

Міністерство освіти і науки України

Криворізький національний університет

Електротехнічний факультет

Пояснювальна записка

**до кваліфікаційної роботи бакалавра
за спеціальністю 141 - Електроенергетика, електротехніка та
електромеханіка**

ТЕМА РОБОТИ:

**Визначення електротехнічних та технологічних параметрів для розбудови
селективних реле захисту від враження гірників електричним струмом**

Виконав: студент групи ЕЕМ-21-2

Кирило ЛАБА

Керівник випускної роботи _____

к.т.н., доц. Ігор СІНЧУК

Нормо контролер _____

к.т.н., доц. Ігор СІНЧУК

Декан ЕТФ _____

к.т.н., доц. Владислав ФЕДОТОВ

Гарант освітньої програми _____

к.т.н., доц. Ігор ПЕРЕСУНЬКО

Кривий Рір 2025 р.

Криворізький національний університет

Факультет: електротехнічний

Освітній рівень: бакалавр

Спеціальність: 141 - Електроенергетика, електротехніка та
електромеханіка

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА ВИЩОЇ ОСВІТИ

ЛАБА Кирило Олександрович

(прізвище, ім'я, по батькові)

Тема роботи: Визначення електротехнічних та технологічних параметрів для
розбудови селективних реле захисту від враження гірників електричним
струмом

1. Термін подання студентом роботи: 16 червня 2025 р.
2. Мета та завдання кваліфікаційної роботи: Метою є визначення
електротехнічних та технологічних параметрів селективних реле захисту.
Завданням є розбудова селективних реле захисту від враження гірників
електричним струмом.
3. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які необхідно розробити) I.
Аналіз існуючих реле захисту (реле витоку) від замикань на землю систем
електропостачання гірничорудних підприємств; II. Дослідження і
регулювання фазових співвідношень в системах електропостачання; III. Опис
конструкції і принципів селективного реле витоку; IV. Розрахунок і вибір
параметрів основних вузлів селективних реле витоку.
4. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових
креслень) I. Типова схема керування дільничною понижуючою підстанцією
залізничної шахти; II. Схема вибору фільтру з оптимальною кутовою
похибкою; III. Принципова схема роботи реле захисту; IV. Система керування
електроприводом; V. Основні характеристики селективного реле захисту.-

5. Консультанти розділів роботи

Розділ	Ім'я, прізвище консультанта	Дата, підпис	
		Завдання видав	Завдання прийняв
I	Ігор СІНЧУК		
II	Ігор СІНЧУК		
III	Ігор СІНЧУК		
IV	Ігор СІНЧУК		

6. Календарний план

№	Етапи роботи	Термін
1	Аналіз існуючих реле захисту	15.05.25
2	Умови роботи реле витоку і критерії електробезпеки	17.05.25
3	Схеми захисту на постійному і змінному струмі	19.05.25
4	Схеми зі струмами і напругами нульової послідовності	21.05.25
5	Дослідження і регулювання фазових співвідношень	24.05.25
6	Необхідність направленої роботи реле захисту	26.05.25
7	Опис конструкції і принципів селективного реле	31.05.25
8	Апаратура селективного захисту	04.05.25
9	Розрахунок надійності роботи апаратури захисту	10.06.25
10	Розрахунок і вибір параметрів основних вузлів	14.06.25

Дата видання завдання 12.05.2025 р.

Здобувач вищої освіти _____
(підпис)

Кирило ЛАБА
(Ім'я, прізвище)

Керівник роботи _____
(підпис)

Ігор СІНЧУК
(Ім'я, прізвище)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до випускової атестаційної роботи бакалавра на тему: «Визначення електротехнічних та технологічних параметрів для розбудови селективних реле захисту від враження гірників електричним струмом»

50 с., 5 рис., 28 літературних джерел

Питання розробки дієвих варіантів реле захисту від враження електричним струмом гірників при їх випадковому доторку до струмопровідних частин електрообладнання в реаліях роботи гірничих підприємств не доцільно вважають «закритим». Використані в залізорудних шахтах типи реле захисту не розроблялись і не проектувались для умов функціонування саме цих видів підприємств з когорти узагальнено гірничих.

Тому їх функціональна спроможність не відповідає реаліям експлуатації СЕП даних підприємств.

Окрім ряду не системоутворюючих, але все ж когорти впливових, виділяється фактор відсутності селективності їх роботи.

Для компенсації цього «пробілу» було зроблено ряд пошуків, серед яких виділяються позитивом роботи по розробці реле на основі їх спрямувань по струмам нульової послідовності.

Але, фактором, від якого залежить працездатність таких реле, є правильний вибір уставки їх спрацювань по струму.

Саме цей момент і являє собою предмет даного дослідження.

ЗАЛІЗОРУДНА ШАХТА, РЕЛЕ ЗАХИСТУ, СЕЛЕКТИВНІСТЬ, УСТАВКА СТРУМУ

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.25.249-07	Арк.
						4
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Зміст

Вступ.....	6
Розділ 1. Аналіз існуючих реле захисту (реле витоку) від замикань на землю систем електропостачання гірничорудних підприємств.....	8
1.1. Умови роботи реле витоку і критерії електробезпеки	8
1.2. Схеми захисту на постійному і змінному струмі.....	13
1.3. Схеми зі струмами і напругами нульової послідовності	18
Висновки до розділу 1	25
Розділ 2. Дослідження і регулювання фазових співвідношень в системах електропостачання	26
2.1. Необхідність направленої роботи реле захисту	26
Висновки до розділу 2	30
Розділ 3. Опис конструкції і принципів селективного реле витоку.....	31
3.1. Апаратура селективного захисту.....	31
3.2. Розрахунок надійності роботи апаратури захисту.....	34
Висновки до розділу 3	36
Розділ 4. Розрахунок і вибір параметрів основних вузлів селективних реле витоку	37
Висновки до розділу 4	44
Висновки	45
Список використаних джерел	47

Вступ

Питанням підвищення безпеки праці в Україні приділяється достатньо уваги.

Значні успіхи були досягнуті у галузі зниження електротравматизму у шахтних низьковольтних мережах змінного струму.

У цьому великий вклад докторів технічних наук Гладиліна Л.В., Лейбова Р.М., Шишкіна М.Ф. і колективів, котрі вони очолювали. Професором Гладиліним Л.В. і його учнями – кандидатами технічних наук Меньшовим Б.Т., Антоновим Ю.П., Породиним М.І., Тонкошкур Л.С. і іншими досліджена ізоляція підземних розподільчих систем шахт основних гірничодобувних і вугільних басейнів країни.

Певні стійкі рівні опору ізоляції, котрі були використані у якості відправних даних для створення реле витоку. Піонером у галузі розробки останніх у вітчизняній практиці був Лейбов Р.М. Створені ним реле витоку типу РУВ і РУН мали важливе значення у зниженні електротравматизму на шахтах України. В останні роки широке використання мали також реле витоку струму УАКІ розроблені Фаніним А.Я., і Кочетковим В.Д.

На шахтах Кривбасу широке застосування знайшли реле витоку типу САЗУ, що були розроблені колективом учених кафедри електропостачання гірничих підприємств КГРІ під керівництвом к. т. н., доц. Тонкошкура Л.С.

Віддаючи потрібний рівень вищезазначеним ученим їх розробкам у галузі захисту гірничників від ураження їх електричним струмом, помітний їх загальний недолік – реле витоку РУВ, УАКІ, САЗУ функціонує не селективно. Пошкодження або зниження рівня ізоляції у одного електроприймача призводить до знеструмлення усіх споживачів підстанції.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.25.249-07	Арк.
						6
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Відключення останніх через неселективну роботу захисту викликає тривалий простій обладнання очисних і підготовчих забоїв, що складають у сумі за рік від 3 до 5 діб.

Для усунення перебоїв подачі електроенергії гірничим ділянкам необхідні селективні реле витоку, створення і впровадження котрих дозволить підвищити надійність підземного електропостачання і продуктивність основного технологічного обладнання.

Слід констатувати, що працездатність конструкцій селективних реле витоку для мереж низької напруги немає. Основна причина цього – відсутність теорії їх розрахунку, що забезпечує виконання вимог електробезпеки і умов експлуатації.

На основі селективного захисту від замикання на землю було створений комплекс обладнання для диспетчеризації і телемеханізації підземних дільничних підстанцій.

Питанню диспетчеризації телемеханізації дільничних підстанцій, а також розробці проектування селективних реле витоку для низьковольтних мереж, побудованих на принципі потоків нульової послідовності, присвячена дійсна випускова робота – проект.

Вибір принципу пристрою захисту виконаний на основі попереднього аналізу, що показав, що для створення селективних реле найбільш перспективне застосування струмів нульової послідовності.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.25.249-07	Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Розділ 1. Аналіз існуючих реле захисту (реле витоку) від замикань на землю систем електропостачання гірничорудних підприємств

1.1. Умови роботи реле витоку і критерії електробезпеки

Питанням безпеки праці взагалі та в умовах гірничодобувних підприємств зокрема, в державі приділялась детальна увага. У цьому спрямуванні в аналізуємій галузі промисловості було досягнуто значних успіхів.

У світовій практиці прийняті при системному електропостачанні підземних гірничих робіт, відрізняються режимами роботи нейтралі трансформатору. В підземних умовах роботи шахт України прийнята система з ізольованою нейтралю трансформатора.

Це продиктовано перш за все умовами безпеки експлуатації СЕП в цих умовах.

