

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

МАРЕНИЧ КОСТЯНТИН МИКОЛАЙОВИЧ

УДК 622.012.2:621.316

**РОЗВИТОК ТЕОРІЇ І ПРИНЦИПІВ ПОБУДОВИ ЗАСОБІВ
ЗАХИСНОГО ЗНЕСТРУМЛЕННЯ СУЧАСНИХ РУДНИКОВИХ
ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНИХ КОМПЛЕКСІВ**

Спеціальність 05.09.03 – Електротехнічні комплекси та системи

АВТОРЕФЕРАТ
дисертації на здобуття наукового ступеня
доктора технічних наук

Донецьк – 2014

Дисертацією є рукопис.

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

Науковий консультант: доктор технічних наук, професор
Сивокобиленко Віталій Федорович,
ДВНЗ «Донецький національний технічний
університет»,
завідувач кафедри «Електричні станції»

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Колосюк Володимир Петрович,
Державний Макіївський науково-дослідний інститут
з безпеки робіт у гірничій промисловості
(МакНДІ, м. Макіївка),
головний науковий співробітник;

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

доктор технічних наук, професор
Сінчук Олег Миколайович,
ДВНЗ «Криворізький національний університет»
(м. Кривий Ріг),
завідувач кафедри «Автоматизовані електромеханічні
системи в промисловості та транспорті».

Захист відбудеться « » квітня 2014 р. о 13³⁰ 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. 8514.

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці ДВНЗ „Донецький національний технічний університет”
(83001, м. Донецьк, вул. Артема, 58, II навчальний корпус).

Автореферат розісланий « » _____ 2014 р.

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

А.М. Ларін

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Значна складова енергоємних виробництв в промисловому секторі економіки України обумовлює необхідність наявності відповідних енергетичних ресурсів, найважливішим з яких є кам'яне вугілля. Отже, вугільна промисловість є стратегічно важливою галуззю, що визначає енергетичну незалежність і самодостатність держави.

Тенденцією сьогодення є підвищення потужності електромеханічного устаткування технологічних установок гірничих підприємств, що потребує застосування більш потужних приводних асинхронних двигунів (АД), комплектних трансформаторних підстанцій (КТП), кабелів збільшених перетинів і довжин, переведення дільничних електромереж на напругу живлення підвищеного номінального рівня (1140 В, або 3300 В). Однак, все це обумовлює підвищення потужностей енергетичних потоків у рудникових дільничних електротехнічних комплексах (ЕТК), наслідком чого є збільшення параметрів небезпеки (величина струму та його тривалість) в колах міжфазного короткого замикання, дугоутворення, а також в колі витоку струму на землю. Широке використання гнучких кабелів (з обмеженими параметрами механічної міцності) для електроживлення нестационарного устаткування в умовах шахти обумовлює високу ймовірність виникнення вказаних аварійних і небезпечних станів.

Структура шахтних дільничних ЕТК підпорядкована загальному принципу, згідно з яким напруга високого рівня перетворюється до рівня номінальної напруги дільничної мережі безпосередньо в місці розташування розподільчого пункту і подається до АД споживачів за допомогою кабельних ліній, що підключені за радіальною схемою і комутуються контакторами пускачів, або напівпровідниковими регуляторами. При цьому, в разі виникнення аварійного або небезпечного стану, функція засобів струмового захисту і захисту від витоку струму на землю полягає у відокремленні енергетичного потоку КТП від мережі ЕТК, що є захисним відключенням напруги живлення.

Практика експлуатації свідчить, що захисна дія вказаних засобів не є достатньою, оскільки стан мережі дільничного ЕТК шахти після відключення напруги живлення певний час визначатиметься параметрами зворотних енергетичних потоків АД споживачів. Це обумовлює доцільність запровадження автоматичного захисного двобічного знеструмлення мережі, що потребує додаткових досліджень і передбачає удосконалення структури схеми електротехнічного комплексу шахтної дільниці.

Враховуючи на тенденцію підвищення потужності рудникового електромеханічного устаткування сучасних гірничих підприємств і перспективних виробництв, слід мати на увазі, що ознакою найближчої перспективи має бути широке застосування високопотужних АД (з підвищеними постійними часу зворотних ЕРС) як приводних машин електромеханічних технологічних установок шахтних дільниць, що, у свою чергу, передбачатиме перевід дільничних електромереж на підвищені рівні номінальної напруги (1140 В; 3300 В), застосування кабелів підвищених перетинів і довжин (підвищення ємності ізоляції дільничних електромереж). З одного боку, це обумовлює доцільність дослі-

дження параметрів захисних засобів в умовах впливу перехідних процесів при комутації приєднань з підвищеними рівнями ємності ізоляції в контексті визначення ймовірності і запобігання хибному спрацьовуванню захисту. З іншого боку в умовах застосування високопотужних технологічних установок характерною ознакою аварійних станів шахтних дільничних ЕТК буде прискорення досягнення струмом мережі величини, що являє небезпеку електроураження або спалаху устаткування. Це обумовлює наукову і практичну актуальність досліджень в контексті розвитку теорії і принципів побудови засобів прискорення захисного знеструмлення сучасних рудникових електротехнічних комплексів.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Робота відповідає науковому напрямку діяльності кафедри “Гірнична електротехніка і автоматика ім. Р.М. Лейбова” ДВНЗ „ДонНТУ”. Автор безпосередньо керував виконанням науково-дослідницьких тем № Н17-95 „Дослідження процесів і розробка принципів удосконалення автоматизованого електропривода гірничих машин на основі застосування тиристорних комутаторів”; № 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”, № Н 4–09 «Наукове обґрунтування технічних рішень підвищення ефективності і безпеки експлуатації електротехнічних комплексів енергоємних виробництв».

Мета і задачі досліджень. Метою дослідження є підвищення ефективності експлуатації сучасних рудникових дільничних електротехнічних комплексів на основі розвитку теорії і принципів побудови їх захисного знеструмлення.

