

**Міністерство освіти і науки, молоді та спорту України
Державний вищий навчальний заклад
«Національний гірничий університет»**

КОВАЛЬОВ ОЛЕКСІЙ ІВАНОВИЧ

УДК 621.316.9:621.616.13

**ПІДВИЩЕННЯ БЕЗАВАРІЙНОСТІ ТА РІВНЯ ЕЛЕКТРОБЕЗПЕКИ
РОЗПОДІЛЬНИХ МЕРЕЖ НАПРУГОЮ 6 – 35 кВ
КАР'ЄРІВ**

Спеціальність: 05.09.03 – Електротехнічні комплекси та системи

Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Дніпропетровськ - 2012

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана на кафедрі відновлюваних джерел енергії Державного вищого навчального закладу «Національний гірничий університет» (м. Дніпропетровськ) Міністерства освіти і науки, молоді та спорту України

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор

Шкрабець Федір Павлович,

Державний вищий навчальний заклад «Національний гірничий університет» (м. Дніпропетровськ) Міністерства освіти і науки, молоді та спорту України, завідувач кафедри відновлюваних джерел енергії.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор

Разумний Юрій Тимофійович,

Державний вищий навчальний заклад «Національний гірничий університет» (м. Дніпропетровськ) Міністерства освіти і науки, молоді та спорту України, професор кафедри систем електропостачання;

кандидат технічних наук, старший науковий співробітник

Пироженко Андрій Володимирович,

Криворізький металургійний факультет Національної металургійної академії України Міністерства освіти і науки, молоді та спорту України, доцент кафедри систем автоматичного керування електроприводом

Захист відбудеться « ____ » _____ 2012 р. о ____ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 08.080.07 у Державному вищому навчальному закладі «Національний гірничий університет» (м. Дніпропетровськ) Міністерства освіти і науки, молоді та спорту України за адресою: 49005, м. Дніпропетровськ, просп. К. Маркса, 19.

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці Державного вищого навчального закладу «Національний гірничий університет» (м. Дніпропетровськ) Міністерства освіти і науки, молоді та спорту України за адресою: 49005, м. Дніпропетровськ, просп. К. Маркса, 19.

Автореферат розісланий « ____ » _____ 2012 р.

Учений секретар

спеціалізованої вченої ради

О.В. Остапчук

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Гірничо-збагачувальні комплекси відносяться до найбільш важливої і енергоємної галузі економіки країни. Розвиток галузі обумовлюється потребами в паливі, рудах чорних і кольорових металів та інших корисних копалин. Видобуток копалин і їх переробка – галузь гірничої справи, що досягла нині високого технологічного рівня і надає істотного значення розвитку важкої індустрії та економіки країни в цілому. В Україні видобуток руд чорних і кольорових металів здійснюється переважно відкритим способом. Подальший розвиток відкритих гірничих робіт пов'язаний із зростанням енергозброєності праці, і, як наслідок, з розвитком і ускладненням систем електропостачання, що, в свою чергу, призводить до зростання інтенсивності та ймовірності ушкоджень, до погіршення умов електробезпеки. За даними статистичних досліджень, найбільш поширеними в розподільних мережах напругою 6 – 35 кВ є однофазні замикання на землю (до 60-70% від усіх видів пошкоджень). Зазначені ушкодження, у відповідності з діючими галузевими Правилами безпеки, повинні вмикатися відповідними пристроями захисту, що призводить до значних простоїв добувального і транспортного устаткування. Поліпшення умов електробезпеки, підвищення надійності електропостачання підприємств гірничо-збагачувального комплексу залежить від успішного вирішення низки питань, серед яких важливе місце займають питання оптимізації режимів роботи нейтралі розподільних мереж за критеріями надійності та електробезпеки систем електропостачання та створення методів і технічних засобів, що забезпечують попередження пошкоджень, їх пошук і відновлення електропостачання споживачів.

Тому теоретичне обґрунтування і розробка принципів і технічних рішень оптимізації режиму нейтралі, профілактичного контролю параметрів ізоляції та захисту розподільної мережі, спрямованих на підвищення ефективності виробництва систем електропостачання є актуальною науковою задачею.

Значний внесок у вирішення питань забезпечення надійності та електробезпеки систем електропостачання гірничих підприємств внесли вчені Волотковський С.А., Груба В.І., Гімоян Г.Г., Гладілін Л.Б., Кіриленко А.В., Ковальов П.Ф., Колосюк В.П., Меньшов Б.Г., Петров О.А., Півняк Г.Г., Разумний Ю.Т., Самойлович І.С., Сірота І.М., Цапенко Е.Ф., Шидловський А.К., Щуцький В.І., та інші. Провідна роль у розробці та впровадженні методів і засобів підвищення надійності і електробезпеки систем електропостачання гірничих і гірничо-збагачувальних підприємств належить колективам науково-дослідних інститутів ІЕД НАН України, МакНДІ, УкрНІБТГ, УкрНДІВЕ, НПАчермет, ІГД ім. А.А. Скочинського, Національного гірничого університету (Державного ВНЗ „Національний гірничий університет”), Київського, Донецького, Вінницького національних технічних університетів, Криворізького державного технічного університету та ін.

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

Робота виконувалася відповідно до програми НДР НГУ та планів НДР ВАТ "Південний ГЗК": "Розробити технічні рішення для підвищення надійності розподільних мереж напругою 6 – 10 кВ ГЗК на основі оптимізації режиму нейтралі мереж" № держреєстрації 0105U004668; "Розробка рекомендацій щодо оптимізації режиму нейтралі кар'єрних мереж напругою 6 кВ підстанцій № 96 і 97 ВАТ "Південний ГЗК" "№ держреєстрації 0108U000550.

Мета досліджень.

Метою роботи є підвищення експлуатаційної надійності і поліпшення умов електробезпеки в системах електропостачання кар'єрів на основі оптимізації режиму нейтралі, вдосконалення засобів захисту та створення непрямих методів контролю параметрів ізоляції кар'єрних мереж напругою понад 1000 В без зняття робочої напруги.

Об'єкт досліджень – процеси в розподільних мережах напругою 6 -35 кВ при замиканнях і вибоках на землю і зміні параметрів заземлення нейтралі.

Предмет досліджень – вплив параметрів ізоляції та режиму роботи нейтралі на експлуатаційну надійність і електробезпеку систем електропостачання кар'єрів.

Методи досліджень. При виконанні роботи використані теоретичні та експериментальні методи: загальна теорія електричних кіл для оцінки аварійних процесів; математичне моделювання на основі формалізації процесів і побудови часткових математичних моделей для дослідження характеристик аварійних струмів і фазових параметрів нульової послідовності, а також натурні експерименти з метою практичної перевірки якісних характеристик результатів теоретичних досліджень та прийнятих технічних рішень.

Наукова новизна одержаних результатів:

Наукові положення:

1. Встановлено залежність зміни значень фазних напруг і напруги зміщення нейтралі від значення підключеної до однієї з фаз мережі додаткової провідності при незмінних провідностях ізоляції мережі відносно землі, що стало основою способу визначення без зняття робочої напруги повних провідностей ізоляції фаз відносно землі та їх складових у мережах з ізолюваною нейтраллю з будь-яким ступенем несиметрії ізоляції.

2. Включення резистора в нейтраль електричної мережі не впливає на фазу вектора власного струму контрольованого приєднання відносно вектора напруги нульової послідовності, яка визначається тільки параметрами безпосередньо контрольованої лінії і практично жорстко прив'язана до напруги нульової послідовності, що забезпечує в таких мережах селективність дії захистів від однофазних замикань на землю, які реагують на потужність нульової послідовності.

3. Відмінною ознакою наявності замикання на землю в електричній мережі або на окремій її ділянці є рівність (або відносна рівність) значень накладених на мережу двох оперативних струмів різних частот, що дозволяє реалізувати селективний захист при будь-якому режимі роботи нейтралі мережі.

Наукові результати досліджень:

1. Розроблено математичні моделі для дослідження аварійних струмів та їх складових при однофазних замиканнях на землю, що враховують значення провідностей ізоляції відносно землі, режим і параметри заземлення нейтралі мережі розподільної мережі.