Для захисту гірників від ураження електричним струмом при торканні ними провідників по яким проходить електричний струм застосовують ряд видів реле, найбільш ефективними з яких виглядають так звані селективні, котрі відрізняються від інших вибіркоким відключенням – захисту саме тієї ділянки СЕП, де виникає дотик працівника до електричної фази.

Проте технологія розробки, як і технологія функціонування таких видів захисту не проста.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.25.249-07						
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	Розділ 1				Лім.	Лист	Листів
Розробив	Лаба К.О.										
Перевірів	Сінчук І.О.										
Реценз.											
Н. Контр.	Сінчук І.О.										
Затвердив	Пересунько І.І.										
					КНУ ЕЕМ-21-2						

Основними моментами такої складності - відправними даними для розбудови ефективно функціонуючих реле є параметри розподільчих електричних мереж шахт і відповідного рівня безпечних значень струму витоку.

Електропостачання підземних гірничих робіт в умовах залізрудних шахт здійснюється напругою 0,4 кВ від дільничних підземних підстанцій, обладнаних силовими трансформаторами 6/0,4 кВ і відповідними розподільчими пристроями. Для передачі електроенергії споживачам, використовується кабельна мережа. Напруга 6 кВ подається глибоким вводом на шини дільничних підстанцій.

Напруга з низької сторони трансформатора вводиться через автомат у розподільчі пристрої мережі 0,4 кВ.

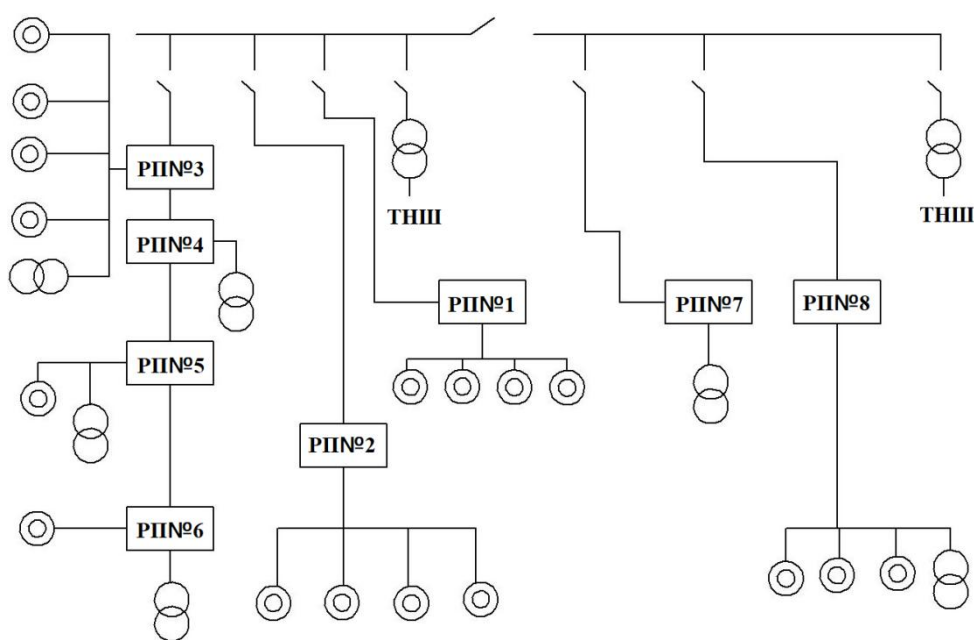


Рис. 1.1 Типова схема керування дільничною понижуючою підстанцією залізрудної шахти

Типова схема КПП, приведена на рис. 1.1. Опори ізоляції мережі 0,4 кВ досить низькі і слугують причиною частих відключень електроенергії гірничих дільниць у результаті спрацювання неселективних реле витоку.

Постійний черговий персонал на підстанціях відсутній і відключення їх викликає тривалий простій машин у очисних і підготовчих заборях.

Для найбільш ефективного підвищення надійності підземного електропостачання селективних реле витоку необхідно встановлювати у підстанціях на живлячих кінцях захисних відводів мережі.

Для шахт Кривбасу рекомендується приймати стійкий рівень: ємності мережі підстанції $1,25 \div 2,5$ мкФ ($0,4 \div 0,8$ мкФ/фазу), активного опору - $3 \div 4$ ном ($9 \div 12$ ном/фазу) [28].

На ці дані, отримані у результаті багаторічних досліджень, можна орієнтуватись при розробці селективних реле витоку.

Другим відправним пунктом для створення захисту служить критерій електробезпеки.

Взаємодія електричного струму на організм людини вперше відмічено у 18 столітті (Манаков), на повній ємності у цьому питанні немає і на сьогоднішній день. Ураження електричним струмом у низьковольтних мережах виникають у результаті порушення діяльності органів дихання і кровообігу (Кісельов). У більшості випадків, на думку провідних учених світу у галузі електропатології і ревматології Неговського В.А. і Гурвича Н.А. [6], Далзієм та ін., причина смертельного ураження струмом низької напруги обумовлена порушенням роботи серця: без режимним різночасовим скороченням окремих воронки серцевого м'язу (фібрилл), мають назву фібриляційні.

При фібриляції серце зупиняється, зупиняється кровообіг і не відновлюється після припинення дії струму. Струм, що викликає її – смертельно уражуючий.

За безпечне значення наступного приймається гранична величина струму, що не викликає фібриляцію серця. Максимальне значення струму, що

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.25.249-07	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		10

не викликає фібриляцію серця залежить від тривалості дії його на організм людини.

Враховуючи це, у вимогах, що пред'являються до захисту, повинні бути обумовлені початкові величини струмів відключення, так й граничний час їх відключення.

Спрацювання захисту повинно відбуватись при струмі однофазного витоку, що не перевищує безпечного значення величини останнього.

У інженерних розрахунках оперують двома критеріями електробезпеки, що отримали у технічній літературі назви: тривалого (I_6) і короткочасного (I_k) безпечних струмів.

Єдиної думки про величину тривалого безпечного струму немає. У Франції для підземних умов декретом 1935 р встановлено величину розрахункового безпечного струму на рівні 25 ма. У шахтах Англії і ФРН за безпечний струм прийнято рівень 50 ма, у гірничорудній і вугільній промисловостях СРСР – 30 ма. Ще більше розходження поглядів бачимо у оцінці короткочасного значення безпечного струму. Найбільш широке дослідження у цій галузі проведено Дальзіелем. Він вважає, що при змінному синусоїдальному струмові частотою 50 – 60 Гц і тривалістю його протікання 0,03 – 3 сек, 95,5% чоловіків можуть витримати без появи фібриляції серця струм, пов'язаний з тривалістю взаємодії має наступну залежність:

$$I = \frac{a}{\sqrt{t}}$$

де: I – діюче значення струму, ма; t – тривалість взаємодії, сек; a – емпіричний коефіцієнт, що має назву Дальзієм величиною постійної енергії.

Мапойров В.Е вважає, що при ураженні людини унаслідок фібриляції серця це рівняння обґрунтоване.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.25.249-07	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

Результати досліджень Кисельова А.П. [5], Кузнецова А.І., Шипунова І.В. [7], Кизимова І.А., Петрова І.Р., і Глазенапа В.Є. у відношенні безпечної величини короткочасного струму не співпадає між собою і з висновками Дальзієля.

Немає єдиної думки також і у оцінці мінімального опору людського тіла, що використовується для розрахункового визначення величини короткочасного струму.

У СРСР, Франції і ОША прийнято вважати опори тіла людини рівним 1000 Ом, у ФРН – 1300 Ом і т. д.

При проектуванні вітчизняних конструкцій неселективних захистів РКВ, УАКІ, САЗУ-2 і інших у відповідності з рекомендаціями інституту МакНІІ було прийнято:

1. Тривалий безпечний струм – 30 ма.
2. Короткочасний безпечний струм при часу взаємодії 0,7 сек – 160 ма.
Визначення величини його виконується за формулами Дальзієля, що скоректовані введенням коефіцієнту безпеки.
3. Опір тіла людини – 1000 Ом.

Масове впровадження неселективних захистів повністю нівелювало електротравматизм у низьковольтних секціях шахт. Це говорить про те, що критерії електробезпеки при їх розробці вибрані вірно й них слід орієнтуватись також і при створенні селективних реле витоку.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.25.249-07	Арк.
						12
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1.2. Схеми захисту на постійному і змінному струмі

Питанням захисту від замикань на землю і безпеки експлуатації електричних мереж присвячена низка літературних джерел.

У залежності від характеру видимого сигналу, на який реагують пристрої, усі відомі схеми захисного відключення можливо розділити на наступні типи:

1. Схеми на напруги корпусу відносно землі;
2. Схеми на струми замикання на землю;
3. Схеми на напругу нульової послідовності;
4. Схеми на напругу фази відносно землі.
5. Вентильні схеми.
6. Схеми на постійному оперативному струмові.
7. Схеми на змінному оперативному струмові.
8. Схеми на струмові нульової послідовності.
9. Комбіновані схеми: на струмові і напрузі нульової послідовності.

Для здійснення селективного відключення можуть бути використані тільки останні чотири принципи пристроїв захисту.

Оцінимо перспективність застосування їх для створення селективного захисту від замикань на землю низьковольтних систем. Першочергово розглянемо схеми захисту на постійному і змінному оперативному струмові.

На постійному струмові створено велику кількість модифікацій реле витоку [2, 8]. Найбільш розповсюдженим реле витоку, що було розроблено професором Лейбовим [28]. Визначена послідовність їх роботи дозволяє

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.25.249-07	Арк.
						13
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

здійснити селективне відключення електроприймачів при появі небезпечних точок витоку. Сутність даного методу полягає у наступному.

