

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

Факультет електроенерготехніки та автоматики

Кафедра автоматизації енергосистем

«На правах рукопису»
УДК 621.316

До захисту допущено:
Завідувач кафедри
_____Анатолій МАРЧЕНКО
«09» січня 2024 р.

Магістерська дисертація

**на здобуття ступеня магістра
за освітньо-професійною програмою «Управління, захист та автоматизація
енергосистем»
зі спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та
електромеханіка»**

на тему: «Система моніторингу стану високовольтного вимикача»

Виконав:

студент VI курсу, групи ЕК-21мп

Слободяник Андрій Вікторович

Науковий керівник:

к.т.н., доцент Хоменко Олег Володимирович

Консультант з охорони праці: д.т.н., професор
Третьякова Лариса Дмитрівна

Консультант з стартапу:

к.т.н., доцент Красношопка Володимир Володимирович

Рецензент:

Засвідчую, що у цій магістерській дисертації
немає запозичень з праць інших авторів
без відповідних посилань. Студент

Київ – 2024 року

**Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Факультет електроенерготехніки та автоматики
Кафедра автоматизації енергосистем**

Рівень вищої освіти – другий (магістерський)

Спеціальність – 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»
Освітньо-професійна програма «Управління, захист та автоматизація енергосистем»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____Анатолій МАРЧЕНКО

«09» січня 2024 р.

**ЗАВДАННЯ
на магістерську дисертацію студенту
Слободянику Андрію Вікторовичу**

1. Тема дисертації «Система моніторингу стану високовольтного вимикача», науковий керівник дисертації Хоменко Олег Володимирович, к.т.н., доцент, затверджені наказом по університету від «01» листопада 2023 р. № 4028-с
2. Термін подання студентом дисертації 30.12.2023 р.
3. Об'єкт дослідження – електрична підстанція 330/110/35 кВ «Броваришинська»
4. Вихідні дані – схема електричних з'єднань ПС 330/110/35 кВ «Броваришинська», стандарти НЕК «УКРЕНЕРГО», технічна документація до високовольтних вимикачів серії ВВБ.
5. Перелік завдань, які потрібно розробити – опис електричних з'єднань ПС «Броваришинська», розрахунок струмів КЗ, вибір типів та пристроїв РЗ ПС «Броваришинська», розробка системи моніторингу технічного стану високовольтного вимикача.
6. Орієнтовний перелік графічного (ілюстративного) матеріалу – головна схема електричних з'єднань ПС 330/110/35 кВ «Броваришинська», результати розрахунків струмів КЗ, типи та пристрої РЗ ПС «Броваришинська», кола змінного струму, кола постійного струму, розробка системи моніторингу технічного стану високовольтного вимикача, розрахунок уставок інших захистів.

7. Консультанти розділів дисертації

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці	Третякова Лариса Дмитрівна д.т.н., професор		
Стартап	Красношапка Володимир Володимирович к.т.н, доцент		

8. Дата видачі завдання 15.10.2024 р.

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Термін виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1	Опис електричних з'єднань ПС 330/110/35 кВ «Броваришинська»	21.11.2024	
2	Розрахунок струмів КЗ	24.11.2024	
3	Вибір типів та пристроїв РЗ ПС «Броваришинська»	28.11.2024	
4	Розробка моніторингу стану високовольтних вимикачів	05.12.2024	
5	Стартап	09.12.2024	
6	Розділ з хвори праці	09.12.2024	
7	Оформлення пояснювальної записки та графічного матеріалу	09.01.2024	

Студент
Науковий керівник

Андрій СЛОБОДЯНИК
Олег ХОМЕНКО

РЕФЕРАТ

Магістерська дисертація виконана на 109 аркушах, 29 таблицях, 38 рисунках, 7 листах графічної частини та має 36 посилань, яка містить основні розділи, стартап проект та розділ охорони праці.

Актуальність теми – на сьогоднішній день виставляються стандарти до експлуатації високовольтних вимикачів серії ВВБ, вони повинні коректно виконувати потрібні операції, зокрема на підстанціях.

Мета дослідження – оцінка технічного стану вимикача і аналіз надійності його роботи.

Об'єкт дослідження – електрична підстанція 330/110/35 кВ «Броваришинська», високовольтний вимикач серії ВВБ.

Предмет дослідження – система моніторингу високовольтного вимикача серії ВВБ.

Методи дослідження - методики розрахунку струмів КЗ, методика вибору пристроїв РЗА, моніторинг стану високовольтних вимикачів.

Апробація результатів дисертація – міжнародна науково-технічна конференція молодих учених, аспірантів та студентів «Сучасні проблеми електроенерготехніки та автоматики».

Ключові слова: ВИСОКОВОЛЬТНИЙ ВИМИКАЧ, СИСТЕМА МОНІТОРИНГУ, КОРОТКЕ ЗАМИКАННЯ, РЕЛЕЙНИЙ ЗАХИСТ, МІКРОПРОЦЕСОРНИЙ РЕЛЕЙНИЙ ЗАХИСТ, ДИФЕРЕНЦІЙНИЙ ЗАХИСТ ТРАНСФОРМАТОРА.

ABSTRACT

The master's thesis was completed on 109 sheets, 29 tables, 38 drawings, 36 letters of the graphic part and has 30 links that contain the main sections, the startup project and the labor protection section.

The relevance of the topic - today standards are set for the operation of high-voltage circuit breakers of the VBB series, they must correctly perform the necessary operations, in particular at substations.

The purpose of the study is to assess the technical condition of the switch and analyze the reliability of its operation.

The object of the study is the 330/110/35 kV electrical substation, high-voltage circuit breaker of the VVB series.

The subject of the study is the monitoring system of the VBB series high-voltage circuit breaker.

Research methods - methods of calculating short-circuit currents, methods of selecting RCD devices, monitoring the condition of high-voltage circuit breakers.

Approbation of dissertation results - international scientific and technical conference of young scientists, graduate students and students "Modern problems of electrical engineering and automation".

Keywords: HIGH VOLTAGE SWITCH, MONITORING SYSTEM, SHORT CIRCUIT, RELAY PROTECTION, MICROPROCESSOR RELAY PROTECTION, TRANSFORMER DIFFERENTIAL PROTECTIO

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ	8
ВСТУП.....	9
1. МОНІТОРИНГ СТАНУ ОБЛАДНАННЯ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖ	
ОЕС України	11
1.1. Загальна характеристика і склад основного обладнання	11
1.2. Обладнання електричних мереж України та їх технічний стан	14
1.3. Загальні принципи побудови систем моніторингу стану обладнання електричних мереж	17
1.4. Використання існуючих систем по моніторингу обладнання електричних мереж	22
1.5. Нормативні матеріали з питань моніторингу обладнання електричних мереж	24
Висновки	25
2. ІНЖЕНЕРНИЙ АНАЛІЗ ОБ'ЄКТУ - ПС 330/110/35 кВ	27
2.1. Схема електричних з'єднань підстанції. Загальна характеристика ПС	27
2.2. Автотрансформатори та силові трансформатори	27
2.3. Збірні шини	29
2.4. Комутаційне обладнання підстанції	29
2.5. Обмежувачі напруг	31
2.6. Вимірювальні трансформатори напруги та струму	32
2.7. Трансформатори власних потреб.....	33
2.8. Реактори.....	33
2.9. Розрахунок струмів КЗ.....	34
2.9.1. Розрахункова схема, заступна схема та визначення базових величин	34
2.9.2. Розрахунок струмів КЗ в режимі без АТ-3 і навантажень	36
2.9.3. Розрахунок струмів КЗ в режимі з АТ-3 без навантажень	40
2.10. Вимірювальні прилади та прилади обліку.....	44
2.11. Засоби релейного захисту і автоматики підстанції	46
2.12. Засоби захисту підстанції	48
Висновки	50
3. ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ВИСОКОВОЛЬТНИХ ВИМИКАЧІВ	
СЕРІЇ ВВБ	51
3.1. Призначення і основні технічні характеристики	51
3.2. Побудова і принципи роботи вимикачів ВВБ	52

3.3. Технічне обслуговування вимикачів	56
Висновки	57
4. СИСТЕМА МОНІТОРИНГУ СТАНУ ВИСОКОВОЛЬТНИХ ВИМИКАЧІВ ..	59
4.1. Проблематика моніторингу високовольтних вимикачів	59
4.2. Методи моніторингу вимикачів	60
4.3. Технічні засоби моніторингу вимикачів	61
4.4. Оцінка технічного стану вимикача і аналіз надійності його роботи	65
4.5. Метод оцінки технічного стану об'єкту моніторингу	71
4.6. Експериментально-модельні розрахунки	74
4.7. Структура та складові системи моніторингу вимикачів	80
Висновки	86
5. МОНИТОРИНГ ОХОРОНИ ПРАЦІ ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНОГО ПРАЦІВНИКА НА ТРАНСФОРМАТОРНІЙ ПІДСТАНЦІЇ	88
5.1. Технічні характеристики устаткування.....	88
5.2. Визначення та оцінка показників умов праці на робочому місці.....	89
5.3. Розрахунок захисного заземлення автотрансформатора.....	95
Висновки	97
6. РОЗРОБКА СТАРТАП ПРОЕКТУ	98
6.1. Опис ідеї проекту	98
6.2. Технологічний аудит ідеї проекту	100
6.3. Аналіз ринкових можливостей Стартуп-проекту.....	101
6.4. SWOT-аналіз стартап проекту	103
Висновки	103
ВИСНОВКИ	105
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ	106

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

АТ – автотрансформатор

ВН – обмотка високої напруги

ВП – власні потреби

ДЗТ – диференційний захист автотрансформатору

ЕУ – електроустановка

МСЗ – максимальний струмовий захист

НН – обмотка низької напруги

ПЛ – повітряна лінія

ПРВВ – пристрій резервного відключення вимикача

ПС – підстанція

ПУЕ – «Правила улаштування електроустановок»

РЗ – релейний захист

РПН – регулювання під навантаженням

СН – обмотка низької напруги

ТВП – трансформатор власних потреб

ТН – трансформатор напруги

ТС – трансформатор струму

ВСТУП

В сучасному електроенергетичному виробництві та передачі електроенергії ключовою складовою є безперебійна та надійна робота електрообладнання. Однією з ключових ланок цієї системи є високовольтний вимикач, який забезпечує надійне відключення та включення електричних ліній у разі аварійних ситуацій або необхідності обслуговування. З метою забезпечення безпеки, надійності та ефективності функціонування високовольтного вимикача, виникає необхідність впровадження системи моніторингу стану цього обладнання.

Ця система не лише дозволить вчасно виявляти та усувати можливі несправності, але й підвищить загальний рівень автоматизації та керованості електроенергетичної інфраструктури. У даному дипломному проекті буде проведено детальний аналіз, розробка та впровадження системи моніторингу стану високовольтного вимикача з метою підвищення ефективності та надійності електропостачання.

В планах розвитку електричної мережі України є найближчим часом з'єднати її з об'єднаною електричною мережею країн Європейського союзу. З метою виконання цього завдання необхідно покращити якість електроенергії та забезпечити надійність енергосистеми. Ефективним засобом досягнення цих цілей є впровадження системи моніторингу стану обладнання електричних мереж.

Система моніторингу стану обладнання є організованою системою, яка проводить постійне автоматизоване спостереження за технічним станом та технологічними процесами електроенергетичного обладнання. У режимі реального часу система оцінює поточний стан обладнання за допомогою вимірювальних даних, виконує ретроспективний аналіз та формує загальний висновок щодо технічного стану. Це враховує різні етапи в експлуатації та базується на прогнозі розвитку різноманітних дефектних ознак [1].

При розробці, експлуатації та реконструкції системи моніторингу слід

дотримуватися загальних принципів [2], таких як достатність, інформаційна повнота, інноваційність, самодіагностика, структурна гнучкість, корекція, дружній інтерфейс при максимальній інформаційній місткості, багаторівнева організація.

1 МОНІТОРИНГ СТАНУ ОБЛАДНАННЯ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖ ОЕС України

1.1. Загальна характеристика і склад основного обладнання електричних мереж ОЕС України

Розшифровка основних термінів та понять, що будуть використані в дисертації [3]:

- Об'єднана енергетична система України. Сукупність всіх електростанцій, електричних мереж та інших об'єктів електроенергетики, які об'єднуються загальним режимом виробництва, передачі та розподілу електричної енергії, керованого централізованим способом.

- Об'єкт електроенергетики. Це поняття включає в себе електричні станції (за винятком ядерної частини атомних електростанцій), електричні підстанції та електричні мережі.

- Електрична мережа. Загальний термін, що охоплює системи електроустановок, призначених для передачі та/або розподілу електричної енергії.

Основним елементом електроенергетики країни є об'єднана енергетична система України. Ця система відповідає за централізоване забезпечення електроенергією внутрішніх споживачів, взаємодію з енергосистемами інших країн, а також забезпечення експорту та імпорту електроенергії. ОЕС України об'єднує енергогенеруючі потужності та розподільчі мережі різних регіонів України, включаючи системи електропередачі з напругою 220–750 кВ.

Централізоване диспетчерське (оперативно-технологічне) управління ОЕС України та співпраця з енергетичними системами інших країн реалізується державним підприємством НЕК "Укренерго". Електричні зв'язки між об'єднаною енергетичною системою України та суміжними енергосистемами відбуваються через мережі напругою від 110 до 750 кВ.

ОЕС України має в своєму складі кілька регіональних об'єктів [4] (ОЕС

Центра, ОЕС Півдня), за винятком "острова Бурштинської електростанції", який синхронізовано з Європейською мережею системних операторів з передачі електроенергії (ENTSO-E). Електричні зв'язки між ОЕС України та суміжними енергосистемами відбуваються через мережі напругою від 110 до 750 кВ [2].

Головні потужності генерації електроенергії в об'єднаній енергетичній системі України зосереджені в п'яти енергогенеруючих компаніях[4]:

- а саме ПАТ "ДТЕК Дніпроенерго", ПАТ "Центренерго", ПАТ "Донбасенерго", ПАТ "ДТЕК Східенерго", ПАТ "ДТЕК Західенерго", експлуатуються 14 теплових електростанцій (типу ТЕС) з енергоблоками потужністю 150, 200, 300 і 800 МВт, а також три теплоелектроцентралі (ТЕЦ): Харківська ТЕЦ-5, Київські ТЕЦ-5 і ТЕЦ-6, які мають у своєму складі енергоблоки з потужністю 120 МВт та 300 МВт від інших компаній.

Загальна кількість енергоблоків на ТЕС і ТЕЦ становить 106 одиниць, включаючи блоки потужністю: 100 (120) МВт – 4, 150 МВт – 6, 200 МВт – 42, 250 МВт – 5, 300 МВт – 42, 800 МВт – 7.

- Державне підприємство "Національна атомна енергогенеруюча компанія "Енергоатом" (ДП "НАЕК "Енергоатом") загалом має у експлуатації 15 енергоблоків на чотирьох атомних електростанціях. З них 13 мають реактори типу ВВЕР-1000 із встановленою потужністю 1 000 МВт, а 2 інші реактори – реактори ВВЕР-440 із потужністю 415 МВт та 420 МВт відповідно. Також до балансу компанії входять Ташлицька гідроакумуюча електростанція (ГАЕС) з двома гідроагрегатами та Олександрівська гідроелектростанція (ГЕС) з двома гідроагрегатами.

- Публічне акціонерне товариство "Укргідроенерго" експлуатує каскади гідроелектростанцій розташованих на річках Дніпро і Дністер, які включають в свою роботу 103 гідроагрегати.

Станом на 2023 рік структура виробництва електроенергії по різних видах електростанцій поділена наступним чином: АЕС – 56%, ТЕС і ТЕЦ –

34%, ГЕС і ГАЕС – 7 %, решта – інші.

Дані по встановленій потужності генерації об'єктів ОЕС України за їх видами наведені на рис.1.1. На рис. 1.2 представлена питома частка обсягів продажу в ОРЕ за 2021 рік у розрізі працюючих об'єктів генерації.

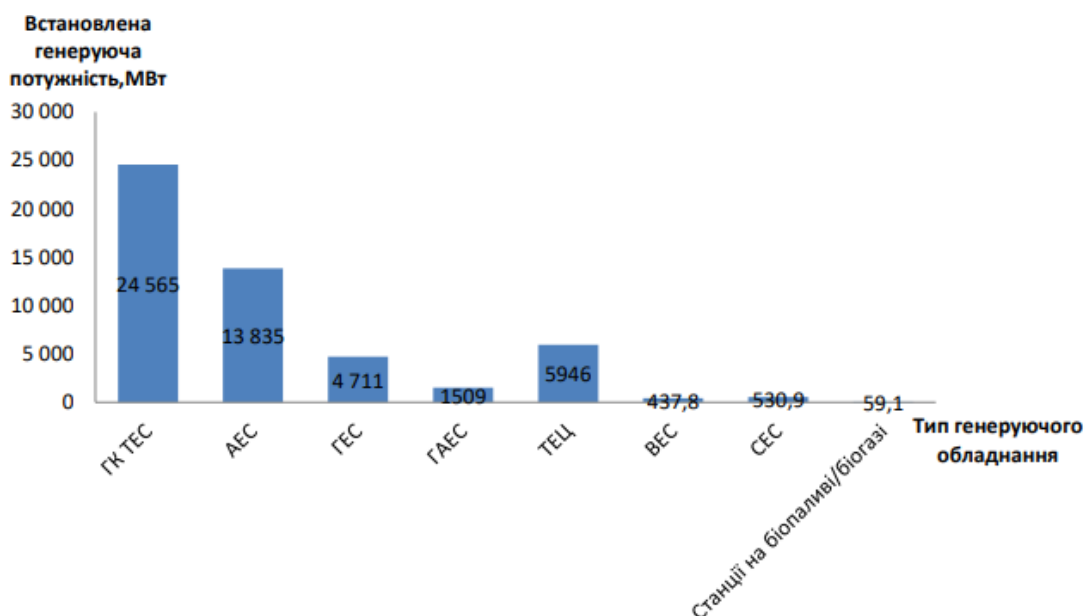


Рис.1.1. - Дані по встановленій потужності генерації об'єктів ОЕС України за їх видами

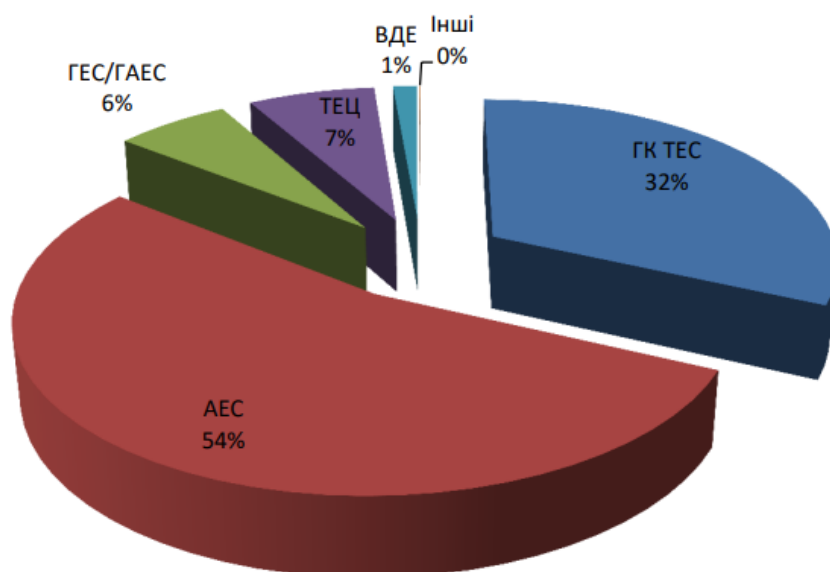
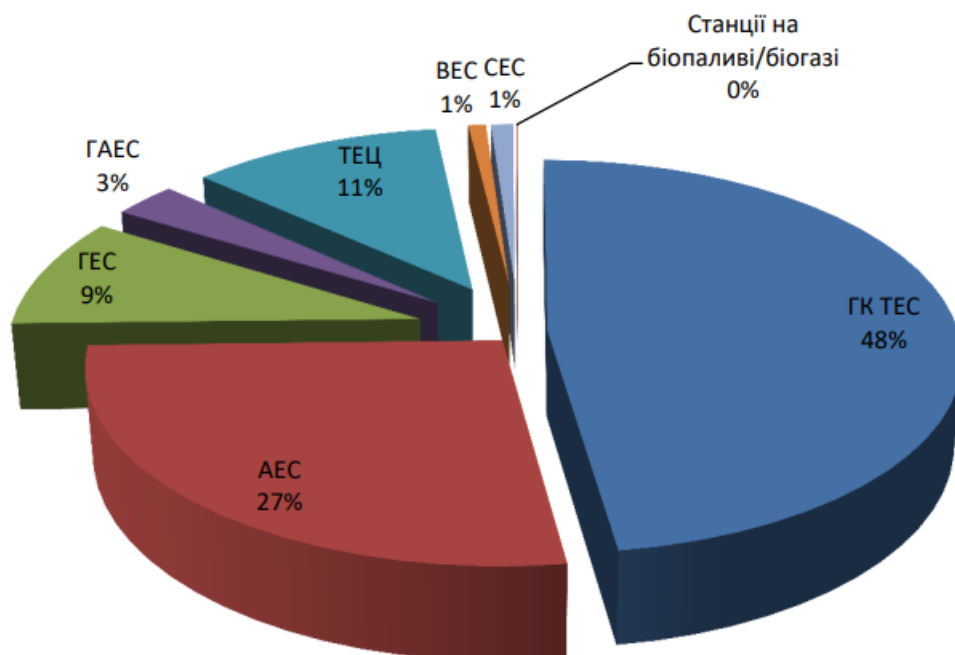


Рис. 1.2 - Питома частка обсягів продажу в ОРЕ за 2021 рік у розрізі працюючих об'єктів генерації.

На рис. 1.3 представлена питома частка різних типів об'єктів генерації в Україні станом на 2021 рік.



Структура по споживанню розподілена так: промисловість – 32%, населення – 35%, будівництво та транспорт – 17 %, комунальне та побутове господарство – 14 %, сільськогосподарський сектор – 3%, решта – інші.

1.2. Обладнання електричних мереж України та їх технічний стан

На фоні швидкої технологічної зміни та зростаючого попиту на електроенергію, питання технічного стану обладнання електричних мереж стає важливим аспектом забезпечення стабільності енергетичної системи.

За останні десятиліття Україна зіткнулася з великими технічними викликами у сфері електроенергетики. Старіюче обладнання, необхідність модернізації, а також впровадження новітніх технологій для забезпечення ефективності та надійності стали пріоритетними завданнями для галузі.

Українські енергетичні компанії та державні установи визнають необхідність інвестування у модернізацію електричних мереж. Зокрема,

ініціативи спрямовані на заміну застарілого обладнання, впровадження сучасних технологій моніторингу та дистанційного керування для підвищення ефективності та швидкості реагування на аварійні ситуації.

Технічний стан обладнання електричних мереж України визначається не лише технічними показниками, але й готовністю до інновацій та відкриттям перед викликами сучасності. Інвестування в модернізацію, впровадження новітніх технологій та розвиток "розумної" електроенергетики є необхідними кроками для забезпечення сталого та ефективного функціонування електричних мереж у майбутньому.

Довжини і терміни експлуатації повітряних ліній за класом напруги В представлено таблиці 1.1 (станом на 31.12.2022, які знаходяться на балансі НЕК "Укренерго" [5]).

Таблиця.1.1 - Довжини і терміни експлуатації повітряних ліній

Клас напруги	Всього, км		У т. ч. знаходяться в експлуатації (років) (по ланцюгах)			
	по трасі	по ланцюгах	до 25	25-30	30-40	Більше 40
800 кВ	98,540	98,540	-	-	-	98,540
750 кВ	4120,541	4120,541	218,080	411,600	2382,690	1108,171
500 кВ	374,760	374,760	38,100		159,600	177,060
400 кВ	338,950	338,950	-	-	-	338,950
330 кВ	12862,389	13423,662	1276,368	798,278	2202,918	9146,098
220 кВ	3019,385	3975,965	178,628	56,425	338,212	3402,700
110 кВ	448,728	549,780	52,730	26,920	34,085	436,045
35 кВ	112,441	114,051	21,318	12,530	17,400	62,803
Разом:	21375,734	22996,249	1785,224	1305,753	5134,905	14770,367

Статистичний аналіз вказує, що понад 87% ліній напругою від 35 кВ до 750 кВ перевищують встановлений термін служби, що становить фактор збільшених втрат потужності та аварійних ситуацій в мережі [5].

Реконструкція існуючої мережі та будівництво нових інфраструктурних об'єктів, передбачених планом розвитку системи, мають на меті забезпечити повну видачу потужності генерації, підвищити надійність живлення як для споживачів окремих регіонів, так і загалом, підвищити надійність та безпеку всієї системи передачі та оптимізувати роботу енергосистеми України.

Довжини та терміни експлуатації повітряних ліній за класами напруги в електроенергетичних системах (станом на 31.12.2021, що знаходяться на балансі НЕК "Укренерго" [5] представлено в таблиці 1.2.

Таблиця.1.2 - Довжини та терміни експлуатації повітряних ліній за класами напруги в електроенергетичних системах

ЕС	Всього, км		У т. ч. знаходяться в експлуатації (років)			
	по трасі	по ланцюгах	до 25	25-30	30-40	Більше 40
Дніпровська	3993,740	4264,620	194,260	623,340	594,510	2852,510
Донбаська	1346,049	1856,599	114,456	21,999	287,837	1432,307
Західна	3301,410	3678,910	90,860	100,100	1230,480	2257,470
Південна	2581,818	2650,972	644,819	-	881,129	1125,024
Південно-Західна	2259,870	2263,400	229,540	46,820	502,060	1484,980
Північна	4202,654	4545,013	344,903	432,894	680,592	3086,624
Центральна	2415,370	2425,620	15,760	20,500	780,00	1609,360
Разом:	21375,734	22996,249	1785,224	1305,753	5134,905	14770,367

Більша частина обладнання електричної мережі функціонує вже понад 40 років. Згідно з цими даними в Національній енергетичній компанії "Укренерго" в експлуатації перебуває 20822 км ліній передачі, які служать вже понад 30 років (що становить 90% від загальної довжини всіх ліній), з них 16218 км мають строк експлуатації понад 40 років (що складає 70% від загальної довжини усіх ліній). Проблемою є і продовження процесу старіння та недостатню реконструкцію ліній передачі, це ускладнює роботу електричної

мережі.

