

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ, МОЛОДІ ТА СПОРТУ УКРАЇНИ  
ДЕРЖАВНИЙ ВИЩИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЗАКЛАД  
“ДОНЕЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ”**

**РУССІЯН СТАНІСЛАВ АНАТОЛІЙОВИЧ**

УДК 622.012.2: 621.311.1

**ОБМЕЖЕННЯ ВПЛИВУ КОМУТАЦІЙНИХ ПРОЦЕСІВ НА  
ФУНКЦІОНУВАННЯ ЗАСОБІВ ЗАХИСТУ ВІД ВИТОКУ  
СТРУМУ НА ЗЕМЛЮ В ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНОМУ  
КОМПЛЕКСІ ШАХТНОЇ ДІЛЬНИЦІ**

Спеціальність 05.09.03 – Електротехнічні комплекси та системи

**АВТОРЕФЕРАТ**  
**дисертації на здобуття наукового ступеня**  
**кандидата технічних наук**

Донецьк – 2012

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в ДВНЗ «Донецький національний технічний університет» Міністерства освіти і науки, молоді та спорту України, м. Донецьк

Науковий керівник: кандидат технічних наук, доцент  
**Маренич Костянтин Миколайович**,  
ДВНЗ «Донецький національний технічний університет»,  
завідувач кафедри «Гірнична електротехніка і автоматика  
ім. Р.М. Лейбова»

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор  
**Шкрабець Федір Павлович**,  
ДВНЗ «Національний гірничий університет»  
(м. Дніпропетровськ),  
завідувач кафедри «Відновлювані джерела енергії»

кандидат технічних наук  
**Савицький Володимир Миколайович**,  
заступник директора з наукової роботи Українського науково-дослідного, проектно-конструкторського та технологічного інституту вибухозахищеного та рудникового електрообладнання з дослідно-експериментальним виробництвом (УкрНДІВЕ, м. Донецьк).

Захист відбудеться «17» травня 2012 р. о 13<sup>30</sup> годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д11.052.02 в ДВНЗ «Донецький національний технічний університет» за адресою: 83001, м. Донецьк, вул. Артема, 58, VIII навчальний корпус, ауд. 8.805.

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці ДонНТУ (83001, м. Донецьк, вул. Артема, 58, II навчальний корпус).

Автореферат розісланий « 12 » квітня 2012 р.

Учений секретар  
спеціалізованої вченої ради  
Д11.052.02, к.т.н., доц.

Ларін А.М.

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** Сучасне гірниче виробництво являє собою комплекс взаємоузгоджених технологічних процесів, переважна більшість з яких виконується потужними електромеханічними засобами. Тому технічний стан і функціональні властивості силового рудникового електроустаткування обумовлюють не тільки продуктивність гірничого виробництва, але й саму можливість видобутку корисних копалин підземним способом. Забезпечення ефективної, безаварійної, безпечної роботи шахтного дільничного електротехнічного комплексу значною мірою обумовлене специфікою улаштування його електромережі: режимом ізольованої нейтралі трансформатора; використанням екранованих кабелів для електроживлення нестационарного обладнання, обов'язковістю застосування засобів захисту від витоків струму на землю.

Вагомий внесок у розвиток теоретичних питань щодо улаштування і експлуатації рудникових електротехнічних комплексів, створення вискоефективного електричного обладнання гірничих підприємств зробили вчені: Р.М. Лейбов, В.С. Дзюбан, В.П. Колосюк, Г.Г. Півняк, С.А. Волотковський, Ф. П. Шкрабець, В.І. Щуцький, Є.О. Вареник та інші; творчі колективи науково-дослідних інститутів УкрНДІВЕ, МакНДІ, "Автоматгірмаш ім. В.А. Антіпова", НГУ (м. Дніпропетровськ), ІГС ім. О.О. Скочинського, МГІ, Донецького національного технічного університету та ін.

В результаті, отримані наукові положення і науково-технічні рішення, застосування яких створило умови для більш безпечної експлуатації силового електроустаткування в небезпечних умовах шахти навіть у порівнянні з експлуатаційними характеристиками загальнопромислового електрообладнання. Найважливішим є створення і подальший розвиток теорії захисту людини від електроураження при експлуатації рудникового електроустаткування, запровадження системи стандартів та інших нормативів щодо апаратного забезпечення цієї захисної функції при експлуатації шахтних електротехнічних комплексів; створення і подальше удосконалення засобів захисту від витоків струму на землю. Однак функціонування останніх має відбуватися в умовах виникнення перехідних процесів, які супроводжують контакторну комутацію силових споживачів дільничного електротехнічного комплексу.

Попередніми дослідженнями встановлені тенденції впливу цих комутаційних перехідних процесів на параметри стійкості роботи апаратів захисту від витоку струму на землю, що підтверджується випадками їх хибного спрацьовування захисту в моменти комутації силових приєднань дільничної мережі. Проте, складність застосованого математичного апарату і недостатні можливості існуючих на той час засобів обчислювальної техніки не дозволили розкрити дане питання зі всією повнотою. Тенденція ж щодо підвищення потужностей гірничих технологічних електроустановок і застосування у мережі кабелів відповідно, збільшених перетинів і довжин, створює умови для все більш суттєвого впливу комутаційних перехідних процесів на величину параметрів спрацьовування апаратів захисту від витоків струму на землю.

Таким чином, актуальним є наукове обґрунтування заходів із обмеження впливу комутаційних процесів на функціонування засобів захисту від витоку струму на землю в електротехнічному комплексі шахтної дільниці.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Робота відповідає науковому напрямку кафедри “Гірнична електротехніка і автоматика ім. Р.М. Лейбова” ДВНЗ “Донецький національний технічний університет”. Автор брав безпосередню участь у виконанні науково-дослідних державних тем: № Н2-2001 “Наукове обґрунтування параметрів шахтної дільничної електричної мережі підвищеного рівня експлуатаційної безпеки і розробка технічних рішень їх реалізації”; № Н8-04 “Наукове обґрунтування раціональних способів експлуатації низьковольтних електротехнічних комплексів гірничих підприємств”; № Н4-09 „Наукове обґрунтування технічних рішень підвищення ефективності електротехнічних комплексів енергоємних виробництв”.

**Мета і задачі досліджень.** Метою дисертаційної роботи є підвищення ефективності експлуатації шахтних дільничних електротехнічних комплексів шляхом усунення умов хибного спрацьовування дільничних апаратів захисту від витоків струму на землю на основі наукового обґрунтування параметрів і структури пристроїв із адаптації функції визначення витоку струму на землю до впливової дії комутаційних перехідних процесів.

Для досягнення поставленої мети сформульовані наступні задачі досліджень:

- на основі математичного моделювання та експериментальних досліджень визначити кількісні показники щодо оцінки властивостей параметрів ізоляції кабелів створювати під час комутації силового приєднання передумови хибного спрацьовування апарату захисту від витоку струму на землю;

- обґрунтувати параметри і структуру пристрою із удосконалення засобу захисту від витоків струму на землю стосовно запобігання впливу комутаційного перехідного процесу на формування команди на захисне знеструмлення електротехнічного комплексу шахтної дільниці;

- визначити можливості процесу регульованої комутації силового приєднання щодо створення передумов хибного спрацьовування дільничного апарату захисту від витоку струму на землю;

- удосконалити спосіб регульованої комутації асинхронного двигуна за критерієм запобігання виникненню нестійких станів у силових приєднаннях електротехнічного комплексу шахтної дільниці.

*Об'єктом досліджень* є електротехнічний комплекс шахтної дільниці, оснащений засобом захисту від витоків струму на землю в стані комутації силового відгалуження.

*Предмет досліджень* - процеси формування, методи контролю і мінімізації амплітуди оперативного параметру апарату захисного відключення, за наявності впливу перехідних процесів в електротехнічному комплексі шахтної дільниці, обумовлених комутацією силових приєднань.

*Методи досліджень.* Теоретичні дослідження базуються на загальній теорії електричних кіл, теорії: перехідних процесів, вірогідності і математичної статистики. Перевірка відповідності результатів теоретичних досліджень екс-

периментальним даним виконана з використанням сучасних цифрових засобів вимірювання, а також апробованого апарату математичної статистики.