2. Вперше виконана порівняльна оцінка впливу режиму заземлення нейтралі на експлуатаційну надійність кар'єрних розподільних мереж, на умови електробезпеки в сталому і перехідному режимах замикання фази на землю, на працездатність засобів захисту.

3. Доведено, що найбільш висока експлуатаційна надійність забезпечується в розподільних мережах з резистором в нейтралі, де за певних умов різко обмежуються рівні внутрішніх перенапруг, практично виключається розвиток ферорезонансних процесів, усувається помилкова робота пристроїв захисту від замикань на

землю за рахунок різкого придушення перехідних процесів при появі і відключенні ушкоджень.

4. Вперше теоретично обґрунтований новий для кар'єрних мереж комбінований режим роботи нейтралі, що поєднує практично всі переваги мереж з компенсованою нейтраллю при налаштуванні реактора близько до резонансного режиму і з резистором в нейтралі.

Практичне значення одержаних результатів полягає в:

- встановленні залежності експлуатаційної надійності та електробезпеки кар'єрних мереж від характеру і параметрів заземлення нейтралі;
- створенні інженерної методики визначення параметрів ізоляції фаз мережі відносно землі під робочою напругою;
- розробці структури і алгоритму автоматизації процесу непрямого визначення повних провідностей ізоляції фаз та їх складових (активних і реактивних провідностей фаз) відносно землі в трифазних електричних мережах з ізолюваною нейтраллю напругою 6-35 кВ з будь-яким ступенем несиметрії системи;
- розробці рекомендацій щодо забезпечення селективності захистів від замикань на землю на живильних лініях кар'єрних розподільних підстанцій при дво-ступеневій структурі розподільних мереж;
- розробці функціональної схеми системи виборчого захисту, що ґрунтується на використанні бі-частотних оперативних сигналів для кар'єрних розподільних мереж з компенсованою нейтраллю;
- поліпшенні умов електробезпеки систем електропостачання кар'єрів за рахунок випереджаючих профілактичних рішень, зниження пошкоджуваності, обмеження кратності внутрішніх перенапруг і напруг дотикання і кроку.

Обґрунтованість і достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій підтверджується: відповідністю прийнятих при розробці математичних моделей припущень завданням досліджень; обґрунтованістю вихідних посилок, що впливають з фундаментальних законів природничих наук та основ теорії електричних кіл; задовільним збігом якісних характеристик результатів теоретичних досліджень з результатами експериментів, виконаних в реальних мережах і на фізичній моделі.

Реалізація роботи. Розробки, висновки та рекомендації використані:

- ВАТ "Укрдніпроруда" рекомендації щодо оптимізації режиму нейтралі кар'єрних мереж напругою 6 кВ підстанцій № 96 і 97 ВАТ «Південний ГЗК» при виконанні проекту реконструкції кар'єру в зв'язку з його поглибленням з метою підтримки потужності комбінату;
- енергослужбою ВАТ "Південний ГЗК" рекомендації з вибору режиму роботи нейтралі кар'єрних розподільних мереж і метод непрямого визначення параметрів ізоляції відносно землі без зняття робочої напруги.

Особистий внесок здобувача полягає в постановці завдань досліджень, в теоретичному обґрунтуванні методу і розробці системи автоматичного непрямого вимірювання провідності фазної ізоляції відносно землі, в оцінці впливу характеру та режиму заземлення нейтралі на умови електробезпеки та експлуатаційну надійність систем електропостачання, в розробці рекомендацій щодо оптимізації режиму нейтралі і виконання захисту від замикань на землю для кар'єрних мереж.

Апробація результатів дисертації. Основні матеріали і результати, отримані в дисертаційній роботі, доповідались і отримали ухвалення на міжнародній науково-технічній конференції "Неделя горняка" у Московському державному гірничому університеті, (м. Москва, Росія, 2008 р., семінар № 20 "Електрифікація та енерго-

збереження в гірничій промисловості"); на 4-ій міжнародній науково-технічній конференції "Механіка, технологія та техногенна безпека вибухового руйнування гірничих порід", (Крим, 2006 р.); на 2-ій міжнародній науково-практичній конференції "Електрифікація залізничного транспорту" (сmt. Місхор, 2008 р.); на міжнародному симпозиумі "Проблеми вдосконалення електричних машин та апаратів – теорія і практика "SIEMA-2009", (Харків, 2009 р.).

Публікації. За результатами дисертації опубліковано дванадцять наукових робіт, у тому числі одна монографія, 9 статей у фахових виданнях, 2 статті у збірниках матеріалів міжнародних конференцій.

Структура та обсяг дисертації. Дисертація складається із вступу, п'яти розділів, висновків, списку літературних джерел із 95 найменувань (9 стор.), трьох додатків (7 стор.). Загальний обсяг дисертації – 163 стор., 27 рисунків, 7 таблиць.

ЗМІСТ РОБОТИ

У *вступі* обґрунтована актуальність досліджень і сформульовані наукова задача і мета досліджень, викладені наукові положення, що виносяться на захист, показані наукова новизна і практичне значення отриманих результатів та їх апробація.

У *першому розділі* дана характеристика системам електропостачання сучасних залізрудних кар'єрів, розглянуто особливості експлуатації електричних розподільних мереж, виконано аналіз стану параметрів ізоляції високовольтних мереж і методів контролю ізоляції та засобів захисту, сформульовані основні проблеми безперебійного та безпечного живлення електроприймачів кар'єрів.

Показано, що у вирішенні проблеми поліпшення якісних експлуатаційних показників систем електропостачання кар'єрів важливе місце належить методам і засобам випереджаючого виявлення місць з ослабленою ізоляцією та забезпечуючим зниження пошкоджуваності елементів систем електропостачання. При порівнянні показників ефективності роботи електричних мереж з різними способами заземлення нейтралі, крім вимог, що задовільняють забезпечення надійності електропостачання споживачів, серйозну увагу слід звертати на основні параметри мереж, що впливають на експлуатаційні характеристики систем електропостачання, до яких можна віднести: рівні ізоляції і стійкість до перенапруг; селективність дії релейного захисту та простоту його виконання.

Для досягнення поставленої в роботі мети автором сформульовані і вирішені наступні задачі досліджень:

1. Виконати теоретичне обґрунтування і розробити методіку непрямого контролю параметрів ізоляції відносно землі кар'єрного електрообладнання і мереж напругою 6 кВ без зняття робочої напруги.

2. Дослідити вплив заземлення нейтралі на параметри аварійного режиму і експлуатаційні показники розподільних мереж та розробити рекомендації щодо вибору ефективного режиму нейтралі мереж напругою 6 кВ систем електропостачання кар'єрів.

3. Розробити принципи і технічні засоби забезпечення селективності дії захисту (сигналізації) від замикань на землю для кар'єрних мереж з будь-яким режимом нейтралі і з урахуванням багатоступеневості схем розподілення електроенергії.

У другому розділі представлені результати досліджень впливу режиму нейтралі кар'єрних розподільних мереж на якісні та кількісні параметри усталеного і перехідних процесів при замиканнях на землю. Дана коротка характеристика видів і стадій замикання на землю та відзначено, що замикання на землю є досить складний процес, який, в загальному випадку, може початися у вигляді імпульсного середньочастотного іскрового замикання, потім перейти в переміжне іскрове, наступним етапом може бути імпульсне середньочастотне дугове замикання, яке може перейти в переміжне середньочастотне дугове замикання. Найбільшу небезпеку представляє саме переміжне дугове замикання, тому що при цьому внутрішні перенапруги можуть досягати значних величин, що підвищує ймовірність появи другою пробую ізоляції і вносить небезпеку термічного руйнування міжфазової ізоляції.