Для досягнення цієї мети мають бути вирішені наступні задачі:

- виконати аналіз улаштування шахтних дільничних електротехнічних комплексів, включаючи структуру, особливості експлуатації і технічні характеристики силових комутаційних засобів і засобів захисту в діалектиці їх удосконалення з метою визначення особливостей прояву аварійних і небезпечних станів шахтних дільничних електромереж, включаючи вплив комутаційних процесів і опорів ізоляції силових приєднань і зворотних енергетичних потоків асинхронних двигунів на параметри шахтних дільничних електромереж;

- обґрунтувати методи аналітичного і математичного моделювання динамічного стану багатомашинного електротехнічного комплексу шахтної дільниці на основі урахування станів і взаємовпливу його структурних складових шляхом представлення їх параметрів системами диференційних рівнянь;

- визначити умови утворення небезпеки електроураження людини від зворотних енергетичних потоків асинхронних двигунів, включаючи трансформаторні ЕРС від відключених статорів працюючих двошвидкісних електричних машин;

- визначити властивості зворотних енергетичних потоків асинхронних двигунів стосовно підтримки небезпечного стану в колах підвищеної міжфазної провідності після захисного відключення напруги живлення дільничної мережі;

- обґрунтувати принципи і технічні рішення щодо визначення пошкодження ізоляції кабеля живлення асинхронного двигуна технічними засобами,

не підпорядкованими впливу зовнішнього захисту і діючими безпосередньо з боку силових приєднань статора двигуна;

- обґрунтувати принцип запровадження захисного знеструмлення шахтного дільничного електротехнічного комплексу на основі відокремлення від його електромережі всіх розгалужених джерел енергетичних потоків і запропонувати технічні рішення по удосконаленню його схеми.

Об'єктом дослідження є процеси в електротехнічному комплексі шахтної технологічної дільниці в штатних та аварійних режимах його функціонування, включаючи стани після відключення напруги живлення.

Предмет дослідження – динамічні процеси в електротехнічному комплексі шахтної дільниці і принципи побудови засобів захисту.

Методи досліджень. Теоретичні дослідження виконані з використанням загальної теорії електричних кіл, теорії перехідних процесів в електричних мережах і машинах, метода просторового вектора і методів математичного моделювання.

Достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій доведена обґрунтованістю прийнятих припущень, використанням апробованих методів теоретичних досліджень, планування експериментів та аналізу їх результатів, встановленням адекватності результатів теоретичних досліджень експериментальним даним.

Ідея роботи полягає в удосконаленні структури шахтних дільничних електротехнічних комплексів за критерієм мінімізації впливу енергетичних потоків при виникненні аварійних або небезпечних станів силових приєднань на основі запровадження автоматичного двобічного захисного знеструмлення дільничної електромережі шляхом відокремлення зворотних енергетичних потоків асинхронних двигунів при використанні виконавчих і вимірювальних засобів захисту безпосередньо в приєднаннях їх статорів і діючих без підпорядкування керуючому впливу з боку зовнішнього захисного засобу.

Наукова новизна отриманих результатів:

В дисертаційній роботі вирішена важлива *науково-технічна проблема* підвищення ефективності функціонування шахтних дільничних електротехнічних комплексів на основі розвитку теорії і методів визначення параметрів їх аварійних і небезпечних станів та принципів удосконалення їх захистів з урахуванням тенденцій підвищення потужності рудникових електромеханічних установок. Новизну роботи відображають наступні наукові результати, що виносяться на захист:

- удосконалений метод математичного моделювання процесів в шахтному дільничному електротехнічному комплексі, обумовлених комутаціями силових приєднань та утворенням кіл витоку струму на землю, який відрізняється представленням об'єкту системою розгалужених: джерел енергетичних потоків; опорів ізоляції силових приєднань; провідностей в контурі „земля” з урахування конфігурації мережі до та після відключення напруги живлення;

- встановлений характер протікання перехідних процесів в структурних візгалуженнях шахтного дільничного електротехнічного комплексу, в тому чи-

слі, викликаних комутаціями силових приєднань, в залежності від активно-ємнісних параметрів ізоляції розгалуженої мережі;

- вперше обґрунтовані методи розрахунку і аналізу струму та кількості електрики як електроуражуючих факторів в колі витoku на землю у багатомашинному електротехнічному комплексі шахтної дільниці з урахуванням впливу зворотних енергетичних потоків після відключення напруги живлення;

- удосконалений принцип захисту від аварійних станів і небезпек шахтного дільничного електротехнічного комплексу, що полягає в знеструмленні його мережі відокремленням від неї розгалужених джерел зворотних енергетичних потоків на основі визначення однополярної провідності обмеженої тривалості в додатково утвореному напівпровідниково-ємнісному колі між статором кожного асинхронного двигуна споживача та контуром „земля”.

Практичне значення отриманих результатів полягає у наступному.

1. Запропонований метод структурного представлення і моделювання процесів у шахтному дільничному електротехнічному комплексі дозволяє визначати його параметри з урахуванням взаємного впливу динамічних станів структурних складових, включаючи вплив енергетичних потоків розгалужених джерел після захисного відключення напруги живлення дільничної мережі.

2. Запропоновані принципи удосконалення шахтного дільничного електротехнічного комплексу є базовими для створення засобів захисного знеструмлення мережі шляхом відокремлення зворотних енергетичних потоків, адаптованих для використання безпосередньо в приєднаннях статорів асинхронних двигунів споживачів і реагуючих на утворення аварійних або небезпечних станів кабелів живлення без підпорядкування керуючому впливу зовнішнього захисного засобу.

3. Запропоновані технічні рішення із адаптації функції двобічного захисного знеструмлення дільничної мережі до випадку виникнення міжфазного дугоутворення в кабелі живлення асинхронного двигуна і варіанти технічних рішень із підвищення швидкодії максимального струмового захисту.

4. Визначені властивості мережі живлення працюючого двошвидкісного асинхронного двигуна стосовно утворення небезпеки електроураження у кабелі відключеного статора і запропоновані засоби із поширення функції захисту від витоків струму на землю та двобічного захисного знеструмлення мережі на утворення кола витoku струму на землю в приєднанні відключеного статора, включаючи стан вільного вібiгу двигуна.

5. Визначені умови застосування і обґрунтований принцип управління примусовим відключенням контактора магнітного пускача як додатковий захисний захід при здійсненні відокремлення зворотних енергетичних потоків асинхронних двигунів від місця виникнення витoku струму на землю, або міжфазної підвищеної провідності.

6. В контексті розгляду заходів сприяння стійкості проти хибного спрацьовування засобів захисного відключення дільничної шахтної електромережі удосконалений спосіб керованої комутації АД за критерієм перешкоджання виникненню нестійких станів системи „тиристорний регулятор напруги – асинхронний двигун”.