**Наукова новизна отриманих результатів:**

- отримала подальший розвиток математична модель електротехнічного комплексу технологічної дільниці шахти, що базується на використанні диференціальних рівнянь для опису елементів системи, яка відрізняється можливістю визначення оперативного параметру апарата захисного відключення при комутаціях силових відгалужень з урахуванням сукупності факторів впливу комутаційного перехідного процесу, а також структури схеми вимірювального засобу;

- отримані функціональні залежності амплітуди оперативного параметру апарата захисту від витоку струму на землю від параметрів ізоляції кабелів в процесі комутації силового приєднання, обґрунтована нова структура його засобу визначення оперативного параметру на основі застосування *RC*-ланцюга за критерієм усунення впливу процесу контакторної комутації силового приєднання при дотриманні нормативного терміну утворення команди на захисне відключення мережі при виникненні витоку струму на землю;

- визначені умови порушення стійкості параметрів системи “тиристорний регулятор напруги – асинхронний двигун” при запровадженні регульованої комутації силового приєднання і обґрунтована доцільність дотримання швидкості зменшення заданого кута відпирання тиристорів, не менш, як 50 ел. град / с, на завершальному етапі пуску двигуна за критерієм запобігання виникненню нестійкого стану цієї системи.

**Практичне значення отриманих результатів:**

- розроблена математична модель електротехнічного комплексу дільниці шахти дозволяє виконувати комплексне дослідження впливу параметрів електротехнічного комплексу дільниці шахти на характер зміни величини контрольованого параметру дільничного апарата захисту від витоків струму на землю з урахуванням сукупності факторів впливу, включаючи нестійкі процеси, а також структуру схеми контролюючого (вимірювального) органу апарата захисного відключення конкретного типу.

- запропонована методика моделювання станів дільничного електротехнічного комплексу шахти прийнята до впровадження ПАТ “Донецький електротехнічний завод” ПрАТ “Донецьксталь - МЗ” для обґрунтування параметрів і схемних рішень технічних засобів обмеження впливу комутаційних перехідних процесів на стійкість проти хибних спрацьовувань апаратури захисту від електроураження при проектуванні засобу захисту від витоків струму на землю (апарату типу АЗУР-5), адаптованого до застосування в шахтній дільничній електромережі 3300 В.

- запропоновані технічні рішення в області застосування керованої комутації асинхронного двигуна дозволяють дотримати умови перешкоджання виникненню нестійких станів в схемі апарата захисного відключення та у силових приєднаннях електротехнічного комплексу.

Наукові положення, висновки і рекомендації впроваджені в навчальний процес в Донецькому національному технічному університеті.

**Особистий внесок здобувача.** Наукові положення, що містяться в дисертації, отримані здобувачем самостійно. Здобувач розробив математичну модель електротехнічного комплексу шахтної дільниці, виконав теоретичні і експериментальні дослідження, узагальнив і проаналізував отримані результати та обґрунтував параметри і структуру технічного засобу обмеження впливу комутаційних перехідних процесів на величину оперативного параметру засобу захисту від витоків струму на землю.

**Апробація результатів роботи.** Основні положення дисертаційної роботи доповідалися, обговорювалися і отримали схвалення на 3-й і 4-й Міжнародних науково-технічних конференціях “Автоматизація технологічних об’єктів та процесів. Пошук молодих” (м. Донецьк, 2003 р., 2004 р.), Міжнародній науково-технічній конференції “Форум гірників – 2009” (м. Дніпропетровськ, 2009 р.), Міжнародних науково-технічних конференціях “Гірнична електромеханіка і автоматика” (м. Донецьк, 2005 р., 2006 р., 2008 р.), 5-й Міжнародній молодіжній науково-технічній конференції “Севергеозкотех” (м. Ухта, Росія, 2004 р.).

**Публікації.** Основні положення дисертації опубліковані у 18 друкованих працях, з яких 13- у фахових наукових виданнях, 4 - в матеріалах конференцій, одержано 1 патент України на корисну модель.

**Структура і обсяг дисертації.** Дисертаційна робота складається із вступу, 5 розділів, загальних висновків, переліку використаних літературних джерел і 4 додатка. Дисертаційна робота містить 185 сторінок наскрізної нумерації, у тому числі – 95 рисунків, з них 40 рисунків на 35 окремих сторінках, 9 таблиць, 4 додатки на 31 сторінці і список використаних джерел із 99 найменувань на 11 сторінках.

## **ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ**

**В першому розділі „Стан питання. Мета і задачі досліджень”** розглянуті особливості улаштування електротехнічних комплексів технологічних дільниць шахти. Дана загальна характеристика функціональних властивостей застосованого електроустаткування і технічних засобів, що забезпечують безпечну і безаварійну експлуатацію силових електроустановок в специфічних умовах функціонування гірничого підприємства. Особливу увагу приділено розгляду теоретичних засад з питань запровадження захисту людини від електроураження при експлуатації рудникового електроустаткування. Наведений аналіз відомих принципів і технічних засобів визначення стану витоків струму на землю в дільничній електромережі, заходів із зменшення провідного стану ізоляції кабелів силових відгалужень з урахуванням відомих результатів наукових досліджень та технічних розробок.

За результатами аналізу досліджень процесів, якими супроводжується експлуатація шахтного дільничного електротехнічного комплексу встановлена потенційна спроможність комутації силових приєднань створювати достатню впливову дію щодо виникнення хибного спрацьовування апарата захисту від витоків струму на землю. Аналіз математичного апарата, що був застосований у відповідних дослідженнях, показав обмеженість його можливостей при ураху-

ванні всього комплексу впливових факторів і нездатність для точного визначення характеру процесів впливу контакторної комутації на контролюємі параметри у відповідних функціональних вузлах апаратів захисного відключення.

Доведено, що тенденція до підвищення потужності електромеханічного обладнання шахти і обумовлене цим збільшення перетинів та довжин кабелів, запровадження більш високого рівня номінальної напруги мережі, - обумовлюють підсилення функції впливу комутаційних перехідних процесів в електротехнічному комплексі дільниці шахти на величину електричних параметрів в контролюючому засобі апарату захисного відключення і обумовлюють цим підвищення ймовірності його хибного спрацьовування. Цим обумовлена актуальність теми дисертаційного дослідження, визначені його мета і задачі.

**Другий розділ** „Дослідження впливу комутаційних процесів на стійкість роботи апаратів відключення шахтного дільничного електротехнічного комплексу методами математичного і комп’ютерного моделювання” присвячений обґрунтуванню і дослідженню математичної моделі дільничного електротехнічного комплексу шахти, придатної до виконання комплексного аналізу утворення сигналів в ланцюзі виміру оперативного параметру апарата захисту від витоків струму на землю, обумовлених впливом комутацій силових приєднань в електромережі дільниці шахти.

Схема заміщення дільничного електротехнічного комплексу (рис.1) враховує наявність двох приєднань силового навантаження і являє собою сукупність функціонально пов’язаних між собою типових структурних складових, як то: трансформатор комплектної підстанції з автоматичним вимикачем на вході (A0); апарат захисту від витоків струму на землю (A1); магістральний (A2) та гнучкі (A5; A8) кабелі; силові комутаційні апарати (A3; A6) приєднань асинхронних двигунів (A4; A7) споживачів. Схема враховує наявність опору між загальними точками приєднання активно-ємнісних опорів ізоляції кабельної мережі відносно землі (вузли 3; 4; 5) і заземленою точкою апарата захисту (вузол 2) від витoku струму на землю.

Струми  $i'_1 - i'_6$ , що протікають в землі, визначаються з урахуванням напруг між вузлами 2-5 та опорів  $R'_1 - R'_6$ . Відповідно до II закону Кірхгофа складені системи рівнянь, що описують перехідні процеси у приєднаннях системи. Зокрема, струми в схемі заміщення опорів ізоляції магістрального кабеля визначаються залежностями:

$$\begin{cases} i_{i30a} = \frac{u_{0a}}{R_{0a}} + C_{0a} \frac{du_{0a}}{dt}; \\ i_{i30b} = \frac{u_{0b}}{R_{0b}} + C_{0b} \frac{du_{0b}}{dt}; \\ i_{i30c} = (-i'_1 + i'_4 + i'_5) - i_{i30a} - i_{i30b}. \end{cases} \quad (1)$$