24 лютого 2022 року енергосистема України перейшла в ізольований режим роботи за декілька годин до розпочатку повномасштабного вторгнення. Незважаючи на те, що загальний технічний стан електричних мереж охарактеризований як незадовільний [6], 16 березня 2022 року Об'єднана енергетична система України об'єдналася з системою ENTSO-E, це вплинуло позитивним чином на покращення надійності та стійкості національної енергетичної системи. Вже з кінця червня 2022 року Україна почала експортувати значні обсяги електроенергії до сусідніх країн. Однак, значних збитків завдають терористичні дії спрямовані на планомірне руйнування енергетичної інфраструктури України, з систематичним обстрілом ключових енергетичних об'єктів.

У промисловості спостерігається скорочення робочого часу, що призводить до змін у графіках електроенергоспоживання. Ці зміни ставлять ОЕС України перед важливими викликами у вирішенні піків та провалів у добовому графіку електричних навантажень. Невідповідність маневрових можливостей працюючих електростанцій до динаміки зміни енергоспоживання ускладнює процес ефективного керування системою електроенергоспоживання та викликає потребу у впровадженні нових стратегій та рішень.

1.3. Загальні принципи побудови систем моніторингу стану обладнання електричних мереж

Системи моніторингу стану обладнання можна класифікувати за кількома критеріями: за класом напруги, за об'єктом спостереження, за рівнем проведення, за часовим горизонтом та за періодичністю.

Основними елементами такої системи виступають датчики, сенсори, блоки вимірювання, кабелі зв'язку з обладнанням, що розташовані на щиті управління, де безпосередньо розміщена приймально-перетворююча апаратура

з центральним сервером.

При розробці, впровадженні та модернізації системи моніторингу, необхідно дотримуватися ключових принципів, що забезпечують її ефективне функціонування [2]:

1. Достатність. Важливо забезпечити, щоб система моніторингу мала достатню кількість ресурсів і можливостей для вивчення різних параметрів та характеристик електроенергетичного обладнання.

2. Інформаційна повнота. Система повинна забезпечити вичерпну та повну інформацію про стан обладнання, враховуючи всі необхідні аспекти технічного стану.

3. Інноваційність. Використання передових технологій та інновацій дозволяє системі бути актуальною та ефективною у вирішенні завдань моніторингу.

4. Самодіагностика. Можливість системи визначати та виправляти помилки у власному функціонуванні без зовнішньої втручання підвищує надійність та автономність.

5. Структурна гнучкість. Система повинна мати гнучкість у взаємодії з різними типами обладнання та здатність адаптуватися до змін у системі електропостачання.

6. Корекція. Можливість систематично виправляти параметри та налаштовуватися під змінні умови дозволяє підтримувати оптимальну продуктивність.

7. Дружність інтерфейсу при максимальній інформаційній місткості. Інтерфейс користувача повинен бути легким у використанні, при цьому забезпечуючи максимальний обсяг інформації.

8. Багаторівнева організація. Система повинна мати ієрархічну структуру, що дозволяє ефективно керувати та аналізувати дані на різних рівнях функціонування.

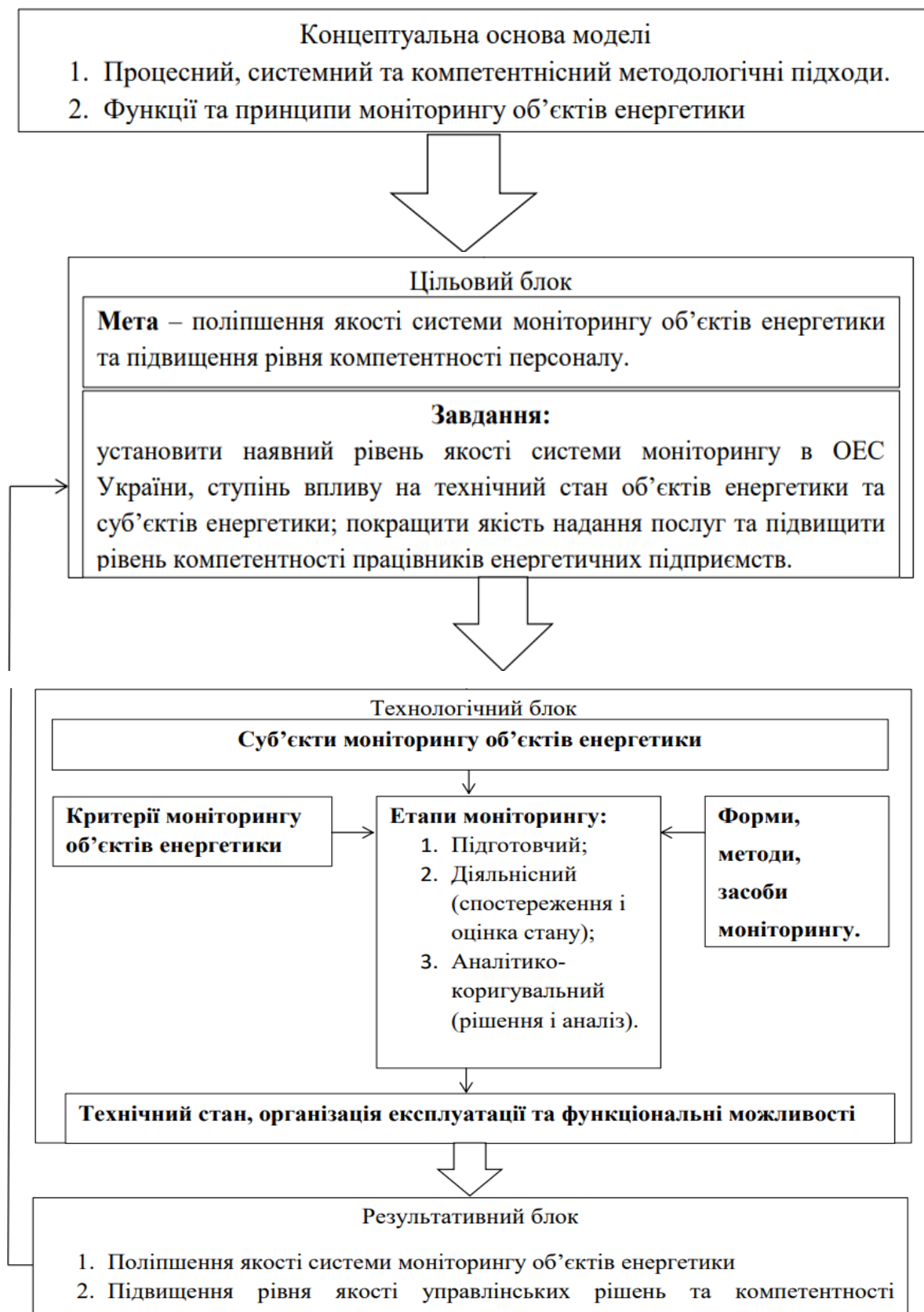


Рис 1.4 - загальна модель моніторингу для об'єктів енергетики

Для забезпечення миттєвого реагування на зміни, що відбуваються в ОЕС

України та формування рішень щодо усунення наслідків, повинна бути створена та налаштована загальна модель моніторингу для об'єктів енергетики, вона наведена на рис 1.4. Її метою є поліпшення якості системи моніторингу енергетичних об'єктів та підвищення рівня компетентності обслуговуючого персоналу.

На рис. 1.5 наведено трьохетапний цикл моніторингу енергетичних об'єктів



Рис. 1.5 - Трьохетапний цикл моніторингу енергетисних об'єктів

Згідно з загальною структурою систем моніторингу обладнання електричних мереж, побудованою системою моніторингу стану силових трансформаторів [1], вона включає такі основні елементи:

- Модулі обробки та збереження сигналів від датчиків;
- Первинні датчики;

- Модулі параметричної діагностики дефективних ознак;
- Модулі параметричної оцінки технічного стану обладнання;
- Технічні та програмні засоби візуалізації результатів роботи системи моніторингу на локальному рівні АСУТП;
- Математичні модулі та експертні алгоритми, вони призначені для формування загальних обширних висновків стану робочого обладнання;
- Системні засоби для АСУТП більш найвищого рівня, які забезпечують перегляд інформації та формування необхідних рекомендацій для оптимального управління роботою обладнання.

Основні параметри діагностики, які перевіряє система моніторингу стану силового трансформатора:

- Розчинені в маслі гази і вміст вологи у маслі;
- Струм, напруга, потужність – робочі параметри трансформатора;
- Часткові розряди;
- Струми короткого замикання;
- Температура масла в різних точках трансформатора;
- Моніторинг технічного стану високовольтних вводів та ізоляції високовольтних вводів трансформатора;
- РПН;
- Комутаційні та атмосферні перенапруги;
- Параметри стану (дискретні).

До параметрів виходу в системах моніторингу входять:

- Вимірювані та похідні величини;
- Величини, що характеризують моментальний стан;
- Модель для розрахунку найбільш нагрітої точки обмотки;
- Часові ряди вимірюваних і похідних величин;
- Модель теплового балансу з контролем потоку.

Системи моніторингу стану обладнання можна класифікувати за різними критеріями, що визначає їхню структуру [2]:

1. За класом напруги:
 - Моніторинг мереж 110 кВ і вище.
 - Моніторинг мереж 27, 35 кВ;
 - Моніторинг мереж 3, 6, 10 кВ;
 - Моніторинг мереж 0,38 кВ;
2. За об'єктом, над яким виконують моніторинг:
 - Моніторинг силових трансформаторів;
 - Моніторинг повітряних ліній.
 - Моніторинг кабельних ліній;
3. За рівнем проведення моніторингу:
 - На рівні Об'єднаної енергетичної системи (ОЕС) України.
 - На рівні електропередавальної організації;
 - На рівні району електричних мереж;
4. За часовим горизонтом моніторингу:
 - Оперативний;
 - Стратегічний.
 - Тактичний;
5. За періодичністю:
 - Періодичний;
 - Безперервний.

1.4. Використання існуючих систем по моніторингу обладнання електричних мереж

Моніторинг не лише забезпечує підвищення надійності транспортування електроенергії, але також сприяє зниженню витрат на обслуговування ЛЕП за рахунок отримання більш оперативних і більш точних даних при прогнозуванні критичних ситуацій та при локалізації аварій.

В Україні розповсюджені системи моніторингу SCADA, які забезпечують обробку та потрібну інтерпретацію даних, які в свою чергу отримані від вимірюючих блоків.

Система SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) представляє собою технологічну систему для нагляду і керування об'єктами, що вимірюються та керуються в режимі реального часу. Основною метою SCADA є забезпечення зручного та ефективного контролю над інфраструктурою та обладнанням в різних галузях, таких як енергетика, промисловість, транспорт і інші.

Основні характеристики систем SCADA включають:

1. Моніторинг та збір даних: SCADA дозволяє збирати дані в режимі реального часу з датчиків та обладнання.
2. Візуалізація: графічні інтерфейси SCADA надають користувачам можливість спостереження за різними процесами через анімації, графіки та інші візуальні засоби.
3. Керування: SCADA дозволяє операторам взаємодіяти з системою та надавати команди об'єктам керування в реальному часі.
4. Архівування даних: Система забезпечує можливість зберігання та архівування даних для подальшого аналізу та використання.
5. Автоматизація: SCADA може виконувати автоматизовані завдання на основі отриманих даних та алгоритмів керування.
6. Інтеграція з IT-Системами: Часто SCADA інтегрується з іншими системами, такими як системи управління виробництвом (MES) та корпоративні інформаційні системи (ERP).
7. Керування аваріями: SCADA забезпечує виявлення та реагування на аварійні ситуації в реальному часі.
8. Забезпечення безпеки: Системи SCADA повинні мати вбудовані заходи безпеки для захисту від несанкціонованого доступу та збереження цілісності даних.
9. Спільна робота: SCADA може надавати засоби для спільної роботи та обміну даними між різними користувачами.
10. Мобільний доступ: Деякі системи SCADA можуть забезпечувати

можливість моніторингу та керування через мобільні пристрої.

Застосування систем SCADA широко поширене в різних галузях, включаючи електроенергетику, нафтогазову промисловість, виробництво, транспорт і багато інших. Загалом SCADA моделює мережі та визначає несправності та попереджує відключення.

Також серед популярних у світі систем моніторингу можна виділити [7]: розробка «ADDRESS» (частина європейської концепції мереж Smart Grid for European Technology Platform), проект Microgrids (генеруючі та мережеві структури, що здатні до взаємодії з центральною), розробка FENIXI (гнучка електричної мережі, що проводить опрацювання механізмів функціонування енергосистеми Європи, та опрацювання алгоритмів до включення в загальну систему розподілених джерел генерації і поновлюваних джерел енергії), розробка WAMS від ABB (через супутникову систему GPS збирає потрібну інформацію про роботу мережі в реальному часі. WAMS є однією в передових світових технологій. Система виконує розширений аналіз стану мережі, включаючи векторні дані для виявлення можливої нестабільності).

1.5. Нормативні матеріали з питань моніторингу обладнання електричних мереж

Система моніторингу ґрунтується на суттєвій кількості нормативних матеріалів, а саме:

Комунікаційні мережі та системи на підстанціях. 61850-7-4, 2013: Basic communication structure for substations and feeder equipment – Compatible logical node classes and data classes[1*].

Комунікаційні мережі та системи для автоматизації енергопостачання. Частина 7-3. Базова структура зв'язку. Загальні класи даних. IEC 61850-7-3, 2013: Basic communication structure for substations and feeder equipment – Common data classes[2*].

Комунікаційні мережі та системи автоматизації енергетики - Частина 4: Система та управління проектами IEC 61850 - Part 4 2011 System and project

management[3*].

Посібник IEEE із застосування обладнання для моніторингу рідинних трансформаторів і компонентів IEEE C57.143-2012. IEEE Guide for Application for Monitoring Equipment to Liquid-Immersed Transformers and Components[4*].

Силові трансформатори Підвищення температури для рідинних трансформаторів IEC 60076-2, 2011. Power transformers - Part 2: Temperature rise for liquid-immersed transformers[5*].

Комунікаційні мережі та системи автоматизації енергопостачання. IEC 61850 - Part 90-3, 2016: Using IEC 61850 for condition monitoring diagnosis and analysis[6*] IEC TR 61850-90-3:2016(E) розглядає аспекти зв'язку, пов'язані з конкретними сенсорними мережами, які широко застосовуються, а також обмін інформацією про систему управління активами.

Висновки

За результатами проведеного аналізу технічного стану об'єктів енергетики, можна зробити висновок про чутливі проблеми, що виникають у сфері електроенергетики України, це високий рівень зношення електроенергетичного обладнання, яке використовується для виробництва, передачі та розподілу електричної енергії.

Шлях вирішення цих проблем може бути прокладений через проведення комплексної оцінки, її базою можна назвати систему моніторингу. Моніторинг сприятиме ефективній роботі галузі, а також створить передумови для стабільності та рівномірно сталого розвитку енергетичного сектору.

Створення такої системи дозволить вчасно виявляти проблемні точки в енергетичній системі, оперативно реагувати на зміни у споживанні електричної енергії та може послужити критерієм при впровадженні покращеного стимулюючого тарифного регулювання.

Додатковими аспектами складнощів є слабкість нормативно-правової бази та застосовуваних застарілих методів регулювання діяльності в галузі, які

не відповідають високим вимогам сучасності та не стимулюють інвестування в сферу енергетики, оновлення обладнання та розвиток енергетичного сектору.

В Україні розповсюджені системи моніторингу SCADA, які забезпечують обробку та потрібну інтерпретацію даних, які в свою чергу отримані від вимірюючих блоків.

Система SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) представляє собою технологічну систему для нагляду і керування об'єктами, що вимірюються та керуються в режимі реального часу. Основною метою SCADA є забезпечення зручного та ефективного контролю над інфраструктурою та обладнанням в різних галузях, таких як енергетика, промисловість, транспорт і інші.

Таблиця 2.1 - Технічні параметри силових автотрансформаторів АТДТН-12500/330У1.

Номінальна потужність, МВА	Схема з'єднань обмоток	Номінальна напруга обмоток, кВ			Втрати, кВт		U _к , %			I _х , %
		ВН	СН	НН	P _х	P _к	ВН- СН	ВН- НН	СН- НН	
12500	Y _н -Д- 0-11	330	115	38,5	80	345	10,5	38	25	0,6

Вигляд установки підключеного автотрансформатора показаний на рис. 2.2.

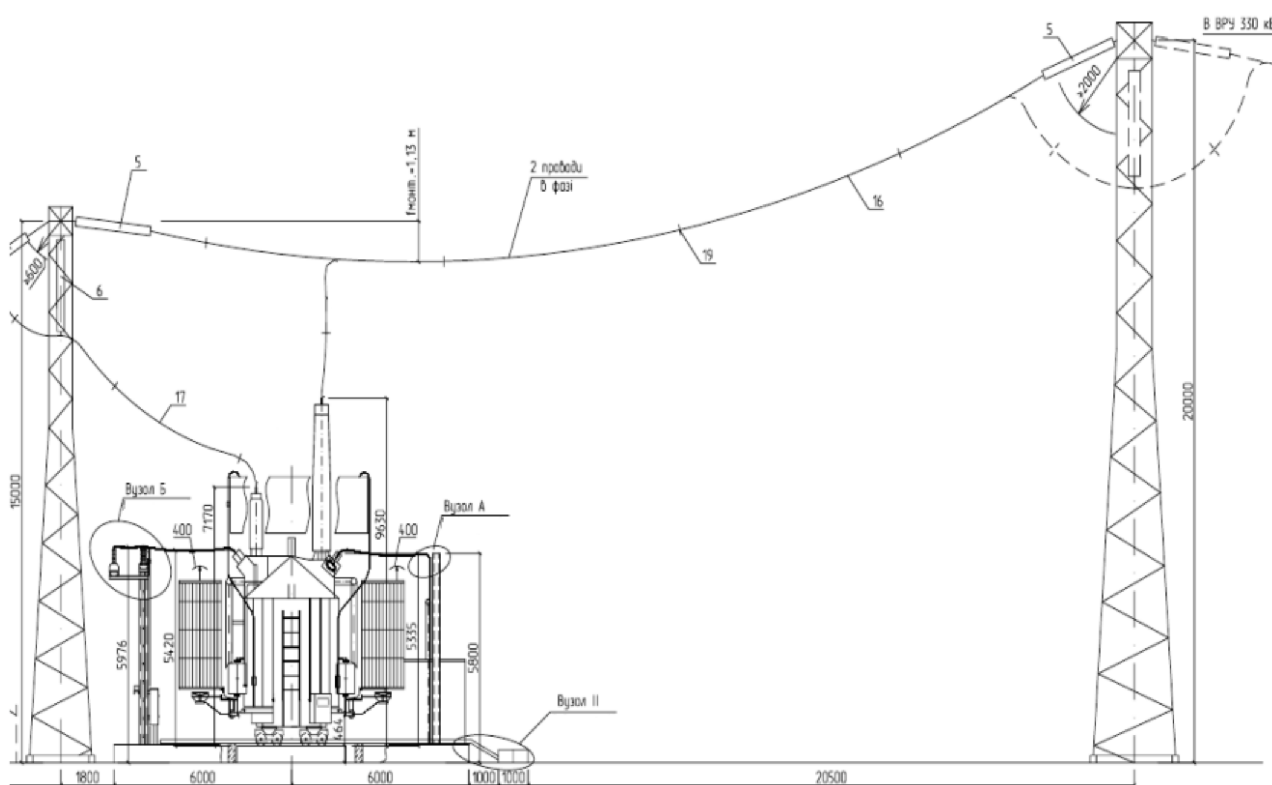


Рис. 2.2 - Вигляд установки підключеного автотрансформатора

У якості силових трансформаторів встановлено трансформатори типу ТРДН-63000/110/35 – трифазний трансформатор з розщепленою обмоткою НН,

зі з'єднанням обмоток зірка-трикутник, циркуляцією повітря та наявним РПН.

Параметри трансформатора вказані в табл. 2.2 [8].

Таблиця 2.2 - Параметри трансформатору ТРДН-63000/110/35

Тип	$S_{\text{ном}}, \text{MVA}$	$U_{\text{ВН}}, \text{kV}$	$U_{\text{НН}}, \text{kV}$	$P_{\text{Х}}, \text{kW}$	$P_{\text{К}}, \text{kW}$	$U_{\text{КВ}}, \%$	$U_{\text{КН}}, \%$	$I_{\text{Х}}, \%$
ТРДН-63000/110/35	63	110	35	35	245	10,5	30	0,25

2.3 Збірні шини

На ПС «Броваришинська» розташовано три системи збірних шин: шини напругами ВН-СН-НН відповідно 330 кВ, 110 кВ і 10 кВ. На стороні вищої напруги встановлено сталевобалюмінієвий провід марки АСО-300 з полегшеним сердечником. Шини 110 кВ виконуються зі сталевобалюмінієвого проводу марки АС-300. Шини 35 кВ виконуються із алюмінію прямокутної форми та габаритами 100х10 мм. Параметри кожної з шин, які використовуються на підстанції вказані в табл. 2.3.

Таблиця 2.3 – Параметри шин, які використовуються на підстанції

Тип проводу	Зовнішній діаметр проводу, мм	Електричний опір 1 км проводу, постійному струму при 20°C, Ом/км	Розривне зусилля, кгс	Маса 1 км дроту, кг/км
АСО-300	30,2	0,065	8860	1836
АС-300	24,2	0,107	10190	1257

2.4. Комутаційне обладнання підстанції

На збірних шинах з напругою 330 кВ встановлено по 2 вимикачі серії ВББ з номінальною напругою 330 кВ та номінальним струмом 3200 А.

Основні номінальні характеристики зведено в табл. 2.4. Всередині опорних колонок прокладено по два скловолоконних повітропроводи. Перший з них слугує для постійного подачі стиснутого повітря в камери, а другий — для імпульсного подачі стиснутого повітря при відключенні та скиданні повітря

при увімкненні вимикача.

Дугогасительна камера має два основних та два допоміжних розриви. Основні контакти відключають повний струм електричного ланцюга. Вони замкнуті резисторами, які використовуються для вирівнювання розподілу напруги між розривами під час відключення та для зниження швидкості відновлення напруги. Допоміжні контакти відключають залишковий струм, що проходить через резистори після гасіння дуги на основних контактах.

Таблиця 2.4 — Технічні параметри вимикачів типу ВВБ

Назва	$U_{\text{ном}}$, кВ	К-ть дугогасних розривів	$I_{\text{ном}}$, А	$I_{\text{ном вимк}}$, кА	Повний час вимкнення, мс
ВВБ- 330/3200	330	8	3200	40	80

На підстанції 330/110/35 кВ «Броваришинська» встановлені роз'єднувачі типу РД(3)-330/3150У1 з двома заземлюючими ножами.

Роз'єднувач двоколонковий, горизонтально – поворотного типу, установка - зовнішня, призначений для включення та відключення знеструмлених ділянок електричного ланцюга високої напруги, а також заземлення відключених ділянок за допомогою заземлювачів.

Загальний вигляд робочої установки роз'єднувача типу РД(3)-330/3150У1 показаний на рис. 2.3.



Рис. 2.3 - Загальний вигляд роз'єднувача типу РД(3)

Роз'єднувачі при необхідності відтворюють потрібний видимий розрив при проведенні робіт, а також слугують для виконання перемикання між секціями збірних шин із напругою 330 кВ. Виробник роз'єднувача «Запоріжський завод високовольтної апаратури».

Таблиця 2.5 — Технічні параметри роз'єднувача типу РД(3)

Тип	Напруга, кВ		Номінальний струм, А	Номінальний струм відключення, кА	Час відключення, мс
	U _{ном}	U _{max}			
РД(3)-330/3150У1	330	363	3150	63	60

2.5 Обмежувачі напруг

Захист від перенапруг забезпечують перенапружувачі 3EQ1288-2PP32-4NE1, Polimo12N, ОПНп-110/82/3 УХЛ1, PEXLIM R-108-УН123 - технічні характеристики яких наведені в таблиці 2.6.

Таблиця 2.6 — Характеристики обмежувачів перенапруг на підстанції

Тип	$U_{\text{ном}}$, кВ	Номінальний розрядний струм, кА	Струм термічної стійкості, кА	Імпульс струму тривалістю 20 с, А
3EQ1288-2PP32-4NE1	330	10	50	1100
PEXLIM R-108-YN123	123	10	50	600
ОПНп-110/ 82/3 УХЛ1,	110	10	50	550
Polimo 12N	10	20	63	100

2.6 Вимірювальні трансформатори напруги та струму

Збір даних по струму проводять вимірювальні трансформатори струму типу ІМВ 362 200/1А.

На ПС «Броваришинська» встановлено трансформатори напруги таких типів: SVS362/5, НКФ-110, TV-1 145 та НТМИ-10. Характеристики ВТ наведені у табл. 2.7.

Таблиця 2.7 – Вимірювальні ТН підстанції

Тип	$U_{\text{ном}}$, кВ	Номінальний напруга 1, В	Номінальний напруга 2, В	Номінальна потужність, В·А	Клас точності
SVS-362/5	330	330000	100	1500	1
TV1 145	145	110000	100	1500	1
НКФ-110	110	110000	100	1200	3
НТМИ-10	10	10000	100	500	3

На ПС «Броваришинська» встановлено ВС таких типів: ТФКН-330, SAS362-2000, TG145, ТПОЛ-10, ТПОЛ-600/5, ТФНД-110-1000, ТЛШ-10УЗ-

3000/5. Характеристики вимірювальних трансформаторів струму занесені у табл. 2.8.

Таблиця 2.8 – Вимірювальні ТС підстанції

Тип	$U_{\text{ном}}, \text{кВ}$	$I_{\text{ном1}}, \text{А}$	$I_{\text{ном2}}, \text{А}$	$I_t, \text{кА}$	Клас точності
ТФКН-330-2000	330	2000	5	19,8	1
SAS-362-2000	330	2000	5	-	0,5
ТФНД-110-1000	110	1000	5	24,6	3
TG 145	110	1000	5	30	3
ТПОЛ-10 800/5	10	800	5	32	3
ТПОЛ 600/5	10	600	5	32	3
ТЛШ-10УЗ 3000/5	10	3000	5	31,5	3

2.7 Трансформатори власних потреб

На ПС «Броваришинська» експлуатується трансформатор ВП ТМ-400/100/0,4. Номінальні характеристики ТВП наведено у табл. 2.9.