Наукові та практичні результати дисертаційного дослідження у вигляді наукових обґрунтувань і розробки технічних рішень прийняті Українським науково-дослідним і проектно-конструкторським інститутом вибухозахисного електроустаткування (УкрНДІВЕ) для запровадження при проектуванні нових серій вибухозахисених комутаційних апаратів захисту та управління і спеціальних силових комутаційних засобів захисного відокремлення зворотних енергетичних потоків асинхронних двигунів.

Результати досліджень впроваджені в навчальний процес в ДВНЗ «Донецький національний технічний університет» як основа навчального курсу „Автоматичний захист електроустаткування шахт від аварійних станів і небезпек” і викладені у відповідному навчальному посібнику, якому надано гриф Міністерства освіти і науки України (лист №1/11-10190 від 17.06.2013 р.).

Особистий внесок здобувача. Наукові положення, що містяться в дисертації, отримані здобувачем самостійно і полягають у розв’язанні науково-технічної проблеми підвищення ефективності функціонування шахтних дільничних електротехнічних комплексів на основі розвитку теорії і методів визначення параметрів їх аварійних і небезпечних станів та принципів удосконалення їх захистів з урахуванням тенденцій підвищення потужності рудникових електромеханічних установок. Здобувачем розроблені концептуальні положення теорії захисного знеструмлення силових приєднань методом двобічного синхронного відокремлення енергетичних потоків електромережі шахтної дільниці і принципи удосконалення структури рудникового дільничного ЕТК на основі застосування додаткових автономно діючих захисних засобів з боку силових приєднань АД споживачів; обґрунтування заходів із поліпшення функціональних властивостей захисних засобів в структурі комплектних трансформаторних підстанцій і силових комутаційних апаратів шахтних дільничних електромереж. Розроблені принципові положення із удосконалення математичних і комп’ютерних моделей дослідження перехідних процесів в електричних мережах шахтних дільниць з представленням об’єкта як багатомашинного електротехнічного комплексу, з урахуванням сукупного впливу зворотних енергетичних потоків від розгалужених джерел, включаючи АД в стані вибігу, стохастичного закону відключення засобів комутації силових приєднань в процесі відключення напруги живлення мережі і відокремлення через це впливу активно-емнісних провідностей ізоляції окремих відгалужень на величини електричних параметрів в мережі шахтного дільничного електротехнічного комплексу.

Апробація результатів роботи. Основні положення дисертаційної роботи доповідались, обговорювались та отримали схвалення на Міжнародній науково-практичній конференції «Гірнична енергомеханіка та автоматика» (Донецьк, 2006 р. ÷ 2013 р.), Міжнародній науковій конференції «Математичні методи в техніці та технологіях» (Ростов-на-Дону, 2003 р.; Казань, 2005 р., Воронеж, 2006 р., Саратов, 2008р.), Міжнародних науково-технічних конференціях „Форум гірників” (Дніпропетровськ, 2005р.; 2007 р.); міжнародних науково-технічних конференціях „Контроль і управління в складних системах” (Вінниця, 2002 р., 2005 р.); II Міжнародній науково-технічній конференції „Актуальні проблеми водного господарства та природокористування” (Рівне, 2007 р.); Мі-

жнародній конференції з автоматичного управління «Автоматика» (Одеса, 2008р.); Міжнародній науково-технічній конференції "Проблеми енергетики і прикладної біофізики в АПК" (Мелітополь, 2013 р.); Міжнародних науково-технічних конференціях „Керування режимами роботи об’єктів електричних та електромеханічних систем” (Донецьк, 2013 р.), „Сучасні проблеми систем електропостачання промислових та побутових об’єктів” (Донецьк, 2013 р.).

Публікації. Основні положення дисертації опубліковані у 51 друкованій праці, із них 4 – у монографіях; 46– у фахових виданнях України (з яких 5 наукових праць - у виданнях, що включені до науково-метричних баз інших країн), у тому числі: 4 – у наукових журналах, 32 – у збірниках наукових праць, 7 патентів України на винаходи, 3 патенти України на корисні моделі.

Структура і обсяг дисертації. Дисертаційна робота складається з вступу, 5 розділів, загальних висновків, переліку використаних літературних джерел і 3 додатків. Дисертаційна робота містить 266 сторінок наскрізної нумерації, у тому числі – 149 рисунків, з них 33 рисунки на 26 окремих сторінках, 13 таблиць, список використаних джерел із 135 найменувань на 17 сторінках і 3 додатки на 4 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

Перший розділ дисертації „Загальний аналіз аварійних і небезпечних станів електроустаткування технологічних комплексів шахти і властивостей засобів захисту” висловлює стан питання в контексті обґрунтування актуальності наукової проблеми, постановки мети і задач дослідження. Проаналізовані принципи побудови типових ЕТК, включаючи схемні рішення і функціональні характеристики окремих структурних складових. Визначена несприятливість умов експлуатації гнучких кабелів в складі шахтних дільничних електромереж щодо дотримання безпечного стану електроустаткування, що підтверджується аналізом досліджень профільних НДІ (зокрема, МакНДІ) щодо причин, кількісних показників і наслідків аварійних станів силового електричного устаткування шахтних ЕТК.

Аналіз принципів захисту низьковольтного силового електроустаткування шахт дозволяє визначитися у наступному:

- небезпека міжфазного короткого замикання (к.з.) на сьогодні розглядається, як правило, в контексті утворення впливової функції енергетичного потоку комплектної трансформаторної підстанції живлення ЕТК;
- засоби максимального струмового захисту відпрацьовують функцію порівняння струму в приєднання, яке захищається, із струмом уставки, що не є найшвидшим способом формування команди на захисне відключення мережі;
- засоби максимального струмового захисту шахтних силових комутаційних апаратів налаштовуються на струм, що перевищує величину пускового струму двигунів відповідних споживачів і не спроможні реагувати на міжфазні дугоутворення;
- додатковим захисним заходом може вважатися струмообмеження кола к.з. Прикладом його застосування є запровадження шахтного гнучкого шес-

тижильного трифазного кабелю КГЕШусПБ з просторовим розщепленням окремих фаз;

- виникнення кіл витоку струму на землю (через торкання людиною фаз мережі) є ймовірним небезпечним станом ЕТК шахтних дільниць і потребує спеціального захисту. Відповідно до положень ГОСТ 22929-78, інших нормативних документів, захист від витоків струму на землю є обов'язковою умовою експлуатації всіх установок шахтних дільничних ЕТК. Нормованими параметрами є: максимально припустима кількість електрики в колі витоку струму на землю – 50 мА·с; максимальна ємність ізоляції мережі – 1.0 мкФ/фазу; опір спрацьовування захисту в мережі 660 в – 30 кОм/фазу, в мережі 1140 в – 60 кОм/фазу; стійкість проти хибного спрацьовування при комутації приєднання з ємністю ізоляції до 0,15 мкФ/фазу (включно).