Загальний вираз для струму однофазного замикання на землю у відповідності з обґрунтованою в роботі схемою заміщення розподільної мережі (рис. 1) можна записати у вигляді:

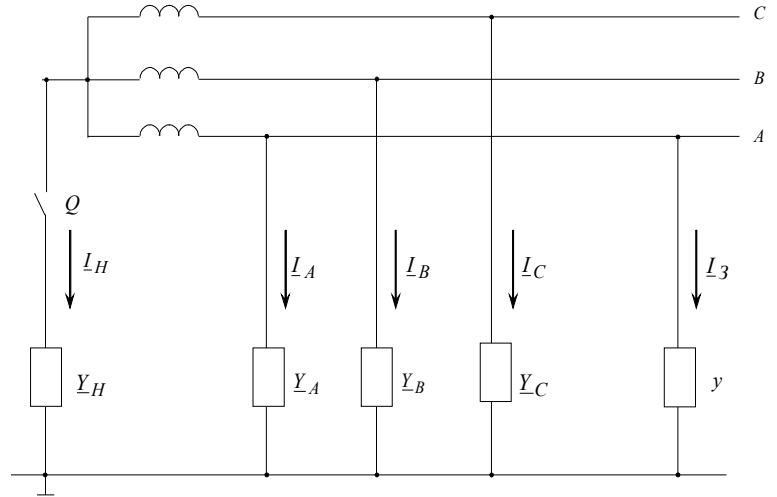


Рис. 1. Схема заміщення розподільної мережі при однофазному замиканні на землю

$$\underline{I}_3 = \underline{U}_\phi \frac{3\underline{Y}y}{3\underline{Y} + \underline{Y}_H + y} + \underline{U}_\phi \frac{\underline{Y}_H y}{3\underline{Y} + \underline{Y}_H + y} = \underline{I}_{3iz} + \underline{I}_{3H} \quad (1)$$

де y – провідність перехідного опору в точці замикання.

З виразу (1) видно, що струм однофазного замикання на землю (а в загальному випадку і струми нульової послідовності) складається з двох складових: 1) I_{3iz} – струм, обумовлений провідністю ізоляції ($3Y$) щодо землі всієї електрично зв'язаної мережі; 2) I_{3H} – струм, обумовлений провідністю нейтралі (Y_H) відносно землі (компенсуючого пристрою чи резистора). Перша складова аварійного струму (використовуючи значення провідностей $\underline{Y} = 1/R + j\omega C$ і $y = 1/r$), виражена через параметри ізоляції мережі та перехідний опір у місці замикання, має вигляд:

$$\underline{I}_{\zeta} = 3\underline{U}_\phi \frac{(R + 3r + 3\omega^2 C^2 R^2 r) + j\omega C R^2}{(R + 3r)^2 + (3\omega C R r)^2}, \quad (2)$$

де R і C – активний опір ізоляції і ємність всієї мережі відносно землі.

Друга складова аварійного струму визначається режимом заземлення нейтралі і для мережі з повністю ізолюваною нейтраллю дорівнює нулю; для мережі з компенсованою нейтраллю ($\underline{Y}_H = 1/R_\kappa - j1/\omega L$) визначиться виразом

$$\underline{I}_{\zeta \hat{E}} = U_\phi R \frac{\sqrt{[\omega^2 L^2 A + R R_\kappa^2 r(1 - \hat{e})]^2 + \{\omega L R_\kappa [R r(\hat{e} - 1) + A]\}^2}}{(\omega L A)^2 + [R R_\kappa r(\hat{e} - 1)]^2}; \quad (3)$$

для мережі з резистором у нейтралі ($Y_H = 1/R_a$) діюче значення цього струму

$$I_{3R} = U_\phi \frac{R}{\sqrt{(3R_a r + RR_a + Rr)^2 + (3\omega CR_a r)^2}}, \quad (4)$$

де R_k і L – відповідно активний опір і індуктивність компенсуючого пристрою; $A = 3R_k r + RR_k + Rr$; $\hat{e} = 3\omega^2 CL$ – коефіцієнт настроювання компенсуючого пристрою.

У зв'язку з тим, що замикання на землю у кар'єрній мережі повинні вимикатися без витримки часу, важливою є оцінка характеру перехідних процесів на початку аварійного режиму і після його завершення, тобто, після відключення пошкодженого приєднання або самоліквідації замикання.

Перехідний процес на початковій стадії замикання на землю характеризується стіканням заряду з пошкодженої фази і розряду її до потенціалу землі та перенесенням додаткового заряду неушкодженим фазам для передачі їм нового потенціалу відносно землі. Повний аварійний струм в цьому випадку визначається трьома складовими: усталена складова струму замикання; перехідна складова, що залежить від моменту замикання фази на землю і обумовлена стрибкоподібною зміною потенціалу нейтралі при виникненні замикання на землю при напрузі пошкодженої фази відмінною від нуля; перехідна складова, зумовлена зміною напруг непошкоджених фаз.

Встановлено, що кратність перехідного струму при замиканнях на землю в мережах з ізолюваною нейтраллю залежить від моменту замикання (від діючого значення фазної напруги), в деякій мірі від параметрів ізоляції мережі відносно землі і від значення перехідного опору в точці замикання. Із зростанням останнього, амплітуда перехідного струму різко зменшується. Параметри ізоляції мережі відносно землі і перехідного опору в місці пошкодження впливають також на тривалість перехідного процесу. При значенні перехідного опору в точці замикання на землю на рівні 100... 200 Ом, перехідний процес в мережі з ізолюваною нейтраллю з періодичного затухаючого переходить в аперіодичний. При металевих замиканнях в мережі з ізолюваною нейтраллю можна вважати, що для реальних параметрів мережі перехідний процес практично завершується за 10...15 мс.

Максимум вільної складової перехідного струму в мережі з компенсованою нейтраллю так само, як і в мережі з ізолюваною нейтраллю може перевищувати амплітуду сталого струму в число раз, що обумовлене відношенням модуля повного опору ізоляції мережі відносно землі до перехідного опору в точці замикання. Тривалість перехідного процесу в компенсованих мережах становить кілька періодів промислової частоти. У мережах з резистором у нейтралі перехідний процес на початку аварійного режиму за характером практично не відрізняється від перехідного процесу в мережі з ізолюваною нейтраллю. Однак включення резистора в нейтраль мережі призводить до різкого зменшення активного опору ізоляції мережі відносно землі

$$R' = R R_a / (R + 3 R_a),$$

і відповідно до збільшення коефіцієнта згасання перехідного процесу, чим досягається різке скорочення тривалості і зменшення кратності аварійних струмів перехідного процесу.

Основними причинами виникнення перехідного процесу у мережі після усунення однофазного замикання на землю є – залишковий заряд ємності і наявність вимірювальних трансформаторів напруги. Після відключення ушкодженого приєднання в мережі усувається примусовий аварійний режим, а індуктивність L_p і ємність C створюють коливальний контур з початковими величинами струмів і напруги відповідним аналогічним значенням, що передують безпосередньо відключенню ушкодження. Кутова частота вільних коливань, що починаються, буде дорівнювати:

$$\omega'_{\text{н\ddot{a}}} = 1 / \sqrt{L_p C}, \quad (5)$$

де L_p – результуюча індуктивність відносно землі (дугогасних реакторів або вимірювальних трансформаторів напруги).

Враховуючи, що в системі є активні опори, в яких втрачається попередньо запасена в ємності й індуктивності енергія, коливальний перехідний процес носить затухаючий характер. Коефіцієнт заспокоєння або угамовування коливань в даній системі є величиною зворотною добротності коливального контуру і визначається параметрами ізоляції мережі відносно землі

$$d' = 1 / (\omega C R_e) = \frac{3 R_n + R}{\omega C R R_n}, \quad (6)$$

де R_e – еквівалентний активний опір ізоляції мережі; R_n – активний опір у нейтралі (дугогасного реактора або резистора).