Таблиця 2.9 — Номінальні характеристики ТВП

Тип	$S_{\text{ном}}, \text{МВА}$	$U_{\text{ВН}}, \text{кВ}$	$U_{\text{НН}}, \text{кВ}$	$P_x, \text{кВт}$	$P_k, \text{кВт}$	$U_{\text{к.з.}}, \%$	$I_x, \%$
ТМ-400/100/0,4	0,4	10	0,4	0,77	5,4	4,5	1.9

2.8 Реактори

На підстанції працює реактор типу РБДГ-35-4000. Технічні характеристики струмообмежуючого реактора вказані у табл. 2.10.

Таблиця 2.10 – Технічні характеристики струмообмежуючого реактора підстанції

Тип реактора	$U_{\text{ном}}, \text{кВ}$	$I_{\text{ном}}, \text{кА}$	$I_d, \text{кА}$	Індуктивний опір, Ом	$I_t, \text{кА}$
РБДГ-35-4000	35	4000	97	0,105	38

2.9 Розрахунок струмів КЗ

2.9.1 Розрахункова схема, заступна схема та визначення базових величин

Для подальших розрахунків КЗ на шинах підстанції складемо розрахункову схему, яка наведена на рис. 2.4.

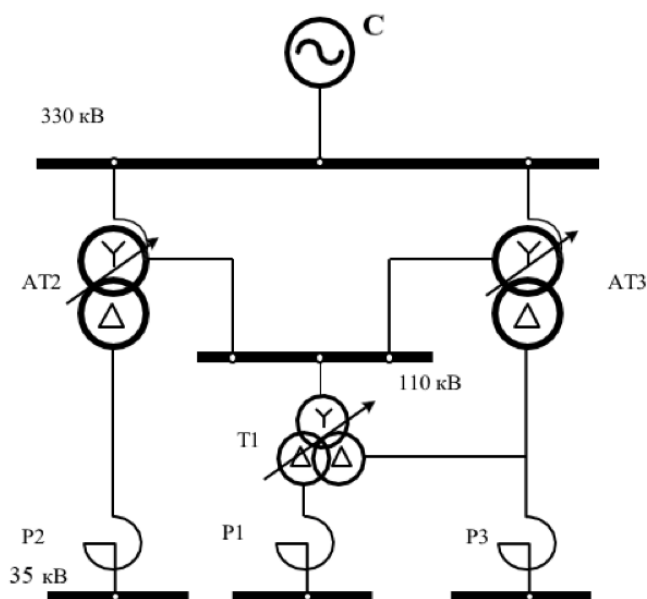


Рисунок 2.4 – Розрахункова схема для ПС «Броваришинська»

За умовою розрахунку маємо параметри ПС для розрахунку струмів КЗ:

Опір системи складає $X_c = 0,22$ в.о.

Потужність системи складає $S_c = S_6 = 220$ МВА.

Приймемо такі базисні напруги:

$$U_{6(330)} = 330 \text{ кВ};$$

$$U_{6(110)} = 110 \text{ кВ};$$

$$U_{6(35)} = 35 \text{ кВ}$$

Перетворимо розрахункову схему в заступну, показана на рис.2.5.

$$X_{B2} = X_{B3} = \frac{0,5 \cdot (U_{KB-H} + U_{KB-C} - U_{KC-H})}{100} \cdot \frac{S_6}{S_{T.B.}} =$$

$$= \frac{0,5 \cdot (38 + 10,5 - 25)}{100} \cdot \frac{220}{125} = 0,207 \text{ в. о.}$$

Сторона СНАТ

$$X_{C2} = X_{C3} = \frac{0,5 \cdot (U_{KB-C} + U_{KB-H} - U_{KC-H})}{100} \cdot \frac{S_6}{S_{T.B.}} =$$

$$= \frac{0,5 \cdot (10,5 + 25 - 38)}{100} \cdot \frac{220}{125} = -0,022 \text{ в. о.}$$

Сторона ННАТ

$$X_{H2} = X_{H3} = \frac{0,5 \cdot (U_{KB-C} + U_{KB-H} - U_{KC-H})}{100} \cdot \frac{S_6}{S_{T.B.}} =$$

$$= \frac{0,5 \cdot (38 + 25 - 10,5)}{100} \cdot \frac{220}{125} = 0,462 \text{ в. о.}$$

Опір трансформатора Т-1

$$X_{B1} = \frac{U_{KB}}{100} - \frac{U_{KH}}{200} \cdot \frac{S_6}{S_{T.B.}} = \left(\frac{10,5}{100} - \frac{30}{200} \right) \cdot \frac{220}{63} = -0,157 \text{ в. о.}$$

$$X_{H1-1} = X_{H1-2} = \frac{U_{KH}}{100} \cdot \frac{S_6}{S_{T.B.}} = \frac{30}{100} \cdot \frac{220}{63} = 1,048 \text{ в. о.}$$

Опір струмообмежуючого реактора, прийнявши $U_{KB} = 35 \text{ кВ.}$

$$X_{P1} = X_{P2} = X_{P3} = X_{\text{інд}} \cdot \frac{S_6}{U_{\text{ср}}^2} = 0,105 \cdot \frac{220}{35^2} = 0,019 \text{ в. о.}$$

2.9.2 Розрахунок струмів короткого замикання в режимі без паралельного підключення АТ-3 і в режимі без врахування навантажень

Розглядаємо випадок схеми без врахування навантаження та без паралельного підключення АТ-3.

Проведемо розрахунки для точок короткого замикання на шинах з

напругами 330 кВ, 110 кВ, та на шині 35 кВ. Заступна схема показана на рис. 2.6.

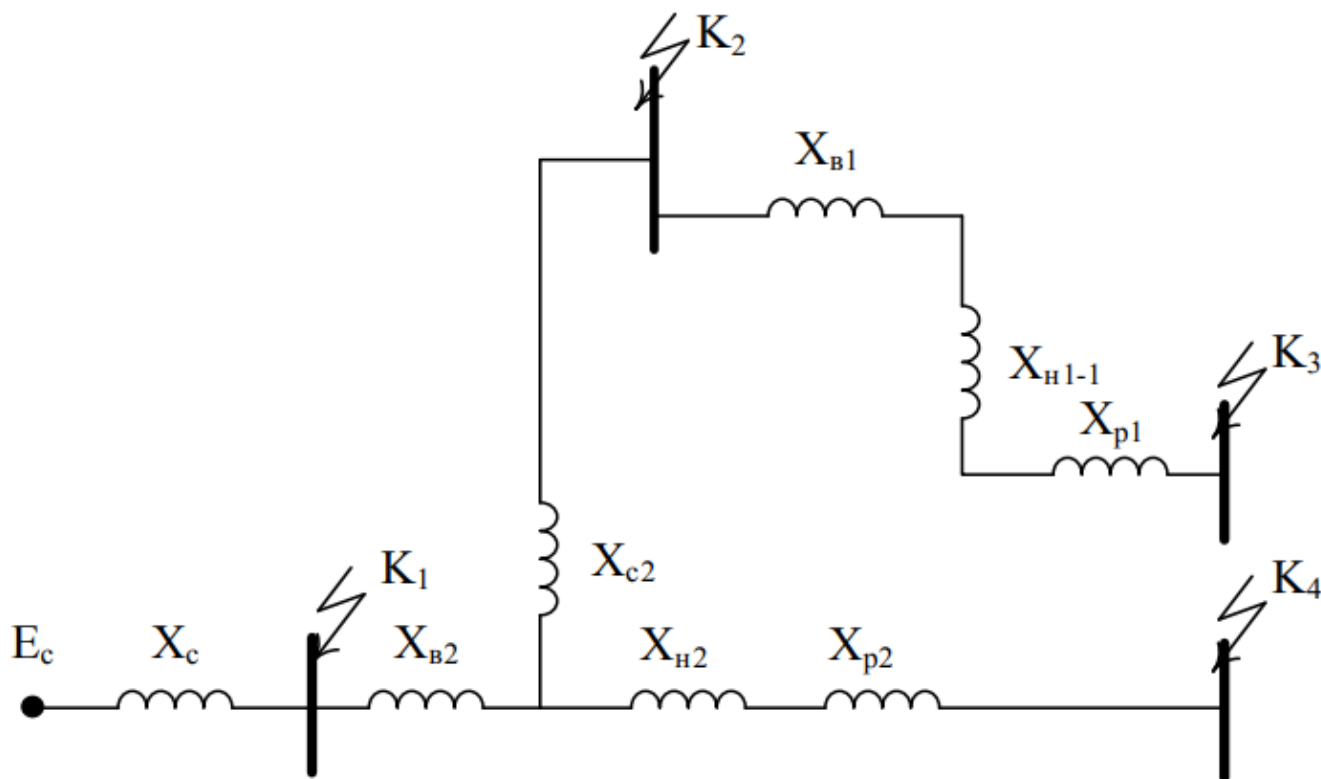


Рисунок 2.6 – Розрахункова заступна схема для ПС без паралельного підключення АТ-3 та навантаження

Розглядаючи кожну з точок короткого замикання, знаходимо еквівалентний опір системи.

Точка КЗ 1. На рис. 2.7 наведений вид заступної схеми для точки КЗ 1.

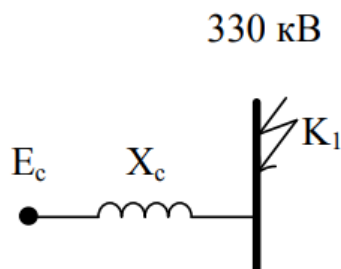


Рисунок 2.7 – Схема для пошуку еквівалентного опору при КЗ 1

Точка КЗ 2. Еквівалентний опір буде відповідно дорівнювати опору

системи:

$$X_{E1} = X_c = 0,22 \text{ в. о.}$$

На рис. 2.8 наведений вигляд заступної схеми при КЗ 2.

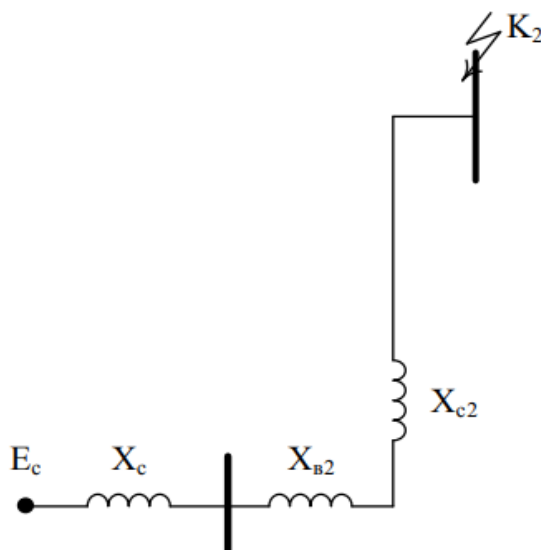


Рисунок 2.8 – Розрахункова заступна схема ПС для пошуку еквівалентного опору при КЗ 2

Розрахуємо еквівалентний опір:

$$X_{E2} = X_c + X_{B2} + X_{c2} = 0,22 + 0,207 - 0,022 = 0,334 \text{ в. о.}$$

Точка КЗ 3. На рис. 2.9 наведений вигляд заступної схеми при КЗ 3.

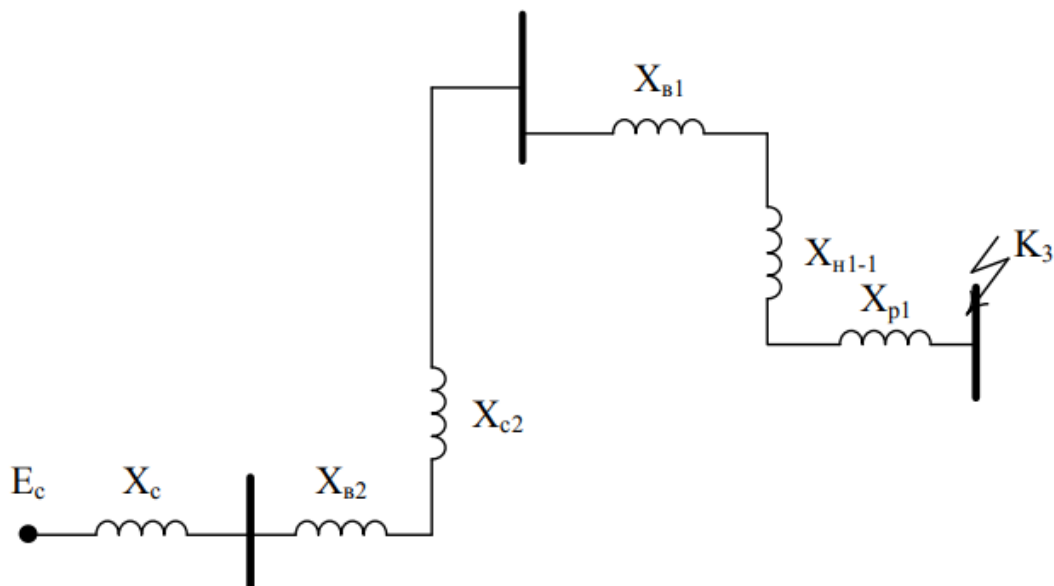


Рисунок 2.9 – Розрахункова заступна схема ПС для пошуку

еквівалентного опору для випадку один при КЗ 3

Знайдемо еквівалентний опір:

$$\begin{aligned} X_{E3} &= X_c + X_{B2} + X_{C2} + X_{B1} + X_{H1-1} + X_{P1} = \\ &= 0,22 + 0,207 - 0,022 - 0,157 + 1,048 + 0,019 = 1,315 \text{ в. о.} \end{aligned}$$

Точка КЗ 4. На рис. 2.10 показано вид заступної схеми при КЗ 3.

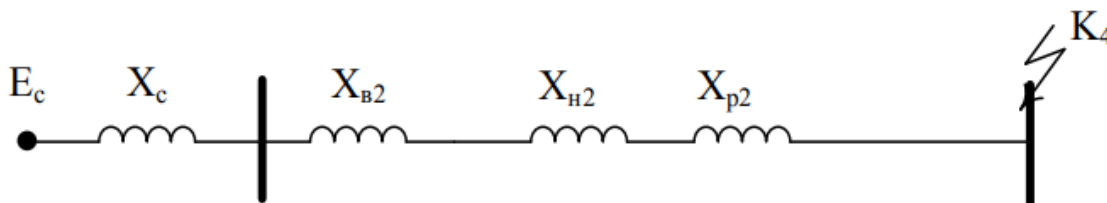


Рисунок 2.10 – Заступна схема для пошуку еквівалентного опору при КЗ

4

Еквівалентний опір розраховується наступним чином:

$$X_{E4} = X_c + X_{B2} + X_{H1-2} + X_{P2} = 0,22 + 0,207 + 1,048 + 0,019 = 1,494 \text{ в. о.}$$

Знайдемо струми короткого замикання в кожній з потрібних точок.

Точка КЗ 1:

$$I_{K3\ 1} = \frac{E_c}{X_{E1}} \cdot I_{6(330)} = \frac{1}{0,22} \cdot 0,385 = 1,75 \text{ кА}$$

Точка КЗ 2:

$$I_{K3\ 2} = \frac{E_c}{X_{E2}} \cdot I_{6(110)} = \frac{1}{0,405} \cdot 1,155 = 2,852 \text{ кА}$$

Точка КЗ 3:

$$I_{K3\ 3} = \frac{E_c}{X_{E3}} \cdot I_{6(35)} = \frac{1}{1,315} \cdot 3,629 = 2,76 \text{ кА}$$

Точка КЗ К 4:

$$I_{K3\ 4} = \frac{E_c}{X_{E4}} \cdot I_{6(35)} = \frac{1}{1,494} \cdot 3,629 = 2,429 \text{ кА}$$

Результати розрахунків отриманих струмів КЗ введені в табл. 2.11

Таблиця 2.11 — Отримані результати розрахунку струмів трифазного КЗ

Точка КЗ	Значення струму для трифазного КЗ, кА
К 1	1,75
К 2	2,852
К 3	2,76
К 4	2,429

2.9.3 Розрахунок струмів КЗ у випадку без врахування навантаження і з паралельним підключенням АТ-3

Розглянемо схему при паралельній роботі пари автотрансформаторів на ПС і виключеною з шин 35 кВ обмоткою НН-2 та розрахуємо опір.

Розрахуємо на різних шинах 4 точки КЗ:

В даному розрахунку еквівалентний опір та струм КЗ для точки 1 дорівнює першому випадку. Визначимо еквівалентні опори:

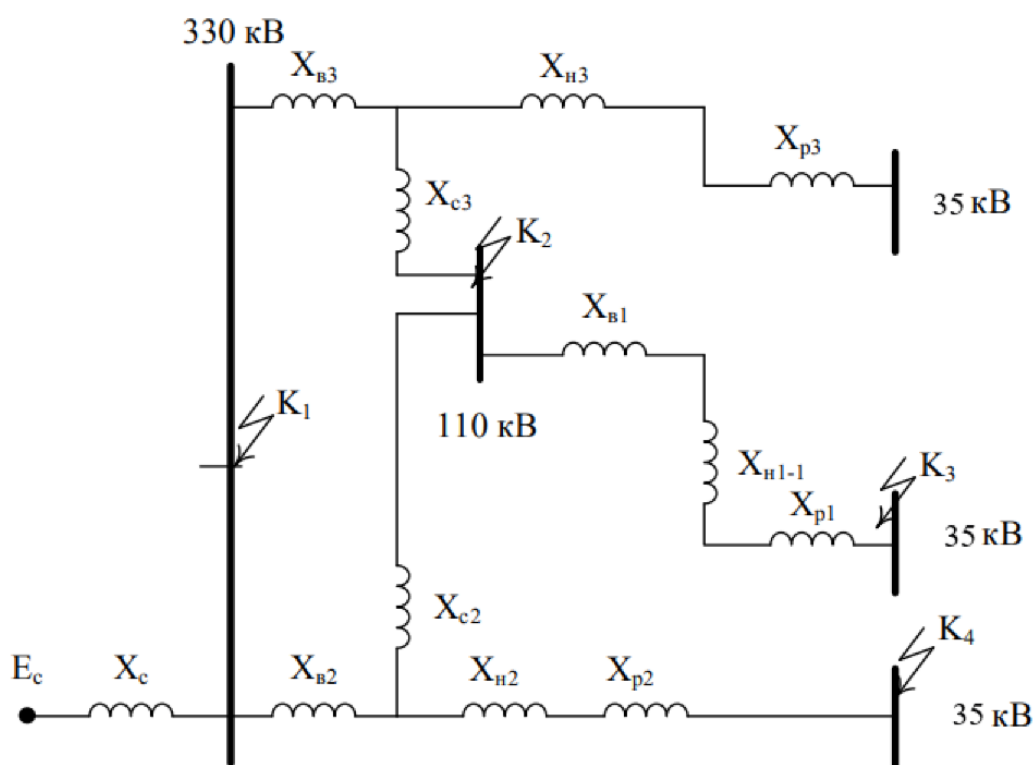


Рисунок 2.11 – Початкова розрахункова схема

Точка КЗ 2:

На рис. 2.12 наведений вигляд заступної схеми для цієї точки.

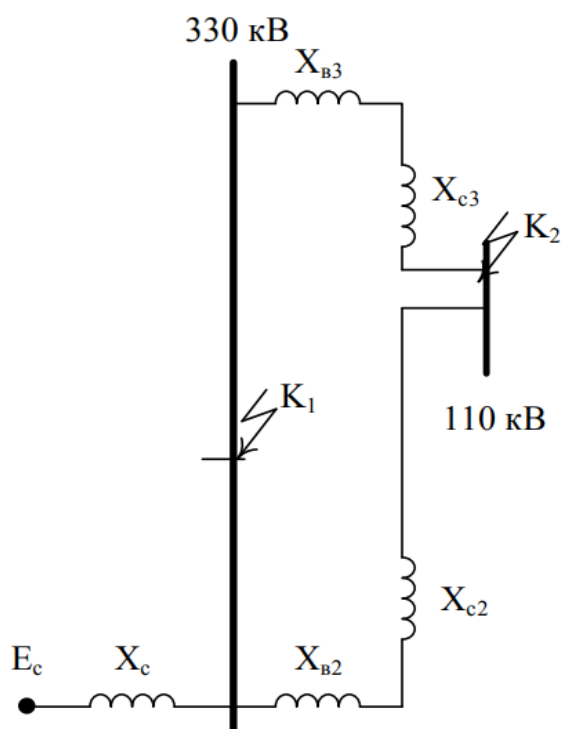


Рисунок 2.12 – Розрахункова схема для пошуку значення КЗ

$$+ \frac{(0,207 - 0,022) \cdot (0,207 - 0,022)}{(0,207 - 0,022) + (0,207 - 0,022)} - 0,157 + 1,048 + 0,019 = 1,222 \text{ в. о.}$$

Розрахункова схема для пошуку значення КЗ 3 показана на рис.2.13.

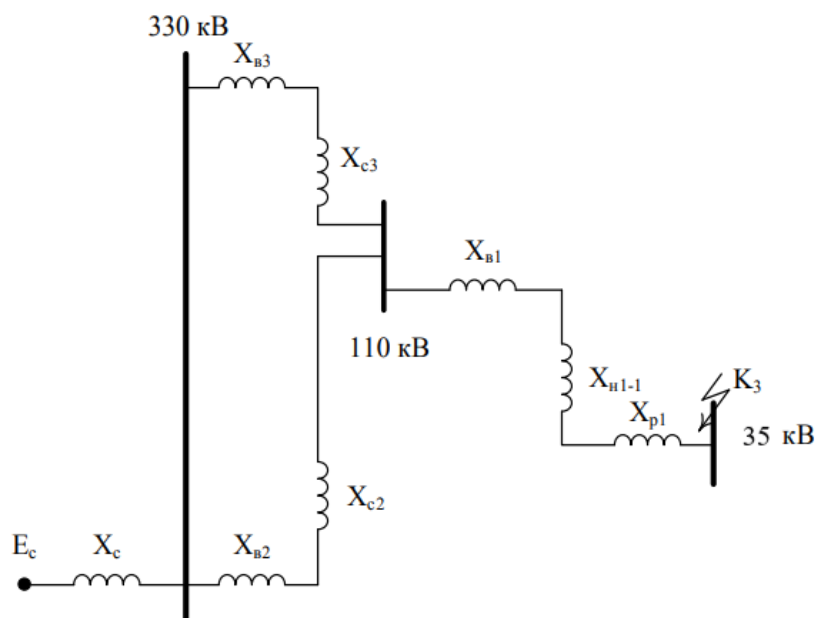


Рисунок 2.13 – Розрахункова схема для пошуку значення КЗ 3

Точка КЗ 4:

На рис. 2.14 наведений вигляд заступної схеми для цієї точки.

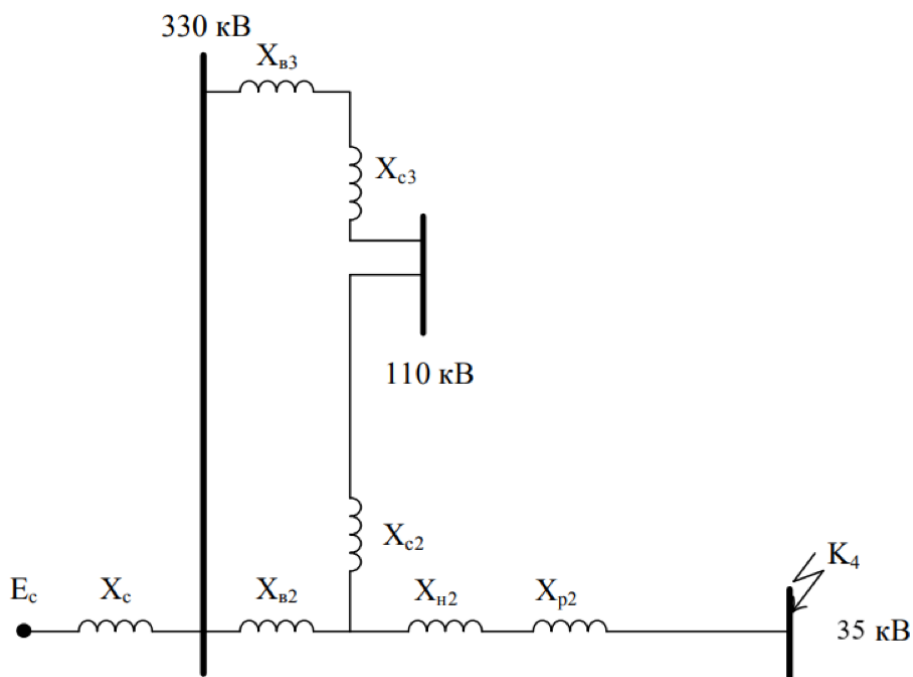


Рисунок 2.14 – Розрахункова схема для пошуку значення КЗ 4

Знаходимо еквівалентний опір:

Опори X_{B3} , X_{C3} , X_{B2} , X_{C2} складають трикутник опорів. Для зручніших розрахунків трикутник перетворимо до зірки відповідно за схемами під рис. 2.15 та рис. 2.16.