Аналіз заходів із захисту від витоків струму на землю, виконаний в діалектиці розвитку теорії електробезпеки (дослідження Р.М. Лейбова, В.С. Дзюбана, В.П. Колосюка, Ф.П. Шкрабця; Г.Г. Півняка, Є.О. Вареника; В.М. Савицького та ін.) дозволяє визначитись у тому, що функція захисту від електроураження поширюється на трифазні електромережі промислової частоти, приєднання з живленням від джерел постійного струму, трифазні комбіновані мережі з перетворювачами частоти. При цьому, дотримання нормативних показників безпеки від електроураження забезпечується комплексом захисних заходів, включаючи визначення кола витоку струму на землю; захисне відключення напруги живлення мережі; струмообмеження кола витоку (компенсація ємності ізоляції мережі); обмеження тривалості струму в колі витоку на землю. Захисна функція короткозамикача пошкодженої фази в цьому разі поширюється на всі силові приєднання доки вони не будуть від'єднані в процесі відключення проміжних силових комутаційних засобів.

Однак, впливова дія існуючих захистів електроустаткування шахтних дільничних ЕТК полягає у відключенні напруги живлення через відокремлення від мережі енергетичного потоку КТП і не виключає продовження небезпечного стану ЕТК внаслідок впливу зворотних енергетичних потоків АД споживачів. Спроба запровадження у попередні роки (розробки ІГС ім. О.О. Скочинського) швидкодіючого струмового захисту шляхом закорочування силових ввідів АД показала неприйнятність підпорядкування виконавчих засобів в приєднаннях статорів АД впливу зовнішнього пристрою струмового захисту і у подальшому не знайшла продовження у дослідженнях і удосконаленнях розробок.

Аналіз структури системи електропостачання шахтної дільниці дозволяє віднести цей об'єкт до багатомашинних складних промислових електротехнічних комплексів, в яких АД споживачів після відключення напруги живлення, утворюючи зворотні ЕРС, здатні впливати на тривалості ввімкненого стану контакторів пускачів (рис.1), утворювати струми в силових приєднаннях і підтримувати їх аварійні і небезпечні стани в разі їх виникнення.

Тенденція щодо підвищення потужностей електромеханічного обладнання шахт (що поширюється на параметри сучасних і перспективних ЕТК) обумовлює підсилення небезпеки зворотних енергетичних потоків розгалуженої системи АД споживачів і актуальність розробки і запровадження

більш досконалих методів комплексного дослідження складних електротехнічних об'єктів, запровадження заходів із підвищення швидкодії захисного знеструмлення шахтних дільничних промислових електротехнічних комплексів на основі удосконалених методів захисту. З урахуванням викладеного, обґрунтовані актуальність проблеми, мета і задачі дослідження.



Рисунок 1— Осцилограми фазної напруги на вході (u_{c1}) і виході (u_{c2}), масштаб амплітуд зменшено) контактора пускача, струму витoku ($i_{вum}$) на землю в процесі захисного відключення приєднання з асинхронним двигуном потужністю 120 кВт в мережі 660 В

У другому розділі „Удосконалення методів математичного моделювання в контексті дослідження перехідних процесів при комутації силових відгалужень дільничного електротехнічного комплексу шахти” висвітлено принципи удосконалення методів дослідження динамічних станів електричних параметрів шахтних дільничних ЕТК і надані приклади запровадження цих методів при дослідженні параметрів структурних складових електромережі шахтної технологічної дільниці в умовах впливу перехідних процесів комутації силових відгалужень.

Враховуючи на функціональну обмеженість поширених у попередні роки операторних методів при моделюванні електротехнічних об'єктів, складність структури шахтного дільничного ЕТК як об'єкта дослідження і наявність в ньому сукупності джерел енергетичних потоків, інших факторів впливу, обґрунтована доцільність представлення розрахункової схеми ЕТК сукупністю розгалужених структурних складових: опорів ізоляції силових кабельних приєднань; провідностей контуру „земля”; джерел енергетичних потоків при врахуванні структур вимірювально-реагуючих органів апаратів захисного відключення (АЗ), станів виконавчих пристроїв засобів комутації силових відгалужень (рис. 2, рис. 3). При цьому, модель має враховувати динамічний стан параметрів кожного структурного елемента шляхом представлення його системою диференціальних рівнянь (табл. 1), що дозволяє визначати характер зміни електричних параметрів в об'єкті з урахуванням взаємного впливу структурних складових.

Встановлено, що основним джерелом впливу контакторної комутації силового відгалуження на схему вимірювально-реагуючого органу АЗ є утворення короткочасного імпульсу напруги між нульовою точкою вторинної обмотки

трансформатора КТП і контуром „земля”, що створює умови для короткочасного підвищення оперативного параметру реагуючого органу.

Функціональні можливості запропонованого підходу в удосконаленні методів досліджень складних промислових ЕТК визначені на прикладі дослідження впливу процесів комутації силового приєднання в контексті встановлення умов хибного спрацьовування АЗ. Встановлено, що ймовірність хибного спрацьовування АЗ виникає при його функціонуванні в умовах контакторних комутацій приєднань з ємностями ізоляції, що перевищують нормовані показники (максимальна ємність ізоляції мережі – 1.0 мкФ/ фазу; максимальна ємність ізоляції приєднання, що комутується – 0,15 мкФ/фазу), що було підтверджено експериментально. Стохастичний характер формування амплітуди оперативного параметру обумовлений величинами миттєвих значень фазних напруг мережі в момент комутації (рис. 4). В умовах застосування споживачів підвищеної потужності існує ймовірність використання кабелів із збільшеними ємностями ізоляції, що потребує вживання заходів запобігання хибному спрацьовуванню апарата захисту від витоків струму на землю.