У загальному вигляді (для мережі з будь-яким режимом нейтралі) процес зміни в часі напруги зміщення нейтралі в системі після усунення по-пошкоджень може бути описаний диференціальним рівнянням:

$$\frac{d^2 U_0(t)}{dt^2} + \left(\frac{3 R_i + R}{3 \omega C R_i R} \cdot \frac{d U_0(t)}{dt} \right) - \frac{1}{3C L_p} U_0(t) = 0, \quad (7)$$

рішення якого і аналіз результатів, дозволили зробити наступні висновки:

- в мережах з повністю ізолюваною нейтраллю характер перехідного процесу визначається в основному сумарною ємністю мережі відносно землі і кількістю одночасно увімкнених вимірювальних трансформаторів напруги, тривалість перехідного процесу знаходиться в межах від 2 до 10 періодів промислової частоти, а частота вільних коливань менша за промислову (рис. 2);

- в мережах з компенсованою нейтраллю частота вільних коливань і час їх загасання визначаються параметрами ізоляції мережі відносно землі і не залежать від режиму настройки компенсуючого пристрою, перевищують аналогічні характеристики в мережах з ізолюваною нейтраллю;

- перехідний процес у мережах з резистором в нейтралі значною мірою залежить від значення опору вказаного резистора; при значенні резистора порівняному з рівнем опору ізоляції за рахунок різкого збільшення коефіціє-

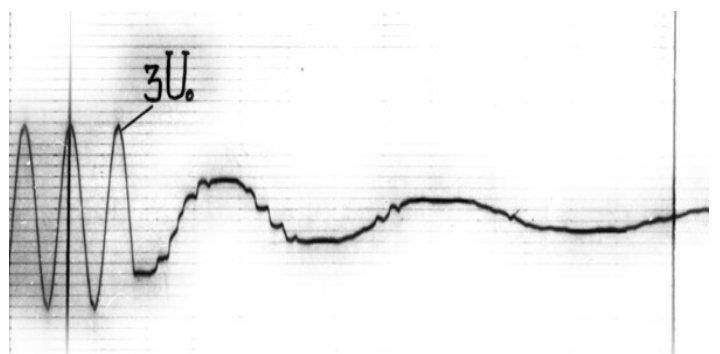


Рис. 2. Осцилограма напруги на нейтралі при усуненні замикання у розподільній мережі з ємністю 2,3 мкФ на фазу

нта заспокоєння перехідний процес практично завершується за півперіод промислової частоти.

Кратності внутрішніх перенапруг, що супроводжують однофазні замикання на землю, так само як і параметри перехідних процесів, залежать від характеру і параметрів заземлення нейтралі. З порівняння варіантів заземлення нейтралі встановлено, що найбільш висока експлуатаційна надійність забезпечується в розподільних мережах з накладенням додаткової активної складової на струм замикання на землю (мережі з резистором в нейтралі). У таких мережах при значенні створюваного активного струму замикання на землю на рівні не менше 40% від ємнісного, тобто

$$I_a = (0,4 \dots 1,0)I_c, \quad (8)$$

різко обмежуються рівні внутрішніх перенапруг супроводжуючих однофазні замикання на землю, практично виключається розвиток ферорезонансних процесів, що, відповідно, сприяє зменшенню пошкоджуваності елементів мережі.

У *третьому розділі* викладені результати досліджень і розробки методу непрямої оцінки параметрів провідності ізоляції розподільних мереж напругою 6 кВ на основі підключення до мережі додаткових провідностей. Виконаний в розділі 1 аналіз відомих методів показав, що основним їх недоліком є вимога повної симетрії фазних напруг і фазних провідностей ізоляції мережі відносно землі, чому не відповідають кар'єрні розподільні мережі.

Визначення повних провідностей ізоляції фаз і їх складових (активних і реактивних) відносно землі в трифазній електричній мережі з ізолюваною нейтраллю пропонується здійснювати способом, що ґрунтується на штучній зміні величини напруги нульової послідовності шляхом включення додаткової активної провідності в усі три фази електроустановки у визначеній послідовності, або включення (попередньо) до однієї фази трьох різних за значенням додаткових активних провідностей. Таким чином, якщо зробити три послідовних виміри напруг $U_0; U_A; U_{\hat{A}}$ і U_C при різних варіантах включення додаткових провідностей, то можна одержати систему трьох рівнянь (9) із трьома невідомими ($Y_A; Y_{\hat{A}}; Y_{\tilde{N}}$). При цьому обмірювані значення $U_0; U_A; U_{\hat{A}}; U_C$ варто представити в комплексній формі запису, для чого необхідно визначити значення кутів ($\alpha, \beta, \gamma, \theta$) між векторами відповідних напруг і дійсною віссю комплексної площини для всіх можливих положень вектора U_0 .

$$\begin{aligned} \underline{Y}_A(\underline{U}_{\hat{A}} - \underline{U}_0) + \underline{Y}_B(\underline{U}_{\hat{A}} - \underline{U}_0) + \underline{Y}_C(\underline{U}_{\tilde{N}} - \underline{U}_0) &= 0, \\ \underline{Y}_A(\underline{U}_{A1} - \underline{U}_{01}) + \underline{Y}_B(\underline{U}_{B1} - \underline{U}_{01}) + \underline{Y}_C(\underline{U}_{C1} - \underline{U}_{01}) &= -\underline{Y}_{d1}(\underline{U}_{A1} - \underline{U}_{01}), \\ \underline{Y}_A(\underline{U}_{A2} - \underline{U}_{02}) + \underline{Y}_B(\underline{U}_{B2} - \underline{U}_{02}) + \underline{Y}_C(\underline{U}_{C2} - \underline{U}_{02}) &= -\underline{Y}_{d2}(\underline{U}_{A2} - \underline{U}_{02}). \end{aligned} \quad (9)$$

Прийнявши в рівняннях системи наступні позначення

$$\begin{aligned} \underline{U}_A - \underline{U}_0 &= a_{11}; \underline{U}_{\hat{A}} - \underline{U}_0 = a_{12}; \underline{U}_{\tilde{N}} - \underline{U}_0 = a_{13} \\ \underline{U}_{A1} - \underline{U}_{01} &= a_{21}; \underline{U}_{\hat{A}1} - \underline{U}_{01} = a_{22}; \underline{U}_{\tilde{N}1} - \underline{U}_{01} = a_{23} \\ \underline{U}_{A2} - \underline{U}_{02} &= a_{31}; \underline{U}_{\hat{A}2} - \underline{U}_{02} = a_{32}; \underline{U}_{\tilde{N}2} - \underline{U}_{02} = a_{33} \\ \hat{a}_1 &= 0; \hat{a}_2 = -\underline{Y}_{d1}(\underline{U}_{A1} - \underline{U}_{01}); \hat{a}_3 = -\underline{Y}_{d2}(\underline{U}_{A2} - \underline{U}_{02}), \end{aligned}$$

приведемо систему рівнянь до класичного виду:

$$\begin{cases} \dot{a}_{11} \underline{Y}_A + a_{12} \underline{Y}_B + a_{13} \underline{Y}_C = \hat{a}_1 \\ \dot{a}_{21} \underline{Y}_A + a_{22} \underline{Y}_B + a_{23} \underline{Y}_C = \hat{a}_2 \\ \dot{a}_{31} \underline{Y}_A + a_{32} \underline{Y}_B + a_{33} \underline{Y}_C = \hat{a}_3 \end{cases} \quad (10)$$

Вирішуючи систему рівнянь, знаходимо визначник системи та визначники за відповідною невідомою ($\underline{Y}_A, \underline{Y}_{\hat{A}}, \underline{Y}_{\tilde{N}}$):

$$D = \begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{vmatrix}; D_{Y_A} = \begin{vmatrix} e_1 & a_{12} & a_{13} \\ e_2 & a_{22} & a_{23} \\ e_3 & a_{32} & a_{33} \end{vmatrix}; D_{Y_B} = \begin{vmatrix} a_{11} & e_1 & a_{13} \\ a_{21} & e_2 & a_{23} \\ a_{31} & e_3 & a_{33} \end{vmatrix}; D_{Y_C} = \begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} & e_1 \\ a_{21} & a_{22} & e_2 \\ a_{31} & a_{32} & e_3 \end{vmatrix}. \quad (11)$$

Рішення системи має вигляд:

$$\underline{Y}_A = \frac{\dot{A} Y_A}{\dot{A}} = g_A + j\hat{a}_A; \quad \underline{Y}_{\hat{A}} = \frac{\dot{A} Y_{\hat{A}}}{\dot{A}} = g_{\hat{A}} + j\hat{a}_{\hat{A}}; \quad \underline{Y}_{\tilde{N}} = \frac{\dot{A} Y_{\tilde{N}}}{\dot{A}} = g_{\tilde{N}} + j\hat{a}_{\tilde{N}}. \quad (12)$$

Для практичного застосування на основі викладеної теорії розроблена методика непрямого контролю параметрів провідності ізоляції мережі відносно землі без зняття робочої напруги, яка придатна для кар'єрних розподільних мереж з ізолюваною нейтраллю практично з будь-яким ступенем несиметрії фазних напруг.