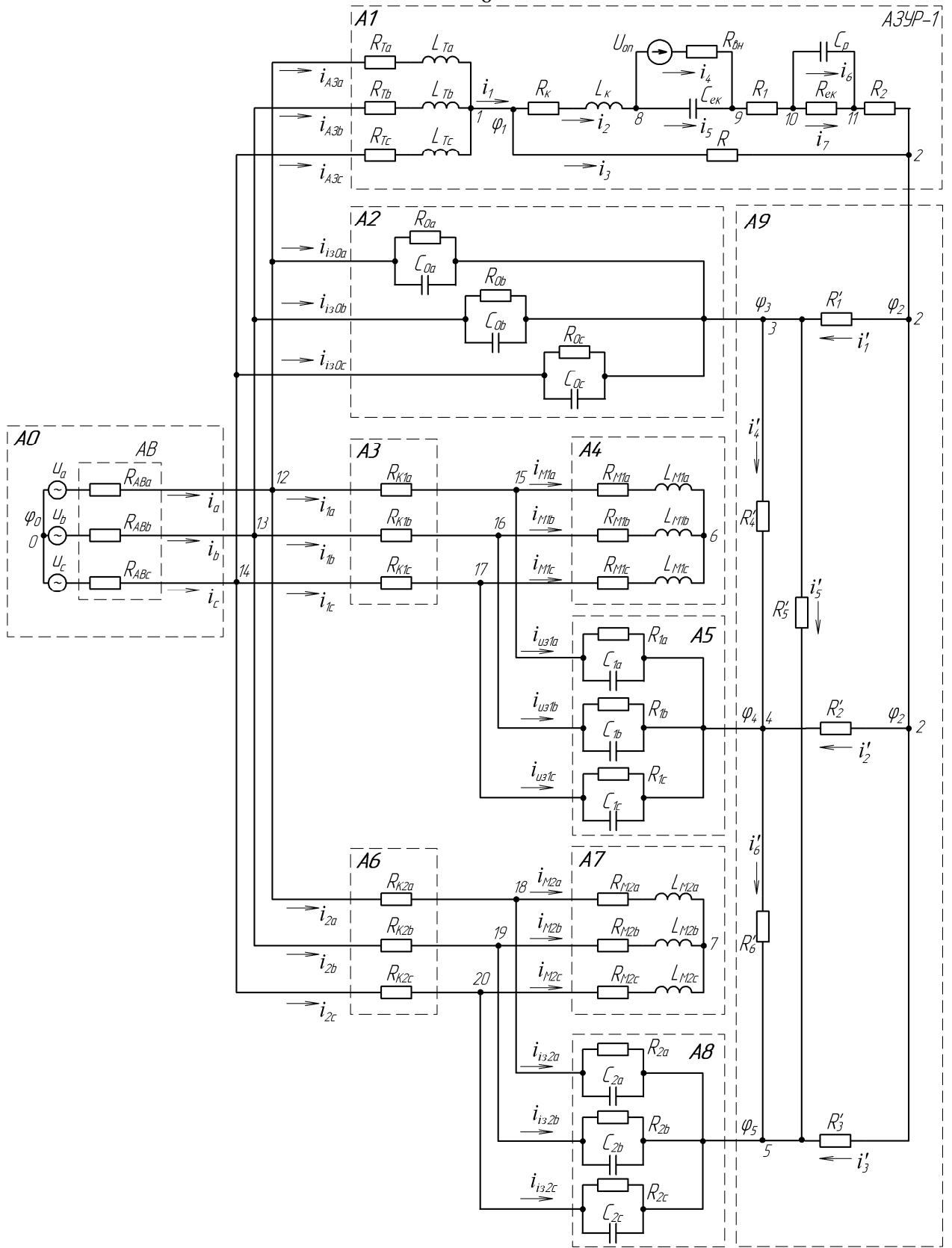


Рисунок 2.1 - Схема заміщення шахтної дільничної електромережі напругою 660В з апаратом захисту від витоків струму на землю АЗУР-1



У формулах системи (1) напруги  $u_{0a}$  і  $u_{0b}$  визначаються співвідношеннями:

$$\begin{cases} u_{0a} = (u_a - u_{ABa}) + u_{03}; \\ u_{0b} = (u_b - u_{ABb}) + u_{03}, \end{cases} \quad (2)$$

при цьому

$$u_{03} = -u_c + u_{ABc} + u_{0c}. \quad (3)$$

Струми в інших приєднаннях системи описуються аналогічними залежностями, що дає можливість створити математичну модель системи в цілому, за модульним принципом. Вимірювальна частина апарата АЗУР-1 (схема між вузлами 1 і 2 на рис. 1) описана залежностями:

$$\begin{cases} u_{12} = j_1 - j_2 = i_2(R_1 + R_2 + R_k) + L_k \frac{di_2}{dt} + u'_1 + u'_2; \\ i_2 = i_1 - u_{12}/R; \\ u'_1 = \int \frac{R_{\text{вн}} i_2 - U_{\text{он}} - u'_1}{C_{\text{ек}} R_{\text{вн}}} dt + u'_1(0); \\ u'_2 = \int \frac{i_2 - u'_2/R_{\text{ек}}}{C_p} dt + u'_2(0), \end{cases} \quad (4)$$

де  $u'_1$  та  $u'_2$  - напруги між вузлами 8 і 9 та 10 і 11 схеми заміщення, відповідно.

Аналогічні функціональні залежності отримані стосовно конфігурації і параметрів вимірювальної частини схеми апарата захисту від витоків струму на землю типу АЗУР-4.

Сукупність рівнянь для опису перехідних процесів в силовій частині дільничної електромережі і в ланцюзі оперативного струму апарата захисту, являють собою математичну модель системи. В процесі її дослідження отримані результати, які надають інформацію щодо зміни амплітуди і тривалості підвищення контрольованого параметру у вимірювальній частині апаратів захисного відключення у результаті впливу комутаційного перехідного процесу у дільничній мережі, що розпочався в момент  $t'$  (рис. 2).

Аналіз амплітудних показників цього контрольованого параметру свідчить про наявність станів перебільшення його амплітудою величини уставки спрацьовування дільничного апарата захисту від витоків струму на землю, що не є прийнятним.

Дослідження враховує можливість виникнення комутацій силових приєднань у будь-який момент часу, стосовно чого визначена ймовірність виникнення хибного спрацьовування апарата захисного відключення. Засобами моделювання виконані вимірювання ( $n=50$ ), в кожному з яких момент  $t'$  є вибірковою значенням випадкової величини, рівномірно розподіленої на фіксованому інтервалі часу. В кожному досліді визначене максимальне значення струму через вимірювальний елемент апарата АЗУР-1  $i_{7\text{max}}$ , що дозволило виконати побудову теоретичної та емпіричної функцій розподілу  $i_{7\text{max}}$  (рис.3).

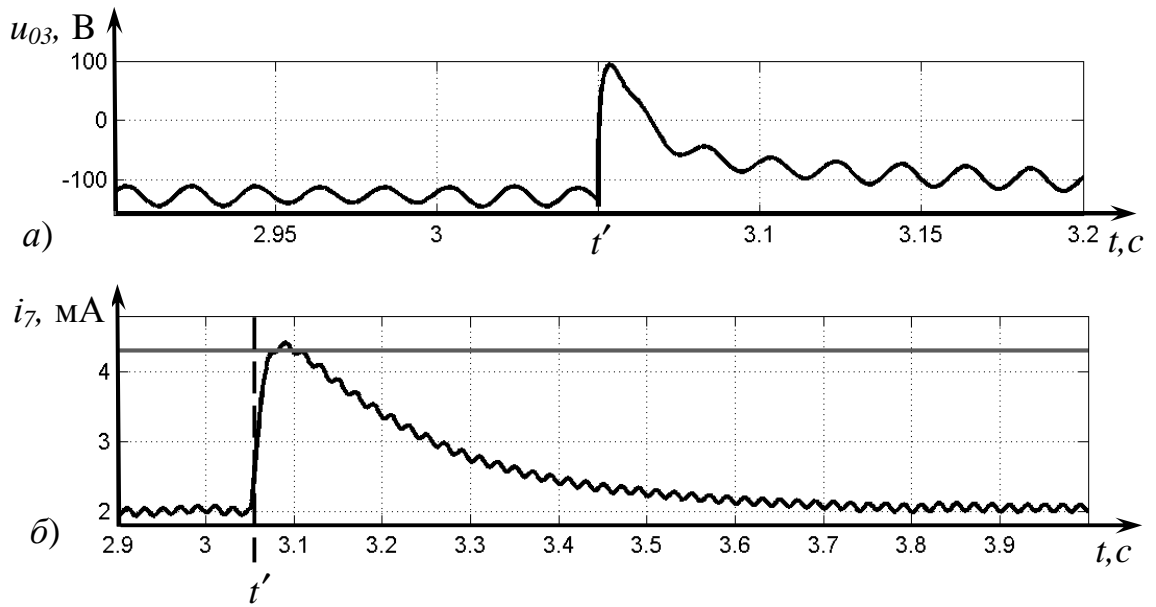


Рис. 2. Діаграми зміни напруги між вузлами 0 і 3 схеми заміщення системи (а) і струму вимірювального ланцюга апарата АЗУР-1 (б), отримані шляхом моделювання перехідного процесу в системі при відключенні першого приєднання і припущенні про ідеальний характер комутації

