Арк.	№ докумен.	Підпис	Дата	Літ.			Маса	Масштаб
Розробив:		Державець О.О.		15.11.22	Система діагностування вакуумного високовольтного вимикача. Аналіз існуючих засобів діагностування комутаційних апаратів				
Перевірів		Гرابко В.В.		15.11.22					
Т. контр.									
Рецизент		Шулле Ю.А.		19.12.22					
Норм.кон.		Бомбик В.С.		30.11.22	Аркуш	Аркушів		ВНТУ, гр. ЕПА-21м	
Затверд.		Мошторізі М.М.		30.11.22					

08-16.МКР.003.00.000

Зм.	Арк.	№ докумен.	Підпис	Дата	Система діагностування вакуумного високовольтного вимикача. Математична модель оцінки витраченого комутаційного ресурсу	Літ.	Маса	Масштаб
Розробив:		Державець О.О.		15.11.22				
Перевірів		Гرابко В.В.		15.11.22				
Т. контр.						Аркуш	Аркушів	
Рецензент		Шулє Ю.А.		19.12.22		ВНТУ, гр. ЕПА-21м		
Норм. кон.		Бомбик В.С.		30.11.22				
Затверд.		Мошпоріт М.М.		30.11.22				

08-16.МКР.003.00.000

Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата	Система діагностування вакуумного високовольтного вимикача. Математична модель оцінки та налаштування синхронної роботи	Літ.	Маса	Масштаб
Розробив:		Державець О.О.		15.11.22				
Перевірів:		Гرابко В.В.		15.11.22				
Т. контр.								
Рецензент		Шулле Ю.А.		19.12.22		Аркуш		Аркушів
Норм.кон.		Бомбик В.С.		30.11.22				
Затверд.		Мошноріз М.М.		30.11.22				
						ВНТУ, гр. ЕПА-21м		

08-16.МКР.003.00.000

Зм.	Арк.	№ докумен.	Підпис	Дата	Система діагностування вакуумного високовольного вимикача. Структурна схема пристрою з підвищеною точністю вимірювання струму	Літ.	Маса	Масштаб
Розробив:		Державець О.О.		15.11.22				
Перевірів:		Гرابко В.В.		15.11.22				
Т. контр.								
Рецензент		Шулє Ю.А.		19.12.22		Аркуш	Аркушів	
Норм кон.		Бомбик В.С.		30.11.22		ВНТУ, гр. ЕПА-21м		
Затверд.		Мошноріз М.М.		30.11.22				

08-16.МКР.003.00.000


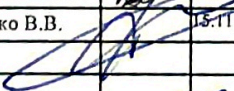

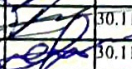

Зм.	Арк.	№ докумен.	Підпис	Дата	Літ.			Маса	Масштаб
Розробив:		Державець О.О.		15.11.22					
Перевірів		Грабо В.В.		15.11.22					
Т. контр.									
Рецензент		Шулле Ю.А.		19.12.22	Аркуш		Аркушів		
Норм.кон.		Бомбик В.С.		30.11.22	ВНТУ, гр. ЕПА-21м				
Затверд.		Мошноріз М.М.		30.11.22					

Система діагностування вакуумного високовольтного вимикача. Структурна схема пристрою з вимірюванням енергії електричної дуги

08-16.МКР.003.00.000

Зм.	Арк.	№ докумен.	Підпис	Дата	Система діагностування вакуумного високовольтного вимикача. Структурна схема пристрою з вимірюванням струму в момент розриву контактів	Літ.	Маса	Масштаб
Розробив:		Державець О.О.		15.11.22				
Перевірів		Гرابко В.В.		15.11.22				
Т. контр.								
Рецензент		Шулле Ю.А.		19.12.22		Аркуш	Аркушів	
Норм. кон.		Бомбик В.С.		30.11.22		ВНТУ, гр. ЕПА-21м		
Затверд.		Мошноріз М.М.		30.11.22				

08-16.МКР.003.00.000

Зм.	Арк.	№ докумен.	Підпис	Дата	Система діагностування вакуумного високовольтного вимикача. Структурна схема пристрою з врахуванням ресурсних характеристик різних типів вимикачів	Літ.	Маса	Масштаб
Розробив:		Державець О.О.		15.11.22				
Перевірів:		Гرابко В.В.		15.11.22				
Т. контр.								
Рецензент		Шулле Ю.А.		19.12.22				
Норм.кон.		Бомбик В.С.		30.11.22				
Затверд.		Мошгоріз М.М.		30.11.22				
						Аркуш	Аркушів	
						ВНТУ, гр. ЕПА-21м		

08-16.МКР.003.00.000

Зм.	Арк.	№ докумен.	Підпис	Дата	Літ.	Маса	Масштаб
Розробив:		Державець О.О.		15.11.22			
Перевірів		Гرابко В.В.		29.11.22			
Т. контр.							
Рецензент		Шулє Ю.А.		19.12.22	ВНТУ, гр. ЕПА-21м		
Норм. кон.		Бомбик В.С.		30.11.22			
Затверд.		Мошноріт М.М.		30.11.22			