У четвертому розділі викладені основні критерії вибору режиму нейтралі для умов кар'єрних розподільних мереж, наведені результати дослідження впливу параметрів режиму заземлення нейтралі на працездатність пристроїв захисту від замикань на землю і на умови електробезпеки. Безпосередній вплив на показники надійності кар'єрних систем електропостачання надає функціональна надійність захистів від замикань на землю, більшість яких реагують на параметри нульової послідовності. З точки зору оцінки функціональних характеристик названих пристроїв захисту, а також для створення нових методів і засобів направленої захисту від замикань на землю потрібно знати ступінь і характер впливу стану і параметрів режиму нейтралі, параметрів ізоляції розподільної мережі та повноту замикання не тільки на значення, але у більшій мірі на взаємні фазові характеристики струмів і напруг нульової послідовності. Для дослідження фазових характеристик напруг і струмів нульової послідовності використовувалася схема заміщення, яка, на відміну від схеми рис.1, представлена у вигляді двох приєднань. При цьому провідності ізоляції відповідних фаз мережі відносно землі контрольованого приєднання ($\underline{Y}_{A1} = \underline{Y}_{B1} = \underline{Y}_{C1} = \underline{Y}_1$) і всієї решти розподільної мережі ($\underline{Y}'_A = \underline{Y}'_B = \underline{Y}'_C = \underline{Y}'$) знаходяться у співвідношенні $\underline{Y}_1 + \underline{Y}' = \underline{Y}$. При цьому $\underline{Y} = 1/R + j\omega C$; $\underline{Y}_1 = 1/R_1 + j\omega C_1$.

Фазові характеристики параметрів нульової послідовності для мереж з повністю ізолюваною нейтраллю, компенсованою нейтраллю і з резистором в нейтралі відповідно, визначаються виразами:

– залежність фази вектора струму нульової послідовності стосовно вектора напруги нульової послідовності

$$\varphi_{01} = 180^\circ + \operatorname{arctg} \frac{\omega (\tilde{N} - \tilde{N}_1) R R_1}{R_1 - R}, \quad (13)$$

$$\varphi_{01\dot{E}} = 180^\circ - \operatorname{arctg} \frac{R R_1 R_K (\nu - 3\omega^2 C_1 L)}{\omega L (3R_K R_1 - 3R_K R + R R_1)}, \quad (14)$$

$$\varphi_{01R} = 180^\circ + \operatorname{arctg} \frac{\omega (\tilde{N} - \tilde{N}_1) R R_1 R_H}{(3R_H R_1 - 3R_H R + R R_1)}, \quad (15)$$

– залежність фази вектора власного струму контрольованої лінії (струму нульової послідовності в контрольованій лінії при зовнішньому замиканні однієї фази на землю) стосовно вектора напруги нульової послідовності

$$\varphi_{02} = \varphi_{02\dot{E}} = \varphi_{02R} = \operatorname{arctg} \omega \tilde{N}_1 R_1, \quad (16)$$

де $\nu = (I_L - I_C) / I_L = 1 - 3\omega^2 CL$ – ступень розлагодження налаштування дугогасного реактора від резонансного режиму.

Дослідженнями встановлено, що з урахуванням реальних значень параметрів ізоляції відносно землі всієї мережі і окремого приєднання, а також беручи до уваги реальне взаємне співвідношення ємнісного та активного опорів ізоляції, можна зробити наступні висновки:

– кут між вектором струму нульової послідовності і вектором напруги нульової послідовності в мережі з повністю ізолюваною нейтраллю не залежить від повноти замикання (перехідного опору в точці замикання) і складає практично 270 ел. град., або мінус 90 ел. град.; в мережах з компенсованою нейтраллю визначається значною мірою значенням розлагодження компенсуючого пристрою від резонансного режиму і теоретично змінюється в діапазоні 180 ел. град. (від 90 до мінус 90 ел. град.); в мережах з резистором в нейтралі не залежить від повноти замикання (перехідного опору в точці замикання) і, на відміну від мереж з повністю ізолюваною нейтраллю, не є фіксованим, залежить від значення опору резистора і може теоретично приймати значення в межах від 180 до 270 ел. град.;

– кут між вектором власного струму контрольованої лінії та вектором напруги нульової послідовності визначається параметрами ізоляції відносно землі тільки контрольованого приєднання і складає практично 90 ел. град. незалежно від характеру і режиму заземлення нейтралі.

Дослідження працездатності найбільш розповсюджених принципів і пристроїв захисту від замикань на землю, виконані на основі результатів досліджень процесів, що супроводжують однофазні замикання на землю, а також досліджень фазових характеристик параметрів нульової послідовності в розподільних мережах, що працюють з нейтраллю заземленою через індуктивність (компенсована нейтраль) і активний опір, показали, що пристрої захисту, які застосовуються в кар'єрних мережах, не відповідають вимогам, що висуваються до такого роду захисних пристроїв (особливо в мережах з компенсованою нейтраллю) і впливають негативно на надійність електропостачання та умови електробезпечності.

За умовами забезпечення електробезпеки електричних мереж при безпосередньому дотику людини до струмовідних частин жоден з можливих режимів нейтралі не можна визнати сприятливим. Ступінь непрямой небезпеки електричної мережі, наприклад, від дії напруги дотику (при дотику людини до корпусів, які опинилися під напругою внаслідок пошкодження ізоляції) і кроку (при замиканнях на ґрунт), значною мірою залежить від режиму нейтралі. Для сталого режиму однофазного замикання в цьому випадку перевагу слід віддати електричним мережам з компенсованою нейтраллю при резонансному (чи близькому до резонансного) нала-

штування компенсуючого пристрою. Якщо враховувати перехідні процеси, що супроводжують металеві та дугові однофазні замикання на землю, то найбільш сприятливим слід вважати електричну мережу з активним резистором в нейтралі. У таблиці 1 наведені розрахункові значення напруг дотику на заземленому електрообладнанні для режимів роботи з ізольованою і заземленою через резистор нейтраллю ($r = 4 \text{ Ом}$, $I_c = 10 \text{ А}$, $I_a^* = I_a/I_c = 0,5$ та 1).

Таблиця 1

Розрахункові значення напруг дотику на заземленому електрообладнанні

Відносно активний струм замикання на землю	Характер замикання на землю и кратність зниження напруги дотику	Мережа 6кВ	Мережа 10 кВ
0	Металеве	40	40
0	Дугове	216...330	276...425
0,5	Металеве	45	45
0,5	Дугове	122	151
	Кратність зниження напруги	1,4...2,2	1,4...2,2
1	Металеве	56	56
1	Дугове	151	188
	Кратність зниження напруги	1,8...2,4	1,4...2,4

З наведених даних випливає, що подальше збільшення активної складової аварійного струму більше $I_a^* = 1$ практично не забезпечує поліпшення корисного ефекту.

Ефективність компенсації ємнісних струмів замикання на землю спостерігається при резонансному і близьких до нього режимах настроювання компенсуючих пристроїв, що з урахуванням можливої динаміки кар'єрних розподільних мереж вимагає застосування пристроїв автоматичного настроювання дугогасних реакторів. Аналіз інформації про застосування систем автоматичного настроювання реакторів свідчить про негативний досвід навіть у мережах промислових підприємств. У роботі пропонується підвищити ступінь ефективності мереж з компенсованою нейтраллю шляхом додаткового заземлення нейтралі цієї ж мережі через резистор, тобто, використаний так званий комбінований режим заземлення нейтралі – компенсована мережа з накладенням в аварійному режимі додаткової активної складової. Дослідження показали, що значення активної складової струму замикання на землю, що накладається на компенсовану мережу повинне вибиратися з умови:

$$I_R = (0,3 \dots 0,5)I_c, \quad (17)$$

Рекомендовані значення активної складової аварійного струму забезпечують придушення перехідних процесів при замиканнях на землю, поліпшення працездатності пристроїв захисту від замикань на землю, виключення ферорезонансних явищ, чим і досягається підвищення рівня електробезпеки і надійності та забезпечуються експлуатаційні показники адекватні системам електропостачання тільки з резистором в нейтралі навіть при розладнанні дугогасного реактора до 50% від резонансного режиму компенсації (рис. 3).