Доведена доцільність використання запропонованого методу досліджень для визначення характеристик вимірювально-реагуючого органу АЗ в процесі коригування його схеми та параметрів. Визначена сприятливість регульованої комутації силового відгалуження щодо дотримання показників стійкості АЗ проти хибних спрацьовувань. Водночас, уточнені умови виникнення нестійких станів системи „тиристорний регулятор напруги – асинхронний двигун” (ТРН-АД) і обґрунтований удосконалений спосіб управління тиристорами цієї структури при виконанні уповільненого пуску двигуна. Спосіб полягає в прискоренні (не менш, як 50 ел. град/с) зменшення кутів відпирання тиристорів ТРН, на завершальному етапі пуску двигуна, починаючи з моменту самовільної зміни провідності тиристорів регулятора.

Запропонований метод дослідження може бути поширений на всю сукупність динамічних станів складного, багатомашинного електротехнічного комплексу шахтної дільниці, включаючи урахування взаємного впливу сукупності розгалужених джерел енергетичних потоків.

У третьому розділі „Зворотні енергетичні потоки асинхронних двигунів як фактор підвищення небезпеки електроураження в умовах експлуатації шахтних дільничних електротехнічних комплексів” визначена здатність зворотних енергетичних потоків асинхронних двигунів споживачів шахтних дільничних електротехнічних комплексів в контексті створення електроуражуючого впливу на людину. Рішення задач розділу базується на удосконаленні принципів аналізу і математичного моделювання динамічних станів електричних параметрів складних електротехнічних об’єктів на основі врахування станів розгалужених джерел енергетичних потоків (якими є АД споживачів в режимі вибігу), їх впливу на стани і параметри структурних складових ЕТК після відключення напруги живлення.

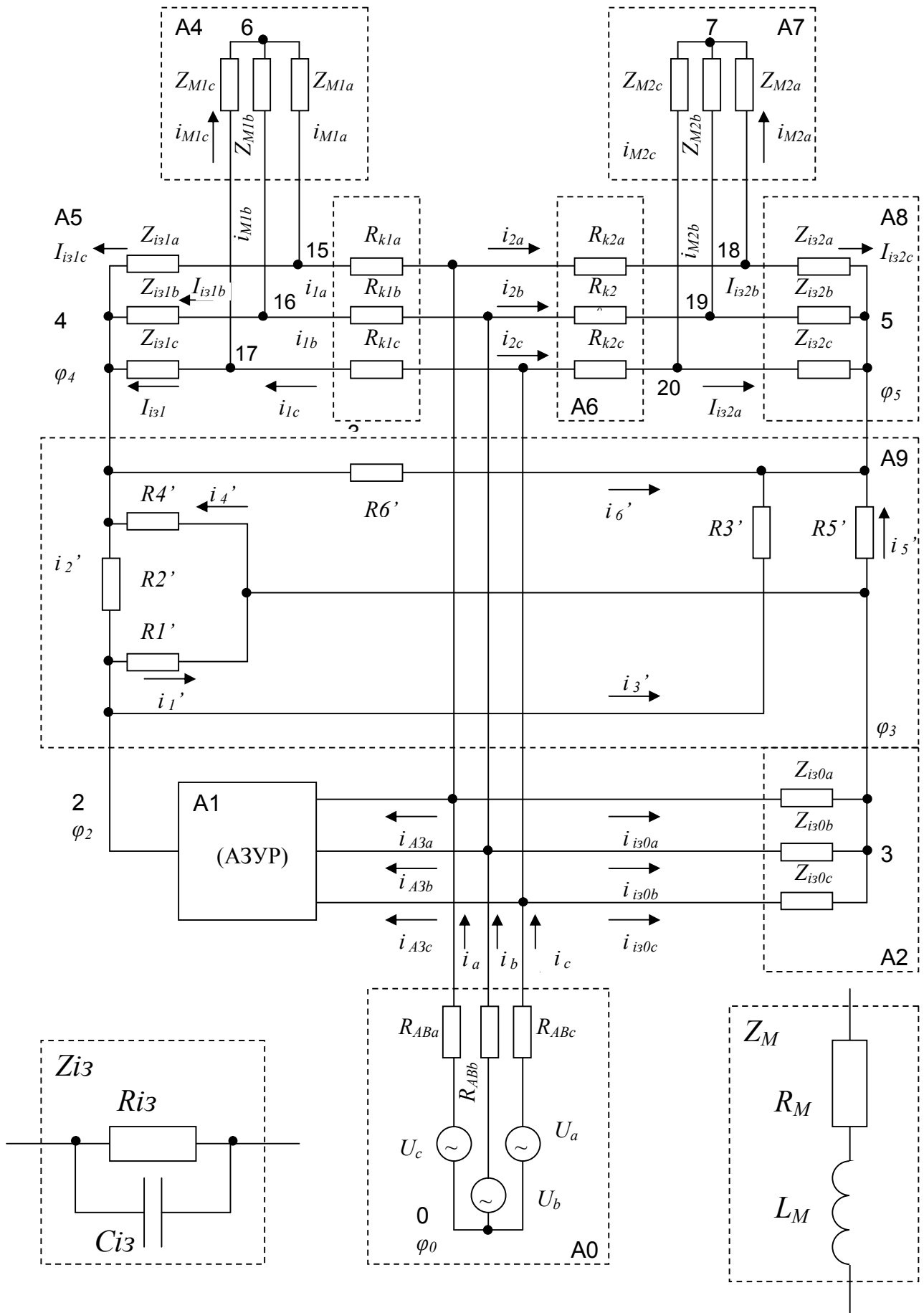


Рисунок 2 – Схема заміщення шахтного дільничного електротехнічного комплексу з урахуванням розгалуженості структури