Зробимо спрощення наступним чином:

$$X_{1-1} = X_{B3} + X_{C3} = 0,207 - 0,022 = 0,143 \text{ в. о.}$$

$$X_{1-2} = X_{H2} + X_{P2} = 0,462 + 0,019 = 0,481 \text{ в. о.}$$

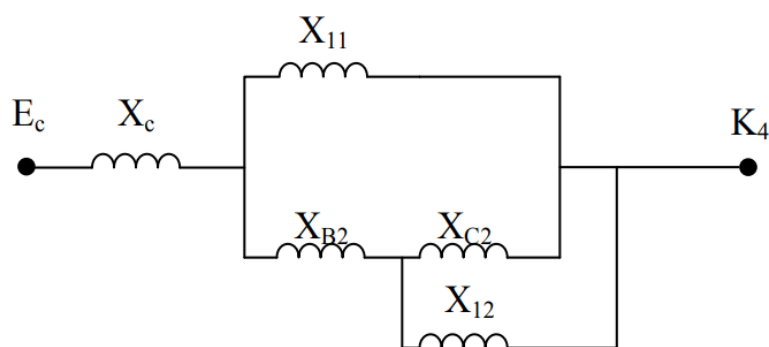


Рисунок 2.15 – Спрощення схеми від трикутника до зірки

Виконаємо еквівалентування з трикутника в зірку:

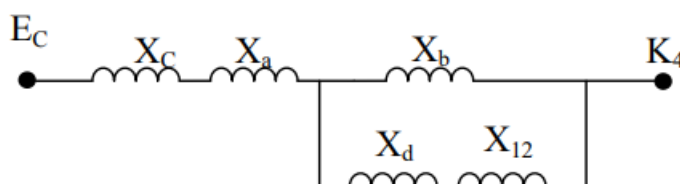


Рисунок 2.16 – Заступна схема після виконання еквівалентування

$$X_a = \frac{X_{B2} \cdot X_{1-1}}{X_{1-1} + X_{B2} + X_{C2}} = \frac{0,207 \cdot 0,143}{0,143 + 0,207 - 0,022} = 0,09 \text{ в. о.}$$

$$X_b = \frac{X_{C2} \cdot X_{1-1}}{X_{1-1} + X_{B2} + X_{C2}} = \frac{-0,022 \cdot 0,143}{0,143 + 0,207 - 0,022} = -0,01 \text{ в. о.}$$

$$X_d = \frac{X_{C2} \cdot X_{B2}}{X_{1-1} + X_{B2} + X_{C2}} = \frac{-0,022 \cdot 0,207}{0,143 + 0,207 - 0,022} = -0,014 \text{ в. о.}$$

$$X_{E4} = X_C + X_a + \frac{(X_{1-2} + X_d) \cdot X_b}{X_{1-2} + X_d + X_b} =$$

$$= 0,22 + 0,074 + \frac{(0,481 - 0,014) \cdot (-0,01)}{0,481 - 0,014 - 0,01} = 0,284 \text{ в. о.}$$

Для точки К 1:

$$I_{K31} = \frac{E_C}{X_{E1}} \cdot I_{6(330)} = \frac{1}{0,22} \cdot 0,385 = 1,75 \text{ кА}$$

Для точки К 2:

$$I_{K32} = \frac{E_C}{X_{E2}} \cdot I_{6(110)} = \frac{1}{0,313} \cdot 1,155 = 3,69 \text{ кА}$$

Для точки К 3:

$$I_{K33} = \frac{E_C}{X_{E3}} \cdot I_{6(35)} = \frac{1}{1,222} \cdot 3,629 = 2,97 \text{ кА}$$

Для точки К 4:

$$I_{K34} = \frac{E_C}{X_{E4}} \cdot I_{6(35)} = \frac{1}{0,284} \cdot 3,629 = 12,778 \text{ кА}$$

Отримані результати струмів КЗ внесено у табл. 1.12.

Таблиця 2.12 — Отримані значення струму трифазного КЗ для обох

Назва точки де випадків розраховувався струм КЗ	Отримані значення струму трифазного КЗ перший випадок, кА	Отримані значення струму трифазного КЗ другий випадок, кА
К 1	1,75	1,75
К 2	2,852	3,69
К 3	2,76	2,97
К 4	2,429	12,778

2.10 Вимірювальні прилади та прилади обліку

Вимірювальні прилади на підстанції 330 кВ грають важливу роль у забезпеченні надійності та ефективності роботи електроенергетичної системи.

Основні функції вимірювальних приладів на підстанціях 330 кВ включають:

1. Вимірювання напруги і струму.
2. Контроль потужності.
3. Моніторинг електричних параметрів.
4. Захист та координація. Вимірювальні прилади використовуються для реалізації захисту системи від перевантажень, коротких замикань та інших аварійних ситуацій.
5. Контроль індикації стану обладнання.
6. Реєстрація подій.

Основні вимірювальні пристрої ПС занесені в табл.2.12.

Таблиця 2.13 – Вимірювальні пристрої та прилади обліку

Вимірювальні пристрої	Тип	Потужність S, ВА	
		Струм	Напруга
Амперметр	Е350	0,5	
Вольтметр	Е335		1,5
Ваттметр	Д335	0,5	1,5
Варметр	Д335	0,5	1,5
Датчик активної потужності	Е829		10
Датчик реактивної потужності	Е830		10
Частотомір	Е372		3
Синхроноскоп	Е327		
Регіструючий амперметр	Н344	10	
Регіструючий вольтметр	Н344		10
Регіструючий ваттметр	Н348	10	10
Лічильник активної енергії	И674	2,5	3
Лічильник реактивної енергії	И673	2,5	3

2.11 Засоби релейного захисту і автоматики підстанції

Засоби релейного захисту і автоматики на підстанції 330 кВ грають ключову роль у забезпеченні надійності та безпеки електроенергетичної системи. Основні завдання засобів релейного захисту та автоматики включають в себе виявлення та ізоляцію відключення від мережі ділянок, які потребують захисту, а також автоматизацію операцій та управління обладнанням підстанції.

Основою захисту можна назвати автоматичне повторне ввімкнення (АПВ) - технічний процес або функція, за допомогою якої система або пристрій автоматично вмикається знову після вимкнення або відключення, якщо відновлені певні умови або параметри.

Ця функція може бути реалізована для різноманітних систем і пристроїв, включаючи електричні, електронні, автоматичні та інші. Вона застосовується з метою автоматизації процесу відновлення роботи після тимчасового відключення чи вимкнення.

Проте, важливо враховувати, що в деяких випадках автоматичне повторне ввімкнення може бути небезпечним або непридатним, особливо якщо це стосується систем безпеки чи критичних умов. Такі функції зазвичай визначаються з урахуванням конкретних вимог та безпекових стандартів.

При відключенні джерела живлення яке є основним повинне спрацювати АВР - автоматичне включення резерву. У випадку аварії, відключення основної мережі або інших проблем, система АВР може виявити ситуацію та автоматично підключити резервне джерело, щоб забезпечити неперервне енергопостачання. Це особливо важливо для систем, які вимагають постійного електроживлення.

Важливу роль відіграє і регулювання під навантаженням (РПН) трансформаторів - технологічний процес, який дозволяє змінювати параметри трансформатора в режимі реального часу під час його роботи, зокрема, під впливом зміни навантаження. Це забезпечує оптимальні умови для роботи трансформатора при зміні навантаження та відповідно до вимог системи електропостачання.

Обов'язково на ПС важливою функцією автоматики є РПН. Основні завдання РПН трансформаторів включають в себе:

1. Підтримка напруги. РПН може автоматично регулювати вихідну напругу трансформатора, забезпечуючи її в межах допустимих значень при зміні навантаження.

2. Компенсація потужності. Деякі РПН можуть також використовуватися для компенсації реактивної потужності, забезпечуючи ефективне використання ресурсів.

3. Стабілізація температури. Деякі системи РПН можуть включати функції для управління температурою трансформатора, щоб забезпечити його нормальну експлуатацію.

4. Моніторинг та діагностика. Багато РПН обладнані системами моніторингу, які слідкують за різними параметрами трансформатора, такими як температура, струм, напруга, щоб вчасно виявляти будь-які аномалії чи відхилення від норми. Цей процес дозволяє оптимізувати роботу трансформатора та підтримувати його ефективну експлуатацію в різних умовах навантаження.

Мікропроцесорні засоби релейного захисту і автоматики на підстанції 330 кВ представляють сучасні системи, які використовують мікропроцесори для виконання різноманітних функцій захисту, контролю та автоматизації. Ці системи можуть включати:

1. Мікропроцесорні реле. Засоби релейного захисту, що використовують мікропроцесори для обробки вхідних сигналів та прийняття рішень щодо відключення обладнання в разі виявлення несправностей.

2. Програмовані логічні контролери (ПЛК). Застосовуються для автоматизації різноманітних процесів у підстанції, таких як керування вимикачами, регулювання напруги та інші операції.

3. Системи моніторингу та діагностики. Забезпечують постійний моніторинг стану обладнання на основі отриманих даних, що дозволяє вчасно виявляти потенційні проблеми.

4. Комунікаційні модулі. Дозволяють обмін даними між різними частинами системи та інтеграцію з системами вищого рівня.

5. Графічні інтерфейси та пульт управління. Забезпечують зручний візуальний доступ до інформації та можливість керування системою.

6. Алгоритми захисту та керування. Вбудовані програмні алгоритми для автоматичного реагування на різні події та забезпечення надійного захисту системи.

Ці мікропроцесорні засоби дозволяють створити ефективну, гнучку та надійну систему релейного захисту та автоматики на підстанції 330 кВ.

2.12 Засоби захисту підстанції

Виявлення різниці струмів на вході та виході електричного обладнання для виявлення коротких замикань виконує диференційний захист. Диференційний захист широко використовується для захисту трансформаторів, генераторів, ліній передачі, а також інших електричних об'єктів у системах потужності.

Для захисту трансформаторів напруги на КРУ використовуються плавкі запобіжники типу ПКТ-10. На відходячих лініях електропередач встановлюють пристрої високочастотної обробки (конденсатори зв'язку, фільтри приєднання та заградники) окремих фаз для створення каналів зв'язку по проводах ЛЕП. Конденсатор зв'язку формує шлях для струмів високої частоти від передавача до лінії, одночасно відокремлюючи останній від високої напруги промислової частоти лінії. Фільтр приєднання вирівнює вхідний опір високочастотного кабеля з вхідним опором лінії і з'єднує конденсатор зв'язку з землею, утворюючи таким чином замкнений контур для струмів високої частоти. Заградник перешкоджає виходу струмів високої частоти за межі лінії.

Основні засоби захисту від замикань на землю включають:

Релейний захист надлишкового струму (51N): Релейні пристрої можуть виявляти надлишковий струм, що виникає внаслідок короткого замикання на землю, і вимикати відповідний ланцюг.

Релейний захист надлишкового напруги (59N): Виявлення виникнення надлишкової напруги, що може виникнути при замиканні на землю, та вимкнення відповідних ланцюгів.

Диференціальний захист замикань на землю (87N): Системи диференціального захисту вимірюють струми вводу та виводу об'єкта та порівнюють їх, щоб виявити надмірний струм, що може свідчити про замикання на землю.

Захист від замикань на землю з використанням заземленого нейтралю (64N): Використання заземленого нейтралю може допомогти виявити та усунути замикання на землю.

Системи заземлення та вимірювальні пристрої: Ефективна система заземлення та вимірювальні пристрої допомагають контролювати стан імпедансу ґрунту та виявляти можливі проблеми з замиканням на землю.

На ПС встановлені розрядники типу СТР-10 (сферичні тригерні розрядники) розрядники і виконують такі функції:

1. Захист від перенапруг. Розряджають енергію перенапруг, захищаючи обладнання від пошкоджень.

2. Захист від ураження струмом. Запобігають ураженням струмом при виникненні надлишкової напруги.

3. Захист обладнання. Запобігають пошкодженню електротехнічного обладнання від перенапруг.

4. Захист ліній та трансформаторів. Мінімізують ризик виникнення перенапруг на лініях та трансформаторах.

5. Підтримка сталого напруженого рівня. Допомагають утримувати сталу напругу в системі.

6. Забезпечення нормальної роботи мережі. Гарантують безперебійну роботу електричної мережі, попереджаючи екстремальні значення напруги.

Вибір обмежувача перенапруг наведений в розділі 2.5. Щоб уникнути провисання проводів, встановлено опірний штанговий ізолятор С4-450.

Висновки

У другому розділі магістерської дисертації розглянуто ПС з напругою 330/110/35 кВ «Броваришинська». Була наведена схема електричних з'єднань підстанції. Далі було описано основне обладнання, що встановлене на ПС, силові трансформатори та автотрансформатори, вимикачі, роз'єднувачі, збірні шини, захисне обладнання, вимірювальні прилади, засоби релейного захисту, трансформатори власних потреб.

ПС поділена на 3 рівні напруги - висока (ВН), середня (СН) та низька (НН). Силові трансформатори виконані з відкритою установкою. Компонівка ВРУ 330 кВ складає собою систему «чотирикутник». Електричне з'єднання з боку 110 кВ виконано за схемою в «2 робочі з обхідною системою шин». Електричне з'єднання на стороні НН 35 кВ виконано в «3 робочі системи шин».

Також було проведено розрахунки струмів трифазного КЗ. Було розраховано два різних випадки, перший - коли навантаження не враховано та АТ 3 не включено в паралельну роботу. Другий випадок - коли навантаження не враховується, а АТ 3 включено на паралельну роботу. Отримані результати для обох розрахунків зведено в таблиці.

3 ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ВИСОКОВОЛЬТНИХ ВИМИКАЧІВ СЕРІЇ ВВБ

3.1. Призначення і основні технічні характеристики

Повітряні високовольтні вимикачі є ключовим елементом в електричних мережах для керування та забезпечення безпечної експлуатації. Вони використовуються для відключення та включення електричних ліній, станцій та інших складних енергетичних систем.

Основні дані стосовно високовольтних вимикачів серії ВВБ:

1. Призначення:

- Керування та захист високовольтних електричних мереж.
- Відкриття та закриття ліній для забезпечення правильного функціонування та безпеки системи.

2. Технічні характеристики:

- Напруга робоча: Максимальна напруга, при якій вимикач може нормально функціонувати.
- Струм робочий. Максимальний струм, який може переносити вимикач під час своєї роботи.
- Рівень ізоляції. Здатність вимикача забезпечувати відсутність електричного струму між його контактами в умовах вимкнення.
- Час вимкнення. Швидкість, з якою вимикач відключає електричний ланцюг після отримання команди.
- Цикли роботи. Кількість циклів відкриття та закриття, яку вимикач може виконати перед обслуговуванням чи заміною.

3. Конструкція:

- Механізм вимкнення. Вимикачі можуть використовувати різні механізми для виключення електричного ланцюгу, такі як рукоятка, електропривід або пневматичний привід.
- Контактна система: Вимикачі можуть мати різні типи контактних систем, такі як повітряна або масляна ізоляція.

4. Застосування:

Високовольтні вимикачі широко використовуються в електроенергетичних системах для керування і захисту високовольтних ліній та обладнання.

5. Стандарти та сертифікація:

- Вимикачі повинні відповідати стандартам та нормам, встановленим органами з стандартизації та безпеки.

Вимикачі серії ВВБ випускаються на напругу 110...750 кВ. Контактна система полюса разом зі своїм механізмом і дуттьовим клапаном перебуває всередині металевої камери, наповненої стисненим повітрям та ізолюваної від землі порцеляною опорною колонкою. Камера перебуває під високим потенціалом. Полюс вимикача 220 кВ складається з двох металевих камер, розділених проміжним ізолятором.

Таблиця 3.1 – Основні технічні характеристики вимикачів серії ВВБ

Характеристика	ВВБМ-110	ВВБ-220Б	ВВД-220	ВВД-330Б	ВВБ-500А	ВВБ-750А	ВВУ-35
1. Найменший тиск спрацювання вимикача при відключенні, МПа, не більше	1,4	1,4	1,9	1,4	1,4	1,9	1,4
2. Тиск включення головних контактів при наповненні резервуарів дугогасильних камер стисненим повітрям, МПа	0,4-0,6	0,4-0,6	0,4-0,6	0,4-0,6	0,4-0,6	0,4-0,6	0,4-0,6
3. Тиск включення контактів шунтуючого ланцюга при наповненні резервуарів дугогасильних камер стисненим повітрям, МПа	1,0-1,3	1,0-1,3	1,0-1,3	-	-	-	-
4. Падіння (скидання) тиску в резервуарах при відключенні, МПа	0,26-0,3	0,26-0,3	0,4-0,45	0,3-0,35	0,24-0,28	0,31-0,37	0,24-0,28
5. Власний час відключення (від подачі команди до першого розмикання головних контактів), з	0,045-0,055	0,05-0,063	0,05-0,063	0,057-0,065	0,057-0,065	0,038-0,042	0,045-0,055
6. Різномасштабність розмикання головних контактів, с, не більше:							
- полюса	-	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004	-
- Трьох полюсів	0,004	0,005	0,008	0,01	0,01	0,01	0,005
7. Запізнення розмикання контактів шунтующої ланцюга щодо останнього розмикання головних контактів, з	0,027-0,04	0,027-0,04	0,027-0,04	-	-	-	-
8. Різномасштабність розмикання контактів шунтующої ланцюга, з, не більше	0,003	0,004	0,003	-	-	-	-
9. Тривалість відключає імпульсу, с, не менше	0,03	0,03	0,027	0,03	0,03	0,025	0,03
10. Тривалість додаткового дуття, с, не менш	-	-	-	-	-	-	-
11. Час від моменту розмикання головних контактів до початку додаткового дуття, з, не більше	-	-	-	-	-	-	-
12. Власний час включення (від подачі команди до останнього замикання головних контактів), з	Не більше 0,2	Не більше 0,2	0,15-0,25	0,24-0,25	0,24-0,25	0,1-0,106	Не більше 0,15

3.2. Побудова і принципи роботи вимикачів ВВБ

Усередині опорних колонок прокладено по два склопластикових повітропроводи, один з яких слугує для постійного подавання стисненого повітря до камер, другий - для імпульсного подавання стисненого повітря під час відключення і скидання повітря під час увімкнення вимикача. Повітряний вимикач серії ВВБ-110 наведений на рис.3.1.

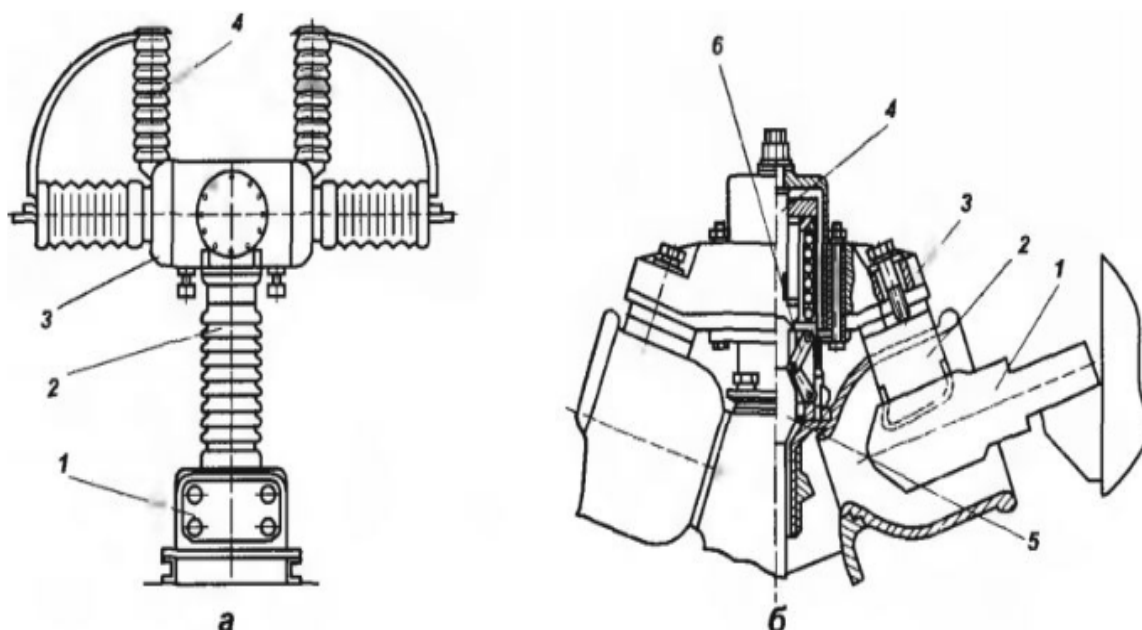


Рис.3.1 - Повітряний вимикач серії ВВБ-110: а - полюс вимикача: 7 - рама з цоколем (шафа управління); 2 - опорний ізолятор; 3 - дугогасна камера, 4 - шунтувальний конденсатор; 6 - дугогасна камера: 1 - нерухомий контакт; 2 - рухомий контакт; 3 - траверса; 4 - шток; 5 - виступ.

Дугогасильна камера має два головних і два додаткових розриви. Головні контакти відключають повний струм електричного кола. Вони шунтовані резисторами, які слугують для вирівнювання розподілу напруги між розривами в процесі вимкнення і для зниження швидкості відновлювальної напруги. Додаткові контакти відключають залишковий струм, що проходить через резистори після гасіння дуги на головних контактах.

По обидва боки камери є епоксидні вводи, захищені зовні порцеляновими покриттями від атмосферних впливів. Внутрішні порожнини опорних ізоляторів і порцелянових покриттів вводів постійно вентилуються. Для вентиляції повітря зниженого тиску подають трубами через редукторний клапан, установлений у розподільчій шафі. Коли вимикач вимкнений, повітря через покажчик продування на цоколі надходить у порожнину опорного ізолятора, а з нього, розгалужуючись, у покриття вводів і порожнину проміжного ізолятора. З покриттів вводів повітря виходить в атмосферу через покажчики продувки, встановлені на вводах. Якщо вимикач перебуває у

ввімкненому положенні, вентиляційне повітря, крім того, надходить у порожнини імпульсних повітропроводів.

Живлення повітряних вимикачів стисненим повітрям здійснюється через шафи управління, де розміщені елементи пневматичного та електричного управління - системи клапанів, електромагніти управління, допоміжні контакти з пневмоприводом, збірки затискачів пристрою світлової сигналізації положення вимикача. У шафі керування кожного полюса встановлений електроконтактний манометр, що показує тиск у гасильній камері полюса вимикача у відключеному його положенні.

Повітряний вимикач серії ВВБ-330 наведений на рис.3.2.

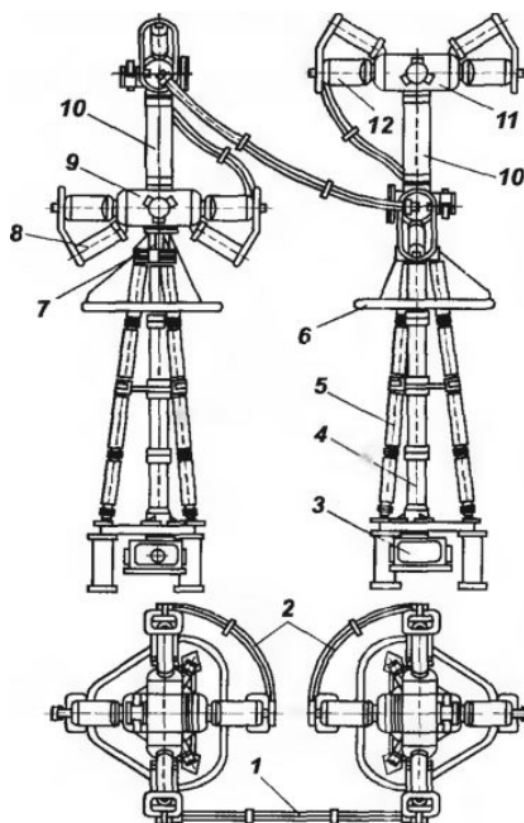
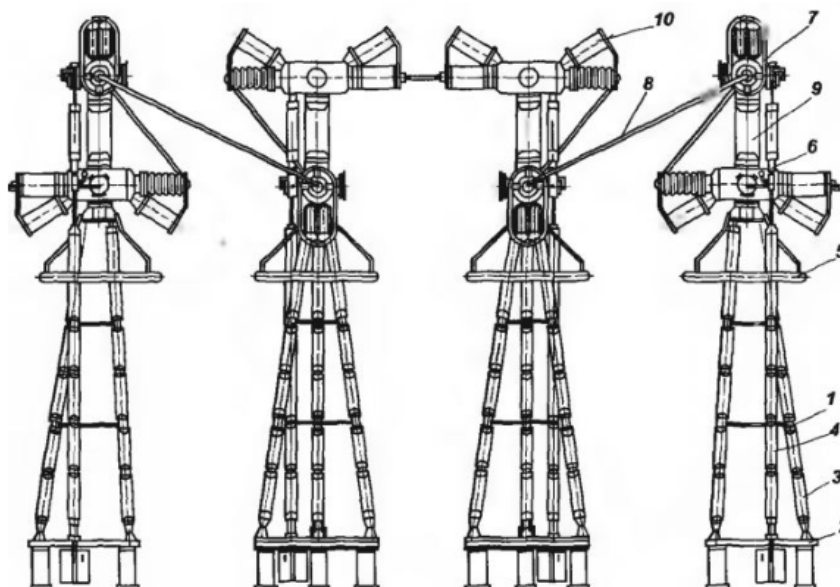


Рис.3.2 - Полюс вимикача ВВБ-330Б: 1 і 2 - шини; 3 - шафа управління полюса; 4 - центральна колона ізоляторів; 5 - опорні ізолятори; 6 - екран; 7 - патрубок; 8 і 12 - головні контакти; 10 - ізолятор проміжний; 9 і 11 - дугогасильні камери.

Повітряний вимикач ВВБ-750 показано на рис.3.3.



Повітряний вимикач ВВБ-750 (рис.3.3): 1 - цоколь; 2 - рама; 3 - опорна тринога; 4 - колонка управління; 5 - екрани; 6,7 - дугогасильні камери; 8 - трубчасті шини; 9 - проміжний ізолятор; 10 - конденсатор

Подача стисненого повітря з повітророзподільної мережі до вимикача здійснюється через розподільчу шафу, схема з'єднання якої з вимикачем показана на рис. За допомогою пристроїв розподільної шафи здійснюється очищення стисненого повітря, що надходить із магістрального повітропроводу, і його розподіл по камерах полюсів вимикача, редукування повітря для вентиляції, від'єднання зворотним клапаном резервуарів вимикачів від магістральних повітропроводів у разі зниження в них тиску, блокування роботи вимикачів у разі недостатнього тиску повітря.

Вимикачі на напруги 330, 500 і 750 кВ забезпечуються полюсними розподільними шафами, що мають між собою електричний зв'язок.

Увімкнення вимикача здійснюється впливом на електромагніт увімкнення, який відкриває пусковий клапан увімкнення. У результаті подальшої взаємодії клапанних систем вимикача відбувається переведення його механізму в положення, відповідне увімкненому вимикачу.

Вимкнення вимикача здійснюється впливом на електромагніт вимкнення,

який переміщує пусковий клапан вимкнення. Дія клапанних систем призводить до відкриття дуттєвих клапанів дугогасильних камер (через дуттєві клапани камери вимикача сполучаються з атмосферою, завдяки чому створюється дуття). Далі розмикаються головні контакти, і на обох розривах полюса виникає електрична дуга, яка під дією електродинамічних сил і стисненого повітря, що витікає з камер, перекидається на нерухомі контакти і гаситься при переході струму через нуль.