У *п'ятому розділі* наведені розроблені на підставі виконаних теоретичних досліджень технічні рішення та рекомендації, що забезпечують підвищення рівня безаварійності та електробезпеки розподільних і живлячих мереж кар'єрів. З метою практичного застосування розробленої методики непрямого контролю параметрів провідності ізоляції кар'єрної розподільної мережі відносно землі запропоновані алгоритми автоматизації не тільки процесу розрахунку параметрів за результатами вимірювань, а й процесів підключення-відключення додаткових провідностей та вимірювання заданих величин.

Для реалізації процесу накладення активної складової на аварійний струм для умов кар'єрних знижувальних підстанцій найбільш перспективним слід вважати варіант включення в нейтраль мережі трьох однофазних трансформаторів потужністю від 1,25 до 4,0 кВт (залежно від значення накладеного активного струму), вторинні обмотки яких включені в розімкнутій трикутник і навантажені активним резистором, з опором відповідним бажаному струму (рис. 4).

Враховуючи дію захистів на вимикання з витримкою часу не більше 0,5 с, навантажувальний резистор та заземлюючі трансформатори будуть працювати протягом витримки часу, плюс час спрацьовування вимикача, яке не перевищить однієї секунди. При виборі навантажувальних резисторів (рис. 4), які працюють в короткочасних режимах, слід користуватися еквівалентним за нагріванням тривалим струмом $I_{ен}$, який викликає такий же максимальний перегрів, що і короткочасний (максимальний) струм I_p

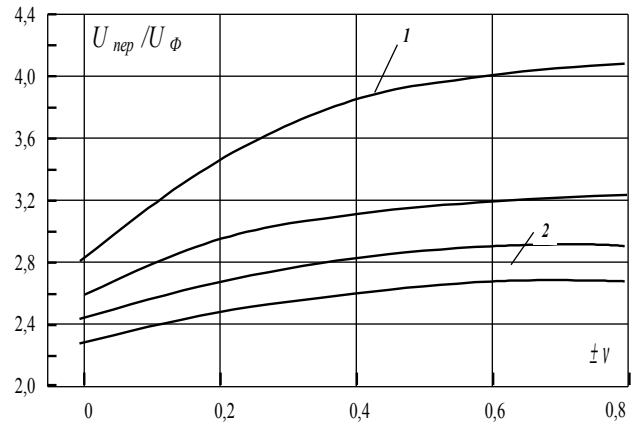


Рис. 3. Залежність кратності внутрішніх перенапруг при замиканнях на землю від ступеня розладнання режиму компенсації: 1 – у мережі з компенсованою нейтраллю; 2 – у мережі з комбінованим заземленням

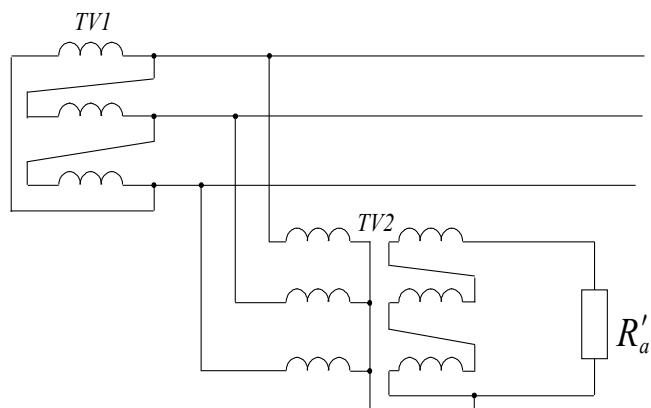


Рис. 4. Реалізація режиму заземлення нейтралі кар'єрної мережі через активний опір.

$$I_{ен} = I_p \cdot \sqrt{1 - e^{-\frac{t_p}{T}}} \quad (18)$$

Забезпечити доцільний рівень надійності електропостачання кар'єрів можна не тільки за рахунок застосування більш надійних елементів, а й за рахунок раціональних схем розподільних мереж ділянок гірничих робіт і кар'єра в цілому, які зменшують сумарну тривалість кар'єрних повітряних ліній, як найменш надійного елемента системи. У першу чергу це відноситься до застосування кар'єрних розподільних пунктів (КРП), що автоматично переводить систему електропостачання кар'єрів в категорію двоступінчастого розподілу електроенергії. Двоступенева система (рис. 5.) характеризується тим, що (відповідно до вимог ПУЕ і галузевих Правил) захисти від замикань на землю, що живлять і відходять від КРП ліній не можуть бути узгоджені за умовами селективності, оскільки, і ті й інші повинні виконуватися без витримки часу.

Для забезпечення селективності в таких системах пропонується:

– якщо від КРП відходить одна лінія (рис. 5, а), то для забезпечення селективності дії захистів слід встановити на початку і в кінці лінії Л1 спрямовані пристрої захисту від замикань на землю. Захист встановлений на вводі в КРП повинен бути налаштований і реагувати на замикання на лінії живлення Л1 (точка К) та діяти на вимикач Q3 без витримки часу і не спрацьовувати при замиканнях на лініях, що відходять від КРП, і на його шинах;

– якщо відхідних ліній дві і більше (рис. 5. б), то для забезпечення селективності дії захистів необхідно застосовувати поздовжній диференціальний захист на лінії живлення, що реагує на струм нульової послідовності.

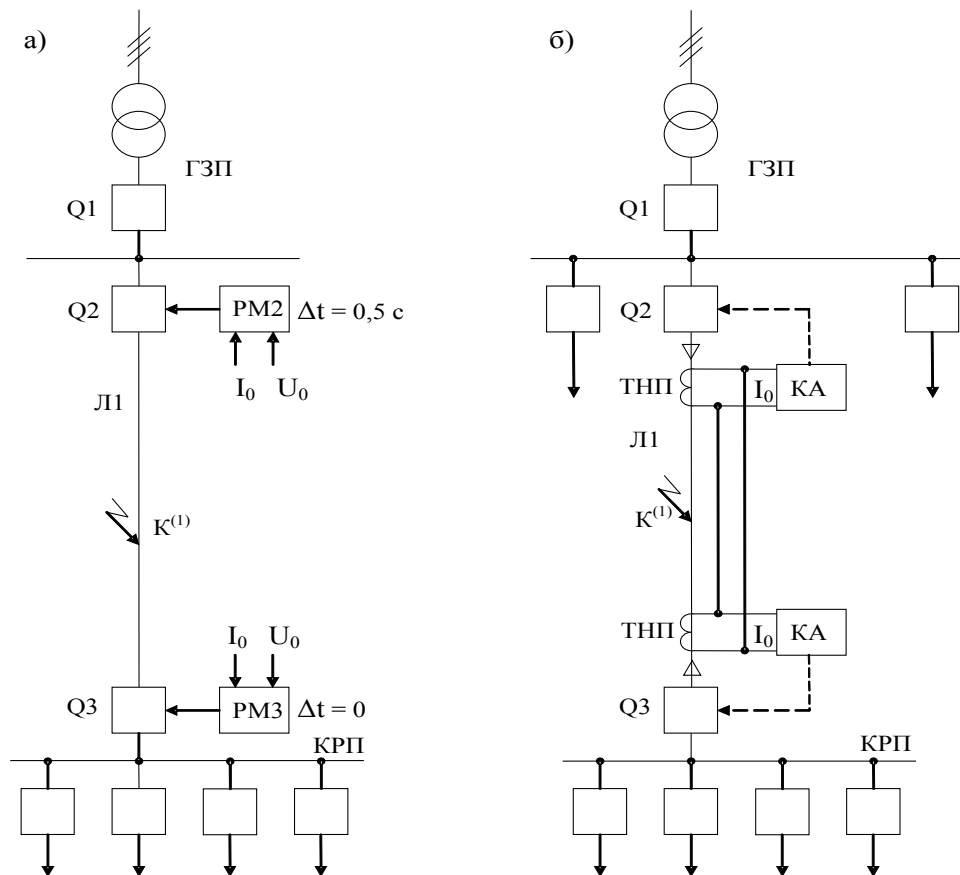


Рис. 5. Забезпечення селективності дії захисту від замикань на землю при двоступеневій системі розподілу

Для створення спрямованого захисту від усіх видів несиметричних ушкоджень у мережі з компенсованою нейтраллю пропонується використовувати одночасно два оперативні синусоїдні сигнали різних частот. У загальному випадку при однофазному замиканні на землю у трифазній електричній мережі оперативний струм виражатиметься виразом

$$I_{-on} = U_{-on} \frac{3\underline{Y}_+ y}{1 + (3\underline{Y}_+ y) \cdot R_{вн}} = U_{-on} \frac{(R + 3r)(R_{вн}R + 3rR_{вн} + Rr) + (3\omega_{on} CRr)^2 R_{вн} + j3\omega_{on} CR^2 r^2}{(R_{вн}R + 3rR_{вн} + Rr)^2 + (3\omega_{on} CR rR_{вн})^2}, \quad (19)$$

де $\underline{U}_{\bar{ii}}$ – напруга оперативного джерела; $R_{вн}$ – внутрішній опір джерела оперативного струму; ω_{on} – кутова частота оперативного струму.