Відхідні кабелі підключаються до шин підстанції автоматами с приводом для дистанційного включення або контакторами (1К, 2К, 3К).

На кожному фідері встановлюється броньоване реле витоку (БРВ), ланцюг котрого готується розмикаючим блок – контактом контактору.

При зниженні рівня ізоляції мережі нижче допустимого загально мережевого реле витоку РКВ відключає фідери. Якщо причина відключення – низький опір ізоляції у схемі комутованої пускачем ручного керування, - спрацьовує броньоване реле і розмикає свої контакти у ланцюзі керування контактором. Фідери, рівень ізоляції котрих вище уставки реле БРК, пристроєм АПВ вводяться у роботу. Фідер з пониженим опором ізоляції розподільчої мережі залишається відключеним.

Таким чином здійснюється вибіркове відключення при використанні постійного оперативного струму і броньованих реле. Цей принцип пристрою захисту практичного використання не отримав, через ряд характерних для нього недоліків, основні з котрих є наступними:

1. Перезахист: відключення загального реле витоку підстанції при високому опорі ізоляції окремих електроприймачів.

Примітка: Реле витоку, що підключене до особливої ділянки мережі після його відключення, у літературі і практиці отримало назву броньованого реле.

2. Неможливість роботи при наявності у розподільчій мережі магнітних пускачів і зниження опорів ізоляції у одного з них.
3. Необхідність попереднього відключення усіх споживачів для відключення пошкодженої ділянки мережі.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.25.249-07	Арк.
						14
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Накопичений проектний і науковий досвід у проектуванні селективних захистів на змінному оперативному струмові промислової, пониженої і підвищеної частоти [9, 10, 7].

У пристрої запропонованому інститутом термодинаміки АН СРСР застосовується частота 100 Гц [9], у схемах Магнітогорського гірничо-металургійного [7] і Ленінградського політехнічного [10] інститутів – частота 300 Гц. Розроблено ряд схем пониженої частоти. Перевага надається оперативному струму з частотою 25 Гц [11], джерелом котрого слугує електромеханічний дільник частоти. Частота оперативного струму нижче 25 Гц не застосовується через ускладнення конструкції фільтрів й високого декременту затухання корисного сигналу у ньому.

У якості прикладу пристрою захисту на змінному оперативному струмові служить реле витоку типу РПС, що було розроблено Богдановим Р.А. [11].

Складається воно з джерела оперативного струму, фільтру приєднання (L, C), кабельних тороїдальних трансформаторів струму, полосних місцевих фільтрів (R, C), підсилювачів і виконавчих реле.

Фільтр приєднання призначений для підключення джерела оперативного струму до мережі, полосні фільтри – для придушення сигналу промислової частоти, підсилювачі – для підвищення чуттєвості захисту.

Трансформатори струмів встановлюються на початку пристроїв, що захищаються на ділянці мережі. Первинною обмоткою останніх слугують фідерні кабелі, по яким рухається оперативний струм. Напруга вторинної обмотки трансформатору пропорційна величині оперативного струму. Останній пропорційний провідності ізоляції мережі.

Можливість вимірювання величини оперативного струму на особливій ділянці мережі дозволяє здійснити відібрані відключення. При зниженні опору

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.25.249-07	Арк.
						15
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ізоляції захищаємої ділянки мережі збільшується оперативний струм у первинному ланцюзі і напруга на вході підсилювача. При величині наступного рівному струму уставки відбувається спрацювання виконавчого реле.

Захист на змінному оперативному струмові широкого практичного використання не отримує через складність пристрою і впливу на їх роботу ємнісної провідності ізоляції.

Певний досвід експлуатації розглянутого типу захисту має місце тільки у високовольтних мережах. Свідчень, що підтверджені роботою останніх у низьковольтних мережах шахт, у літературних джерелах немає. Єдиний досвід у цьому напрямку – випробувальне реле РУС на поверхні підстанції шахти «Мушкетівська - Заперевальна» №1 тресту «Пролетарськвугілля».

Оцінимо перспективність застосування змінного оперативного струму для створення селективного захисту низьковольтних мереж.

З умов електробезпеки відключення мережі повинне відбуватись при зниженні опору однофазного витоку до 8 кОм. Величина $R_{\delta} = 8 \text{ кОм}$

визначена із залежності: $I_{\delta} = \frac{U\sqrt{3}}{jx_c + 3R_{\delta}}$, після перетворення її до вигляду:

$R_{\delta} = \frac{1}{3} \sqrt{\frac{3U^2}{I_{\delta}^2} - x_c^2}$, де : U – лінійна напруга мережі на шинах підстанції 420 В; I_{δ} – тривало – безпечний струм, 30 мА; x_c – ємнісний опір ізоляції розподільчої мережі, - 3,2 кОм/фазу [12].

Для селективної роботи захисту, необхідно, щоб ємкісні опори ізоляції мережі були вищі відключеного опору однофазного витоку. Перевіряємо виконання даної умови.

Ємкісний опір ізоляції захищаємого фідеру:

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.25.249-07	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16

$$x_c = \frac{10^6}{2\pi f C_1^1}$$

де: C_1^1 – сумарна ємність трьох фаз мережі відносно землі; f – частота оперативного струму, 25 Гц.

Ємнісний опір ізоляції має максимальну величину при нижньому значенні частоти оперативного струму. Із цих міркувань прийнято $f = 25$ Гц.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.25.249-07	Арк.
						17
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1.3. Схеми зі струмами і напругами нульової послідовності

Відомі зразки селективних реле витоку для низьковольтних мереж побудовані на принципі використання струмів нульової послідовності [12, 13, 14].

Практичного застосування останні не отримали, оскільки при їх розробці були зроблені принципіальні помилки.

Основою для створення селективних реле витоку є досвід, який було отримано при проектуванні захисту мереж високої напруги.

Тому, перш ніж перейти до практичного аналізу існуючих конструкцій селективних захистів, що призначені для низьковольтних мереж, розглянемо практику їх, експлуатації у високовольтних мережах. Оцінюємо одночасно перспективність у застосуванні прийнятих принципів у пристроях останніх для проектування захистів низьковольтних мереж.

Перш за все слід підкреслити, що у умовах роботи і вимоги до захисту у мережах 6 кВ і 380 В є неоднаковими. У мережах 6 кВ струм короткого замикання на землю складає декілька ампер і призначення захисту – відключення фідеру при доторку людини або при знятті опору ізоляції до практичної величини [Дослідження захистів для проектування селективності].

Крім того, існуючі умови відрізняються від умов роботи захисту у високовольтних мережах від умов її роботи у мережах низьковольтної напруги слугує провідність ізоляції: у першому випадку ємнісна, а у другому – активно – ємнісна.

Переважає більшість захистів, що застосовуються у високовольтних мережах, побудовані на принципі використання струмів нульової послідовності. Останні по принципу дії розділяються на два класи: один клас – пристрої захисту, що реагують на параметри перехідного короткого замикання

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.25.249-07	Арк.
						18
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

на землю; другий клас – пристрої захисту, що реагують на параметри усталеного замикання.

Перший клас застосовується у системах з компенсованою нейтраллю трансформатора. Відомо про десятки модифікацій подібних захистів [10].

Усі вони за методом відшукування пошкодженого приєднання відносяться до одного з трьох видів:

1. Реагуючі на абсолютне значення суми вищих гармонік струмів замикання на землю, що співставне з уставкою захисту. Це апаратура типу: УСЗ-1/1, УСЗ – 2/2 [10].
2. Пристрої відносного співставлення рівнів вищих гармонік. До основи їх покладений принцип одночасного порівняння між собою амплітуду стрибків струму нульової послідовності усіх приєднань електрично зв'язаної радіальної мережі у початковий момент замикання на землю. На пошкодженій лінії контрольований струм має максимальну величину [15].
3. Пошкоджене приєднання приєднується шляхом співставлення знаку струму першого на півперіоду перехідного процесу на пошкодженому і непошкодженому приєднанні або шляхом порівняння полярності струму і напруги у першій на півхвилі вільних коливань [16].

Перехідні процеси у високовольтних мережах найбільш повно досліджені Поповим І.Н. [17], Степановим Т.В. [18], Сиротою І.Ю. [19] та іншими.

Отримані ним результати показують наступне:

1. Величина струму перехідного процесу у залежності від розташування точки замикання на землю або зосередженого витоку змінюється по амплітуді у 3 – 5 разів.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.25.249-07	Арк.
						19
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2. Збільшення опору ланцюгу витоку зменшує крутизну амплітуди хвилі й змінює фазові співвідношення.
3. При комутаційних перемиканнях у мережі виникають струми і напруги нульової послідовності, співставні зі струмами і напругами перехідного процесу.
4. Амплітуда струму перехідного процесу залежить від величини напруги на пошкодженій фазі у момент замикання на землю. Аналогічні висновки отримано і для низьковольтних мереж [20].

Зміни у широких межах амплітуди вільного струму у залежності від місця і часу прикладання зосередженого витоку і комутаційні процеси, що виникають при включенні і відключенні ліній, не дозволяють забезпечувати високу чуттєвість захисту і стабільності уставки по відключеному опору однофазного витоку.

У силу цих причин параметри, що характеризують перехідний процес замикання на землю не можуть бути використані для створення селективного захисту низьковольтних мереж.