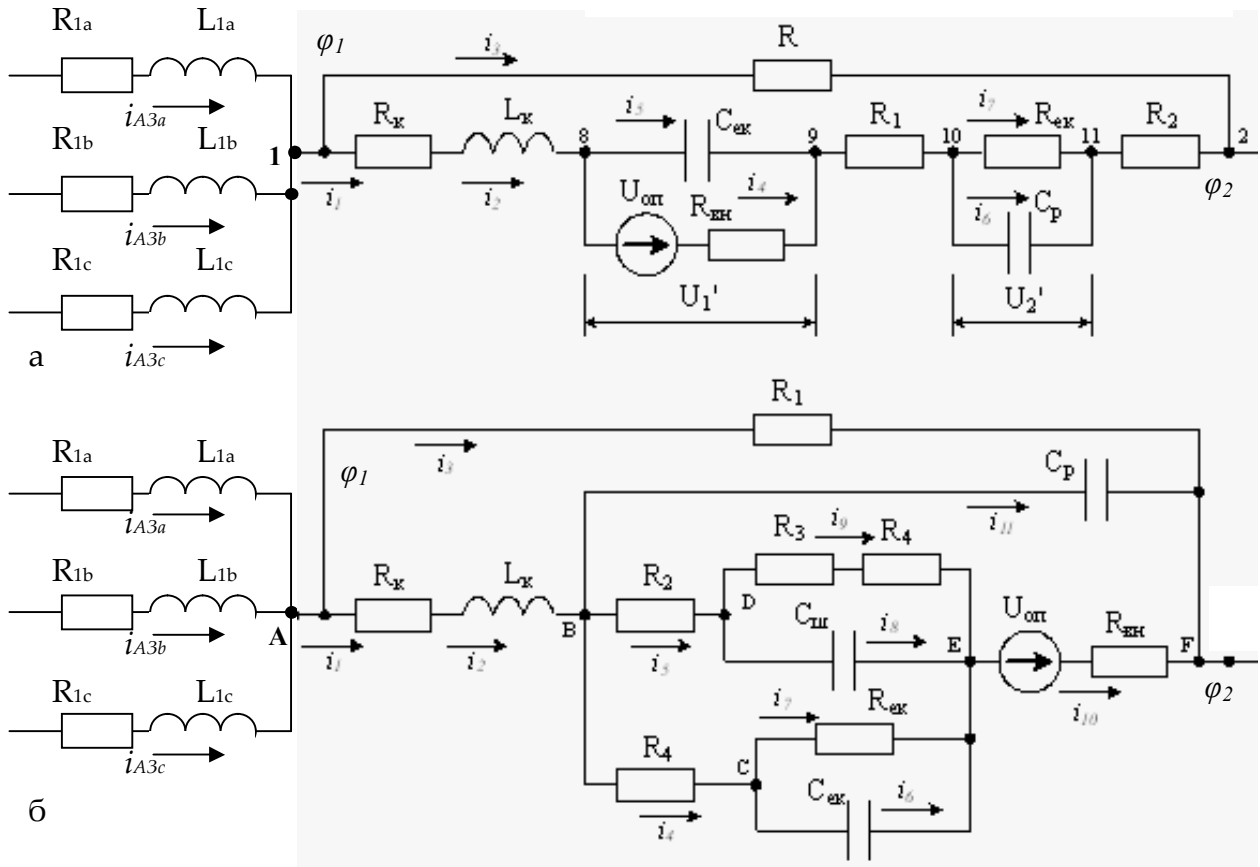


Рисунок 3 – Структури схем апаратів захисту від витоків струму на землю АЗУР-1 (а) і АЗУР-4 (б) в схемі заміщення шахтного дільничного електро-технічного комплексу (рис.2.4). $C_{ек}$ - еквівалентна ємність, $R_{ек}$ - еквівалентний опір

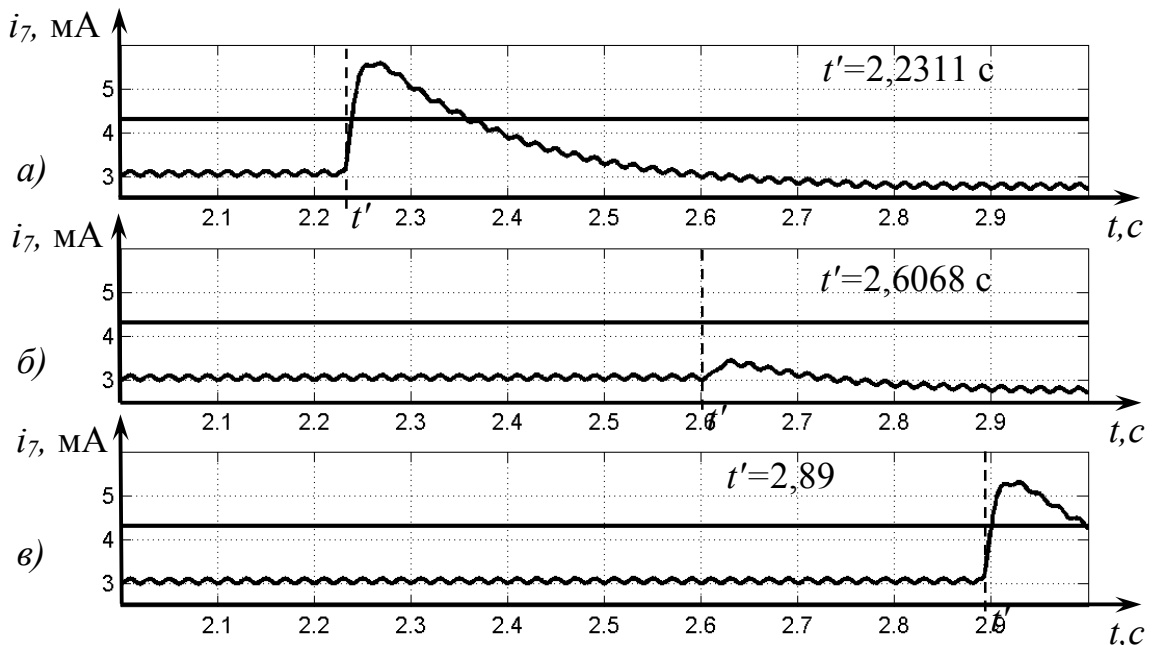


Рисунок 4 - Діаграми струму через вимірювальний елемент АЗУР-1 при випадкових моментах відключення комутаційного апарата першого відгалуження, отримані шляхом моделювання:

а - $t' = 2,2311$ с, $i_{7max} = 5,58$ мА; б - $t' = 2,6068$ с, $i_{7max} = 3,45$ мА;
 в - $t' = 2,8913$ с, $i_{7max} = 5,30$ мА;