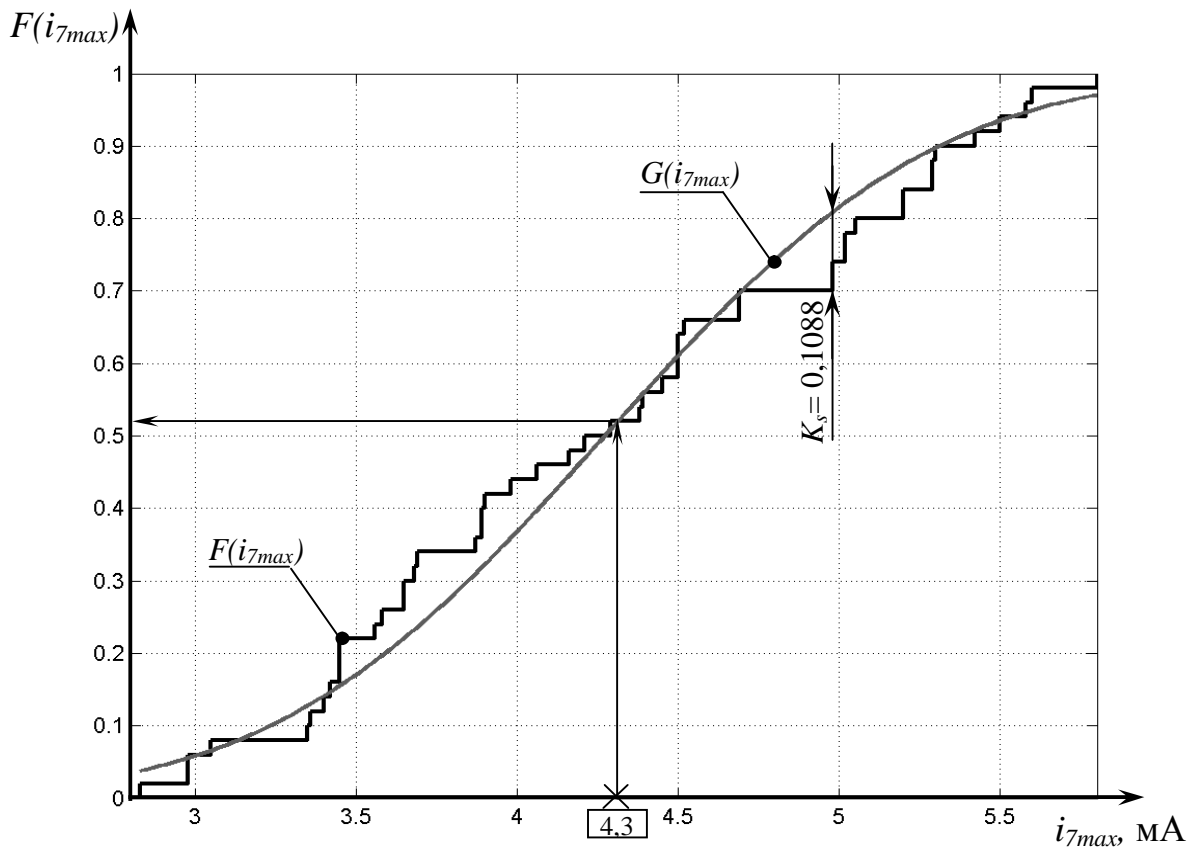


Рис. 3. Теоретична  $G(i_{7max})$  і емпірична  $F(i_{7max})$  функції розподілу вибіркового максимальних значень струму через вимірювальний елемент апарата АЗУР-1 при комутації (відключенні) приєднання мережі

В результаті аналізу функцій розподілу за критерієм узгодження Колмогорова-Смирнова не знайдено підстав відхилити гіпотезу про нормальний розподіл вибіркового даних при рівні значимості 0,05. Ймовірність перевищення максимальним значенням струму через вимірювальний елемент АЗУР-1  $i_{7\max}$  уставки спрацьовування апарата  $I_{уст}$  визначається виразом:

$$P(i_{7\max} > I_{уст}) = 0,5 - \Phi\left(\frac{I_{уст} - \bar{i}_{7уст}}{\bar{s}}\right), \quad (5)$$

де  $\Phi(x)$  - функція Лапласа.

При уставці вимірювального органу апарата захисту АЗУР-1  $I_{уст} = 4,3$  мА і прийнятих параметрах системи ця ймовірність складає:  $P(i_{7\max} > 4,3) = 0,51$ , що потребує прийняття додаткових заходів для усунення впливу комутаційних перехідних процесів на стійкість апаратів захисного відключення проти хибних спрацьовувань.

В результаті математичного моделювання отримана залежність амплітуди струму на реагуючому органі апарата АЗУР-1 від параметрів ізоляції невідключаємої частини кабельної мережі (рис. 4), що дозволило зробити висновок про суттєвість впливу параметрів ізоляції відключаємої частини мережі на характер зміни струму у реагуючому органі апарата АЗУР-1, зокрема, при зменшенні активного опору і підвищенні ємності ізоляції відключаємої частини мережі амплітуда струму у реагуючому органі зростає.

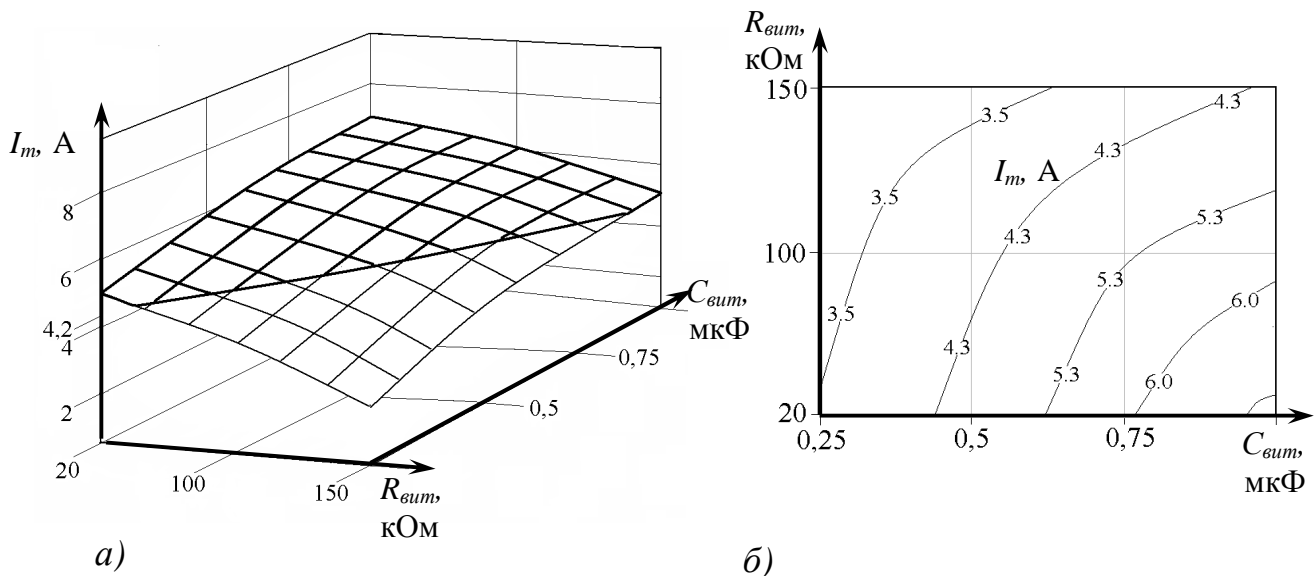


Рис. 4. Розрахункова залежність амплітуди струму у реагуючому органі апарата АЗУР-1 від параметрів ізоляції кабеля невідключаємої частини мережі у вигляді: а – тримірного графіка; б – контурного графіка

З метою уточнення процесу утворення контрольованого параметру вимірювального пристрою апарата АЗУР в процесі моделювання врахований вплив дугоутворення (що має стохастичний характер) під час роз'єднання контактів засобу комутації силового приєднання. Встановлено, що наслідком впливу цього дугоутворення є тенденція щодо збільшення тривалості існування амплітудної величини контрольованого параметру в апараті захисту від витоків струму на землю.