Якщо вимикач має шунтувальні резистори, то після згасання дуги на головних контактах відбувається розмикання додаткових контактів і відключення ними порівняно невеликого залишкового струму.

Після вимкнення вимикача його траверса з рухомими контактами утримується у вимкненому положенні спеціальним фіксувальним механізмом, ролики якого перешкоджають переміщенню штока, пов'язаного з траверсою.

3.3 Технічне обслуговування вимикачів

За конструкцією ВВ поділяються на два класи: зі сталеву дугогасильною камерою і з порцеляною гасильною камерою. Повітря виконує дві функції: привід ВВ і гасіння дуги.

ВВ з порцеляновими дугогасильними камерами і порцеляновими опорними колонами потребує постійної вентиляції. На внутрішніх поверхнях порцеляни може накопичуватися волога, через яку відбудеться перекриття ізоляції. Для вентиляції передбачено спеціальний редуційний клапан, що знижує тиск з 1,96 МПа (20 кгс/см²) до невеликого, що забезпечує вентиляційну витрату.

Якщо ВВ тривалий час стояв без вентиляції, то перед увімкненням під напругу його необхідно вентилувати кілька годин (згідно з інструкцією).

Справність повітряної системи ВВ перевіряється за величиною скидання тиску під час операції ВВ. Скидання тиску - падіння тиску в баку ВВ під час одиночної операції без підкачування повітря з магістралі. Величина скидання нормується для кожного типу ВВ.

Герметичність ВВ перевіряється для кожного полюса окремо у відключеному і включеному стані. Герметичність визначається за падінням тиску за 10 годин за відключеної від магістралі системи. Норми падіння тиску вказані в паспорті ВВ, вони лежать у межах від 19,6 до 29,4 кПа (0,2-0,3 кгс/см²) за 10 год. на одну агрегатну шафу (в якій розміщені клапани) і від 49,0 до 88,2 кПа (0,5-0,9 кгс/см²) на один полюс ВВ за 10 год.

Повітряний вимикач ВВ-330 має два комплекти послідовно ввімкнутих контактів: 8 головних камер дугогасіння з дугогасильними контактами, шунтованими резисторами для зменшення відновлюваної напруги та рівномірного розподілу напруги між контактами, та 6 повітрянонаповнених відокремлювачів, контакти яких шунтовані конденсаторами для рівномірного розподілу напруги між контактами.

Справність контактів ВВ перевіряють також за їхнім опором. Для ВВ типу ВВН 220 кВ, 2000А опір контуру всього полюса не має бути вищим за 200 мкОм, а однієї гасильної камери - не більше 80 мкОм.

Для ВВ 330 і 500 кВ нормуються граничні значення перехідного опору одного розриву - не більше 18 мкОм.

Вимірювання значення опору ізоляції для ВВ, опорних і його рухомих частин, виконаних із органічних матеріалів, виконується мегаомметром на напругу 2500 В. Опір ізоляції вимірюють за умови додатньої температури навколишнього середовища і перед самим установленням ізоляторів.

Висновки

Повітряні високовольтні вимикачі є ключовим елементом в електричних мережах для керування та забезпечення безпечної експлуатації. Вони використовуються для відключення та включення електричних ліній, станцій та інших складних енергетичних систем.

Призначення керування та захист високовольтних електричних мереж, відкриття та закриття ліній для забезпечення правильного функціонування та безпеки системи.

Вимикачі серії ВВБ випускаються на напругу 110...750 кВ. Контактна система полюса разом зі своїм механізмом і дуттьовим клапаном перебуває всередині металевої камери, наповненої стисненим повітрям та ізолюваної від землі порцеляновою опорною колонкою. Камера перебуває під високим потенціалом. Полюс вимикача 220 кВ складається з двох металевих камер, розділених проміжним ізолятором.

Усередині опорних колонок прокладено по два склопластикових повітропроводи, один з яких слугує для постійного подавання стисненого повітря до камер, другий - для імпульсного подавання стисненого повітря під час відключення і скидання повітря під час увімкнення вимикача.

Дугогасильна камера має два головних і два додаткових розриви. Головні контакти відключають повний струм електричного кола. Вони шунтовані резисторами, які слугують для вирівнювання розподілу напруги між розривами в процесі вимкнення і для зниження швидкості відновлювальної напруги. Додаткові контакти відключають залишковий струм, що проходить через резистори після гасіння дуги на головних контактах.

По обидва боки камери є епоксидні вводи, захищені зовні порцеляновими покриттями від атмосферних впливів. Внутрішні порожнини опорних ізоляторів і порцелянових покриттів вводів постійно вентилуються. Для вентиляції повітря зниженого тиску подають трубами через редукторний клапан, установлений у розподільчій шафі. Коли вимикач вимкнений, повітря через показчик продування на цоколі надходить у порожнину опорного ізолятора, а з нього, розгалужуючись, у покриття вводів і порожнину проміжного ізолятора. З покриттів вводів повітря виходить в атмосферу через показники продувки, встановлені на вводах. Якщо вимикач перебуває у ввімкненому положенні, вентиляційне повітря, крім того, надходить у порожнини імпульсних повітропроводів.

4 СИСТЕМА МОНІТОРИНГУ СТАНУ ВИСОКОВОЛЬТНИХ ВИМИКАЧІВ

4.1 Проблематика моніторингу високовольтних вимикачів

Моніторинг – це процес визначення технічного стану об'єкта або системи з потрібною точністю. Цей процес включає в себе розв'язання завдань, спрямованих на визначення працездатності, виявлення несправностей і прогнозування можливих змін у стані об'єкта. Під час першого етапу (це оцінка працездатності) визначається, до якої саме підмножини працездатних або непрацездатних станів належить об'єкт, тоді як на другому етапі (виявлення несправностей) визначається конкретне місце в цій підмножині, де розташований потрібний об'єкт. Використання ймовірнісних методів, заснованих на множині ознак, що з певною ймовірністю характеризують стан системи, дозволяє системі приймати рішення та відносити її до одного із N можливих станів. Детерміністський підхід, описуючи стан системи за допомогою m - мірного вектора A , розділяє простір ознак на області моніторингу D_i . Методи моніторингу, хоча і загальніші, відзначаються більш стислим описом суттєвих аспектів процесу розпізнавання. Вони менше залежать від надлишкової та зайвої непотрібної інформації та більш відповідають логіці людського мислення, сприяючи прийняттю рішень у коротший період часу.

У ході аналізу фізичних об'єктів існують 2 можливих підходи: функціональний і структурний. Структурний підхід передбачає собою дослідження внутрішньої організації або структури об'єкта, тоді як при функціональному підході акцентується на алгоритмах його функціонування. Важливість внутрішньої організації об'єкта визнається як менш значуща при функціональному підході. Очевидно, що при застосуванні структурного підходу до діагностування об'єкта, кількість використовуваних вихідних параметрів пропорційна ступеню деталізації діагностичного об'єкта. Реалізація діагностування супроводжується матеріально-технічними витратами, які, у першому наближенні, пропорційні кількості потрібних контрольованих

параметрів, що забезпечують необхідну інформацію.

Основною метою моніторингу електроустаткування є досягнення максимально вигідної експлуатації при певному рівні надійності та зниження до мінімуму витрат на технічне обслуговування і ремонт. Цю мету досягається шляхом визначення технічного стану електроустаткування, що дозволяє своєчасно уникати відмов, скорочувати простої через пошкодження та проводити комплекс заходів для підтримки працездатності електроустаткування відповідно до даних моніторингу. Існує можливість досягнення поставлених завдань шляхом систематичного відстеження технічного стану обладнання під час його експлуатації.

4.2 Методи моніторингу вимикачів

Подивимося на методи моніторингу високовольтних вимикачів, як на один з ключових компонентів електричних мереж та систем. До недавнього часу в енергосистемах застосовувалася система планово-попереджувального ремонту (ППР), яка передбачала періодичне проведення технічного обслуговування і ремонтів вимикачів за визначеними, наперед встановленими термінами. Недоліками системи планово-попереджувальний ремонт є відносно великим та трудомісткістким видом технічного обслуговування і ремонтів вимикачів, оскільки багато робіт є регламентними (наприклад, розбирання вимикача для визначення його технічного стану). Згідно з положеннями системи ППР, разом із зростанням кількості вимикачів, загальна трудомісткість їхньої експлуатації пропорційно збільшується, вимагаючи значного розширення чисельності обслуговуючого персоналу. При виконанні ремонтів вимикачів через усереднені періоди без попереднього визначення їхнього технічного стану (що також є недоліком системи ППР), необхідно виконувати великий обсяг робіт, пов'язаних із виведенням вимикачів з експлуатації і розбиранням для визначення стану вузлів і деталей. Досить часто виявляється, що технічний стан вимикачів є задовільним, і їм не потрібен ремонт. Операції з регулювання та змащування можна було б виконати і без розбирання. Загалом

відомо, що будь-які розбирання та збирання, навіть виконані висококваліфікованими спеціалістами, призводять до зниження надійності та скорочення терміну служби як вимикачів, так і будь-якого іншого устаткування, оскільки порушуються з'єднання і відбувається приробка деталей, що супроводжується інтенсивним спрацюванням. Крім того, при розбиранні та збиранні можливі пошкодження окремих деталей і вузлів. Все це свідчить про необхідність вдосконалення системи моніторингу вимикачів шляхом розробки та впровадження нових форм цієї системи.

4.3 Технічні засоби моніторингу вимикачів

Щодо показників якості електричних апаратів, важливими є комутаційний і механічний ресурси вимикача. У поточний момент для визначення залишкового комутаційного ресурсу вимикачів застосовуються механічні лічильники, які обладнані вітчизняними вимикачами і активуються рухомими частинами вимикача під час комутації за допомогою гнучкої тяги.

Недоліком цих лічильників є в тому, що вони підраховують кількість спрацювань вимикача, не враховуючи значень відключеного струму. Таким чином, залишковий комутаційний ресурс визначається з великою похибкою після кожного спрацювання.

Існує також пристрій, який включає електромагнітний лічильник імпульсів, блок-контакт вимикача і контакти реле фіксації командних імпульсів. Він визначає залишковий комутаційний ресурс вимикача тільки при відключенні короткозамкнення, проте він має такі самі недоліки, як і механічні лічильники імпульсів, оскільки враховується тільки кількість спрацювань вимикача без врахування різних струмів, що комутуються. Крім того, він не враховує спрацювання комутаційного ресурсу при відключенні навантаження.

Щодо іншого пристрою для визначення комутаційного ресурсу вимикача - багато діапазонного лічильника коротких замикань типу СКЗ-6, він розбиває весь діапазон коротких замикань на шість піддіапазонів. Інформація по кожному піддіапазону виводиться на електромагнітні лічильники імпульсів.

Однак цей пристрій стикається з ускладненнями, так як важко підрахувати загальний вичерпаний або залишковий ресурс вимикача на основі різних даних лічильників кожного піддіапазону. Також він не має залежностей струму відключення від кількості спрацьовувань вимикача, що ускладнює його застосування.

При визначенні комутаційного ресурсу вимикача можна використовувати значення потужності і енергії електричної дуги. Проте вимірювання цих параметрів супроводжується рядом особливостей через те, що процес відключення короткого замикання (СКЗ) або вмикання вимикача на СКЗ є перехідним, і потужність та енергія, що виділяються в дузі протягом різноманітних напівперіодів, як правило, неоднакові.

Вимірювання миттєвої потужності і енергії при відключенні вимикача пов'язане з кількома проблемами. Зокрема, це пов'язано з недоступністю контактів, між якими горить дуга, наявністю сильних електростатичних і електромагнітних полів електричної дуги, а також тим, що напруга на дузі під час її горіння менша, ніж напруга після гасіння.

Вимірювання потужності електричної дуги ускладнене через випадковий характер цієї величини та наявність електростатичних та електромагнітних полів. Вихідна напруга перетворювача, яка пропорційна потужності, подається на підсилювач постійного струму і потім на магнітоелектричний осцилограф та інтегрувальний підсилювач для вимірювання енергії.

Похибка при інтегруванні за допомогою інтегрувального кола, $R_w C_w$. U_p - напруга, яка пропорційна до постійної складової потужності, тобто U_w це - напруга, що знімається з ємності C_w , вона є пропорційною інтегралу потужності, тобто енергії.

$$U_w = U_p \left(1 - e^{-t/\tau_w} \right)$$

де $\tau_w = R_w C_w$ - постійна часу інтегрувального кола.

Оскільки

$$\left(\frac{dU_w}{dt} \right)_{t=0} = \frac{U_p}{\tau_w},$$

то

$$U_d = U_p \cdot \frac{t}{\tau_w}.$$

Відносна похибка

$$\delta_w = -\frac{1}{2} \cdot \frac{t}{\tau_w} + \frac{1}{6} \cdot \left(\frac{t}{\tau_w} \right)^2 - \frac{1}{24} \cdot \left(\frac{t}{\tau_w} \right)^3 + \dots$$

Ця формула показує, що похибка δ_w змінюється в часі і залежить від значення τ_w . Застосовуючи ланцюг з $\tau_w=1$ с, можна інтегрувати протягом 5 напівперіодів з похибкою, що не перевищує $\pm 2,5\%$, а протягом 10 напівперіодів - з похибкою, не більшою $\pm 5\%$.

Існує пристрій для фіксації кількості електрики в дузі швидкодіючого вимикача, структурна схема якого наведена на рис. 4.1

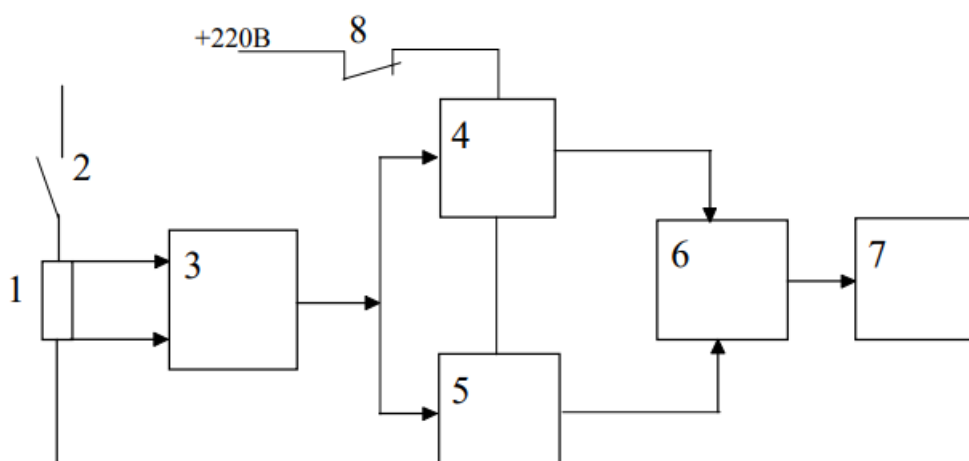


Рис.4.1 - Структурна схема пристрою для фіксації кількості електрики в дузі швидкодіючого вимикача

Пристрій містить: 1 - шунт; 2 - швидкодіючий вимикач; 3 - аналоговий перетворювач струм-напруга; 4 - пороговий орган; релаксаційний генератор; 6 -

блок запам'ятовування та зчитування; 7 - електромеханічний лічильник імпульсів; 8 - блок-контакт вимикача 2.

Пристрій також дозволяє враховувати кількість електрики, що протікає в дузі вимикача і при оперативному відключенні.

Використовується також пристрій для контролю ресурсу комутаційних апаратів, структурна схема якого приведена на рис. 4. На схемі: 1 - датчик струму, 2 - датчик напруги дуги, 3 - датчик комутацій, 4 - аналого-частотний перетворювач, 5 - генератор імпульсів, 6 - тригер керування, 7,8 - лічильники імпульсів, 9 - блок передачі, 10 - елемент порівняння.

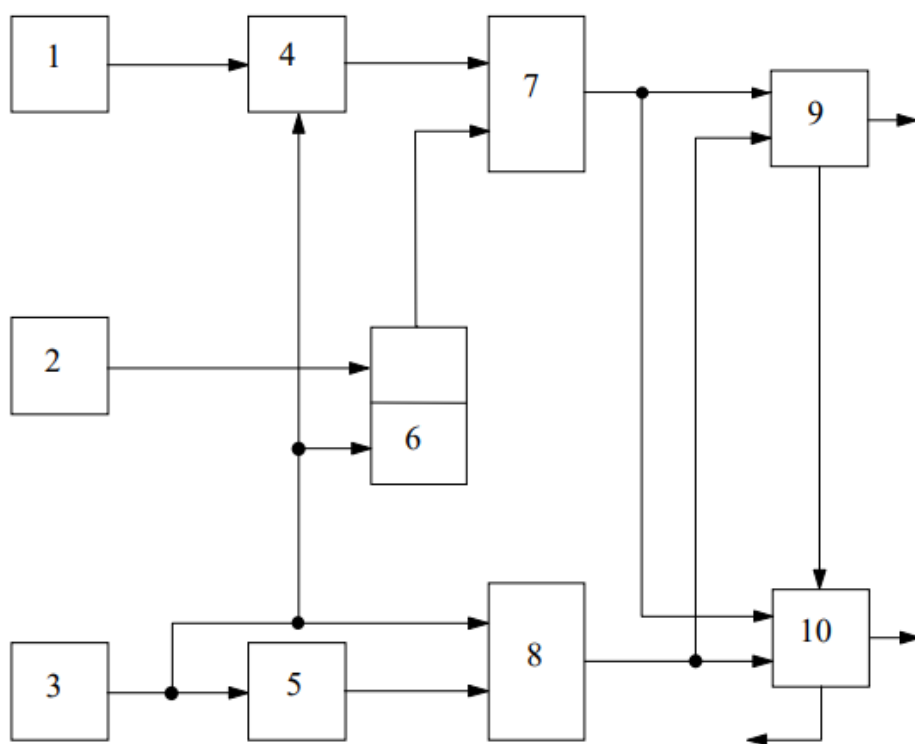


Рис. 4.2. Структурна схема пристрою для контролю ресурсу комутаційних апаратів

Як витікає з аналізу, описані пристрої для вимірювання комутаційного ресурсу високовольтних вимикачів мають такі обмеження, які роблять їх практично непридатними для технічної діагностики цих вимикачів.

4.4 Оцінка технічного стану вимикача і аналіз надійності його роботи

На рис. 4.3 зображено структурну схему системи для контролю робочого ресурсу високовольтних вимикачів з вимірюванням струму, що протікає через вимикач в момент комутації, по початковій частині синусоїди.

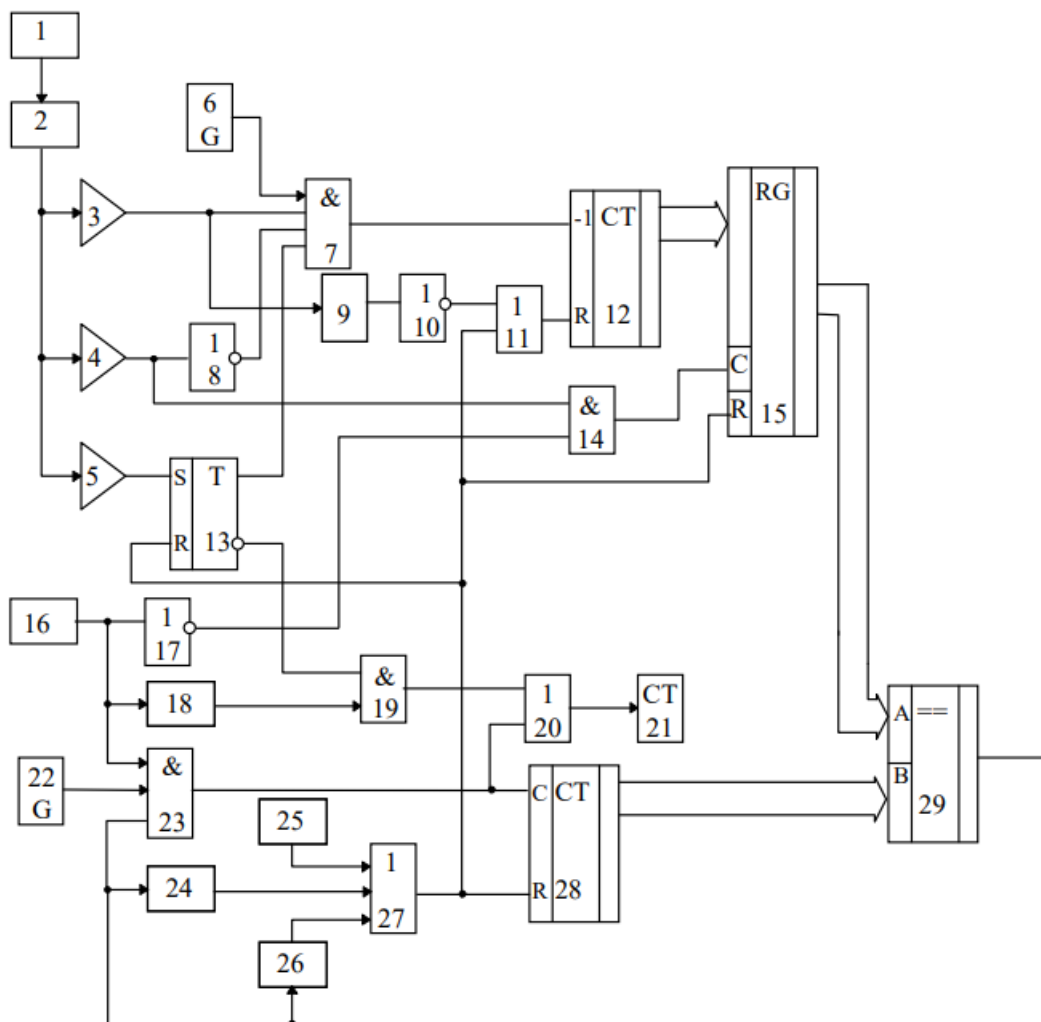


Рис. 4.3 - Структурна схема системи для контролю робочого ресурсу високовольтних вимикачів з вимірюванням струму по початковій частині синусоїди

На схемі: 1 - датчик струму; 2 - перетворювач струму в напругу; 3, 4, 5 - компаратори; 6 - генератор імпульсів; 7 - елемент І; 8 - елемент НІ; 9 - одновібратор; 10 - елемент НІ; 11 - елемент АБО; 12 - лічильник імпульсів; 13 - тригер; 14 - елемент І; 15 - регістр; 16 - датчик комутацій; 17 - елемент НІ; 18 - диференціювальний елемент; 19 - елемент І; 20 - елемент АБО; 21 - лічильник імпульсів; 22 - генератор імпульсів; 23 - елемент І; 24 - формувач сигналу; 25 -

блок установки нуля; 26 - элемент затримки; 27 - элемент АБО; 28 - лічильник імпульсів; 29 - компаратор.

Система контролю працює так: при подачі напруги живлення на схему блок 25 коротким імпульсом через елемент АБО 27 встановлює в нульове положення тригер 13, лічильники 12 і 28 і регістр 15. Якщо діагностований вимикач відключає коло із струмом, значення якого менше порога спрацьовування компаратора 5, то спрацьовує датчик 16, сигнал одиниці через диференціювальний елемент 18 подається на один вхід елемента І 19, на другому вході якого присутній сигнал одиниці з інверсного виходу тригера 13. З виходу елемента І 19 короткий імпульс через елемент АБО 20 надходить у лічильник 21, збільшуючи показання останнього на одиницю і, тим самим, фіксуючи спрацьовування вимикача при відключенні струму, що не перевищує номінальний робочий струм вимикача.

Якщо ж діагностований вимикач відключає струм, значення якого перевищує номінальний робочий струм вимикача, то в цьому випадку з виходу перетворювача 2 випрямлена напруга, що відповідає струмові, який протікає через вимикач, надходить на входи компараторів 3, 4 і 5. Компаратор 5 спрацьовує і на прямому виході тригера 13 встановлюється сигнал одиниці.

Пороги спрацьовування компараторів 3 і 4 обрані таким чином, що компаратор 3 спрацьовує при позитивному близькому до нуля сигналі на висхідній лінії напівсинусоїди, що подається з виходу перетворювача 2, а компаратор 4 спрацьовує на лінійній висхідній лінії напівсинусоїди через декілька мілісекунд після спрацьовування компаратора 3. Одночасно зі спрацьовуванням компаратора 3 запускається одновібратор 9, що розблокує роботу лічильника 12. На його віднімаючий вхід починають надходити імпульси від генератора 6 до тих пір, поки не спрацює компаратор 4 і зніме дозвіл з одного із входів елемента І 7 шляхом подачі нуля з виходу елемента НІ 8.

Після цього по передньому фронту сигналу з виходу компаратора 4

інформація з лічильника 12 перезаписується в регістр 15, оскільки на його прямий динамічний вхід (тактовий) подається сигнал логічної одиниці з виходу елемента І 14. Очевидно, що чим більшим є струм, що протікає через датчик 1, тим менше імпульсів надійде в лічильник 12. З моменту виникнення аварійного струму до його відключення звичайно проходить декілька десятків, а іноді і сотень мілісекунд. Тому за цей час через датчик 1 проходить декілька періодів аварійного струму, що у вигляді двохнапівперіодної випрямленої напруги подається з виходу перетворювача 2 на компаратори 3, 4, 5, а цифровий код, який відображає кожну напівхвилю напруги, послідовно записується в лічильник 12 і переноситься в регістр 15. Оскільки в якості лічильника 12 використано віднімальний лічильник, то очевидно, що чим більшою є амплітуда напівхвилі напруги, що подається на компаратори, тим більше число записується в ньому. Цифровий код, що записується в регістр 15, з виходу подається на А- вхід компаратора 29. Оскільки на В- вхід подається нульовий код з виходу лічильника 28, то в компараторі 29 виконується умова порівняння кодів і на виході "A>B" з'являється сигнал логічної одиниці. В момент відключення вимикача в регістрі 15 зберігається інформація про останню напівхвилю струму, що протікає через вимикач і при спрацьовуванні датчика 16 вхід запису в регістр 15 блокується.