Таблиця 1 - Послідовність обчислень при визначенні параметрів i_{A3a} та i_{A3b} (рис. 3, а) – складова математичної моделі дослідження параметрів дільничного електротехнічного комплексу в умовах впливу комутаційних перехідних процесів

№ кроку обчислень	Найменування параметру	Функціональні залежності
1	Падіння напруги між вузлами 0 і 1 схеми заміщення (рис. 2; рис. 3,а)	$\begin{cases} u_{01} = -u_a + u_{ABa} + u_{Ta}; \\ u_{01} = -u_b + u_{ABb} + u_{Tb}; \\ u_{01} = -u_c + u_{ABc} + u_{Tc}, \end{cases} \quad (1)$ <p>де u_a, u_b, u_c – фазні напруги джерела живлення дільничної мережі</p>
2	Напруги u_{Ta}, u_{Tb}, u_{Tc} на фазах дроселя приєднання АЗ	$\begin{cases} u_{Ta} = (u_a - u_{ABa}) + u_{01}; \\ u_{Tb} = (u_b - u_{ABb}) + u_{01}; \\ u_{01} = -u_c + u_{ABc} + u_{Tc}. \end{cases} \quad (2)$
		$\begin{cases} u_{Ta} = i_{A3a} R_{Ta} + L_{Ta} \frac{di_{A3a}}{dt}; \\ u_{Tb} = i_{A3b} R_{Tb} + L_{Tb} \frac{di_{A3b}}{dt}; \\ u_{Tc} = i_{A3c} R_{Tc} + L_{Tc} \frac{di_{A3c}}{dt}, \end{cases} \quad (3)$
3	Фазні струми i_{A3a} та i_{A3b}	$\begin{cases} \frac{di_{A3a}}{dt} = \frac{u_{Ta} - i_{A3a} R_{Ta}}{L_{Ta}}; \\ \frac{di_{A3b}}{dt} = \frac{u_{Tb} - i_{A3b} R_{Tb}}{L_{Tb}}; \end{cases} \quad (4)$ $\begin{cases} i_{A3a} = \int \frac{u_{Ta} - i_{A3a} R_{Ta}}{L_{Ta}} dt + i_{A3a}(0); \\ i_{A3b} = \int \frac{u_{Tb} - i_{A3b} R_{Tb}}{L_{Tb}} dt + i_{A3b}(0). \end{cases} \quad (5)$

Представлення дільничного ЕТК шахти розгалуженою структурою силових приєднань з комутаційними апаратами, джерелами енергетичних потоків, активно-ємнісними опорами ізоляції кабельних відгалужень та дослідження її параметрів запропонованими методами на основі використання систем диференціальних рівнянь для опису параметрів елементів об'єкта дало можливість отримати уточнені показники струму і кількості електрики в колі витoku струму на землю з урахуванням стану мережі після захисного відключення напруги

живлення (рис. 5), визначити залежність загальної кількості електрики через опір тіла людини від ємності ізоляції та сталої часу зменшення зворотної ЕРС АД (рис. 6); визначити властивості енергетичного обміну між асинхронними двигунами під час вибігу (рис. 7), у т.ч., при стохастичному відключенні комутаційних апаратів силових приєднань; довести спроможність зворотних енергетичних потоків АД утворювати небезпеку електроураження людини і доцільність примусового відокремлення їх від приєднань мережі процесі захисного відключення шахтного дільничного ЕТК при утворенні кола витоку струму на землю.