Запропонована математична модель, адаптована для дослідження процесів в електротехнічному комплексі за умови функціонування засобів контактної та регульованої комутації силових приєднань. Встановлено, що в результаті комутаційного процесу, який реалізується повільною зміною величини напруги в ланцюзі статора асинхронного двигуна при реалізації лінійного закону зміни кута відпирання тиристорів регулятора, величина контрольованого параметру у реагуючому елементі апарата захисного відключення має рівень, менший за поріг спрацьовування при величині сукупної ємності ізоляції мережі електротехнічного комплексу шахтної дільниці в діапазоні 0–1,5 мкФ/фазу (табл. 1).

Таблиця 1-

Максимальні значення напруги на вимірювальному елементі апарата АЗУР-4  $U_{R5}$  при включенні приєднання мережі ( $C_{\text{вум}\Sigma} = C_{\text{вум}1} + C_{\text{вум}2} = 1,0$  мкФ/фазу,  $C_{\text{вум}\Sigma} = C_{\text{вум}1} + C_{\text{вум}2} = 1,5$  мкФ/фазу,  $R_{i3} = 34$  кОм/фазу,  $U_c = 660$  В)

Закон зміни кута $\alpha(t)$ відпирання тиристорів ТРН	$U_{R5}, \text{ В}$ ( $\Delta t = 0,5\text{с}$ )		$U_{R5}, \text{ В}$ ( $\Delta t = 1,0\text{с}$ )		$U_{R5}, \text{ В}$ ( $\Delta t = 1,5\text{с}$ )	
	$C_{\text{вум}\Sigma} = 1,0$ мкФ/фазу	$C_{\text{вум}\Sigma} = 1,5$ мкФ/фазу	$C_{\text{вум}\Sigma} = 1,0$ мкФ/фазу	$C_{\text{вум}\Sigma} = 1,5$ мкФ/фазу	$C_{\text{вум}\Sigma} = 1,0$ мкФ/фазу	$C_{\text{вум}\Sigma} = 1,5$ мкФ/фазу
Лінійний закон	1,68	2,07	1,56	1,95	1,52	1,90
Експоненціальний закон	1,93	2,44	1,85	2,24	1,80	2,12

Отже, застосування тиристорних регуляторів напруги у якості засобів регулюємої комутації силових приєднань в електротехнічному комплексі шахтної дільниці слід вважати прийнятним технічним рішенням, що заважатиме виникненню хибних спрацьовувань дільничних апаратів захисного відключення.

**Третій розділ** „Експериментальні дослідження властивостей електротехнічного комплексу щодо створення умов хибного спрацьовування дільничного апарата захисту від витоків струму на землю” присвячений питанням виконання експериментальних досліджень з метою встановлення адекватності теоретично отриманих результатів даним, що отримані експериментально. Дослідження виконані в умовах лабораторії ВАТ „Донецький енергозавод” і кафедри „Гірнична електротехніка і автоматика ім. Р.М. Лейбова” ДВНЗ „Донецький національний технічний університет”.

В процесі досліджень обґрунтована структура і характеристики дослідницького стенду, розроблена методика виконання експериментів. Окрім вияв-

лення характеру впливу перехідного процесу контакторної комутації силового приєднання в мережі на величину контролюемого параметру в апаратах АЗУР досліджувалися аналогічні процеси при регулюемій комутації силового приєднання. В цьому разі в якості силового регулятора напруги застосований пристрій повільного пуску КУУВПП-250 з функцією зміни величини вихідної трифазної напруги промислової частоти шляхом зміни кута відпирання тиристорів регулятора за лінійним законом із заданою інтенсивністю.

Зміни конфігурації і параметрів електричної мережі дільничного електротехнічного комплексу моделювались відповідними змінами активних опорів і ємностей, що моделюють відповідні провідності ізоляції кабелів.

Осцилографуванням параметрів електротехнічного комплексу (рис.5) підтверджена адекватність результатів теоретичних досліджень результатам експерименту і, зокрема, встановлені факти хибного спрацьовування апаратів захисного відключення в моменти контакторної комутації силових приєднань (наприклад  $U_{AB}$ , рис.5). Підтверджено теоретично обґрунтоване положення про прийнятність застосування тиристорного регулятора напруги у якості комутаційного пристрою, що зберігає умови стійкості функціонування апаратів захисного відключення під час комутації силових приєднань.

Експериментальними дослідженнями параметрів системи “тиристорний регулятор напруги - асинхронний двигун” встановлена наявність автоколивальних процесів в ній під час фазового регулювання вихідної напруги тиристорного регулятора. Визначені умови виникнення і підтримання цих автоколивань, до яких відноситься значна величина кута  $\alpha$  відпирання тиристорів ( $\alpha \gg 0$ ) за умови, що кутова швидкість ротора асинхронного двигуна наближена до номінальної.

У зв'язку з цим, обумовлена прийнятність коригування алгоритмів задання вихідного параметру тиристорного регулятора напруги у пристроях управління повільним пуском асинхронних двигунів шахтної дільниці.

**У четвертому розділі** „Необхідні технічні властивості і проблематика застосування засобів захисту від електроураження в шахтних дільничних мережах підвищеного рівня номінальної напруги” наведена інформація щодо застосування результатів дисертаційного дослідження при розробці апарата захисту від витоків струму на землю типу АЗУР-5, адаптованого для роботи в шахтній дільничній електромережі з напругою 3300 В (розробник ВАТ “Донецький електротехнічний завод” ПрАТ “Донецьксталь - МЗ”). Відповідно до цього об'єкту була скорегована формалізація математичної моделі, теоретичне дослідження якої дозволило встановити характер ймовірного впливу зовнішнього комутаційного перехідного процесу на величину оперативного параметру в реагуючому органі пристрою захисту від витoku струму на землю.

Встановлена ймовірність хибного спрацьовування цього засобу захисту унаслідок впливу контакторної комутації силового відгалуження електротехнічного комплексу. З метою перешкодження цьому впливу визнано доцільним запровадити активно-ємнісний фільтр на ввіді ланцюга оперативного струму. Параметри фільтру повинні задовольняти вимогам забезпечення достатньої швидкодії визначення наявності витoku струму на землю і достатнього рівня

зменшення амплітуди оперативного параметру апарата захисту при впливі на схему зовнішнього перехідного процесу контакторної комутації.