Одночасно подається сигнал одиниці на один із входів елемента І 23, а з виходу генератора 22 через елемент І 23 імпульси надходять у лічильник 28 та через елемент АБО 20 - у лічильник 21. Коли кількість імпульсів, що надходять, досягає такого значення, що коди на виході регістра 15 і на виході лічильника 28 зрівнюються, на виході компаратора 29 з'являється сигнал нуля, що блокує елемент І 23, внаслідок чого подача імпульсів від генератора 22 припиняється. Одночасно на виході формувача сигналу 24 з'являється імпульс, що через елемент АБО 27 обнуляє тригер 13, регістр 15 і лічильники 12, 28. Цикл роботи системи на цьому закінчується. Кількість імпульсів, занесених у лічильник 21 залежить від значення струму, що відключається, і показує, як витрачається комутаційний ресурс вимикача при різних значеннях струму, що

відключається, в перерахунку на кількість відключень номінального робочого струму вимикача.

Діаграма сигналів, що пояснює роботу пристрою для вимірювання робочого ресурсу вимикачів показана на рис. 4.4.

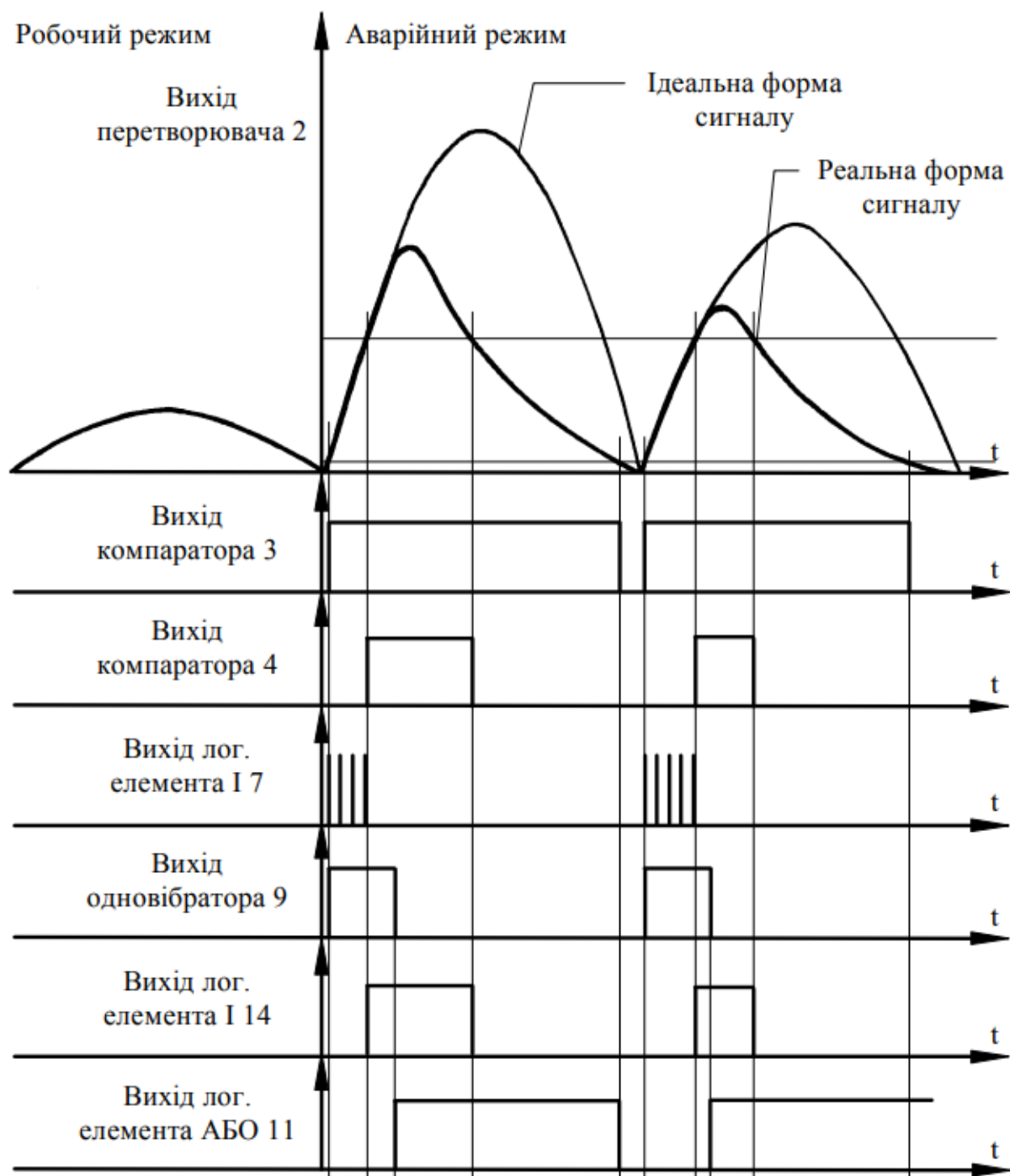


Рис. 4.4 - Діаграма сигналів, що пояснює роботу пристрою для вимірювання робочого ресурсу вимикачів

В системі (рис. 4.5) реалізована ідея, яка полягає в наступному. Відомо, що при проходженні через трансформатор струму, що використовується як датчик, великих струмів, значення яких перевищує в десятки разів номінальний робочий струм, форма вихідного сигналу трансформатора струму спотворюється через насичення магнітопровода останнього.

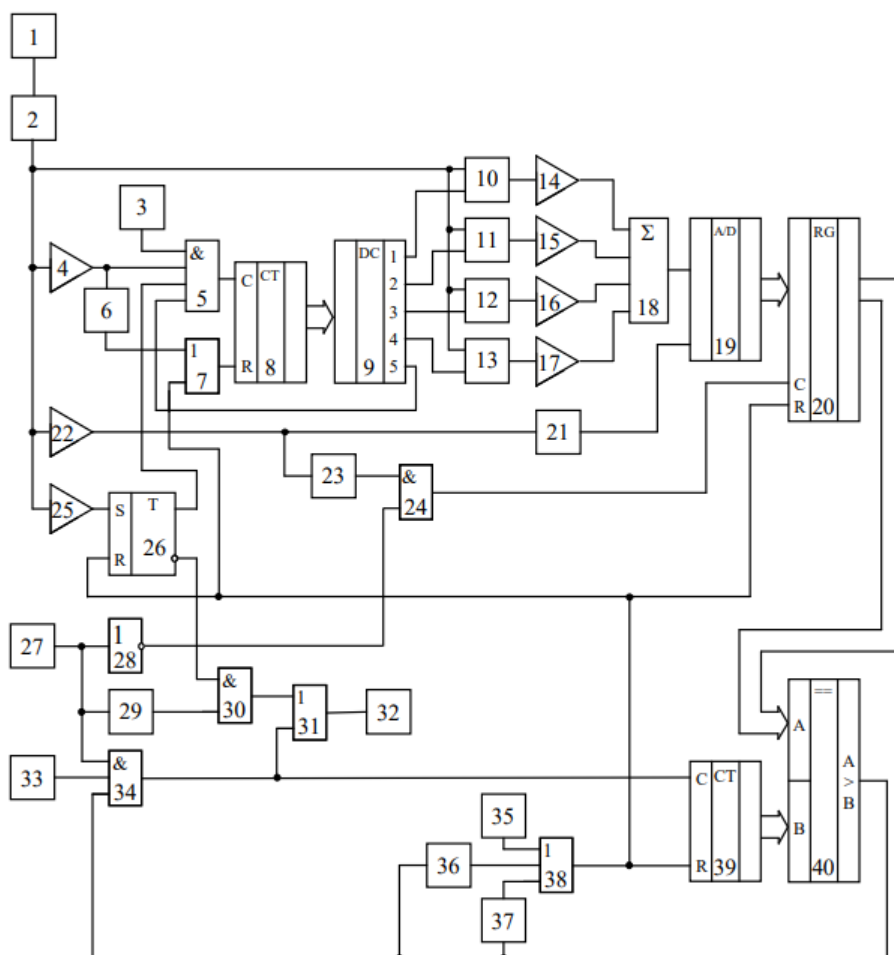


Рис. 4.5 Структурна схема системи контролю комутаційного ресурсу високовольтних вимикачів

Ідеальний вихідний сигнал трансформатора струму

$$i_2(t) = A \cdot \sin \omega t,$$

де A - амплітуда вторинного струму, $\omega = 2\pi f$, $f = 50$ Гц - частота електричної мережі. Реальний спотворений вихідний сигнал трансформатора струму позначимо $y(t)$. Для того, щоб, знаючи $y(t)$, знайти дійсну амплітуду вторинного струму, виконаємо апроксимацію характеристики трансформатора

струму за МНК, використовуючи вирази для ідеального і реального вихідних сигналів.

Одержимо

$$\sum_{i=1}^n (A \cdot \sin \omega t_i - y_i)^2 \rightarrow \min.$$

Відповідно до МНК

$$\frac{d}{dA} \left[\sum_{i=1}^n (A \cdot \sin \omega t_i - y_i)^2 \right] = 0.$$

Шляхом нескладних перетворень одержимо

$$A = \frac{\sum_{i=1}^n y_i \sin \omega t_i}{\sum_{i=1}^n \sin^2 \omega t_i}.$$

З досвіду експлуатації відомо, що для того, щоб відновити з необхідною точністю амплітуду вторинного струму трансформатора струму необхідно зробити хоча б чотири виміри ($n=4$) вторинного спотвореного струму. Відомо також, що до найменшого впливу спотворень за рахунок насиченості магнітопровода трансформатора струму схильна висхідна частина синусоїди вторинного струму. Тому, обравши фіксовані чотири значення часу виміру вторинного струму на висхідній частині синусоїди, можна вважати відомими коефіцієнти

$$k_i = \frac{\sin \omega t_i}{\sum_{i=1}^4 \sin^2 \omega t_i}.$$

Відповідним чином система працює і при 2-х фазному, а також і при 3-х

фазному коротких замиканнях.

4.5 Метод оцінки технічного стану об'єкту моніторингу

На основі спостережень по вимірювальним, діагностичним пристроям, історії життя, огляду об'єкта встановлюється наявність ознак, які характеризують технічний стан об'єкту.

Кожна ознака визначається множиною дискретних значень $X_l = \{x_1, \dots, x_n\}$, $l = T, K$.

Ці ознаки в термінах теорії нечітких множин називаються лінгвістичними змінними.

Наприклад:

$$A_1 = \langle \text{механічний ресурс вимикача} \rangle$$

$$A_2 = \langle \text{комутаційний ресурс вимикача} \rangle$$

$$A_3 = \langle \text{tg}\delta \text{ ввводів вимикача} \rangle$$

Лінгвістичні змінні визначені на відповідних множинах X_l .

Задамо для лінгвістичних змінних значення (терм-множини T)

$$T: \begin{cases} L = \langle \text{малий} \rangle \\ M = \langle \text{середній} \rangle \\ B = \langle \text{великий} \rangle \end{cases}$$

і відповідні функції приналежності $\mu_{AK_i}(x)$, рис. 4.6:

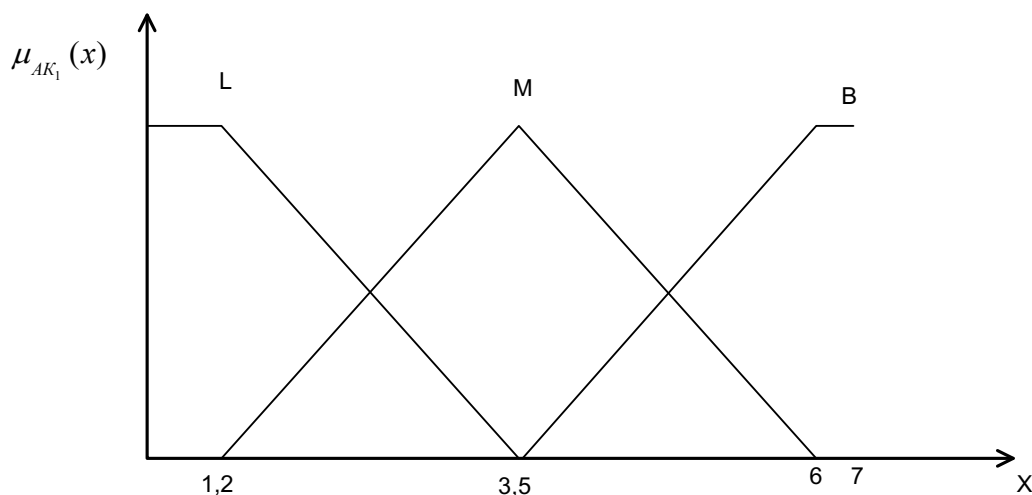


Рис. 4.6 Графічне зображення функції приналежності

Аналогічно вводяться функції приналежності для інших ознак.

Якщо ознака дискретна, то задається лише одне значення терму (L, M або B) у відповідності з фізичною суттю задачі.

На основі ознак, які характеризують стан об'єкту, сформулюємо правила логічного висновку, які визначають базові (еталонні) стани об'єкту. Наприклад:

Якщо $A_1 \in L$
 I $A_2 \in M$

 I $A_k \in B$
 отже $S \in S_n$

Кожне висловлення представимо в матричній формі, в якій рядки відповідають значенням вхідної змінної, а стовпці - назвам лінгвістичних змінних. Еталонами цих матриць є числа 1 і 0.

$$\mu_{ak}(T_j) = \begin{cases} 1 & \text{якщо } A_k = T_j \\ 0, & \text{якщо } A_k \neq T_j \end{cases}$$

де $\mu_{ak}(T_j)$ – функція приналежності терму T_j признаку A_k .

Число базових матриць відповідає числу можливих технічних станів об'єкту, які формуються у відповідності з поставленим завданням. Наприклад вид дефекту об'єкту: < кількість відключень струмів КЗ вимикачем>, <велика ймовірність відмови об'єкту> і так далі.

Ці технічні стани є вихідними нелінійними змінними об'єкта.

Припустимо, що в результаті спостереження за об'єктом визначені конкретні значення ознак A_i' із множини X_ϵ . По графікам функцій приналежності для даного дискретного значення x_r можливо визначити значення функцій приналежності $\mu_{ai}(x_r)$ ознаці A_i .

Припустимо, отримано значення x_r . Тоді за графіками функції приналежності маємо: $\mu_L(1,5) = 0.82$, $\mu_M(1,5) = 0.27$ (рис.4.7).

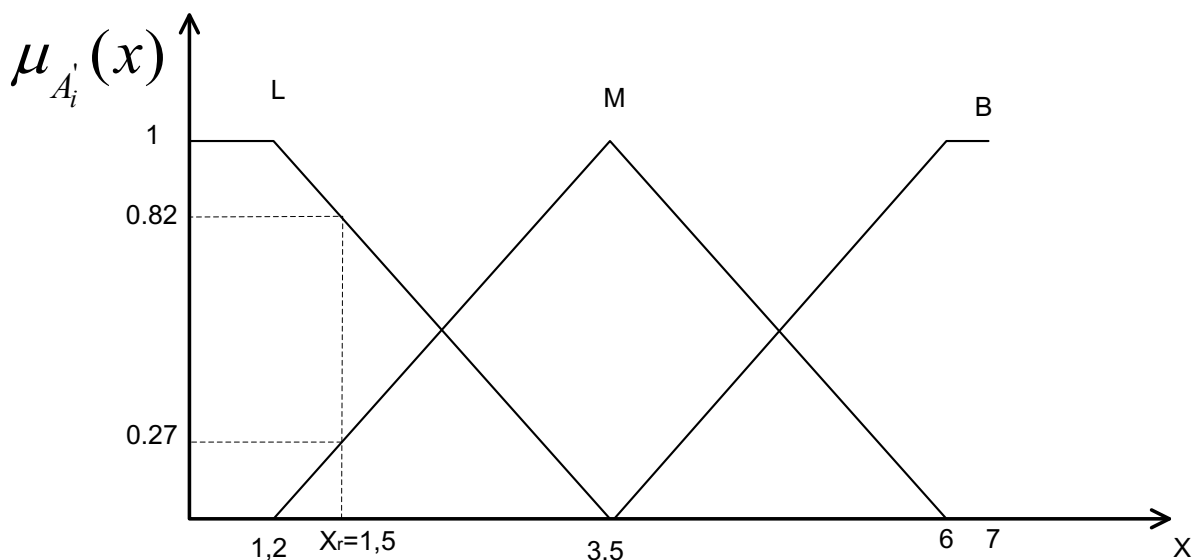


Рис. 4.7 Знаходження вхідних змінних

Отримані значення вхідної змінної A'_i дозволяють сформувати матрицю S' , елементами якої є конкретні значення функції приналежності дискретної величини x_r ознакою A'_i ($i = \overline{1, k}$):

$$S' =$$

	A'_1	...	A'_i	...	A'_k
	...	...	...	...	...
	...	...	...	...	...
	...	...	...	...	...

Сформулюємо вирішальне правило нечіткого логічного висновку:

1. $S_n \cap S'$ (n - операція min)

$$\mu_{S_n \cap S'}(x, x_r) = \mu_{S_n}(x) \wedge \mu_{S'}(x_r)$$

Кожний елемент базової матриці S_n порівнюється з відповідним елементом матриці S' і приймається мінімальне значення функції приналежності.

Матриця S' порівнюється зі своїми базовими матрицями.

2. Визначається індекс порівняння, який характеризує близькість матриці S' до кожної базової матриці S_n або, іншими словами, близькість конкретного технічного стану об'єкту до одного з еталонних станів:

$$I_n = \frac{\sum_{n=1}^S \mu_{S_n \cap S'}(x, x_r)}{\sum_{n=1}^S \mu_{S_n}(x)}, \quad n = \overline{1, S}$$

3. Максимальне значення з отриманих індексів порівняння визначає, до якого з можливих технічних станів об'єкта відноситься стан, що розглядається:

$$S' \rightarrow \{S_n \mid \max I_n\}.$$

4.6 Експериментально-модельні розрахунки

Для підтвердження актуальності використання даного методу скористаємось результатами діагностики вимикача 110 кВ. Вибраний вимикач типу ВВБ-110 пропрацював 15 років з моменту вводу в експлуатацію. Загальна кількість відключень струмів КЗ за цей період становить 4 відключення, допустима кількість відключень струмів КЗ – 20. Загальна кількість механічних циклів – 1500. Допустима кількість механічних циклів – 5000.

В якості можливих технічних станів вимикача зазначимо:

$S_1 = \langle \text{спрацьований ресурс малий} \rangle;$

$S_2 = \langle \text{спрацьований ресурс середній} \rangle;$

$S_3 = \langle \text{спрацьований ресурс великий} \rangle;$

В якості вхідних змінних (ознак) A_k використаємо:

$A_1 = \langle \text{механічний ресурс} \rangle;$

$A_2 = \langle \text{комутаційний ресурс} \rangle.$

Для даного вимикача в паспорті:

• $I_{\max} = 40 \text{ кА}.$

• Ресурс по комутаційній стійкості, циклів відключень – $N_0 = 20;$

• Ресурс по механічній стійкості, циклів В-В – $V_0 = 5000;$

Задамо для вихідних ознак A_1, A_2 значення:

$L = \langle \text{малий} \rangle$

$M = \langle \text{середній} \rangle$

$V = \langle \text{великий} \rangle$

Графіки функцій приналежності до вхідних змінних, які приймемо в трикутній формі, представлені на рис.4.8 та 4.9:

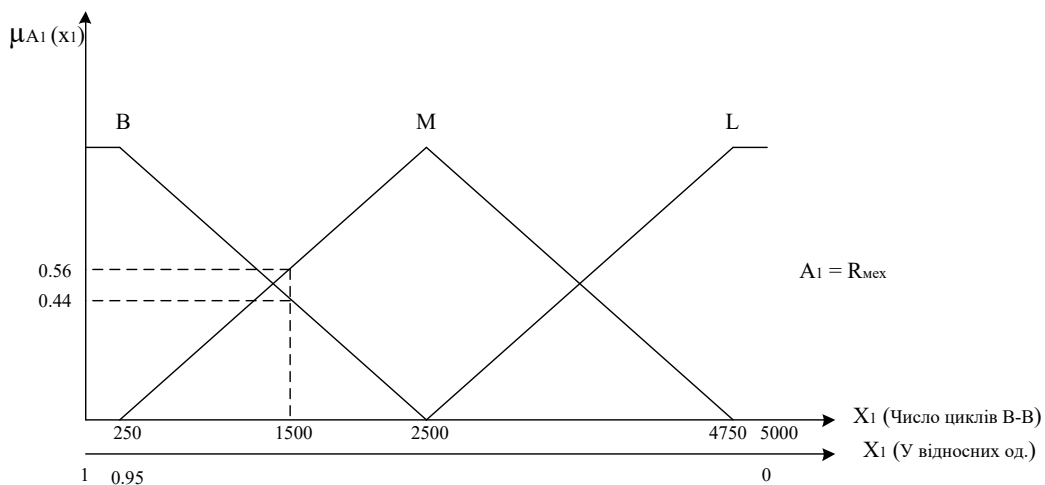


Рис. 4.8 Знаходження вхідних даних для механічного ресурсу вимикача

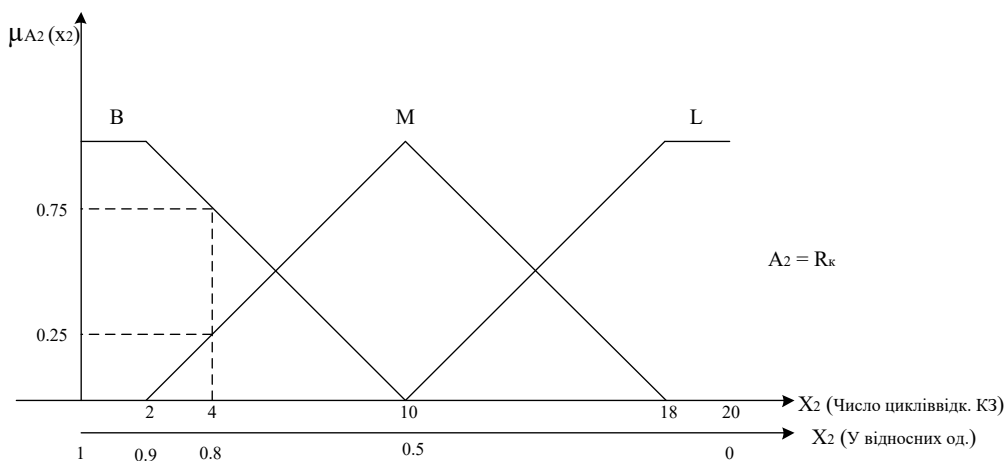


Рис. 4.9 Знаходження вхідних даних для комутаційного ресурсу вимикача

Формування правил нечіткого логічного висновку:

Загальна кількість правил у базі визначається значенням можливих комбінацій нечітких термів вхідних величин:

$$N_{\text{пр}} = N_{A1} \cdot N_{A2} = 3 \cdot 3 = 9$$

Для нечіткої моделі вимикача з двома вхідними величинами нечіткі правила ЯКЩО-ТО представлені в табл.4.1.