У мережах з ізольованою нейтраллю застосовуються захисти, що контролюють параметри режиму усталеного однофазного замикання на землю. Останні за принципом пристрою розподіляються на два види:

1. регулюючі на величину струму нульової послідовності;
2. регулюючі на величину і фазу струму нульової послідовності.

У найпростішому виді захист першого типу являє собою реле, що ввімкнене у ланцюг вторинної обмотки трансформатору струму нульової послідовності (ТСНП) [7].

Для підвищення чуттєвості захисту між вторинною обмоткою ТСНП і виконавчим реле включений проміжний підсилювач.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.25.249-07	Арк.
						20
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Більша кількість подібного типу захистів застосовується у високовольтних мережах відкритих гірничих виробіток [10, 21].

Область використання останніх обмежена приєднаннями, власний емнісний струм витоку котрих не перевищує 10 – 20% повного струму замикання на землю розподільчої мережі трансформаторної підстанції [19].

Умови, що визначають працездатність захисту у низьковольтній мережі, більш жорсткіші: власний струм витоку захищеної кабельної лінії повинен бути менше відносно допустимого безпечного струму.

Вимога дана є неможливою для виконання [Початкові дані] й тому на даному прикладі не може бути виконаний селективний захист для мереж низької напруги. Спроби виконання останнього успіху не мали [22].

Більш перспективним для використання у низьковольтних мережах напрямлені захисти, реагують на величину і фазу струму нульової послідовності [23].

Принципи виконання подібних захистів для високовольтних мереж були встановлені у 30 – х роках і у основних рисах збереглися і донині.

Основні зміни їх схем у останні роки пов'язані з застосуванням підсилювачів і логічних елементів, що виконані на напівпровідних діодах і транзисторах [24].

Прикладом направленої захисту може слугувати апаратура типу ЗЗП – 1, що була розроблена у Всесоюзному науково – дослідному інституті електроенергії [25].

Останній складається з трансформаторів струму і напруги нульової послідовності, погоджувачого пристрою, підсилювача змінного струму, фазо чуттєвого підсилювача і виконавчого реле РП.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.25.249-07	Арк.
						21
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Погоджуючий пристрій (трансформатор $T_r - 1$, діоди $D1$ і $D2$, опір R_7), забезпечують постійність куту зсуву фаз між струмом нульової послідовності і напруги вторинної обмотки трансформатору $T_r - 1$. Величина куту підтримується рівною 90° . Підсилювач змінного струму (T_1, T_2) виконаний з напівпровідникового тріоду, підсилює сигнал струму нульової послідовності.

На виході останнього включено резонансний фільтр ($C_3, T_r - 3$), що налаштований на частоту 50 Гц. До додаткової обмотки дроселю – трансформатору підключено фазо чуттєвий підсилювач (T_3, T_4). Останній призначено для виміру куту зсуву між струмом і напругою нульової послідовності. Здійснюється це опосередкованим методом: виміром тривалості інтервалу часу на протязі котрого, два вхідних сигнали мають однакову полярність. При виникненні однофазного замикання на землю на захищеному приєднанні напруги, що подаються на фазо чуттєвий підсилювач, співпадають за фазою і в колекторних ланцюгах тріодів (T_3, T_4) протікає струм. При струмі однофазного витоку, що перевищує прийняту уставку, відбувається спрацювання виконавчого реле.

При замиканні на землю увесь захист лінії, порівняні напруги знаходяться у проті фазі і в колекторних ланцюгах тріодів струм відсутній. Пояснюється це тим, що при відкритих тріодах відсутня колекторна напруга, а у момент прикладання колекторної напруги тріоди виявляються закритими.

Подібним чином працює і захист при ємнісній провідності ізоляції. Коли кут зсуву фаз між порівняльною напругою рівний 0 на пошкодженій вітці і на 180° на суміжній з ними Дане положення прийнято за основу при проектуванні направлених захистів для мереж високого і низького рівнів напруг. У першому випадку воно є вірним, у другому – помилковим.

Ідентично до розглянутої апаратури ЗЗП – 1 запропоновано низку схем направлених захистів для низьковольтних мереж. У вітчизняній практиці це захист Шикберова Н.Ш., аналогічний ній захист Зайцева А.І. і Зоспанова Л.А.,

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.25.249-07	Арк.
						22
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

що відрізняється від першої тільки тим, що виконана на електронній лампі, а не на транзисторі.

Подібні схеми захистів були запропоновані також і за кордоном: Франції, ФРН, США.

Не дивлячись на наявність великої кількості конструкцій селективних реле витоку ні одне з них не отримало практичного використання у мережах низької напруги через суттєві недоліки у своїх захисних характеристиках: обмеженої селективності, пере захисту і хибних спрацювань.

Обумовлено це тим, що розроблені вони без врахування відмінних особливостей низьковольтних мереж: активно – ємнісної провідності ізоляції і нерівномірного розподілу її між окремими фідерами.

Останні слугують причиною зміни у широких межах ($1 \div 30$ мА) величини струму нульової послідовності у залежності від місця прикладання одного і того ж опору однофазного витоку [29]. Це викликає непрацездатність або хибні спрацювання захисту. Перше або друге – у залежності від опору ізоляції мережі фідеру.

Якщо прийняти за уставку нижче значення струму I_n , – захист фідеру з високим опором ізоляції мережі буде спрацьовувати хибно: відключати його при струмі однофазного витоку у 30 разів менше допустимого умовами електробезпеки.

Якщо прийняти за уставку верхню межу струму I_n , - не буде працювати захист фідеру з низьким опором ізоляції мережі.

Друга особливість низьковольтних мереж – комплексна провідність ізоляції. Переважання на одних фідерах активної провідності ізоляції, інших – ємнісної, призводить до того, що полярність напруг, порівняних з фазо чуттєвими підсилювачами, одночасно співпадає на пошкоджені і суміжному з ним фідерах [26]. Проміжок часу спів падіння однакової

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.25.249-07	Арк.
						23
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

полярності порівнюваних напруг величина одного конгруентна на усіх відводах мережі. Це викликає не селективну роботу захисту типу ЗУШ і інші.

Випробування захисту типу ЗЗП – 1 у низьковольтній мережі дають ті самі результати.

Дослідження виконані Бінусом М.С. показали, що відмінні недоліки захисної характеристики селективних реле витоку можливо нейтралізувати введенням ланцюгів штучного витоку [29] і корекції фазових співвідношень.

Узагальнюючи аналіз літературних джерел слід відмітити, що для створення селективних реле витоку, враховуючи простоту конструкції, захисні характеристики, найбільш перспективним використанням параметрів струму нульової послідовності у усталеному режимі.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.25.249-07	Арк.
						24
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Висновки до розділу 1

1. Не селективна робота реле витоку викликає тривалий простій обладнання очисних і підготовчих засобів.
2. Для підвищення надійності підземного електропостачання шахт необхідно селективне реле витоку.
3. Встановлюватись вони повинні у першу чергу на відхідних фідерах дільничних і центральних підстанцій.
4. Більш перспективне для створення селективних реле витоку використання параметрів струму нульової послідовності в усталеному режимі.
5. Відомі селективні реле витоку, призначені для низьковольтних мереж, мають обмежену селективність, спрацьовують помилково і не придатні для промислового використання.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.25.249-07	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		25

Розділ 2. Дослідження і регулювання фазових співвідношень в системах електропостачання

2.1. Необхідність направленої роботи реле захисту

Попереду була визначена уставка захисту і параметри фільтру, що забезпечують відключення мережі при виникненні небезпеки ураження людини. Відключення ділянки мережі повинно бути селективним. Це висуває певні додаткові вимоги до схеми захисту. Розглянемо їх.

Струм нульової послідовності робочого фідеру повертається до мережі через фільтр і опір ізоляції суміжних фідерів.

Величина його визначається за виразом:

$I_n = I_2 + I_{\phi}$, де I_2 і I_{ϕ} – струми нульової послідовності відповідного суміжного фідеру і фільтру.

Дослідження показали, що при зменшенні опору однофазного витоку струм нульової послідовності збільшується [32].

При низьких значеннях R : $I_2 > I_{\phi}$, і вибір уставки тільки за величиною струму I_n не забезпечить селективність роботи реле витоку [28].

Необхідний другий критерій для селекції сигналу пошкодженого фідеру. У якості останнього у високовольтних мережах прийнято напрямок струму нульової послідовності, котрі на робочому і суміжному фідерах не співпадає і знаходиться у проті фазі.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.25.249-07		
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дат			
Розробив	Розрахунок і				Розділ 2	Літ.	Лист
Перевірив	Сінчук І.О.						26
Реценз.							5
Н. Контр.	Сінчук І.О.					КНУ ЕЕМ-21-2	
Затвердив	Пересунько І.І.						

Ця відмінна особливість надає можливість у порівняно простим способом виконувати оцінювання контролюємих сигналів по другій якісній ознаці.

Застосовуються для цього напрямку захисту. В основу конструкції їх покладено використання фільтрів струму і напруги нульової послідовності, напруги вторинних обмоток, котрі порівнюються на фазі між собою.

Схема і параметри захисту залежать від фазових співвідношень порівнюваних сигналів.

У цій частині низьковольтні мережі мають суттєві відмінності від високовольтних, котрі як не дивно, не враховуються при створенні селективних реле витоку.

На цьому питанні зупинимось особливо, попередньо розглянемо основні залежності, що визначають направлену роботу захисту.

У першу чергу до них відносяться кут неузгодженості сигналів, що порівнюються з фазочутливими органами, рівними куту зсуву фаз між вторинними напругами фільтрів струму і напруги нульової послідовності.