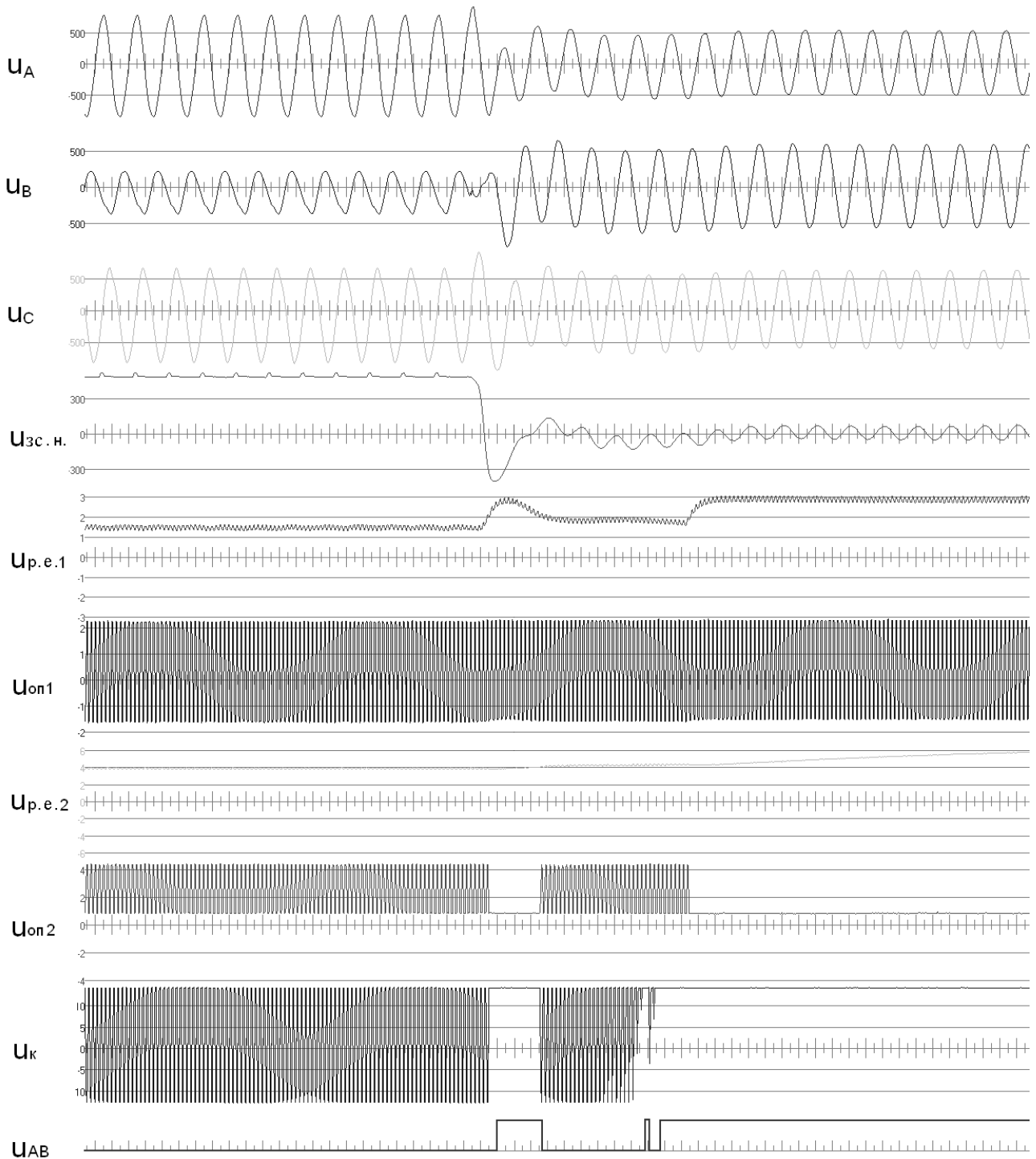


Рис. 5. Експериментальні осцилограми ( $C_c=0,25$  мкФ/фазу,  $R_{i3}=32$  кОм/фазу):  $u_A$ ,  $u_B$ ,  $u_C$  - напруга фаз А, В, С;  $u_{зс. н}$  - напруга зсуву нейтралі;  $u_{р.е.1}$  - напруга на реагуючому елементі АЗУР (1-й канал виміру);  $u_{он1}$  - опорна напруга 1-го каналу виміру АЗУР;  $u_{р.е.2}$  - напруга на реагуючому елементі АЗУР (2-й канал виміру);  $u_{он2}$  - опорна напруга 2-го каналу виміру АЗУР;  $u_K$  - напруга виходу компаратора АЗУР;  $u_{AB}$  - напруга датчика спрацьовування автоматичного вимикача мережі

Визнано доцільним запровадження  $RC$ -ланцюга як засобу зменшення амплітуди оперативного параметру за умови паралельного приєднання окремих  $RC$ -ланок. Проаналізовані показники моделювання перехідних процесів у ланці визначення оперативного параметру апарата АЗУР-5, обумовлених комутацією силового відгалуження, а також створенням ланцюга витoku струму на землю з опором  $R_{вум}=1$  кОм. Визначена достатня кількість ( $n$ )  $RC$ -ланок ( $n=4$ ;  $R=10$  кОм,  $C=1$  мкФ) при утворенні  $RC$ -ланцюга в мережі з напругою 3300 В з опором і ємністю ізоляції у відповідності до діючих нормативів, за умови запобігання хибним спрацьовуванням апарата АЗУР-5 при дотриманні його працездатності. Зіставлення діаграм оперативного параметру апарата АЗУР-5, отриманих при моделюванні, з осцилограмами цього ж параметру, отриманими експериментально, підтвердило повну відповідність теоретичних і експериментальних результатів.

У п'ятому розділі „Обґрунтування технічних заходів із удосконалення засобів регульованої комутації силових відгалужень” виконані обґрунтування і розробки в галузі технічної реалізації результатів досліджень. Зокрема, обґрунтована методика визначення пріоритетності застосування у приєднаннях електротехнічного комплексу засобів регулюємої комутації у відповідності із критерієм підтримання стійкості функціонування дільничних апаратів захисту від витоків струму на землю.

Визначені передумови виникнення автоколивальних процесів в системі „тиристорний регулятор напруги - асинхронний двигун”. З урахуванням тенденцій щодо підвищення споживаного струму при роботі двигуна на штучних механічних характеристиках і збільшення його зворотної ЕРС при споживанні підвищеного струму (в разі, якщо кутова швидкість наближена до номінальної), визначено, що наслідком впливу цієї зворотної ЕРС на роботу тиристорного регулятора напруги є стрибкоподібне збільшення провідності його фаз.

Умови уникнення автоколивань параметрів системи „тиристорний регулятор напруги – асинхронний двигун” в процесі управління уповільненим пуском асинхронного двигуна полягають у визначенні сплеску напруги на ввіді статора двигуна і виконанні двоетапного зменшення заданого кута  $\alpha$  відпирання тиристорів регулятора з прискоренням зменшення величини  $\alpha$  не менш, як 50 ел. град. / с на завершальному етапі розгону, починаючи з моменту появи сплеску напруги. Дане технічне рішення захищене патентом на корисну модель.

## ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі вирішена актуальна науково-практична задача підвищення ефективності експлуатації низьковольтних електротехнічних комплексів технологічних дільниць шахт на основі обґрунтування параметрів і структури технічних засобів запобігання хибному спрацьовуванню апаратів захисту від витоків струму на землю у наслідок впливу перехідних процесів комутації силових приєднань. Основні наукові і практичні результати роботи полягають у наступному.

1. В результаті аналізу стану питання встановлені фактори впливу комутаційного перехідного процесу в електротехнічному комплексі дільниці шахти, що здатні призвести до хибного спрацьовування дільничного апарата захисту від витоків струму на землю. Встановлено, що відомі математичні методи, застосовані у попередніх дослідженнях вищезазначених процесів, дозволяють отримати приблизний характер впливу комутаційних процесів на стійкість роботи апарата захисту від витоків струму на землю і не достатньо враховують сукупність факторів впливу у їх взаємодії. З урахуванням тенденції щодо підвищення номінальної напруги в дільничному електротехнічному комплексі шахти, збільшення довжин та перетинів гнучких кабелів і, як наслідок цього, - збільшення впливу комутаційних процесів стосовно до параметрів електротехнічного комплексу.

2. Дістала експериментального підтвердження адекватність математичної моделі низьковольтного електротехнічного комплексу технологічної дільниці шахти, що базується на використанні диференціальних рівнянь для опису елементів системи і дозволяє виконувати визначення оперативного параметра апарата захисного відключення при комутаціях силових відгалужень з урахуванням впливу параметрів комутаційного перехідного процесу в електротехнічному комплексі дільниці шахти, опору контура “земля” та ізоляції комутуємого силового приєднання, а також імовірнісного характеру горіння електричної дуги між силовими контактами комутаційного апарата.

3. Обґрунтовано методику визначення ймовірності хибного спрацьовування апарата захисту від витоків струму на землю, що враховує конкретні параметри елементів системи, і передбачає використання запропонованої математичної моделі при припущенні про рівномірний розподіл на аналізованому часовому інтервалі моменту виникнення комутації.

4. Обґрунтовано спрощену математичну модель для розрахунку залежності амплітуди струму на реагуючому органі АЗУР-1 (напруги на реагуючому органі АЗУР-4) від параметрів ізоляції дільничного ЕТК в процесі комутації силових приєднань, яка адаптована для поширеного практичного застосування.

5. Встановлений характер впливу перехідного процесу при комутації силового відгалуження дільничного електротехнічного комплексу на процес утворення електричного параметру в контролюючому органі дільничного апарата захисту від витоків струму на землю і доведена ймовірність та встановлені сприятливі умови щодо виникнення хибного спрацьовування захисту від витоків струму на землю внаслідок виникнення комутаційного процесу контакторної комутації силового приєднання. Натомість, встановлено, що регулюєма комутація силового приєднання засобами тиристорного регулювання напруги не створює передумов хибного спрацьовування захисту від витоків струму на землю в діапазоні ємності ізоляції мережі від 0 до 1,5 мкФ/фаза.

6. Обґрунтована і експериментально підтверджена математична модель, яка дозволяє виявити наявність, параметри і встановити фактори впливу щодо виникнення автоколивальних процесів в системі “тиристорний регулятор напруги – асинхронний двигун” під час зміни заданого кута  $\alpha$  відпирання тиристорів регулятора. Обґрунтований спосіб перешкоджання виникненню цих авто-



коливальних процесів полягає у застосуванні двоетапного закону зменшення заданого кута  $\alpha$  відпирання тиристорів із прискоренням зміни  $\alpha$  не менш, ніж до 50 ел. град./с на завершальному етапі розгону двигуна, починаючи з моменту виникнення стрибкоподібного збільшення напруги в мережі статора.