Таблиця 4.1 Правила логічного висновку

1	ЯКЩО механічний ресурс <i>великий</i> І комутаційний ресурс <i>великий</i> ТО спрацьований ресурс <i>малий</i>	ЯКЩО $A_1 \in B$ І $A_2 \in B$ ОТЖЕ $S \in S_1$
2	ЯКЩО механічний ресурс <i>великий</i> І комутаційний ресурс <i>середній</i> ТО спрацьований ресурс <i>малий</i>	ЯКЩО $A_1 \in B$ І $A_2 \in M$ ОТЖЕ $S \in S_1$
3	ЯКЩО механічний ресурс <i>великий</i> І комутаційний ресурс <i>малий</i> ТО спрацьований ресурс <i>середній</i>	ЯКЩО $A_1 \in B$ І $A_2 \in L$ ОТЖЕ $S \in S_2$
4	ЯКЩО механічний ресурс <i>середній</i> І комутаційний ресурс <i>великий</i> ТО спрацьований ресурс <i>малий</i>	ЯКЩО $A_1 \in M$ І $A_2 \in B$ ОТЖЕ $S \in S_1$
5	ЯКЩО механічний ресурс <i>середній</i> І комутаційний ресурс <i>середній</i> ТО спрацьований ресурс <i>середній</i>	ЯКЩО $A_1 \in M$ І $A_2 \in M$ ОТЖЕ $S \in S_2$
6	ЯКЩО механічний ресурс <i>середній</i> І комутаційний ресурс <i>малий</i> ТО спрацьований ресурс <i>великий</i>	ЯКЩО $A_1 \in M$ І $A_2 \in L$ ОТЖЕ $S \in S_3$
7	ЯКЩО механічний ресурс <i>малий</i> І комутаційний ресурс <i>великий</i> ТО спрацьований ресурс <i>середній</i>	ЯКЩО $A_1 \in L$ І $A_2 \in B$ ОТЖЕ $S \in S_2$
8	ЯКЩО механічний ресурс <i>малий</i> І комутаційний ресурс <i>середній</i> ТО спрацьований ресурс <i>великий</i>	ЯКЩО $A_1 \in L$ І $A_2 \in M$ ОТЖЕ $S \in S_3$
9	ЯКЩО механічний ресурс <i>малий</i> І комутаційний ресурс <i>малий</i> ТО спрацьований ресурс <i>малий</i>	ЯКЩО $A_1 \in L$ І $A_2 \in L$ ОТЖЕ $S \in S_1$

Відповідно до правил логічного висновку визначимо матриці еталонних станів (матриці будемо позначати відповідно до правил, від 1 до 9) :

$S_1 =$

	A_1	A_2
L		
M		
B	1	1

$S_2 =$

	A_1	A_2
L		
M		1
B	1	

$S_3 =$

	A_1	A_2
L		1
M		
B	1	

$S_4 =$

	A_1	A_2
L		
M	1	
B		1

$S_5 =$

	A_1	A_2
L		
M	1	1
B		

$S_6 =$

	A_1	A_2
L		1
M	1	
B		

$S_7 =$

	A_1	A_2
L	1	
M		
B		1

$S_8 =$

	A_1	A_2
L	1	
M		1
B		

$S_9 =$

	A_1	A_2
L	1	1
M		
B		

Формування логічного правил нечіткого висновку:

Загальна кількість правил у базі визначається кількістю можливих комбінацій всіх нечітких термів вхідних величин:

$$N_{\text{пр}} = N_{A_1} \cdot N_{A_2} = 3 \cdot 3 = 9$$

Для нечіткої моделі з двома вхідними величинами складається нечіткі правила ЯКІЩО-ТО представлені в табл 4.2:

Таблиця 4.2 Правила логічного висновку

1	ЯКІЩО механічний ресурс <i>великий</i> І комутаційний ресурс <i>великий</i> ТО спрацьований ресурс <i>малий</i>	ЯКІЩО $A_1 \in B$ І $A_2 \in B$ ОТЖЕ $S \in S_1$
2	ЯКІЩО механічний ресурс <i>великий</i> І комутаційний ресурс <i>середній</i> ТО спрацьований ресурс <i>малий</i>	ЯКІЩО $A_1 \in B$ І $A_2 \in M$ ОТЖЕ $S \in S_1$
3	ЯКІЩО механічний ресурс <i>великий</i> І комутаційний ресурс <i>малий</i> ТО спрацьований ресурс <i>середній</i>	ЯКІЩО $A_1 \in B$ І $A_2 \in L$ ОТЖЕ $S \in S_2$
4	ЯКІЩО механічний ресурс <i>середній</i> І комутаційний ресурс <i>великий</i> ТО спрацьований ресурс <i>малий</i>	ЯКІЩО $A_1 \in M$ І $A_2 \in B$ ОТЖЕ $S \in S_1$
5	ЯКІЩО механічний ресурс <i>середній</i> І комутаційний ресурс <i>середній</i> ТО спрацьований ресурс <i>середній</i>	ЯКІЩО $A_1 \in M$ І $A_2 \in M$ ОТЖЕ $S \in S_2$
6	ЯКІЩО механічний ресурс <i>середній</i> І комутаційний ресурс <i>малий</i> ТО спрацьований ресурс <i>великий</i>	ЯКІЩО $A_1 \in M$ І $A_2 \in L$ ОТЖЕ $S \in S_3$

Продовження таблиці 4.2

7	ЯКЩО механічний ресурс <i>малий</i> І комутаційний ресурс <i>великий</i> ТО спрацьований ресурс <i>середній</i>	ЯКЩО $A_1 \in L$ І $A_2 \in B$ ОТЖЕ $S \in S_2$
8	ЯКЩО механічний ресурс <i>малий</i> І комутаційний ресурс <i>середній</i> ТО спрацьований ресурс <i>великий</i>	ЯКЩО $A_1 \in L$ І $A_2 \in M$ ОТЖЕ $S \in S_3$
9	ЯКЩО механічний ресурс <i>малий</i> І комутаційний ресурс <i>малий</i> ТО спрацьований ресурс <i>малий</i>	ЯКЩО $A_1 \in L$ І $A_2 \in L$ ОТЖЕ $S \in S_1$

Відповідно до правил логічного висновку складемо матриці еталонних станів (матриці будемо позначати відповідно до правил, від 1 до 9):

$S_1 =$

	A_1	A_2
L		
M		
B	1	1

$S_2 =$

	A_1	A_2
L		
M		1
B	1	

$S_3 =$

	A_1	A_2
L		1
M		
B	1	

$S_4 =$

	A_1	A_2
L		
M	1	
B		1

$S_5 =$

	A_1	A_2
L		
M	1	1
B		

$S_6 =$

	A_1	A_2
L		1
M	1	
B		

$S_7 =$

	A_1	A_2
L	1	
M		
B		1

$S_8 =$

	A_1	A_2
L	1	
M		1
B		

$S_9 =$

	A_1	A_2
L	1	1
M		
B		

В момент спостереження маємо:

1. $X_1 = 1500$ (циклів В-В)

Тоді з $\mu_B(1500) = 0.44$

$\mu_M(1500) = 0.56$

2. $X_2 = 4$ (число вимкнень КЗ)

$$\mu_B(4)=0.75$$

$$\mu_M(4)=0.25$$

Матриця поточного стану:

$$S' =$$

	A ₁	A ₂
L		
M	0.56	0.25
B	0.44	0.75

Порівняння з базовими станами:

$$S_1 \cap S' =$$

	A ₁	A ₂
L		
M		
B	0.44	0.75

$$S_2 \cap S' =$$

	A ₁	A ₂
L		
M		0.25
B	0.44	

$$S_3 \cap S' =$$

	A ₁	A ₂
L		
M		
B	0.44	

$$S_4 \cap S' =$$

	A ₁	A ₂
L		
M	0.56	
B		0.75

$$S_5 \cap S' =$$

	A ₁	A ₂
L		
M	0.56	0.25
B		

$$S_6 \cap S' =$$

	A ₁	A ₂
L		
M	0.56	
B		

$$S_7 \cap S' =$$

	A ₁	A ₂
L		
M		
B		0.75

$$S_8 \cap S' =$$

	A ₁	A ₂
L		
M		0.25
B		

$$S_9 \cap S' =$$

	A ₁	A ₂
L		
M		
B		

Індекс порівняння:

$$I_1 = \frac{0.44 + 0.75}{1+1} = 0.595;$$

$$I_6 = \frac{0.56}{1} = 0.56;$$

$$I_2 = \frac{0.44 + 0.25}{1+1} = 0.345;$$

$$I_7 = \frac{0.75}{1} = 0.75;$$

$$I_3 = \frac{0.44}{1} = 0.44;$$

$$I_8 = \frac{0.25}{1} = 0.25;$$

$$I_4 = \frac{0.56 + 0.75}{1+1} = 0.655;$$

$$I_9 = 0;$$

$$I_5 = \frac{0.56 + 0.25}{1+1} = 0.405;$$

Найбільша імовірність можливого технічного стану відповідає правилу під №7: S2 = <спрацьований ресурс вимикача середній>.

Була побудована нечітка модель для вимикача ВВБ-110. Наведений загальний приклад методу діагностики стану об'єкту. Для моделі сформульовано правила нечіткого логічного висновку. У відповідності до вхідних даних побудована матриця поточного стану. Відповідно до правил визначено матриці еталонних станів. Виконавши всі розрахунки, отримано, що найбільша імовірність можливого технічного стану відповідає правилу S2 = <спрацьований ресурс вимикача середній>.

4.7 Структура та складові системи моніторингу вимикачів

Структура системи моніторингу вимикачів спрямована на забезпечення надійності та ефективності роботи електричних вимикачів. Ця система включає в себе комплекс засобів та пристроїв, спрямованих на постійний контроль за технічним станом вимикачів для уникнення аварій та забезпечення їх ефективної експлуатації.

Одним із ключових елементів є сенсори, розташовані безпосередньо на вимикачах, які реєструють параметри, такі як температура, струм, напруга та інші важливі характеристики. Ці дані передаються до центральної системи збору і обробки, яка аналізує інформацію та виявляє будь-які відхилення в роботі вимикачів.

Зокрема, система моніторингу визначає можливі несправності, попереджає про перевищення параметрів експлуатації, а також забезпечує оперативне втручання для усунення виявлених проблем. Такий підхід дозволяє забезпечити

безперебійну роботу вимикачів, зменшити ризик аварій та збільшити їх термін служби.

Структурна схема організації системи моніторингу вимикачів “СМЕВ” зображена на рисунку 4.10.

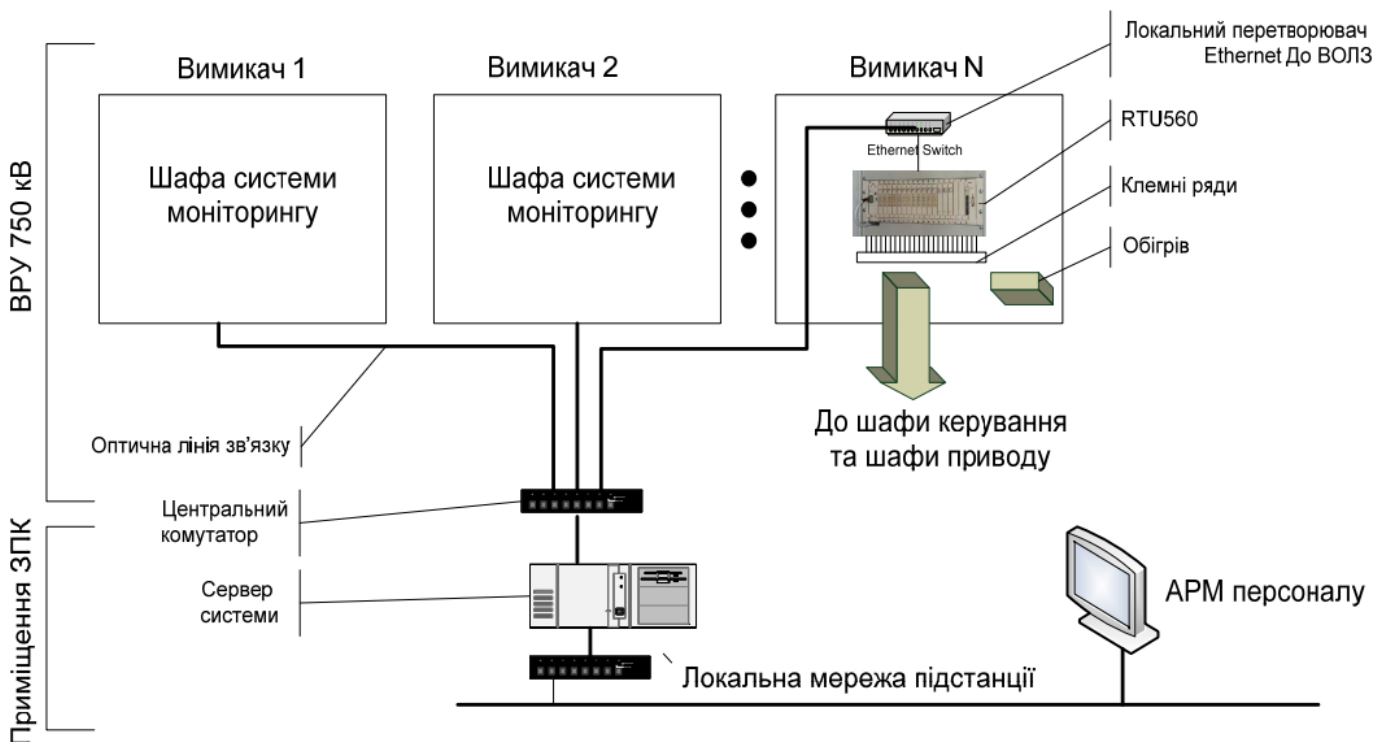


Рис.4.10 - Структурна схема організації системи моніторингу вимикачів

Система моніторингу вимикачів включає різноманітні компоненти, спрямовані на забезпечення ефективного та безперебійного функціонування вимикачів. Основні складові цієї системи охоплюють сенсори, контрольно-вимірювальні пристрої, засоби збору та обробки даних, а також системи виведення та оповіщення.

Сенсори встановлюються безпосередньо на вимикачах і призначені для вимірювання ключових параметрів, таких як температура, струм, напруга, а також стан вимикача. Вони функціонують як початковий рівень збору інформації.

Контрольно-вимірювальні пристрої використовуються для точного вимірювання та аналізу отриманих даних. Вони забезпечують високу точність та надійність вимірювань, що дозволяє ефективно оцінювати технічний стан вимикачів.

Засоби збору та обробки даних використовуються для централізованої обробки і аналізу інформації в реальному часі. Вони виявляють аномалії, визначають можливі несправності та подають оперативні повідомлення для прийняття заходів.

Системи виведення та оповіщення забезпечують передачу результатів моніторингу операторам або автоматизованим системам управління, що дозволяє негайно реагувати на виявлені проблеми.

Структурна схема розподілення буферизованих та поточкових даних показано на рис. 4.11.

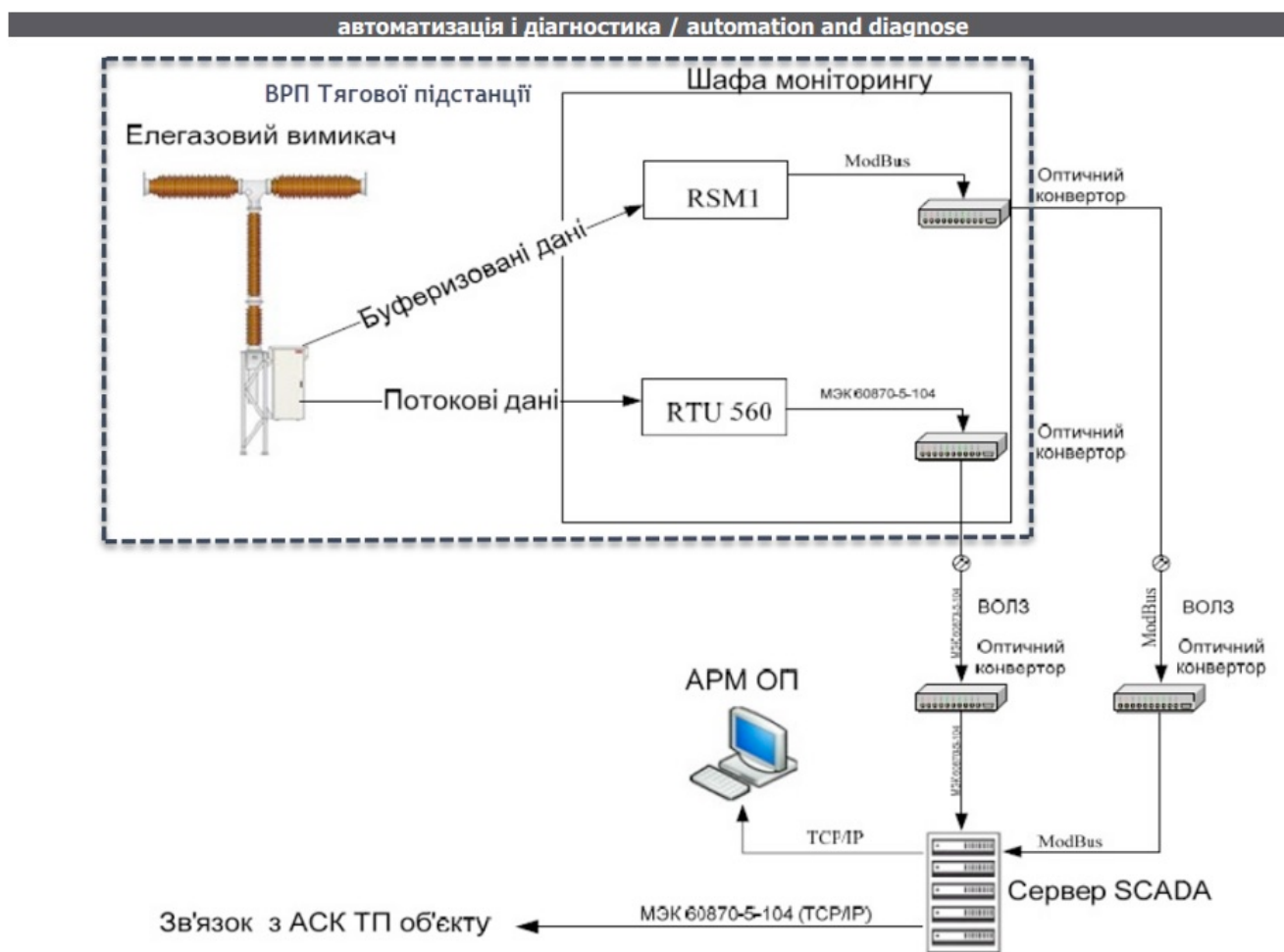


Рис. 4.11 - Структурна схема розподілення буферизованих та поточкових даних

Такий комплексний підхід дозволяє забезпечити ефективний контроль та управління роботою вимикачів для підтримання їх надійності та оптимальної

експлуатації.

В частині моніторингу стану високовольтних вимикачів виконуються наступні функції:

- контроль комутаційних операцій (контроль положення вимикача; швидкість переміщення головних контактів вимикача, їх демпфірування та повернення до граничних точок; наявність відхилення в механічних характеристиках (тертя, корозія, розрив, зношення пружин приводу, пошкодження демпфера, тощо); розрахунок кількості комутаційних операцій в нормальних та аварійних режимах; контроль струму вимкнення з записом осцилограми переміщення контактної групи, зміни стану блок-контактів, струму вимкнення; наявність відхилення при спрацювання допоміжних контактів);
- контроль параметрів газової суміші SF6 та CH4 (вимірювання тиску та температури газової суміші; розрахунок щільності газової суміші; виявлення зрідженості газової суміші (попередження хибних спрацювань сигналізації в разі зрідження);
- контроль параметрів комутаційних операцій вимкнення (струм вимкнення; оцінка електричного зношення, як $\int i^2 dt$; час горіння дуги);
- контроль кіл власних потреб та оперативного струму (контроль правильності роботи соленоїдів; наявність оперативної напруги; контроль роботи системи обігріву);
- контроль роботи приводного механізму (вимірювання часу заведення пружини; контроль часу роботи електричного двигуна заведення пружини, виміри максимального струму роботи двигуна; контроль готовності приводу; виявлення несправностей електричного двигуна заведення пружини приводу.

В склад комплексу входить:

Шафа “СМЕВ”, що призначена для передачі телевимірювань (ТВ) и телесигналізації (ТС).

Вузол комунікацій, що призначений для збору та збереження інформації “СМЕВ” отриманої з нижнього рівня.

Автоматичне робоче місце (АРМ) чергового диспетчера призначено для візуального відображення всіх основних параметрів вимикачів на схемі ПС, перегляду архіву телевимірювань та журналу подій про планові та аварійні переключення та відключення на ПС ЕВ, що зберігаються на сервері “СМЕВ”.

“СМЕВ” виконує збір, обробку та передачу інформації телесигналізації (ТС) та телевимірювань (ТВ).

Пристрій нового покоління для комплексного контролю та моніторингу стану силових вимикачів ВСМ наведений на рис. 4.12.



Рис.4.12 - Пристрій нового покоління для комплексного контролю та моніторингу стану силових вимикачів ВСМ

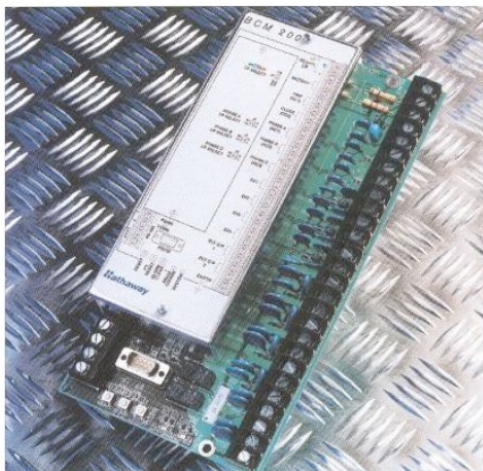
Отримані з кожного вимикача дані можна розділити на дві групи: поточкові (дані реального часу) та буферизовані. Поточкові дані – це інформація про поточний стан параметрів вимикача: сигнальних контактів (КСА), приводного механізму, газової суміші, температури в шафах. Ці сигнали надходять до мікропроцесорного пристрою телемеханіки RTU 560 виробництва компанії АВВ та обробляються ним. Обробка таких сигналів не вимагає великої швидкодії від процесора контролера, натомість ставить високі вимоги до обсягів інформації та розрахункових можливостей. Оброблені сигнали вже в цифровому вигляді відповідно до вимог міжнародного телемеханічного протоколу IEC 60870-5-104 транслиуються до

сервера SCADA системи (supervisory control and data acquisition – система диспетчерського управління та збору даних).

На процес вибору конкретної системи моніторингу комутаційних апаратів впливає багато різних чинників:

- економічні (вартість самої системи, її ремонту та модернізації);
- експлуатаційні (простота експлуатації, інформативність для оперативного персоналу, зручність налаштування);
- системні (можливість інтеграції в інші системи, у тому числі в АСК ТП енергетичного об'єкта, підтримка різних протоколів передачі даних, підтримка обладнання різних виробників, отримання інформації системного рівня та організація роботи з цими даними).

Система безперервного моніторингу стану силових вимикачів ВСМ 200 наведена на рис. 4.13.



Зазначимо, що пропонуючи поетапне виконання системи моніторингу, виробники вимикачів акцентують увагу, в першу чергу, на світовому визнанні їхньої продукції, підкреслюючи свій досвід роботи у цій сфері та розповсюдженість саме запропонованих ними систем.

Інструментарій подібних систем має чітку структуру і не дає змоги змінити чи доповнити оброблювані дані, залишаючи за виробником вибір як самої інформації для аналізу, так і параметрів оброблюваних даних, що досить часто буває недостатнім для замовника.

Моніторинг виконується в режимі реального часу з отриманням даних процесу. Результати вимірів та розрахунків відображаються на комп'ютерах автоматизованих робочих місць у вигляді графіків, таблиць, функціональних схем. Відсутність кіл керування в складі системи моніторингу унеможливорює помилкове оперування вимикачем.

Кола керування вимикача показані на рис.4.14.

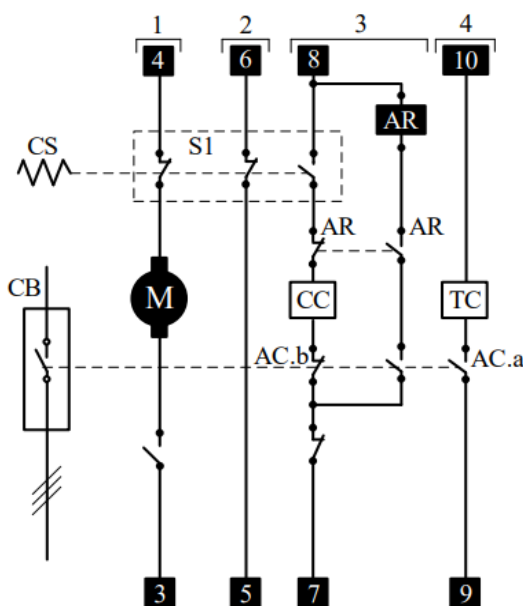


Рис.4.14 - Кола керування вимикача

Програмне забезпечення встановлюється тільки на сервері системи і не потребує додаткового програмного забезпечення на комп'ютерах персоналу підстанції. Ліцензійна політика дозволяє підключення необмеженої кількості користувачів системи.

Висновки

Система моніторингу вимикачів в режимі реального часу, дозволяє здійснювати технічне обслуговування програм більш надійним економічно ефективним способом:

- 1) Забезпечує формування програми технічного обслуговування, використовуючи дані, які безперервно збираються в режимі реального часу.
- 2) Своєчасне інформування, сигналізацію в разі виявлення проблем, які

пов'язані з неправильним використанням або порушенням нормальної роботи вимикача.

3) Надає розрахунки з питань відстрочення планового технічного обслуговування.

З впровадженням системи зросте якість та ефективність обслуговування вимикачів системи електропостачання залізниць, що призведе до більш надійного електропостачання споживачів. Реалізація функцій прогнозування дозволить вчасно попередити несправності вимикача. Детальний аналіз кожного відключення вимикачем струму короткого замикання, отримання достовірних даних про час роботи вимикача та величину струму короткого замикання, дозволить в автоматичному режимі розрахувати комутаційний ресурс вимикача. Аналіз порівняння з попередніми відключеннями дозволить прослідкувати динаміку швидкості зміни параметрів вимикача при комутаційних операціях та визначитись з необхідністю проведення ремонтних робіт для забезпечення повного використання ресурсу вимикача.

5 МОНІТОРИНГ ОХОРОНИ ПРАЦІ ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНОГО ПРАЦІВНИКА НА ТРАНСФОРМАТОРНІЙ ПІДСТАНЦІЇ

Вступ

Мета розділу. Мета розділу "Моніторинг охорони праці електротехнічного працівника на трансформаторній підстанції" полягає в систематичному та комплексному аналізі умов праці на підстанціях з метою забезпечення безпеки працівників та здоров'я. Розділ спрямований на виявлення та розв'язання проблем, пов'язаних із ризиками та небезпеками в експлуатації обладнання.

Аспекти, які розглядаються, включають оцінку умов праці, ідентифікацію потенційних небезпек та розробку заходів з покращення охорони праці. Мета полягає в забезпеченні безпечного середовища для праці та уникненні травматичних ситуацій.

Об'єкт дослідження. Виберемо в якості об'єкта дослідження автотрансформатор АТДЦТН-125000/330, який встановлений на нашій досліджуваній підстанції.

Предмет дослідження. Предметом дослідження є організаційні, технічні та нормативно-правові аспекти, пов'язані з ефективною реалізацією заходів з охорони праці та безпеки в умовах роботи на ПС з напругою 330/110/35 кВ.

5.1 Технічні характеристики устаткування

Проводимо дослідження на прикладі автотрансформатора АТДЦТН-125000/330.

Таблиця 5.1 - Автотрансформатор АТДЦТН-125000/330 - Основні технічні характеристики

Найменування електричної установки	Основні характеристики	Значення
Автотрансформатор АТДЦТН-125000/330	Напруга	330/110/35 кВ
	Вид розміщення	ВУ

Продовження таблиці 5.1

	Категорія з пожежної безпеки	Д [19]
	Категорія електроприміщення	з підвищеною небезпекою
	Розміщення робочого місця	Відкрита місцевість
	Місце встановлення	Трансформаторна підстанція
	Потужність	125 МВА
	Маса	170 т
	Габарити	10000х6000х9000 мм

Автотрансформатор встановлено за допомогою спеціальної техніки за залізниці.

5.2 Визначення та оцінка показників умов праці на робочому місці

Послідовність виконання робіт наведена в таблиці 5.2.

Таблиця 5.2. Послідовність виконання робіт

Вид робіт	Періодичні загальні огляди АТ	Позачерговий зовнішній огляд АТ	Профілактичний поточний ремонт АТ	Профілактичний капітальний ремонт АТ
-----------	-------------------------------	---------------------------------	-----------------------------------	--------------------------------------

Продовження таблиці 5.2

Об'єкт огляду	1. Рівень масла 2. Температура масла 3. Характер гудіння трансформатора 4. Перевірка ізоляції 5. Робота пристроїв охолодження 6. Положення РПН 7. Відсутність витоку масла			Всі складові автотрансформатора Заміна масла
Період виконання робіт і тривалість	1 раз на добу на підстанціях з постійним чергуванням; не рідше 1 разу на місяць без постійного чергування персоналу	При різкій зміні температури зовнішнього середовища на 10-15 °С протягом 5-6 годин	раз на 2 роки	перший раз через 12 років після встановлення, наступні по мірі необхідності
Кількісний склад бригади	2 особи	2 особи	не менше 6 осіб	не менше 6 осіб
Група з електробезпеки	Не нижче ніж 4	Не нижче ніж 4	Не нижче ніж 4	Не нижче ніж 4

Таблиця 5.3. Небезпечні та шкідливі виробничі чинники

Небезпечні і шкідливі чинники	Фактичне значення	Допустиме значення
Електричне походження		
Струм	$125000/(330 \cdot \sqrt{3}) = 230 \text{ A}$	0,6 мА
Напруга	330 кВ, 110 кВ, 35 кВ	6 В
Не електричного походження		

Продовження таблиці 5.3.