На робочому фідері:

$$\psi = \psi_1 = (U_{гр}^{\wedge} U_{\phi}) = \varphi_0 + \beta - \varphi_{11}$$

На змінному фідері:

$$\psi_2 = (U_{2c}^{\wedge} U_{\phi}) = \beta_0 - \beta + \varphi_{11} + \pi$$

У даних формулах: U_{ϕ} – напруга нульової послідовності; $U_{гр}, U_{2c}$ – напруга вторинної обмотки трансформатора струму нульової послідовності відповідного робочого і суміжного фідерів; φ_0 і β_0 – кут між струмами нульової послідовності фідерів і фільтру; β – кут між струмами нульової

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.25.249-07	Арк.
						27
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

послідовності і напругою вторинної обмотки трансформатору струму; φ_n – кут між напругою і струмом нульової послідовності фільтру.

Тривалість співпадіння однакової полярності порівняльних напруг відповідно для робочого і суміжного фідерів:

$$\delta_1 = 180^\circ - |\psi_1|; \delta_2 = 180^\circ - |\psi_2|$$

Для направленої роботи захисту необхідно виконання умови:

$$\delta_1 \gg \delta_2$$

Опір ізоляції мережі напругою до 1000 В має комплексний характер. При вимірюванні величини його співвідношення між складовими змінюється у широких межах куту зсуву фаз між струмами нульової послідовності фідеру і фільтру.

Не аналізуючи детально отримані результати важливо відмітити, що зміна параметрів фільтру напруг дозволяє регулювати фазові співвідношення порівнювальних сигналів.

Це вказує напрямок дослідження для розробки технічних рішень, що забезпечують селективність роботи захисту.

Оцінимо впливи кутів β і φ_n на фазові співвідношення останніх.

Першочергово розглянемо кут β , а потім φ_n (β – кут між струмами нульової послідовності і напругою вторинної обмотки трансформатору струму; φ_n – кут між напругою і струмом нульової послідовності фільтру).

Уставка захисту знаходиться у межах 15 – 20 мА і напруженість полю сердечника ТНП не перевищує 2 міліерстед. У якості матеріалу для його виготовлення, враховуючи область роботи – слабкі поля, найбільш раціонально застосувати сплави германію з високою початковою магнітною

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.25.249-07	Арк.
						28
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

проникністю. Згідно даних Кіскачі В.М. при виготовленні магнітопроводу трансформатору струму нульової послідовності із германію кут між напругою вторинної його обмотки близький до 90^0 і змінюється у невеликих межах.

Крім того, методи стабілізації даного куту відомі і у випадку необхідності можуть бути застосовані. Це дозволяє вважати кут β постійним за величиною. Аналогічні висновки можуть бути відносно куту φ_n . Обґрунтовується це наступними міркуваннями. Ефективність використання потужності корисного сигналу фільтру напруги нульової послідовності суттєвого значення не має, оскільки потужність, що необхідна для керування роботою фазо чуттєвого органу P_2 значно менше потужності P_1 , що підводиться до первинного його ланцюгу:

$$P_2 = U_\delta \cdot i_\delta, P_1 = I_\phi^2 z_\phi$$

де: U_δ і i_δ – відповідно напруга між електродами емітер – база і струм у базі, що забезпечує повне відкриття транзистору, $U_\delta = 0,2$ В, $i_\delta = 10^{-3}$ А; z_ϕ, I_ϕ – відповідно опір і струм первинного ланцюгу фільтру, $z_\phi > 1000$ Ом, $I_\phi > \frac{1}{2} I_n$.

Підставляючи числові значення змінних у формулу отримаємо:

$$P_2 = 2 \cdot 10^{-4} \text{ Вт}, P_1 > 10^{-1} \text{ Вт}, P_1 \gg P_2$$

Це дозволяє магнітопроводу фільтру напруги нульової послідовності для стабілізації φ_n виконати з повітряним зазором. При розімкненому магнітному ланцюзі сердечник $\varphi_n = 90^0$ [30].

Прийнявши до уваги, що кути β і φ_n мають опосередковані значення їх можливо не враховувати при дослідженні фазових співвідношень селективних реле витоку.

Висновки до розділу 2

1. Для селективної роботи у низьковольтній мережі захист повинний бути направлений.
2. Фазові співвідношення її визначаються опорами ізоляції мережі і фільтру.
3. Кут співпадіння напруг, що порівнюються фазочутливим органом змінюється у межах $90 - 180^0$, $0 - 90^0$ – відповідно для робочого і змінного фідеру при активно – ємнісному фільтрі і $90 - 180^0$, $0 - 180^0$ – при індуктивно – активному фільтрі.
4. Регулювання фазових співвідношень і покращення кутової характеристики захисту можуть бути здійснені вибором параметрів фільтру напруги, ланцюгу штучного симетричного витоку і звуженням ширини імпульсів сигналу струму нульової послідовності.
5. Захист працює з мінімальною кутовою похибкою при умові, що активний опір фільтру рівний реактивному.
6. Для селективної роботи захисту при активно – ємнісному фільтрі необхідно його параметри обирати оптимальними по кутовій похибці і застосовувати від власного струму.
7. При індуктивно – активному фільтрі окрім попереднього, необхідно також звужити імпульсний сигнал струму нульової послідовності.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.25.249-07	Арк.
						30
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Розділ 3. Опис конструкції і принципів селективного реле витоку

3.1. Апаратура селективного захисту

Апаратура селективного захисту складається з кабельного трансформатору струму нульової послідовності (ТСНП), підсилювача з виконавчим реле, блоку живлення і фільтру напруги нульової послідовності. Блок живлення і фільтр загальні для усіх реле захисту однієї секції шин і підстанції у цілому.

Кабельний трансформатор – фільтр струмів нульової послідовності складається з кільцевого магнітопроводу, магнітостатичного екрану і захисного кожуху з клемником.

Для підвищення чутливості захисту з одночасним спрощенням схеми підсилювача магнітопроводу ТСНП виготовленого з германію і повністю закривається екраном, призначення котрого – нейтралізація струмів не балансу.

Екран з германію являє собою шунт підвищеної провідності для струмів розсіювання окремих жил кабелем, а провідність повітряного проміжку між ним і ТСНП низька.

Взаємодія двох цих факторів нейтралізує струм не балансу завдяки тому, що потік розсіювання зосереджений у межах екрану, не проникає до сердечнику ТСНП.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.25.249-07			
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дат				
Розробив	Розрахунок і				Розділ 3	Літ.	Лист	Листів
Перевірів	Сінчук І.О.						31	6
Реценз.								
Н. Контр.	Сінчук І.О.							
Затвердив	Пересунько І.І.					КНУ ЕЕМ-21-2		

Для зручності збірки і нейтралізації коротко замкнутого гвинта екран складається з двох частин, між котрими присутній повітряний проміжок. Первинною обмоткою трансформатору слугує фідерний кабель, вторинна намотана на магнітопроводі і підключена на вхід підсилювача. Підсилювач двокаскадний, зібраний на двох тріодах, що ввімкнені по схемі з загальним емітером. Дільник (R_1 , R_3) і опір R_2 слугує для вибору робочої точки по постійному струмові тріоду ПТ – 1. Виконавче реле типу РЕН – 17 ввімкнене на вихід підсилювача. Фільтр напруги нульової послідовності складається з трьох конденсаторів, трансформатору і тріоду ПТ – 3.

Призначення фільтру забезпечувати направлену роботу захисту за рахунок співпадіння за часом відкриття тріоду ПТ – 2 і ПТ – 3.

Змінна напруга на базі – емітер тріоду ПТ – 3 співпадає за фазою ($\varphi = 0$) з напругою на базі – емітер тріоду ПТ – 2 фідеру, що має пошкодження ізоляції і посунутого на 180^0 по відношенню до цієї ж напруги на решті фідерах. При одночасному відпиранні обох тріодів ($\varphi = 0$) подається напруга від джерела живлення на виконавче реле, яке спрацьовує при наявності однофазного витоку, що перевищує прийняту уставку захисту.

Блок живлення схеми підсилювача складається з трансформатора, двох випрямлячів, фільтрів для згладжування пульсацій випрямленої напруги і роздільних діодів.

Робота захисту відбувається наступним чином, при доторку людини до струмопровідних частин або зниженні рівню ізоляції однієї з фаз мережі збільшується виток струму у землю по відповідному фідерному кабелю.

Струм однофазного витоку створює потік у магнітопроводі ТСНП, що індукуює напругу у вторинній своїй обмотці. Одночасно струм нульової послідовності протікає по первинній обмотці трансформатору Тр 2. Напруга,

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.25.249-07	Арк.
						32
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

що з'являється на затискачах вторинної його обмотки відкриває тріод ПТ – 3 синхронно і синфазно з додатною хвилею струму колектору тріоду ПТ – 1.