7. Запропоновані методи теоретичного дослідження характеру впливу комутаційних перехідних процесів на величину оперативного параметру апарату захисного відключення запроваджені на ПАТ “Донецький електротехнічний завод” ПрАТ “Донецьксталь - МЗ” при обґрунтуванні структури і параметрів засобу перешкоджання впливу зовнішніх факторів на стійкість проти хибних спрацьовувань апарату захисту від витоків струму на землю типу АЗУР-5, адаптованого для шахтної дільничної мережі з напругою живлення 3300 В.

## ПУБЛІКАЦІ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Маренич К.Н. Коммутационные дугообразования как фактор нарушения стабильности работы аппаратуры защитного отключения потребителей участка шахты / К.Н. Маренич, С.А. Руссиян // Наукові праці Донецького нац. техн. ун-ту. Вип. 101, серія гірничо-електромеханічна. – Донецьк: ДонНТУ, 2005. – С.87-94.

2. Маренич К.Н. О влиянии параметров участковой электросети шахты на устойчивость работы аппарата АЗУР-4 при включении кабельного ответвления / К.Н. Маренич, С.А. Руссиян // Взрывозащищённое электрооборудование: Сб. науч. тр. УкрНИИВЭ. Под ред. В.С. Дзюбана. – Донецк: ООО “Юго-Восток, Лтд.”, 2005. - С.84-88.

3. Маренич К.Н. Процесс отключения ответвления электросети участка шахты при неодновременности пофазной коммутации контактора / К.Н. Маренич, С.А. Руссиян // Наукові праці Донецького нац. техн. ун-ту. Вип. 104, серія гірничо-електромеханічна. – Донецьк: ДонНТУ, 2006. – С. 135-139.

4. Маренич К.Н. Исследование влияния преобразователя частоты на параметры электробезопасности отходящего присоединения в сети участка шахты / К.Н. Маренич, С.А. Руссиян, М.С. Дубинин // Взрывозащищённое электрооборудование: Сб. науч. тр. УкрНИИВЭ. – Донецк: ООО “АИР”, 2009. – С.221-227.

5. Маренич К.Н. О влиянии коммутации ответвления шахтной участковой сети на устойчивость работы аппарата защитного отключения / К.Н. Маренич, С.А. Руссиян // Наукові праці Донецького нац. техн. ун-ту. Вип. 16 (142), серія гірничо-електромеханічна. – Донецьк: ДонНТУ, 2008. – С. 191-197.

6. Маренич К.Н. Исследование влияния переходных процессов при коммутации присоединения в электротехническом комплекса на устойчивость к ложным срабатываниям аппарата АЗУР-4 / К.Н. Маренич, С.А. Руссиян // Праці Луганського відділення Міжнародної академії інформатизації №1 (18) 2009. – Луганськ, 2009. – С. 52-57.

7. Маренич К.Н. Исследование влияния регулируемой коммутации ответвления шахтной участковой сети на устойчивость работы аппарата защитного отключения / К.Н. Маренич, С.А. Руссиян // Наукові праці Донецького нац.

техн. ун-ту. Випуск 12 (113), серія гірничо-електромеханічна. – Донецьк: ДонНТУ, 2006. – С. 186-191.

8. Маренич К.М. Вплив низькочастотної складової напруги перетворювача частоти на роботу апарата захисту в електротехнічному комплексі дільниці шахти / К.М. Маренич, С.А. Руссіян, М.С. Дубінін // Пр. Таврійського держ. агротехнологічного ун-ту. Випуск 9, том 2. – м. Мелітополь, 2009. – С. 82-89.

9. Маренич К.М. Обґрунтування принципу удосконалення способу уповільнення пуску асинхронного електропривода гірничої машини / К.М. Маренич, С.А. Руссіян // Гірнична електромеханіка та автоматика. Науково-технічний збірник. Випуск 84.– Дніпропетровськ: ДГУ, 2010. – С. 160 – 167.

10. Маренич К.М. Дослідження умов порушення стійкості системи „тиристорний регулятор напруги – асинхронний двигун” при керуванні пуском електропривода / К.М. Маренич, С.А. Руссіян // Зб. наук. пр. Інституту електродинаміки. НАН України, Випуск 28.- Київ, 2011.- С. 96-102.

11. Дзюбан В.С. Вплив параметрів дільничної електромережі шахти на стійкість роботи апарата АЗУР-5 при комутації кабельного відгалуження / В.С. Дзюбан, А.В. Горохов, С.А. Руссіян // Наукові праці Донецького нац. техн. ун-ту. Випуск 21 (189), серія гірничо-електромеханічна. – Донецьк: ДонНТУ, 2011. – С. 59-64.

12. Руссіян С.А. Дослідження впливу перехідних процесів на стійкість схеми апарата „АЗУР” проти хибного спрацьовування методами математичного моделювання / С.А. Руссіян, К.М. Маренич // Взрывозащищенное электрооборудование: Сб. науч. тр. УкрНИИВЭ. – Донецьк: ООО «АИР», 2011.- С.62-77.

13. Руссіян С.А. Визначення ймовірності хибного спрацьовування апарата „АЗУР” математичними методами / С.А. Руссіян // Наукові праці Донецького нац. техн. ун-ту. Випуск 21 (183), серія “Обчислювальна техніка та автоматизація” – Донецьк: ДонНТУ, 2011. – С. 40-47.

14. Патент 63443 на корисну модель Україна. МПК<sup>8</sup> H02M7/00. Спосіб управління тиристорним регулятором напруги в пристрої уповільнення пуску асинхронного двигуна / Маренич К.М., Руссіян С.А. заявник Донецький нац. техн ун-т. - № u 2011 02763 заявл. 09.03.2011. Опубл. 10.10.2011. Бюл. 19.

15. Руссіян С.А. Постановка задачи исследования коммутационных процессов в электросети технологического участка шахты / С.А. Руссиян, К.Н. Маренич // Автоматизация технологических объектов та процесів. Пошук молодих. Зб. наукових праць 3-ї міжнародної конференції аспірантів та студентів 14-15. 05. 2003. – Донецьк: ДонНТУ, 2003. - С. 284 – 286.

16. Руссиян С.А. Обоснование схемы устройства регулируемой коммутации асинхронного двигателя / С.А. Руссиян, К.Н. Маренич // Автоматизация технологических объектов та процесів. Пошук молодих. Зб. наукових праць 4-ї міжнародної конференції аспірантів та студентів 11-14. 05. 2004. – Донецьк: ДонНТУ, 2004. - С. 265 – 267.

17. Руссіян С.А. Комутаційний перехідний процес в електротехнічному комплексі дільниці шахти як фактор впливу на параметри дільничного апарату захисту від витоків струму на землю / С.А. Руссіян // «Форум гірників – 2009»:

міжнар. конф., 30.09–03.10.2005р.: матеріали конф. – Дніпропетровськ: Нац. гірничий ун-т, 2009. – С.34-39.

18. Руссиян С.А. Проблематика коммутационных переходных процессов в низковольтной электрической сети технологического участка шахты / С.А. Руссиян // Севергеоэкотех-2004: междунар. молодеж. науч. конф., 17-19. 03. 2004 г.: материалы конф. – Ухта: УГТУ, 2004. – Ч.2 – С. 90-94.

В публікаціях, що написані у співавторстві, здобувачу належить: [1] – створення математичної моделі дільничної електромережі із урахуванням дугоутворення при відключенні контактора; [2, 7, 8, 13] – отримання розрахункової залежності амплітуди напруги на реагуючому органі апарата АЗУР-4 від параметрів ізоляції кабельної мережі; [3] – обґрунтування математичної моделі на основі системи диференціальних рівнянь для опису процесів в дільничній шахтній електромережі при неодноразовій пофазній комутації; [4, 8] – отримання графічних залежностей напруги на реагуючому елементі апарата захисту від витоку струму на землю від частоти вихідної напруги перетворювача частоти; [5] – моделювання зміни амплітуди струму на реагуючому органі апарата АЗУР-1 при поновленні оперативної напруги після відключення загальмованого двигуна; [6, 17] – обґрунтування структури і параметрів лабораторного стенду, аналіз результатів експериментів; [9, 10] – обґрунтування математичної моделі системи “тиристорний регулятор напруги – асинхронний двигун”, [11, 12, 15] – обґрунтування математичної моделі системи; [16] – розробка схеми пристрою регулюємої комутації асинхронного двигуна; [18] – обґрунтування розрахункової схеми заміщення шахтної дільничної електромережі.