Шум	80 дБ	85 дБ
Висотні роботи	9м	1,8 м
Робота з хімічно-активними речовинами	Для очищення поверхонь застосовують сухі суміші, які містять поверхнево-активні речовини, луги та кислоти.	Шкідливе для шкіри працівників
Робота з нафтопродуктом (трансформаторне масло)	При високих рівнях температури масла, яка перевищує 150 °С, можливе виділення бульбашок газу, викиди CO ₂ . В маслі повинна бути концентрація кислот не більше ніж 0,25мг КОН/г масла	Шкідливе для шкіри працівників

Таблиця 5.4. Засоби індивідуального захисту та електрозахисні засоби

Вид електрозахисних засобів	Найменування	Технічні характеристики	Призначення і норми випробувань
Засіб індивідуального захисту	Потрібен для захисту від забруднень і механічних впливів	Комбінезон бавовняний Напівкомбінезон С8811 Плащ брезентовий	Гарантія 1 рік

Продовження таблиці 5.4.

	Захист для ніг від напруги кроку, механічного впливу	Чоботи робочі, S3 Чоботи діелектричні, S3	Гарантія 1 рік
	Рукавички для захисту від механічних ушкоджень	Рукавиці з покриттям нїтрил, WURTH P9 Антистатичні рукавиці	До зносу
	Захист голови від впливу електромагнітного поля, та струмопровідних частин ЕУ, від ударів, , падіння важких предметів.	Каска діелектрична 3М Hard Hat G3000DUV-GB	Гарантія 1 рік
	Окуляри для захисту від електричної дуги	Матеріал Полікарбонат	Гарантія 1 рік
Електрозахисний засіб індивідуального захисту	Діелектричні чоботи	Роботи під напругою більше за 1 кВ	При ремонтах автотрансформатора
	Діелектричні рукавиці		

Таблиця 5.5 - Технічні і організаційні заходи з безпеки праці

Вид заходу	Найменування заходу	Опис, показники і характеристики
Технічні заходи з електробезпеки		
Технічні заходи з електробезпеки	Встановлення попереджувальних знаків	Табличка «Висока напруга небезпечно для життя!», Табличка «Обережно, електрична напруга!»
	Захисне заземлення	Захисне заземлення захищає від напруги непрямого дотику і напруги кроку. Захисне заземлення ПС розміщено по периметру ПС. $R < 0,5 \text{ Ом}$
	Встановлення огорожі	Сітчаста огорожа, висотою 2,5 метра, доступ до АТ обмежено
Технічні заходи з електробезпеки	Знак безпеки	Встановлюють на автотрансформаторі ,на його видимих місцях, на висоті 2 м 
	Маркування автотрансформатора пишуть на його корпусі	Вид маркування АТДЦТН-1250000/330/110-У1
	Сигналізація	Встановлення сигналізації температури масла, системи охолодження. Вказує на виникнення аварійних ситуацій при роботі АТ
Організаційні заходи з електробезпеки		

Продовження таблиці 5.5

Технічні заходи з електробезпеки	Система відеоспостереження	
Організаційні заходи електробезпеки	Ведення відповідних журналів обліку	Оперативний журнал Відомості показників контрольно вимірювальних пристроїв Бланки переключень автотрансформатора Журнал обліку виробничого інструктажу
	Видача документів на виконання певних видів робіт	Розпорядження в порядку поточної експлуатації Наряд-допуск

Чинники умов праці та їх показники наведені у табл. 5.6.

Таблиця 5.6 – Чинники умов праці та їх показники

Найменування чинника	Основні характеристики	Числове значення показника
Технічні		
Освітлення	Природне	100%
Важкість праці	Статичні та динамічні навантаження	Категорія робіт 3

Продовження таблиці 5.6

Напруженість праці	Тривалість зосередженого спостереження Тривалість активних дій Змінність	60 % робочого часу 40 % робочого часу одна 8год зміна
Навчання та тренінги	Навчання з пожежної безпеки при проходженні випробовувального терміну робітником та раз в рік далі	Типове положення
Мікроклімат	Температура повітря взимку Відносна зимня вологість повітря Швидкість руху повітря взимку Температура повітря літня Відносна вологість повітря влітку Швидкість літом руху повітря	до -15°C 80% 4-5 м/с до +35 60% не більше ніж 7 м/с

5.3 Розрахунок захисного заземлення автотрансформатора

Розглядаємо АТ класу 330/110/35 кВ. Питомий опір ґрунту складає 50 Ом·м.

Відповідно до ПУЕ для ЕУ напругою більше 110 кВ допустимий опір $R_{\text{доп}}$

захисного заземлення не повинен бути більше 0,5 Ом.

Установка вертикального електроду $l_1 = 5$ м та розмір боку кутника $d=0,02$ м. В якості горизонтального заземлювача використовується металевий прут $b=0,04$ м.

Питомий опір ґрунту:

$$\rho_{\text{роз}} = \rho_{\text{таб}} \cdot \Psi_2 = 50 \cdot 1,5 = 75 \text{ (Ом} \cdot \text{м)}$$

Опір розтікання струму одного заземлювача, який розміщено заглиблено, знаходиться за формулою кутникового перерізу:

$$R_{B1} = \frac{\rho_{\text{роз}}}{2 \cdot \pi \cdot l_1} \cdot \left(\ln \frac{2,1 \cdot l_1}{d} + \frac{1}{2} \ln \frac{4,2t+l_1}{4,2t-l_1} \right) = \frac{75}{2 \cdot 3,14 \cdot 5} \cdot \left(\ln \frac{2,1 \cdot 5}{0,02} + \frac{1}{2} \ln \frac{4,2 \cdot 3 + 5}{4,2 \cdot 3 - 5} \right) = 15,85 \text{ (Ом)}$$

$$t = t_0 + \frac{l_1}{2} = 0,8 + \frac{5}{2} = 3,3 \text{ (м)}$$

$t_0 = 0,8$ – відстань від поверхні ґрунту, м

$R_{B1} > R_{\text{доп}}$ тому сполучаємо декілька вертикальних заземлювачів.

Знайдемо необхідну кількість заземлювачів:

$$n' = \frac{R_{B1}}{R_{\text{доп}} \cdot \eta_e} = \frac{15,78}{0,5 \cdot 0,66} = 48,03 \approx 48 \text{ (шт)}$$

Опір розтікання струму горизонтального заземлювача:

$$R_{\Gamma} = \frac{\rho_{\text{роз.г}}}{2 \cdot \pi \cdot l_{\Gamma}} \cdot \ln \left(\frac{l_{\Gamma}^2}{b_{\Gamma} \cdot t_1} \right) = \frac{75}{2 \cdot 3,14 \cdot 48} \cdot \ln \left(\frac{48^2}{0,04 \cdot 0,7} \right) = 2,81 \text{ Ом}$$

Еквівалентний опір струму розтікання штучного ЗП:

$$R_{\text{шт}} = \frac{R_{B1} \cdot R_{\Gamma}}{R_{B1} \cdot \eta_{\text{Геф}} + R_{\Gamma} \cdot n' \cdot \eta_{\text{Веф}}} = \frac{15,85 \cdot 2,81}{15,85 \cdot 0,22 + 2,81 \cdot 48 \cdot 0,66} = 0,48 \text{ Ом}$$

Отримане значення $R_{\text{шт}}$ задовольняє допустиме значення: $R_{\text{шт}} < R_{\text{доп}}$

Висновки:

У розділі було розглянуто питання охорони праці та безпеки у надзвичайних ситуаціях під час експлуатації АТДЦТН-125000/330.

Наведено дані про об'єкт дослідження, про небезпечні та шкідливі чинники на робочому місці, було обрано III категорію шкідливості.

Були розглянуті такі складові:, технічні і організаційні заходи з безпеки праці, характеристика умов праці, небезпечні та шкідливі виробничі чинники, Заходи ліквідації і запобігання надзвичайних ситуацій, засоби індивідуального захисту та електрозахисні засоби, технічні і організаційні заходи з безпеки праці.

Було розраховано заземлюючий пристрій корпусу АТ. Допустимий опір заземлення $R_{\text{доп}} = 0,5 \text{ Ом}$ не перевищує розрахований еквівалентний опір $R_{\text{шт}} = 0,48 \text{ Ом}$ струму розтікання штучного заземлення, то заземлення автотрансформатора було обрано правильно.

6 РОЗРОБКА СТАРТАП ПРОЕКТУ

6.1 Опис ідеї проекту

Мною представлена ідея стартап проекту по розробці пристрою - новий сучасний високовольтний вимикач.

Новий сучасний високовольтний вимикач представляє собою новаторський вимикач для високовольтних систем передачі електроенергії, який поєднує в собі передові технології та принципи сталого розвитку. Основною ідеєю проекту є створення надійного та енергоефективного вимикача, який відповідає вимогам сучасності та враховує екологічні аспекти.

Ключові характеристики нового сучасного високовольтного вимикача:

- Енергоефективність та зменшення втрат: використання передових технологій комутації, що значно зменшує втрати електроенергії та підвищує загальну ефективність системи.

- Екологічні матеріали: застосування екологічно чистих матеріалів у виробництві для мінімізації негативного впливу на навколишнє середовище.

- Система моніторингу та аналізу: вбудована система моніторингу для постійного відстеження параметрів роботи та автоматичного виявлення будь-яких аномалій.

- IoT інтеграція: можливість віддаленого моніторингу та керування через Інтернет за допомогою сучасних технологій "Internet of Things".

- Гнучкість та модульність: модульна конструкція, яка дозволяє користувачам легко адаптувати вимикач під конкретні потреби та умови експлуатації.

Цей продукт створюється з метою поліпшення стабільності та ефективності енергетичних систем, а також для зменшення впливу енергетичної промисловості на навколишнє середовище. Новий сучасний високовольтний вимикач прагне стати лідером в галузі високовольтних вимикачів, забезпечуючи енергоефективні та екологічно чисті рішення для майбутнього.

Таблиця 6.1. Опис ідеї стартап-проекту

Зміст ідеї	Напрямки для застосування	Вигода користувача
Розробка нового сучасного високовольтного вимикача.	Енергетичні мережі — для керування потоком електроенергії у головних електричних мережах. Енергетичні підстанції — для забезпечення безпечної та ефективної роботи у підстанціях різних рівнів напруги. Промислові підприємства — для забезпечення надійного електропостачання та безперебійної роботи обладнання. Транспортні системи — в системах громадського та промислового транспорту для електроживлення та забезпечення безпеки. Житлово-комунальний сектор — для забезпечення електропостачання в житлових будинках та комунальних системах. Відновлювана енергетика — в системах вітрових та сонячних ферм для з'єднання та роз'єднання. Технічне обслуговування та ремонт — для полегшення технічного обслуговування та ремонту електроустаткування. Системи електроживлення для критичних об'єктів — в системах безперебійного електроживлення для медичних установ та інфраструктури. Сучасний високовольтний вимикач відзначається універсальністю та надійністю у різноманітних сферах застосування.	Сучасний високовольтний вимикач, розроблений під назвою, пропонує ряд вигод для користувачів. Ефективність: забезпечує надійне та ефективне управління електропоток, що дозволяє знижувати втрати електроенергії та оптимізувати енергоефективність. Безпека: використовує сучасні технології для максимального рівня безпеки під час роботи, мінімізуючи ризики аварій та несправностей. Надійність: забезпечує стабільну та безперебійну роботу в різних умовах експлуатації, що підвищує надійність електропостачання. універсальність застосування: підходить для різних галузей, включаючи енергетику, промисловість, транспорт та Житлово-комунальний сектор. простота управління: одночасно забезпечує ефективне та просте управління, що дозволяє легко інтегрувати його в різноманітні системи. "сучасний високовольтний вимикач" — це інноваційний продукт, спрямований на задоволення потреб сучасного користувача в надійному та безперебійному електропостачанні.

Для успішного впровадження такого вимикача, визначимо потенційно його сильні та слабкі сторони.

Таблиця 6.2. Техніко-економічні характеристики проекту

№ з/п	Техніко-економічні характеристики проекту	Концепції		Сторони проекту		
		Мій проєкт	Звичайні прилади обліку	Сильна	Нейтральна	Слабка
1	Додаткові капіталовкладення	+	-			+
2	Додаткові регулярні витрати на обслуговування, контроль за зніманням показань	+	-			+
3	Постачання системи окремо від обладнання	+	+	+		
4	Можливість використання великого масиву даних про ЕЕ	+	-	+		
5	Можливість для загального впровадження	+	-	+		
6	Наявність бюджету для реклами та дистриб'юції	-	+		+	
7	Можливість для подальшого розвитку	+	+	+		

6.2 технологічний аудит ідеї проекту

Перелік необхідних технологій для реалізації наведений в таблиці 6.3.

Таблиця 6.3. Технологічна здійсненність ідеї проекту

№ з/п	Ідея проекту	Технології її реалізації	Наявність технологій	Доступність технологій
1	Розробка алгоритмів та моделей	Програмні комплекси, прикладне ПЗ	наявні	доступні
2	Створення програмного комплексу	Програмні комплекси, обчислювальна техніка, середовища програмування	наявні	доступні
3	Створення комерційного зразка, його реалізація та просування	Прямий продаж, створення дилерської мережі	наявні	необхідне залучення інвестицій

Дані, свідчать, що реалізація ідеї проекту на стартових етапах не потребує залучення додаткових інвестиційних коштів, але на третьому етапі реалізація даного проекту можлива буде при наявності інвестора.

6.3 аналіз ринкових можливостей стартап-проекту

Для визначення ринкових можливостей по запуску стартап-проекту необхідно провести аналіз потенційного ринку. Дана інформація наведена в таблиці 6.4.

Таблиця 6.4. Характеристика потенційного ринку для стартап-проекту

№ з/п	Показники стану ринку	Характеристика
1	Кількість головних учасників	>25
2	Загальний обсяг продажу	Немає даних

Продовження таблиці 6.4.

3	Динаміка розвитку ринку	зростаюча
4	Наявність обмежень	немає
5	Специфічні умови по стандартизації	загальні згідно документації
6	Середня норма рентабельності	н/д

Загальні інвестиції становлять 850 тис. грн.

Для цієї інвестиції візьмемо кредит під 17% в розмірі 850 тис. грн на 2 роки, з використанням системи ануїтетних платежів.

Річна відсоткова ставка (r): 15% (0,17 річних, що становить 0,014 на місяць); термін: 2 роки (24 місяців).

Використаємо формулу ануїтетних платежів:

$$A = P \cdot \frac{r \cdot (1 + r)^n}{(1 + r)^n - 1} = 850 \cdot \frac{0,013 \cdot (1 + 0,013)^{24}}{(1 + 0,013)^{24} - 1} = 41,456 \text{ тис. грн (6.1)}$$

де A - місячний ануїтетний платіж; P - основна сума кредиту; r - місячна процентна ставка (річна ставка поділена на 12); n - загальна кількість платежів (місяці).

Загальна сума кредитних виплат по інвестиційному проекту за 2 роки складатиме:

$$C_K = A \cdot n = 41,456 \cdot 24 = 994,953 \text{ тис. грн. (6.2)}$$

де A - місячний ануїтетний платіж; n – кількість місяців

Використання такого пристрою дасть можливість знизити витрати до $C_t = 1200$ тис. грн. за період t.

$$C_0 = \frac{C_t}{(1 + IRR)^t} = 850 = \frac{1200}{(1 + IRR)^2}, \quad (6.3)$$

де C_0 – загальні інвестиції; C_t – значення чистого грошового потоку за період часу t, IRR - внутрішня норма рентабельності/доходності інвестиційного проекту; t – період часу.

Знайдемо IRR :

$$IRR = 0,188 = 18,8 \%. \quad (6.4)$$

Окупність становить:

$$T = \frac{C_0}{IRR} = \frac{0,85}{0,188} = 4,521 \text{ років}, \quad (6.5)$$

де T – період окупності, C_0 – загальні інвестиції; IRR - внутрішня норма рентабельності/доходності інвестиційного проекту.

6.4 SWOT-аналіз стартап проекту

У процесі SWOT-аналізу для стартап-проекту була розроблена матриця, в якій відображені як сильні і слабкі сторони, так і можливості і загрози. Знайдені результати аналізу подано в таблиці 4.4.

Таблиця 6.5 - SWOT-аналіз стартап проекту

Переваги	Недоліки
Інноваційність Надійність Екологічність	Фінансові витрати Конкуренція
Можливості Ринковий попит Сталий розвиток	Загрози Технічні складності Зміни в законодавстві

Висновки

Сучасний високовольтний вимикач є інноваційним рішенням для ефективного та надійного управління електропотокм у різних галузях. Це компактне та універсальне пристрій, яке забезпечує оптимальну функціональність та високий рівень безпеки.

Основною перевагою "сучасного високовольтного вимикача" є його відмінна адаптованість до різних умов та потреб користувачів. Цей вимикач відрізняється простотою управління, що робить його ідеальним рішенням для широкого спектру використання в енергетичній, промисловій та комерційній сферах.

Завдяки високій ефективності та низькому рівню споживаної енергії, сучасний високовольтний вимикач допомагає зменшити витрати на утримання та підтримує стабільність електропостачання. Його надійність та довговічність роблять його вигідним вибором для компаній, які прагнуть оптимізувати свої енергетичні системи та забезпечити неперебійну роботу обладнання.

Сучасний високовольтний вимикач — це не просто технологічний пристрій, але і важливий крок у напрямку стабільного та ефективного використання електроенергії в сучасному світі.

ВИСНОВКИ

За результатами проведеного аналізу технічного стану об'єктів енергетики, можна зробити висновок про чутливі проблеми, що виникають у сфері електроенергетики України, це високий рівень зношення електроенергетичного обладнання, яке використовується для виробництва, передачі та розподілу електричної енергії.

Шлях вирішення цих проблем може бути прокладений через проведення комплексної оцінки, її базою можна назвати систему моніторингу. Моніторинг сприятиме ефективній роботі галузі, а також створить передумови для стабільності та рівномірно сталого розвитку енергетичного сектору.

У другому розділі магістерської дисертації розглянуто ПС з напругою 330/110/35 кВ «Броваришинська». Була наведена схема електричних з'єднань підстанції. Далі було описано основне обладнання, що встановлене на ПС, силові трансформатори та автотрансформатори, вимикачі, роз'єднувачі, збірні шини, захисне обладнання, вимірювальні прилади, засоби релейного захисту, трансформатори власних потреб.

Вимикачі серії ВВБ випускаються на напругу 110...750 кВ. Контактна система полюса разом зі своїм механізмом і дуттьовим клапаном перебуває всередині металевої камери, наповненої стисненим повітрям та ізольованої від землі порцеляною опорною колонкою. Камера перебуває під високим потенціалом. Полюс вимикача 220 кВ складається з двох металевих камер, розділених проміжним ізолятором.

Усередині опорних колонок прокладено по два склопластикових повітропроводи, один з яких слугує для постійного подавання стисненого повітря до камер, другий - для імпульсного подавання стисненого повітря під час відключення і скидання повітря під час увімкнення вимикача.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Правила улаштування електроустановок : 2017. – Офіц. вид. –ч Мінпаливенерго України. 2017. 860 с.
2. Буслова Н.В. Електричні мережі та системи Н.В.Буслова, В.Н. Винославський, Г.І. Денисенко, В.С. Перхач.; під ред. Г.І. Денисенко. – К.: Вища шк. Головне вид-во, 1986. 584с.
3. Рішення АББ для розподільчих мереж [Електронний ресурс] / URL: https://voltline.ua/files/voltline/reg_files/abb_seti_final.pdf. (дата звернення 11.2023)
4. Бардик Є.І., Безбереж'єв Ю.В. Перехідні електромагнітні процеси в електроенергетичних системах: Методичні вказівки. Київ НТУУ «КПІ» ФЕА, 2013. 33 с.
5. СОУ НЕК 20.261:2019 Технічна політика НЕК «Укренерго» у сфері розвитку та експлуатації магістральних та міждержавних електричних мереж, ДП «НЕК «Укренерго», 2019 26 с.
6. СОУ НЕК 35.101:2018 Загальні технічні вимоги до автоматизованих систем керування технологічними процесами підстанцій 220-750 кВ, ДП «НЕК «Укренерго», 2018 30 с.
7. L60 Line Phase Comparison System Instruction Manual for version 8.3x., 1601-0082-AM2 (October 2022). 103 с.
8. Line distance protection REL670 2.0 IEC Application manual, Document ID: 1MRK 506 338-UEN Issued: July 2016 Revision: B Product version: 2.0 126 с.
9. Bay control REC670 Application manual, Document ID: 1MRK511190-UEN Issued: June 2010 Revision: C Product version: 1.1. 536 с.
10. Busbar protection REB670 Technical reference manual, Document ID: 1MRK505178-UEN Issued: June 2010 Revision: C Product version: 1.1. 536 с.
11. Feeder Protection and Control REF615 Application Manual, Document ID: 1MRS756378 Issued: 2012-05-11 Revision: K Product version: 4.0. 212 с.
12. Transformer protection RET670 Version 2.2 IEC Technical manual,

Document ID: 1MRK 504 164-UEN Issued: July 2022 Revision: P Product version: 2.2. 177 с.

13. Transformer protection RET650 Version 1.1 ANSI Technical manual. Document ID: 1MRK 504 125-UUS, Issued: May 202, Revision: B, Product version: 1.1. 125 с.

14. Методичні вказівки по вибору параметрів спрацювання пристрої РЗА виробництва ТОВ «АББ Силові та Автоматизовані Системи», відкрите акціонерне товариство «Федеральна мережева компанія єдиної енергетичної системи», 2011. 184 с..

15. ДСН 3.3.6.042-99 Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень Вид. офіц. Київ: МОЗ України, 1999. 1 с.

16. НАПБ Б.03.002-2007. Норми визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою. Вид. офіц. Київ: Держспоживстандарт України, 2007. 1 с.

17. Питання побудови нечітких моделей оцінки технічного стану об'єктів електричних систем: моногр./ М.В. Костерев, Є.І. Бардик – К.: НТУУ «КПІ», 2011 – 148с.

18. Бардик, Є.І. Електрична частина станцій та підстанцій. Основне електрообладнання/Є.І. Бардик, М.П. Лукаш /К.: "Політехніка" НТУУ "КПІ" 2012. 250 с.

19. Методичні рекомендації до виконання розділу «Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях» для підготовки студентів КПІ ім. І. Сікорського за освітньо-кваліфікаційним рівнем “магістр” спеціальностей 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка», / Укл.: Л. Третьякова, Л. Мітюк. Київ: НТУУ «КПІ ім. І. Сікорського», ІЕЕ, 2021. 58 с 20.«Високовольтні силові трансформатори для електромереж 110-750 кВ», [Електронний ресурс] / / INVOTEK ENERGY: каталог- Режим доступу: <https://invotek.energy/tpl/docs/catalog/1.-vyisokovoltnyye-silovyye-transformatoryi110-750-kv.pdf> (дата звернення 11.2023)

21. НПАОП 63.21-1.22-07. Правила охорони праці під час виконання

навантажувально-розвантажувальних робіт на залізничному транспорті (32260), Вид. офіц. Київ: Держнаглядохоронпраці, 2007. 35 с.

22. «Експлуатація силових трансформаторів та автотрансформаторів» [Електронний ресурс] // Київський енергетичний фаховий коледж: Сайт – Режим доступу: <https://kek.edu.ua/5-ekspluatacija-silovih-transformatoriv-taavtotransformatoriv/> (дата звернення 12.2023)

23. «Заходи по ремонту та відновленню силових трансформаторів» [Електронний ресурс] / / Електроконтроль ООО НПП «Нафтоенергопром»: Сайт - Режим доступу: <https://electrocontrol.com.ua/ua/stati-sxemy-i-spravochnaya-informaciya/meropriyatiya-po-remontu-i-vosstanovleniyu-silovyh-transformatorov.html> (дата звернення 11.2023)

24. Правила улаштування електроустановок ПУЕ 2017 введені 21.07.2017 р. – Офіц. вид. – К.: Форт: Мінпаливенерго України. 2017

25. Закон України «Про ринок електричної енергії»: № 2019 – VIII від 13.04.2017 р. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://zakon0.rada.gov.ua/laws/show/2019-19> (дата звернення 12.2023)

26. План розвитку розподільних електричних мереж на 2016 – 2025 роки [Електронний ресурс]: Офіційний сайт Міністерства енергетики та вугільної промисловості України. – Режим доступу: http://mpe.kmu.gov.ua/minugol/control/uk/publish/officialcategory?cat_id=244972812 (дата звернення 11.2023)

27. Мережі Укренерго [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://ua.energy/about/merezhi-ukrenergo/> (дата звернення 11.2023)

28. Кирик В.В., Рибка О.О., Аналіз стану та технічної відповідності електричних мереж ОЕС України вимогам ENTSO-E. Журнал "Гідроенергетика України" №3-4, 2021. 98 с.

29. Попадченко С. А., Савченко О. А., Абрамов М. А. Підвищення ефективності технологій Smart Grid на основі моніторингу параметрів електричної мережі. Харківський національний технічний університет сільського господарства імені П. Василенка, 2020. 100 с.

30. Неклепаєв Б. Н. Електрична частина електростанцій та підстанцій: Довідкові матеріали для курсового та дипломного проектування. Навчальний посібник для вишів — 3-є вид., перероб. та доп./ Неклепаєв Б. Н., Крючков І. П. —М.: Енергія, 1978. — 456 с.
31. Basic communication structure for substations and feeder equipment – Compatible logical node classes and data classes. IEC 61850-7-4, 2013. 104 с.
32. Basic communication structure for substations and feeder equipment – Common data classes. IEC 61850-7-3, 2013. 182 с.
33. System and project management. IEC 61850 - Part 4, 2011. 74 с.
34. IEEE Guide for Application for Monitoring Equipment to Liquid-Immersed Transformers and Components. IEEE C57.143-2012. 180 с.
35. Power transformers - Part 2: Temperature rise for liquid-immersed transformers IEC 60076-2, 2011. 95 с.
36. Using IEC 61850 for condition monitoring diagnosis and analysis. IEC 61850 - Part 90-3, 2016. 3 с.