Система діагностування вакуумного високовольтного вимикача. Структурна схема пристрою для визначення синхронності ввімкнення полюсів вимикача

Аркуш

Аркушів

08-16.МКР.003.00.000

Зм.	Арк.	№ докумен.	Підпис	Дата	Система діагностування вакуумного високовольтного вимикача. Структурна схема пристрою для формування дії налаштування синхронної роботи контактної системи	Літ.	Маса	Масштаб
Розробив:		Державець О.О.		15.11.22				
Перевірів		Гرابко В.В.		15.11.22				
Т. контр.								
Рецензент		Шулле Ю.А.		19.12.22		Аркуш	Аркушів	
Норм.кон.		Бомбик В.С.		30.11.22		ВНТУ, гр. ЕПА-21м		
Затверд.		Мешніоріз М.М.		30.11.22				

08-16.МКР.003.00.000

Зм.	Арк.	№ докумен.	Підпис	Дата	Літ.	Маса	Масштаб
Розробив:	Державець О.О.			15.11.22			
Перевірів	Грабко В.В.			15.11.22			
Т. контр.							
Рецизент	Шулє Ю.А.			19.12.22	Аркуш	Аркушів	
Норм.кон.	Бомбик В.С.			30.11.22	ВНТУ, гр. ЕПА-21м		
Затверд.	Мешторізі М.М.			30.11.22			

Система діагностування вакуумного високовольтного вимикача. Структурна схема мікропроцесорного засобу та алгоритм його роботи

08-16.МКР.003.00.000

Зм.	Арк.	№ докумен.	Підпис	Дата	Система діагностування вакуумного високовольтного вимикача. Пристрій діагностування неузгодженості одночасності ввімкнення полюсів	Літ.	Маса	Масштаб
Розробив:		Державець О.О.		15.11.22				
Перевіряв		Грабко В.В.		15.11.22				
Т. контр.								
Рецензент		Шулле Ю.А.		19.12.22		Аркуш	Аркушів	
Норм. кон.		Бомбик В.С.		30.11.22	ВНТУ, гр. ЕПА-21м			
Затверд.		Мошпорізі М.М.		30.11.22				

08-16.МКР.003.00.000

Зм.	Арк.	№ докумен.	Підпис	Дата	Система діагностування вакуумного високовольтного вимикача. Наукова новизна та практичне значення	Літ.	Маса	Масштаб
Розробив:		Державець О.О.		15.11.22				
Перевірив		Гرابко В.В.		15.11.22				
Т. контр.								
Рецизент		Шулє Ю.А.		19.12.22		Аркуш	Аркушів	
Норм.кон.		Бомбик В.С.		30.11.22		ВНТУ, гр. ЕПА-21м		
Затверд.		Мошноріз М.М.		30.11.22				

ПРОТОКОЛ ПЕРЕВІРКИ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ НА НАЯВНІСТЬ ТЕКСТОВИХ ЗАПОЗИЧЕНЬ

Назва роботи: Система діагностування вакуумного високовольтного вимикача

Тип роботи: магістерська кваліфікаційна робота

Підрозділ: кафедра КЕМСК, ФЕЕЕМ, гр. ЕПА-21м

Науковий керівник: д.т.н., проф. Грабко В.В.
(прізвище, ініціали, посада)

Показники звіту подібності Unicheck

Оригінальність	94,3%
Схожість	5,7%

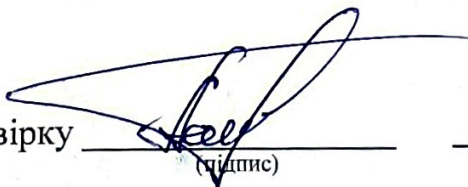
Аналіз звіту подібності (відмітити потрібне)

Запозичення, виявлені у роботі, оформлені коректно і не містять ознак плагіату.

Виявлені у роботі запозичення не мають ознак плагіату, але їх надмірна кількість викликає сумніви щодо цінності роботи і відсутності самостійності її автора. Роботу направити на доопрацювання.

Виявлені у роботі запозичення є недобросовісними і мають ознаки плагіату та/або в ній містяться навмисні спотворення тексту, що вказують на спроби приховування недобросовісних запозичень.

Особа, відповідальна за перевірку



(підпис)

Паянок О.А.

(прізвище, ініціали)

Ознайомлені з повним звітом подібності, який був згенерований системою Unicheck щодо роботи.

Автор роботи

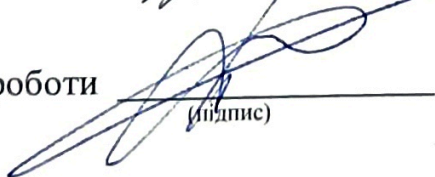


(підпис)

Державець О.О.

(прізвище, ініціали)

Керівник роботи



(підпис)

Грабко В.В.

(прізвище, ініціали)