Вказані публікації в повній мірі відображають основний зміст дисертації та її наукові положення і відповідають вимогам Атестаційної колегії Міністерства освіти і науки, молоді та спорту України.

## АНОТАЦІЇ

**Руссиян С.А. Обмеження впливу комутаційних процесів на функціонування засобів захисту від витоку струму на землю в електротехнічному комплексі шахтної дільниці. - Рукопис.**

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.09.03 – електротехнічні комплекси та системи. – ДВНЗ «Донецький національний технічний університет», Донецьк, 2012.

У дисертаційній роботі вирішена актуальна науково-практична задача підвищення ефективності експлуатації електротехнічних комплексів технологічних дільниць шахт на основі обґрунтування параметрів і структури технічних засобів запобігання хибному спрацьовуванню апаратів захисту від витоків струму на землю внаслідок впливу перехідних процесів комутації силових приєднань. Зокрема, - отримала подальший розвиток математична модель електротехнічного комплексу технологічної дільниці шахти, що базується на використанні диференціальних рівнянь для опису елементів системи, яка відрізняється можливістю визначення оперативного параметру апарата захисного відключення при комутаціях силових відгалужень з урахуванням сукупності факторів

впливу перехідного процесу і структури схеми вимірювального засобу; отримані функціональні залежності щодо оцінки властивостей процесу комутації силового приєднання створювати передумови хибного спрацьовування апарата захисту від витоків струму на землю, удосконалена структура засобу визначення оперативного параметру на основі застосування *RC*-ланцюга за критерієм усунення впливу контакторної комутації силового приєднання при дотриманні нормативного терміну утворення команди на захисне відключення мережі при виникненні витoku струму на землю; визначені умови порушення стійкості параметрів системи “тиристорний регулятор напруги – асинхронний двигун” при запровадженні регульованої комутації силового приєднання і обґрунтована доцільність дотримання швидкості зменшення заданого кута відпирання тиристорів, не менш, як 50 ел. град / с, на завершальному етапі пуску двигуна за критерієм запобігання виникненню нестійкого стану цієї системи.

**Ключові слова:** електротехнічний комплекс, шахта, ланцюг витoku струму на землю, апарат захисту, хибне спрацьовування, комутація, перехідний процес, диференційні рівняння, електричні параметри, обмеження.

**Руссиян С.А. Ограничение влияния коммутационных процессов на функционирование средств защиты от утечек тока на землю в электротехническом комплексе шахтного участка. - Рукопись.**

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.09.03 – электротехнические комплексы и системы. – ГВУЗ “Донецкий национальный технический университет”, Донецк, 2012.

В диссертационной работе решена научно-практическая задача повышения эффективности эксплуатации низковольтных электротехнических комплексов технологических участков шахт на основе обоснования параметров и структуры технических средств предупреждения ложного срабатывания аппаратов защиты от утечек тока на землю вследствие воздействия переходных процессов коммутации силового присоединения. В частности, получила дальнейшее развитие математическая модель электротехнического комплекса технологического участка шахты, основанная на использовании дифференциальных уравнений для описания элементов системы, которая отличается возможностью определения оперативного параметра аппарата защитного отключения при коммутациях силовых ответвлений с учетом совокупности влияющих факторов коммутационного переходного процесса, а также структуры схемы измерительной цепи.

Принятая в исследовании расчётная схема замещения электротехнического комплекса участка шахты представляет совокупность функционально связанных между собой типовых структурных составляющих с учётом сопротивления между общими точками присоединения активно-ёмкостных сопротивлений изоляции кабельной сети и заземлённой точкой аппарата защиты от утечек тока на землю и стохастического характера величины проводимости электрической дуги при коммутации силового присоединения.

Получены функциональные зависимости относительно оценки свойств процесса контакторной коммутации силового присоединения создавать предпо-

сылки ложного срабатывания аппарата защиты от утечек тока на землю в части повышения амплитуды и продолжительности существования информационного сигнала на реагирующем органе участкового аппарата защиты от утечек тока на землю. В частности, установлена зависимость амплитуды оперативного параметра, формируемого на реагирующем органе аппарата защиты в результате воздействия коммутационного переходного процесса от параметров изоляции кабеля неотключаемой части участковой сети.

Теоретически определены показатели вероятности ложного срабатывания средств защиты от утечек тока на землю и обоснована целесообразность принятия дополнительных мер, препятствующих воздействию коммутационных переходных процессов в участковой сети шахты на устойчивость аппаратов защитного отключения против ложного срабатывания.

Экспериментально в условиях специализированных заводских лабораторий подтверждены результаты теоретических исследований и зафиксированы случаи ложного срабатывания аппаратов защиты от утечек тока на землю, вызванные процессами коммутации силовых присоединений в сети с изолированной нейтралью трансформатора напряжением 660 В. Теоретически установлена и практически подтверждена приемлемость применения устройств регулируемой коммутации на основе тиристорных регуляторов напряжения как средства, не вызывающего ложных срабатываний аппаратов защиты от утечек тока на землю при линейном законе изменения заданного угла отпирания тиристоров.

С целью адаптации к воздействиям со стороны процессов контакторной коммутации силовых присоединений усовершенствована структура средства определения оперативного параметра на основании применения RC-цепи по критерию устранения влияния контакторной коммутации силового присоединения при соблюдении нормативного времени формирования команды на отключение сети при возникновении тока утечки на землю. Предложенная методика и технические решения использованы ПАО «Донецкий электротехнический завод» при разработке аппарата защиты от утечек тока на землю АЗУР-5, адаптированного к электросети участка шахты с напряжением 3300 В.

Исследованы процессы в системе «тиристорный регулятор напряжения – асинхронный двигатель», установлены теоретически и подтверждены экспериментально условия возникновения автоколебаний токов, ЭДС и фактических углов отпирания и проводимости тиристоров регулятора при приближении частоты вращения ротора двигателя к номинальному значению. С целью обеспечения устойчивости параметров системы «тиристорный регулятор напряжения – асинхронный двигатель» при реализации регулируемой коммутации силового присоединения обоснована целесообразность соблюдения скорости уменьшения заданного угла отпирания тиристоров, не менее, чем 50 эл. град / с, на завершающем этапе пуска двигателя. Разработанное техническое решение реализации указанного способа защищено патентом на полезную модель.

**Ключевые слова:** электротехнический комплекс, шахта, цепь утечки тока на землю, аппарат защиты, ложное срабатывание, коммутация, переходный процесс, дифференциальные уравнения, электрические параметры, ограничение.

**Russijan S.A. Restriction the impact of switching processes on the operation of electrical mining complex plot. – Manuscript.**

Thesis for a Candidate of technical science on speciality 05.09.03 - Electrotechnical complexes and systems. - Donetsk National Technical University, Donetsk, 2012.

In dissertational work the scientifically-practical problem of increase of efficiency of operation of electrotechnical complexes of technological sites of mines on the basis of a substantiation of parametres and structure of means of the prevention of false operation of devices of protection against leaks of a current on the earth owing to influence of transients of switching of power joining is solved. In particular, the mathematical model of an electrotechnical complex of a technological site of the mine, based on use of the differential equations has had the further development. For the description of elements of system which differs possibility of definition of operative parametre of the device of protective switching-off at коммутациях power branches taking into account set of factors of influence of switching transient, and also structure of the scheme of a measuring chain; functional dependences concerning an estimation of properties of process of switching of power joining are received to create preconditions of erroneous operation of the device of protection against leaks of a current on the earth, the structure of means of definition of operative parametre on the basis of application RC - chains by criterion of elimination of influence контакторной switching of power joining at observance of a standard time of formation of a command on protective switching-off of a network at occurrence of a current of leak on the earth is improved; conditions of infringement of stability of parametres of system «the thyristor regulator of voltage – the asynchronous engine» are certain at introduction of adjustable switching of power joining and the expediency of observance of speed of reduction of the set corner of unlocking of thyristors, not less, as 50 electric degrees/second at the closing stage of start-up of the engine by criterion of prevention of occurrence of an unstable condition of this system are proved.

**Keywords:** mining electrical complex, circuit leakage to ground, device of protection, false alarm, switching, transition process, differential equations, electrical parameters, restriction.