На затискачі реле подається напруга і при струму витоку, що перевищує прийняту уставку захисту це спрацьовує і вимикає фідер з пошкодженою ізоляцією. Прийняті параметри апаратури забезпечують селективну роботу захисту з наступною технічною характеристикою:

1. Напруга живлячої мережі, - 380 В.
2. Допустимі коливання напруги, % - ± 5 .
3. Струм відключення при однофазному витоку, мА – 30.
4. Час спрацювання, сек – 0,1.
5. Гранична ємність захисної ділянки мережі, мкФ/фазу – 1.
6. Апаратура працює з номінальними параметрами при зміні температури навколишнього середовища від 0 до $+40^{\circ}\text{C}$ і відносній вологості повітря до 98%.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.25.249-07	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		33

3.2. Розрахунок надійності роботи апаратури захисту

Вважаємо, що усі елементи ввімкнені послідовно, і розрахунок проводимо після початкового періоду напрацювання. Кількість елементів у схемі захисту:

№ п/п	Найменування елементів	Кількість	λ_{max}	λ_{min}
1	Напівпровідникові елементи	21	0,001	0,01
2	Трансформатори і котушки індуктивності	10	0,04	0,06
3	Опори	16	0,003	0,006
4	Конденсатори	10	0,0012	0,002
5	Реле	2	0,01	0,03

1. Час роботи у рік:

$$T_{річне} = 24 \times 365 = 8760 \approx 9000 \text{ годин}$$

2.

3. Надійність роботи підстанції:

$$P_{max}(t) = \prod_{i=1}^n P_{maxi(t)} = \prod_{i=1}^n e^{-\lambda_i t \cdot 10^{-3}} = e^{-t \cdot 10^{-3} \sum_{i=1}^n \lambda_{i max}};$$

$$P_{max}(t) = e^{-t \cdot 10^{-3} (21 \cdot 0,001 + 10 \cdot 0,04 + 16 \cdot 0,003 + 10 \cdot 0,0012 + 2 \cdot 0,01)};$$

$$P_{max}(t) = e^{-t \cdot 10^{-3} \cdot 0,501} = e^{-9 \cdot 0,501} = e^{-4,509} = 0,0110095.$$

$$P_{min}(t) = e^{-t \cdot 10^{-3} (21 \cdot 0,01 + 10 \cdot 0,06 + 16 \cdot 0,006 + 10 \cdot 0,002 + 2 \cdot 0,03)};$$

$$P_{min}(t) = e^{-t \cdot 10^{-3} \cdot 0,797} = e^{-9 \cdot 0,797} = e^{-7,173} = 0,00076702.$$

Табл. 3.1 Дані для побудови графіків $P_{max} = f(t)$ і $P_{min} = f(t)$

P_{max}	P_{min}	t
1	1	0
0,60652	0,45068	1000
0,36714	0,20311	2000
0,22246	0,091538	3000
0,134795	0,041254	4000
0,081676	0,018686	5000
0,049489	0,0083792	6000
0,029987	0,0037763	7000
0,018170	0,0017019	8000
0,0110095	0,00076702	9000

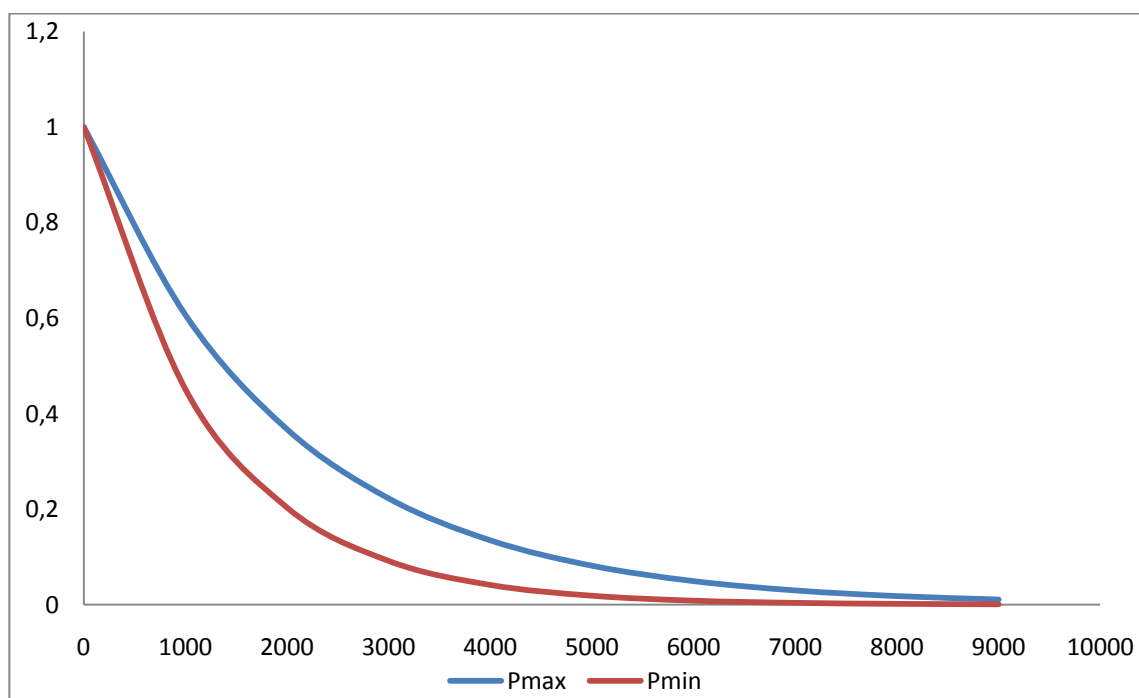


Рис. 3.1 Графічні залежності $P_{max} = f(t)$ та $P_{min} = f(t)$ згідно даних з табл. 3.1

де: — P_{max} - максимальне значення потужності для забезпечення надійності роботи апаратури захисту; — P_{min} - мінімальне значення потужності для забезпечення надійності роботи апаратури захисту.

Висновки до розділу 3

1. Описано ключові принципи роботи і особливості конструкції апаратури селективного захисту реле витоку та приведено основні розрахункові величини її технічних характеристик.
2. За допомогою розрахункових формул проведено розрахунок якості роботи апаратури захисту підстанції та побудовано графічні залежності $P_{max} = f(t)$ та $P_{min} = f(t)$ згідно отриманих розрахункових даних.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.25.249-07	Арк.
						36
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Розділ 4. Розрахунок і вибір параметрів основних вузлів селективних реле витоку

Відправними даними для проектування селективних реле захисту слугують вимоги з наступних технічних умов:

1. Струм відключення при однофазному витоку $I_0 < 30 \text{ мА}$;
2. Максимальне значення короткочасного струму $I_k < 160 \text{ мА}$;
3. Відношення граничних значень опорів відключення:

$$p = \frac{R_{max}}{R_{min}} < 1,5$$

4.

5. Гранична ємність захисної ділянки мережі:

$$C_2 \leq 0,5 \text{ мкФ/фазу}$$

6.

7. Максимальна ємність розподільчої мережі підстанції:

$$C \leq 1 \text{ мкФ/фазу}$$

8.

9. Відключення опорів симетричного витоку:

$$r \geq 4,5 \text{ кОм/фазу}$$

10.

11. Температура навколишнього середовища: $0 \leq t \leq 35^\circ \text{C}$

12. Відсутність хибних спрацьовувань.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.25.249-07						
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дат	Розділ 4				Лім.	Лист	Листів
Розробив	Розрахунок і										
Перевірів	Сінчук І.О.									37	8
Реценз.									КНУ ЕЕМ-21-2		
Н. Контр.	Сінчук І.О.										
Затвердив	Пересунько І.І.										

Притримуючись їх можливо здійснити вибір параметрів основних вузлів захисту, до котрих відносяться:

- 1) Фільтр напруги нульової послідовності;
- 2) Фазо чуттєвий орган;
- 3) Трансформатор струму нульової послідовності;
- 4) Підсилювач і виконавче реле.

Для проведення розрахунків використаємо наступні аналітичні залежності [28]:

$$R =$$

$$I_k =$$

$$\frac{R_{max}}{R_{min}} \leq R$$

$$L^2 \leq \frac{(az+\rho)^2+(bz+d)^2}{(az+u+\rho)^2+(bz+m+d)^2} \text{ (де } L = \frac{I_y}{I_0} \text{)}$$

$$\arctg \frac{d}{\rho+r} \geq \varphi_0 \geq -\arctg \frac{\rho}{d+x}$$

$$\arctg \frac{d}{\rho} \geq \beta_0 \geq -\arctg \frac{\rho}{d}$$

$$F_{2max} = \frac{\sqrt{6}U}{\omega} \frac{b_m(\sqrt{\rho^2 + d^2} - d)}{\sqrt{\rho^2 + d^2}}$$

де: ω – кутова частота 314 1/сек; F_{2max} – узагальнений параметр, імпульс струму – його max значення на інтервалі, при провідності ізоляції мережі суміжного фідеру рівною 0 ($a=0$); b_m - ємнісна провідність, max значення провідності суміжного фідеру.

$$F_{1max} = \frac{\sqrt{6}U_{am}}{\omega} \frac{b_m(\sqrt{\rho^2 + d^2} - \rho)}{\rho^2 + d^2}$$

де : F_{1max} – максимум функції F_1 при $L = \frac{d}{\rho} a_m, b = 0$.

$$\frac{K_H \cdot F_{cmax}}{F_y} < 1$$

K_H –

$$F_c = \frac{K_0}{\omega} I_n \delta_2, \text{ де: } K_0 = \frac{I'_H}{I_{H0}} - \text{коефіцієнт відсічки; } I'_H, I_{H0} - \text{струм на}$$

вході фазо чуттєвого органу, або дискримінатору рівню; I'_H - граничне його значення; I_{H0} – величина сигналу при струмі нульової послідовності рівному уставці; I_H – струм нульової послідовності, прийнятий уставкою роботи фідери; δ_2 – кут перекриття.

Приймаємо два значення K_0 : $K_{01} = 1,5, K_{02} = 2$.

У технічних умовах гранична величина короточасного струму прийнята при часу його дії 0,7 сек. При селективному захисті за час 0,7 сек короточасний струм має два значення: одне до відключення захищеної ділянки мережі, друге – після відключення останнього.