Дослідження характеру зміни значень оперативних струмів від параметрів мережі і перехідного опору в точці замикання показали, що відмінною ознакою наявності замикання на землю можна вважати рівність (відносна рівність) значень накладених на мережу оперативних струмів, що дозволяє реалізувати вибіркового захист практично від усіх видів замикань на землю та при будь-якому режимі роботи нейтралі мережі.

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі в результаті теоретичних і експериментальних досліджень вирішене наукове завдання, яке полягає в розробці принципів і технічних рішень оптимізації режиму нейтралі, профілактичного контролю параметрів ізоляції та захисту розподільних мереж напругою 6 – 35 кВ, спрямованих на підвищення ефективності систем електропостачання кар'єрів.

Основні наукові результати, висновки та практичні рекомендації дисертаційної роботи полягають в наступному:

1. Показано, що в розподільних мережах кар'єрів однофазні замикання на землю можуть різко відрізнятися за характером процесу (металеві, дугові, перемижні, з перехідним опором тощо), що ускладнює виконання пристроїв виявлення та усунення аварій, і в загальному випадку становлять небезпеку для ізоляції мереж та обслуговуючого персоналу. У процесі експлуатації систем електропостачання з метою прогнозування їх рівня електробезпеки та надійності, а також з метою своєчасного прийняття управлінських рішень необхідний періодичний контроль ізоляції фаз мережі відносно землі виконаний під робочою напругою.

2. Виконано теоретичне обґрунтування способу і розроблені інженерна методика, структура й алгоритм автоматизації процесу непрямого визначення повних провідностей ізоляції фаз та їх складових (активних і реактивних провідностей фаз) відносно землі в трифазних електричних мережах з ізольованою нейтраллю напругою 6-35 кВ без зняття робочої напруги і з будь-яким ступенем несиметрії ізоляції, що ґрунтується на штучній зміні величини напруги зсуву нейтралі шляхом послідовного включення додаткових тарованих активних провідностей.

3. Розроблено математичні моделі для дослідження сталих аварійних струмів і їх складових при однофазних замиканнях на землю, що враховують режим і параметри заземлення нейтралі мережі, параметри ізоляції і перехідні опори в точках ушкодження. Встановлено: положення вектора струму нульової послідовності відносно вектора напруги нульової послідовності визначається характером і режимом заземлення нейтралі мережі, а фаза власного струму контрольованого приєднання – не залежить від режиму роботи нейтралі, визначається тільки параметрами безпосередньо контрольованого приєднання і практично жорстко прив'язана до

напруги нульової послідовності, що важливо для оцінки працездатності направлених пристроїв захисту.

4. Однофазні замикання на землю супроводжуються перехідними про-процесами, що виникають у початковій стадії аварійного режиму і після усунення (відключення) аварії або самоліквідації замикання на землю. Доведено, що характер після-аварійного перехідного процесу у кар'єрній мережі з повністю ізольованою нейтраллю для реальних параметрів мереж триває від 2 до 10 періодів промислової частоти, а частота вільних коливань менше промислової; в мережах з компенсованою нейтраллю – залежить від режиму настроювання компенсуючого пристрою; в мережах з резистором у нейтралі – від значення опору резистора і за рахунок різкого збільшення коефіцієнта заспокоєння (загасання) перехідний процес практично закінчується за півперіода промислової частоти.

5. Для систем електропостачання кар'єрів з погляду забезпечення захистом від замикань на землю і якості її роботи (що безпосередньо пов'язано з електробезпекою і безперебійністю живлення) найбільш сприятливими можна вважати електричні мережі з резистором у нейтралі при створенні активного струму замикання не менше 50% від ємнісного. У таких мережах різко обмежуються рівні внутрішніх перенапруг, практично виключається розвиток ферорезонансних процесів, крім того, практично виключається помилкова робота пристроїв захисту від замикань на землю.

6. Найнижчий рівень експлуатаційної надійності відповідає мережам з повністю ізольованою нейтраллю, а також мережам з компенсованою нейтраллю при розладі компенсації на 20% і більше від резонансної. В компенсованих мережах практично виключена можливість застосування пристроїв захисту, що реагують на параметри сталого режиму, навіть при автоматичному настроюванні режиму компенсації.

7. Для кар'єрних розподільних мереж з компенсованою нейтраллю при відсутності автоматичної системи резонансного настроювання режиму компенсації рекомендований комбінований режим роботи нейтралі, який забезпечує експлуатаційні показники адекватні системам електропостачання тільки з резистором у нейтралі навіть при розладі дугогасного реактора до 50% від резонансного режиму компенсації. Надані рекомендації відносно забезпечення селективності захистів від замикань на землю на живильних лініях при двоступеневій структурі кар'єрних розподільних мереж. Запропоновано функціональну схему системи вибіркового захисту для розгалужених розподільних мереж з компенсованою нейтраллю.

8. Реалізація і впровадження розробок дозволить забезпечити надійність і поліпшити умови електробезпеки систем електропостачання кар'єрів за рахунок своєчасних попереджувальних профілактичних рішень, зниження пошкоджуваності електрообладнання, обмеження кратності внутрішніх перенапруг і напруг дотику і кроку.

Основні наукові результати дисертаційної роботи опубліковані у наступних роботах:

1. Шкрабец Ф.П. Повышение безаварийности и уровня безопасности электрических сетей карьеров / Ф.П. Шкрабец, А.Н. Гребенюк, А.И. Ковалев – Днепропетровск: ДВНЗ "Національний гірничий університет", 2011. – 233 с.

2. Ковалев А.И. Анализ методов контроля изоляции, средств защиты и противоаварийного управления в системах электроснабжения карьеров / А.И. Ковалев, Ф.П. Шкрабец // Гірнична електромеханіка та автоматика: наук. – техн. зб. – 2005. – № 74. – С. 14-19.

3. Ковалев А.И. Влияния режима нейтрали сети на условия электробезопасности / А.И. Ковалев // Гірничя електромеханіка та автоматика: наук. – техн. зб. – 2006. – № 76 – С. 41-46.

4. Вареник Є.О. Непрямой способ визначення параметрів ізоляції електричної мережі / Є.О. Вареник, О.М. Омельченко, Ф.П. Шкрабець, О.І. Ковальов. – Вісник Кременчуцьк. держ. політехн. ун-ту ім. М. Остроградського. – 2006. – № 40. – С. 23-26.

5. Остапчук А.В. Вопросы повышения надежности и электробезопасности карьерных сетей / А.В. Остапчук, Д.В. Цыпленков, А.И. Ковалев // Гірничя електромеханіка та автоматика: наук. – техн. зб. – 2007. – № 79. – С. 40-44.

6. Шкрабець Ф. П. Пути повышения надежности карьерных распределительных сетей / Ф.П. Шкрабець, А.И. Ковалев // Гірничя електромеханіка та автоматика: наук. – техн. зб. – 2008. – № 80. – С. 3-8.

7. Шкрабець Ф.П. Оптимизация режимов работы нейтрали распределительных сетей / Шкрабець Ф.П., Ковалев А.И. // Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В.Лазаряна. – Вип. 26. – Вид. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В.Лазаряна, 2009 – С. 67-70.

8. Шкрабець Ф.П. Влияние режима нейтрали на внутренние перенапряжения в системах электроснабжения / Ф.П. Шкрабець, А.И. Ковалев // Науковий вісник НГУ. – 2010. – № 1, Дніпропетровськ. – С. 78-83.