Використовуючи залежності рис. 4.1 й приймаючи до уваги, що: $r \geq 4,5 \text{ кОм/фазу}$; $C \leq 1 \text{ мкФ/фазу}$ і $C_2 \leq 0,5 \text{ мкФ/фазу}$, $\rho \leq 1,5$.

Визначимо провідність фільтру.

У залежності від вибору уставки:

$$\rho = 2 \text{ кОм}, d = 0 \text{ при } I_H = 15 \text{ МА}$$

$$\rho = 1,5 \text{ кОм}, d = 0 \text{ при } I_H = 20 \text{ МА.}$$

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.25.249-07	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		39

За формулою ($F_c = \frac{K_\theta}{\omega} I_n \delta_2$), перевіряємо селективність роботи захисту.

Опускаючи проміжок перетворення знаходимо, що при $I_n = 15 \text{ мА}$ і при $I_n = 20 \text{ мА}$ коефіцієнт $K_c \cong 5 \gg 1$ і реле витоку працюють не селективно. Для нейтралізації хибних спрацювань, можливо застосувати один з трьох методів:

- 1) Вибір параметрів фільтру, що є оптимальними по кутовій похибці з одночасним обмеженням величини струму нульової послідовності;
- 2) Звуження шири імпульсів струму нульової послідовності;
- 3) Сумісне використання першого і другого методу.

Враховуючи, що короткочасний струм нижче допустимого, від хибних спрацювань можна відсторонитись обмеживши величину струму I_n і за рахунок вибору параметрів фільтру, що є оптимальним за кутовою похибкою.

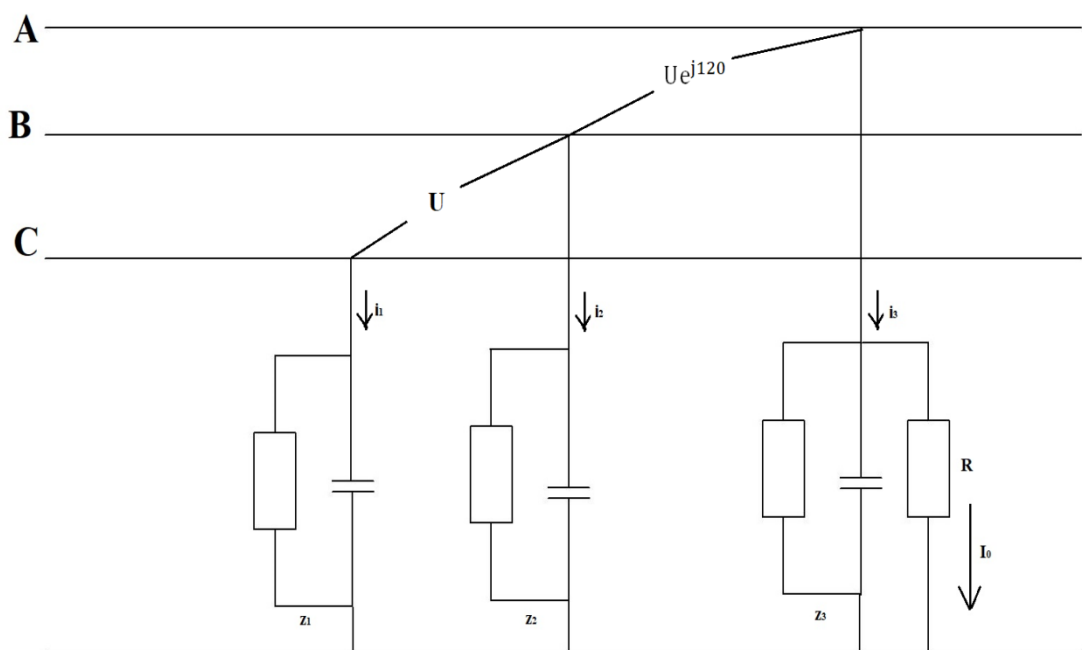


Рис. 4.1 Схема вибору фільтру з оптимальною кутовою похибкою

Використовуючи для цього залежності див рис. 4.2 приймаємо:

$$K_{01} = 1,5 \quad I_n = 20 \text{ мА}$$

$$\rho = 1,2 \text{ кОм} \quad d = 1,2 \text{ кОм}$$

На основі рис. 4.1 і залежності $\left(F_c = \frac{K_0}{\omega} I_n \delta_2 \right)$ встановлюємо, що ефективне значення короткочасного струму: $I_{\text{кеф}} = 126 \text{ мА} < I_{\text{кп}}$.

Якщо гранична провідність ізоляції мережі, обумовлена технічними умовами, відрізняється від границь визначених типовими, попередньо до вибору параметрів фільтру і уставки будуються графіки функцій, що необхідні для проведення розрахунків. Для їх побудови застосовують аналітичні залежності написані попереду.

Подальший розрахунок виконується по аналогії до раніше викладеного.

У якості фазо чуттєвого органу використовується напівпровідниковий тріод, що ввімкнений за схемою з загальним емітером.

Ширина імпульсів сигналів синфазна з напругою і струмом нульової послідовності й приймається рівною 180° .

Обмеження величини струму I_n , $K_{01} = 1,5$ реалізується вмиканням електродів емітер – база тріоду фазо чуттєвого органу у діагональ мостової схеми [26].

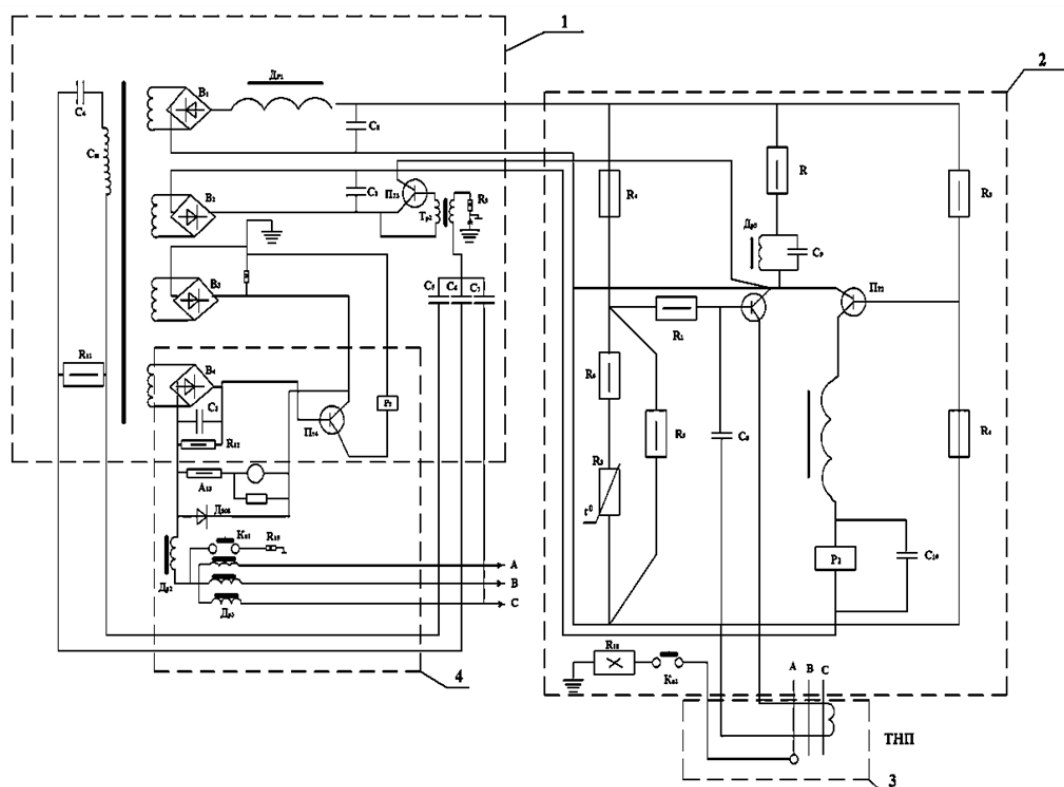
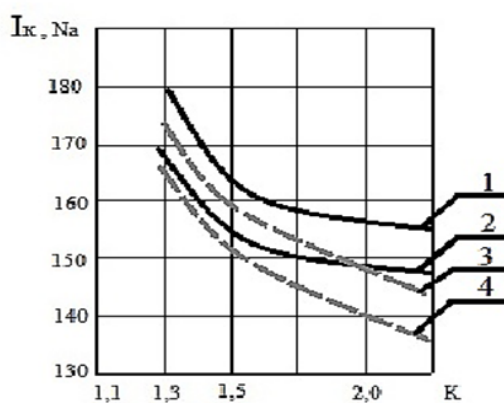


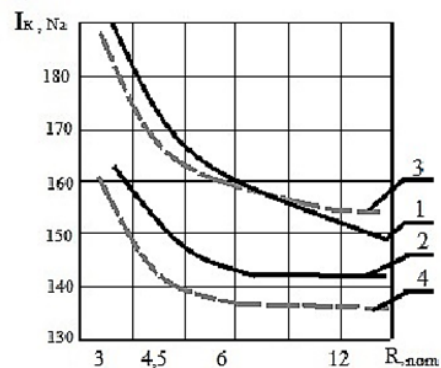
Рис. 4.2 Принципова схема роботи реле захисту (витоку)

де: 1 – блок живлення і фільтр напруги нульової послідовності; 2 – підсилювач; 3 – транзистор струму нульової послідовності (ТСНП); 4 – блок резервного захисту.