9. Шкрабець Ф.П. Косвенный контроль параметров изоляции в распределительных сетях напряжением 6-10 кВ / Ф.П. Шкрабець, Ю.В. Куваев, А.И. Ковалев // Науковий вісник НГУ. – 2009. – № 12. – Дніпропетровськ. – С. 72-77.

10. Ковалев А.И. Оценка экономического ущерба от перерывов электроснабжения карьерных потребителей / А.И. Ковалев // Гірничя електромеханіка та автоматика: наук. – техн. зб. – 2009. – № 83 – С. 16-21.

11. Параметры изоляции распределительных сетей: Контроль и управление / Ф.П. Шкрабець, Д.В. Цыпленков, А.И. Ковалев, М.С. Кириченко. – Науково-практичний журнал "Електротехніка і електромеханіка". – 2010. – № 1. – С. 49–54.

12. Шкрабець Ф.П. Оптимизация режимов работы нейтрали распределительных сетей / Шкрабець Ф.П., Ковалев А.И. : материалы II Межд. науч.-практ. конф. ["Электрификация железнодорожного транспорта ТРАНСЭЛЕКТРО-2008"]. – Днепропетровск: ДНУЖТ, 2008. – С. 66.

Особистий внесок дисертанта у роботи, опубліковані у співавторстві.

В роботах, написаних у співавторстві, особисто автором запропоновано: робота [1] – результати теоретичних досліджень впливу режиму нейтралі кар'єрних мереж на експлуатаційні характеристики систем електропостачання; [2, 5] – оцінка стану і рівня ізоляції відносно землі кар'єрних мереж і вплив їх на надійність та електробезпеку; [4, 9] – теоретичне обґрунтування методу непрямого контролю ізоляції мереж; [6, 11] – запропоновані засоби впливу на рівень надійності і електробезпеки в умовах експлуатації систем електропостачання; [7, 8, 12] – вплив режиму нейтралі на експлуатаційні показники систем електропостачання та рекомендації по вибору режиму для кар'єрних мереж.

Анотація

Ковальов О.І. Підвищення безаварійності та рівня електробезпеки розподільних мереж напругою 6 – 35 кВ кар'єрів. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.09.03 – "Електротехнічні комплекси та системи". – Державний вищий навчальний заклад "Національний гірничий університет", Дніпропетровськ, 2012.

Дисертація присвячена розробці принципів і технічних засобів підвищення рівня експлуатаційної надійності і поліпшенню умов електробезпеки в системах електропостачання кар'єрів.

Дана характеристика системам електропостачання сучасних залізородних кар'єрів, розглянуто особливості експлуатації електричних розподільних мереж, виконано аналіз методів контролю ізоляції та засобів захисту. Представлені результати досліджень впливу режиму нейтралі кар'єрних розподільних мереж на якісні та кількісні параметри усталеного і перехідних процесів при замиканнях на землю. З порівняння варіантів заземлення нейтралі встановлено, що найбільш висока експлуатаційна надійність забезпечується в розподільних мережах з резистором в нейтралі. Дано теоретичне обґрунтування методу непрямой оцінки параметрів провідності ізоляції розподільних мереж напругою 6 кВ без зняття робочої напруги. Подані результати дослідження впливу параметрів режиму заземлення нейтралі на працездатність захистів від замикань на землю і на умови електробезпеки. Наведені технічні рішення та рекомендації, що забезпечують підвищення рівня безаварійності та електробезпеки розподільних і живлячих мереж кар'єрів.

Ключові слова: надійність електропостачання, розподільні мережі, режим нейтралі, контроль ізоляції, захист від замикань на землю.

Аннотація

Ковалев А.И. Повышение безаварийности и уровня электробезопасности распределительных сетей напряжением 6 – 35 кВ карьеров. – На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.09.03 – "Электротехнические комплексы и системы". – Государственное высшее учебное заведение "Национальный горный университет", Днепропетровск, 2012.

Диссертация посвящена разработке принципов и технических средств повышения уровня эксплуатационной надежности и улучшению условий электробезопасности в системах электроснабжения карьеров.

Данная характеристика системам электроснабжения современных железорудных карьеров, рассмотрены особенности эксплуатации электрических распределительных сетей, выполнен анализ методов контроля изоляции и средств защиты. Представлены результаты исследований влияния режима заземления нейтрали карьерных распределительных сетей на качественные и количественные параметры установившихся и переходных процессов при замыканиях на землю. Из сравнения вариантов заземления нейтрали установлено, что наиболее высокая эксплуатационная надежность обеспечивается в распределительных сетях с резистором в нейтрали. Дано теоретическое обоснование метода косвенной оценки параметров проводимости изоляции распределительных сетей напряжением 6 кВ без снятия рабочего напряжения, основанного на искусственном изменении величины напряжения смещения нейтрали путем последовательного включения дополнительных тарированных активных проводимостей во все три фазы электроустановки в заданной последовательности.

Представлены результаты исследования влияния параметров режима заземления нейтрали на работоспособность защит от замыканий на землю и на условия электробезопасности. Для компенсированных сетей при отсутствии автоматической резонансной настройки режима компенсации рекомендован комбинированный режим заземления нейтрали, который обеспечивает эксплуатационные показатели адекватные системам электроснабжения только с резистором в нейтрали даже при

расстройках дугогасящего реактора до 50% от резонансного режима. Показано, что по степени косвенной опасности электрических сетей, работающих с разными режимами нейтрали, предпочтение следует отдать электрическим сетям с резистором в нейтрали.

Приведены разработанные технические решения и рекомендации, которые обеспечивают повышение уровня безаварийности и электробезопасности распределительных и живящих сетей карьеров: структура и алгоритм автоматизации процесса косвенного определения полных проводимостей изоляции фаз и их составляющих в трехфазных электрических сетях с изолированной нейтралью напряжением 6-35 кВ с любой степенью несимметрии изоляции; рекомендации по обеспечению селективности защит от замыканий на землю на питающих КРП линиях при двухступенчатой структуре карьерных распределительных сетей; функциональная схема системы избирательной защиты для разветвленных распределительных сетей с компенсированной нейтралью.

Ключевые слова: надежность электроснабжения, распределительные сети, режим нейтрали, контроль изоляции, защита от замыканий на землю.

Abstract

Kovalev Oleksiy. Increase of trouble-free operation and electrical safety level of distributive networks by a voltage 6-35 kV of open cast mines. – On the right of manuscript.

Thesis for a candidate of technical science degree by speciality 05.09.03 – "Electro-technical complexes and systems". State institution of higher education "National Mining University" subject to the Ministry of Education and Science, Youth and Sports of Ukraine, Dnipropetrovs'k, 2012.

The thesis is devoted to development of principles and technical means of increase of an operational reliability level and improvement of electrical safety conditions in power supply systems of open cast mines.

The characteristic of power supply systems of modern open cast iron mines is given, the peculiarities of electrical distributive networks operation are considered, the analysis of insulation control methods and protection means are performed. The investigation results of neutral mode influence of open cast mining distributive networks on qualitative and quantitative parameters of steady and transient process in the time of ground fault are presented. From the comparison of neutral grounding options it is determined that highest operational reliability is ensured in distributive networks with resistor in neutral. The theoretical justification of indirect estimation method of insulation conductivity parameters of distributive networks by a voltage 6 kV without switching-off of a working voltage is given. The investigation results of grounding neutral mode parameters influence on the operability of ground fault protection and electrical safety conditions are given. The technical solutions and recommendations that provide the level increase of trouble-free operation and electrical safety of distributive and supplying networks of open cast mines are presented.

Key words: power supply reliability, distributive networks, neutral mode, insulation control, ground fault protection.

КОВАЛЬОВ Олексій Іванович

ПІДВИЩЕННЯ БЕЗАВАРІЙНОСТІ ТА РІВНЯ ЕЛЕКТРОБЕЗПЕКИ
РОЗПОДІЛЬНИХ МЕРЕЖ НАПРУГОЮ 6 – 35 кВ КАР'ЄРІВ

(Автореферат)

Підписано до друку 14.02.2012. Формат 60x90/16.

Папір офсет. Ризографія. Ум. друк. арк. 0,9.

Обл.-вид. арк. 0,9. Тираж 110 пр. Зам. №

Державний вищий навчальний заклад
«Національний гірничий університет»

49005, м. Дніпропетровськ, просп. К. Маркса, 19.