а)



б)



в)

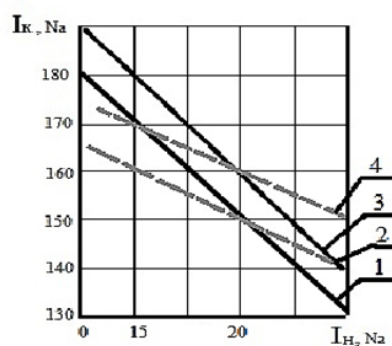


Рис. 4.3 Основні характеристики селективного реле захисту

1 і 2 – при ємнісному фільтрі; 3 і 4 – при індуктивному фільтрі.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ЕТФ.КНУ.РБ.141.25.249-07

Арк.

43

Висновки до розділу 4

1. Селективні реле захисту гірників від ураження їх електричним струмом при торканні провідників під струмом являють собою найбільш ефективний вид захисту.
2. Ефективна робота селективних реле захисту досягається правильним визначенням електричних параметрів сегментів систем електропостачання які підлягають захисним діям.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.25.249-07	Арк.
						44
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Висновки

1. Не селективна робота реле витоку викликає тривалий простій обладнання очисних і підготовчих засобів.
2. Для підвищення надійності підземного електропостачання шахт необхідно селективне реле витоку.
3. Встановлюватись вони повинні у першу чергу на відхідних фідерах дільничних і центральних підстанцій.
4. Більш перспективне для створення селективних реле витоку використання параметрів струму нульової послідовності в усталеному режимі.
5. Відомі селективні реле витоку, призначені для низьковольтних мереж, мають обмежену селективність, спрацьовують помилково і не придатні для промислового використання.
6. Для селективної роботи у низьковольтній мережі захист повинний бути направлений.
7. Фазові співвідношення її визначаються опорами ізоляції мережі і фільтру.
8. Кут співпадіння напруг, що порівнюються фазочутливим органом змінюється у межах $90^\circ - 180^\circ$, $0^\circ - 90^\circ$ – відповідно для робочого і змінного фідеру при активно – ємнісному фільтрі і $90^\circ - 180^\circ$, $0^\circ - 180^\circ$ – при індуктивно – активному фільтрі.
9. Регулювання фазових співвідношень і покращення кутової характеристики захисту можуть бути здійснені вибором параметрів фільтру напруги, ланцюгу штучного симетричного витоку і

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.25.249-07	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		45

звуженням ширини імпульсів сигналу струму нульової послідовності.

- 10.Захист працює з мінімальною кутовою похибкою при умові, що активний опір фільтру рівний реактивному.
- 11.Для селективної роботи захисту при активно – ємкісному фільтрі необхідно його параметри обирати оптимальними по кутовій похибці і застосовувати від власного струму.
- 12.При індуктивно – активному фільтрі окрім попереднього, необхідно також звузати імпульсний сигнал струму нульової послідовності.
- 13.Описано ключові принципи роботи і особливості конструкції апаратури селективного захисту реле витоку та приведено основні розрахункові величини її технічних характеристик.
- 14.За допомогою розрахункових формул проведено розрахунок якості роботи апаратури захисту підстанції та побудовано графічні залежності $P_{max} = f(t)$ та $P_{min} = f(t)$ згідно отриманих розрахункових даних.
- 15.Селективні реле захисту гірників від ураження їх електричним струмом при торканні провідників під струмом являють собою найбільш ефективний вид захисту.
- 16.Ефективна робота селективних реле захисту досягається правильним визначенням електричних параметрів сегментів систем електропостачання які підлягають захисним діям.

Список використаних джерел

1. Моркун В.С., Тонкошкур Л.С., Гарковенко Е.Е. Електроустаткування і електропостачання гірничих підприємств. Кривий Ріг, «Мінерал», 2005. – 269 с.
2. Taylor H., Lachey C.H. Earth – Fault Protection in Mines. The Mining Electrical and Mechanical Engineer. 2021. vol. 41, №488.
3. ДНАОП 0.00-1.32-01. Правила будови електроустановок. Електрообладнання спеціальних установок. – 121 с.
4. Правила улаштування електроустановок. 2-ге вид., перероб. і доп. – Харків: Вид-во «Форт», 2009. – 736 с.
5. Клименко Б.В. Комутаційна апаратура, апаратура керування, запобіжники. Терміни, тлумачення, коментарі. – Навчальний посібник. – Х.: Видавництво «Талант», 2008. – 228 с.
6. Клименко Б.В. Електричні та магнітні пристрої, електричні аксесуари, електричні установки. Терміни, тлумачення, коментарі. – Навчальний посібник. – Х.: Вид-во «Точка», 2009. – 272 с.
7. Загирняк М.В., Кузнецов Н.И. Электрические аппараты. – Учебное пособие. – Кременчуг: КДПУ, 2005. – 320 с.
8. ISO/IEC Directives. Supplement – Procedures specific to IEC: Second edition, 2004. – 62 p.
9. IEC 60050-826: 2004. IEC – Chapter 826: Electrical installations.– 72 p.
10. IEC 60044-2: Ed. 1.2, 2003-02. Instruments transformers. Part 2: Inductive voltage transformers. – 99 p.
11. IEC 60269-1: Ed. 3.1, 2005-04. Low-voltage fuses – Part 1: General requirements. – 162 p.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.25.249-07	Арк.
						47
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- 12.IEC 60282-1: Ed. 7.0, 2009-10. High-voltage fuses – Part 1: Current-limiting fuses. – 120 p.
- 13.IEC 60439-1: Ed. 4.1, 2004-04. Low-voltage switchgear and controlgear assemblies – Part 1: Type-tested and partially type-tested assemblies. – 204 p.
- 14.IEC 60617-DB: 2007-01. Graphical symbols for diagrams. – 2432 p.
- 15.Сінчук І.О. Оцінювання конкурентного статусу енергоефективності підприємств гірничовидобувної промисловості / International research and practice conference “Modern Methods, Innovations, and Experience of Practical Application in the Field of Technical Sciences”, Радом, 2017, с. 103 – 106.
- 16.I. Sinchuk Introduction to the Formation of the Basic Structure of the Algorithm for the Control of Electric Energy Flows in Iron Ore Mines, in 2019 IEEE International Conference on Modern Electrical and Energy Systems, Kremenchuk, 2019, pp. 266 – 269. doi: 10.1109/MESS.2019.8896426.
- 17.Синчук И.О., Антоненко А.О. Особенности организации мероприятий по повышению качества электроэнергии на железнорудных шахтах, Гірничий вісн. Наук. – техн. зб., Вип. 97, с. 149 – 152, 2014.
- 18.Інтеграція розумних технологій побудови електроенергетичних систем у контексті підприємств гірничо – металургійної галузі. Звіт за період виконання науково – дослідної роботи з 01.06.2021 р. по 31.12.2021 р. (згідно з договором №30-114-21) (проміжковий). Сінчук О.М. та ін. – Кривий Ріг – 2021-165 с., РК№0121U111709.
- 19.Сінчук О.М., Сьомочкін А.Б., Барановська М.Л., Кобеляцький Д.В. До проблеми покращення якості електричної енергії у внутрішньошахтних електричних мережах шляхом її переведення на підвищені рівні напруги.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.25.249-07	Арк.
						48
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Матеріали Міжнародна науково – технічна конференція «Розвиток промисловості та суспільства», Кривий Ріг, 2023, 56 с.

20. Колосов В.А. Повышение качества железорудной промышленности и показателей работы шахт на основе совершенствования технологии добычи и переработки, дис. докт. техн. наук, КТУ, Кривой Рог, Украина, 2002.
21. Шкрабець Ф.П., Плешков П.Г. *Основи електропостачання*. Навчальний посібник. Кіровоград: РВЛ КНТУ, 2010 – 408 с.
22. Електрифікація гірничого виробництва: Підручник для ВНЗ: у 2 – х т. – Вид. 2 – ге перероб. та допов. / За рецензією Пучкова Л.О. і Півняка Г.Г.. – Д.: Національний гірничий університет, 2010, т.1. – 503 с.
23. Дьяченко В.В. Повышение энергоефективности систем электроснабжения промышленных предприятий. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук, Кременчуг, 2012. – 18 с.
24. Папаїка Ю.А. Енергетична ефективність систем електропостачання гірничих підприємств з нелінійними навантаженнями. Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.09.03 «Електротехнічні комплекси та системи», 2019, Дніпровська політехніка. – 320 с.
25. Сінчук О.М., Гузов Є.С., Пархоменко Р.О. Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір №48953 Совершенствование методов расчета электрических нагрузок промышленных предприятий, 26.04.2013.
26. Енергетичний інжиніринг та менеджмент: в 3 – х ч. Ч.1 Проектування ефективних енергетичних систем / Плешков П.Г., Серебреніков С.В., Сіріков О.І., Савенко І.В. – Кропивницький: ЦНТУ, 2018. – 156 с.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.25.249-07	Арк.
						49
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

27.Моркун В.С., Тонкошкур Л.С., Гарковенко Е.Е. Електроустаткування і електропостачання гірничих підприємств – Кривий Ріг: Мінерал, 2005.- 269 с.

28.E. Guller, U.B. Filik, «Optimal residential load control comparison using linear programming and simulated annealing for energy scheduling», Eskisehir Technical University Journal of Science and Technology A – Applied Sciences and Engineering, vol. 21, no. 1, Mar. 2020, doi: 10.18038/estubtda.648767.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.25.249-07	Арк.
						50
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		