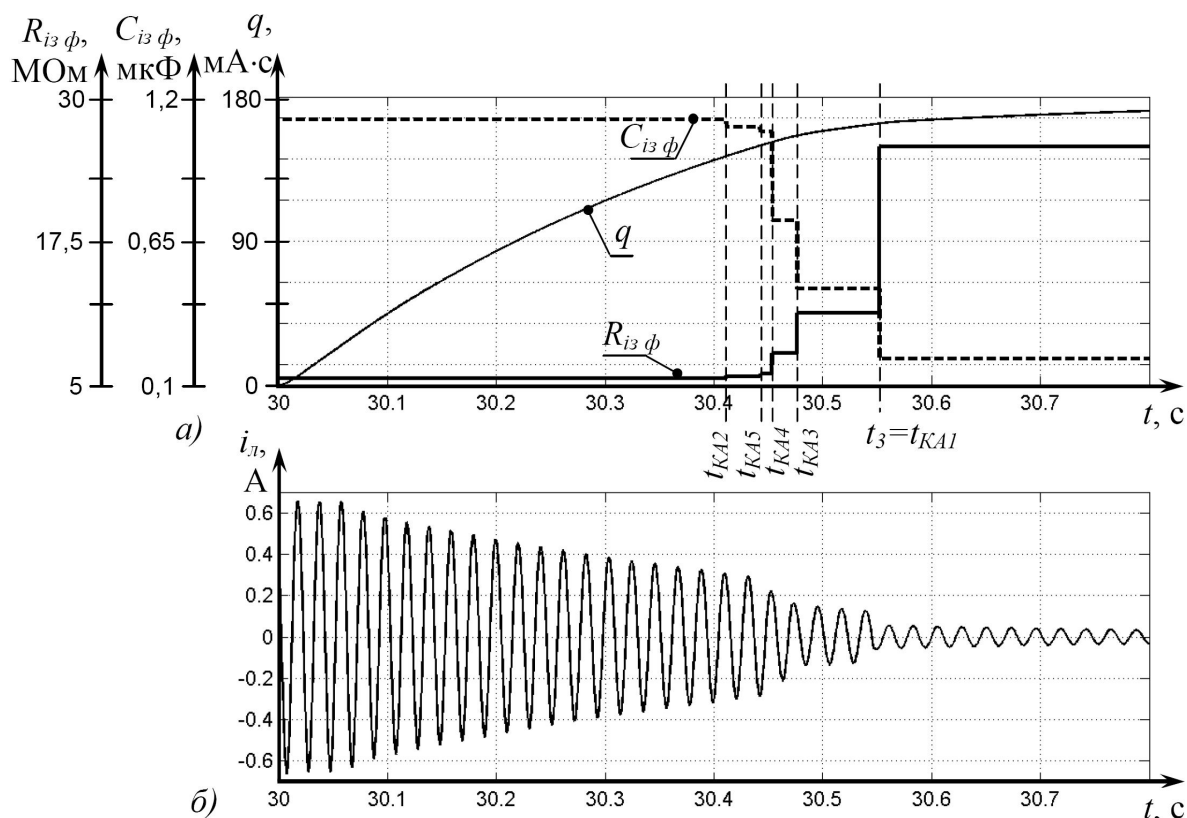


Рисунок 5 – Приклад розрахункової діаграми моделювання перехідного процесу в ЕТК ДШ напругою 1140 В при витоку струму на землю з урахуванням впливів зворотних ЕРС АД 5-ти споживачів і стохастичного закону відключення контакторів КА1-КА5 їх пускачів: *а* - накопичення кількості електрики q через опір кола витоку та параметри ізоляції мережі $C_{iz \phi}, R_{iz \phi}$, які впливають на стан кола витоку, в ЕТК ДШ напругою 1140 В; *б* - струм витоку на землю i_n ; пристрій компенсації ємнісної складової струму витоку на землю відсутній. Параметри відгалужень:

$P_1=250$ кВт; кабель КГЕШ 3х35, l - 390 м;

$P_2=250$ кВт; кабель КГЕШ 3х35, l - 390 м;

$P_3=295$ кВт; кабель КГЕШ 3х50, l - 390 м;

$P_4=340$ кВт; кабель КГЕШ 3х70, l - 390 м;

$P_5=110$ кВт; кабель КГЕШ 3х16, l - 390 м.

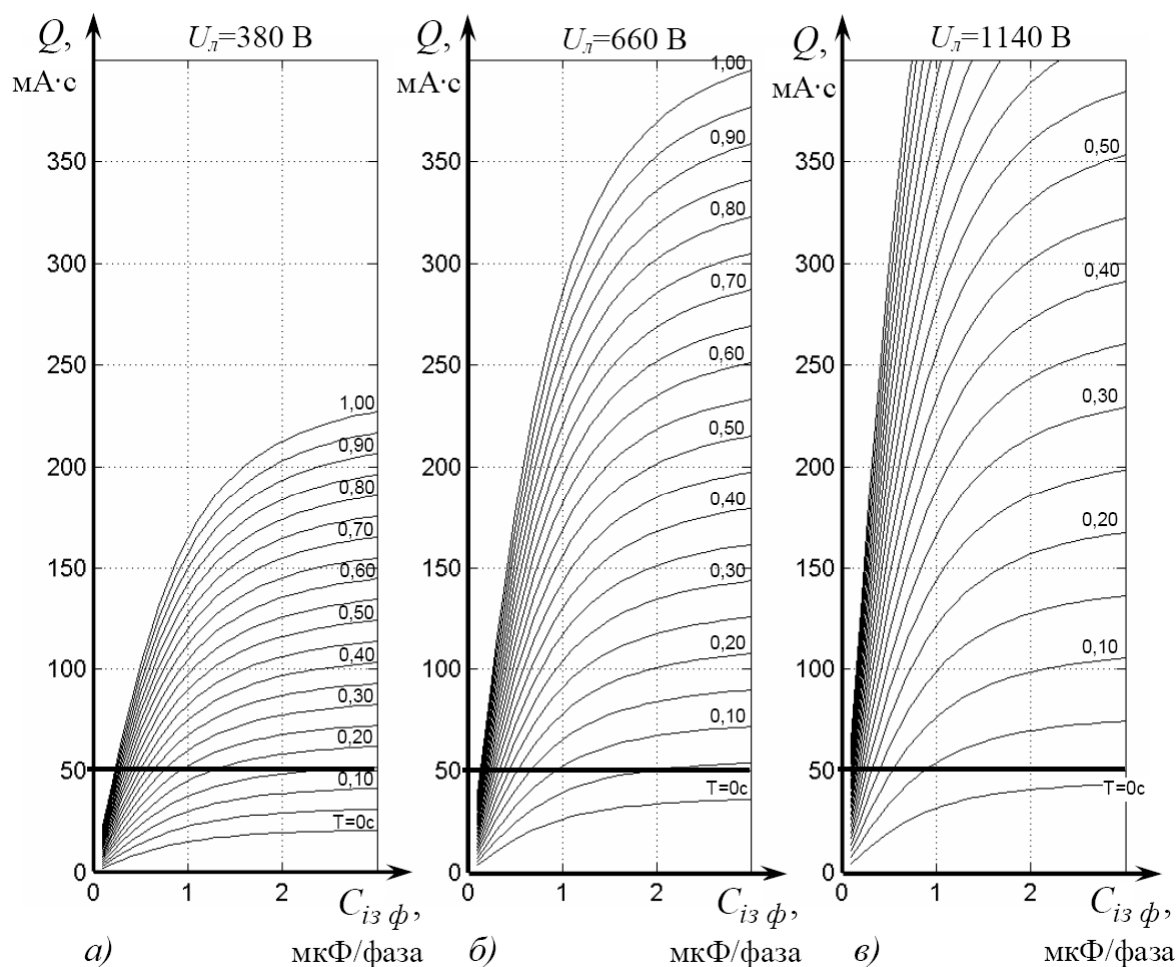


Рисунок 6 - Залежність загальної кількості електрики через опір тіла людини ($R=1$ кОм) за час аварійного процесу від ємності ізоляції фази мережі та сталої часу затухання зворотної ЕРС двигунів при виникненні витoku струму на землю в ЕТК ДШ за умови збереження ввімкненого стану комутаційних апаратів відгалужень протягом аварійної ситуації: *а* – номінальна лінійна напруга мережі 380В; *б* – 660 В; *в* – 1140 В

У четвертому розділі „Автоматичне двобічне знеструмлення шахтного дільничного електротехнічного комплексу як напрям підвищення ефективності його захисту від аварійних станів і небезпек” обґрунтовані принципи запровадження удосконаленої функції захисту силового електроустаткування шахтної технологічної дільниці від аварійних станів і небезпек на основі прискорення захисного знеструмлення мережі. За основу прийнята концепція запровадження двобічного захисного знеструмлення шляхом відокремлення зворотних енергетичних потоків асинхронних двигунів споживачів при використанні вимірювально-виконавчих засобів відокремлення безпосередньо в приєднаннях статорів цих двигунів за умови функціонування в автономному режимі – без підпорядкування їх функцій керуючим командам зовнішніх засобів захисту.

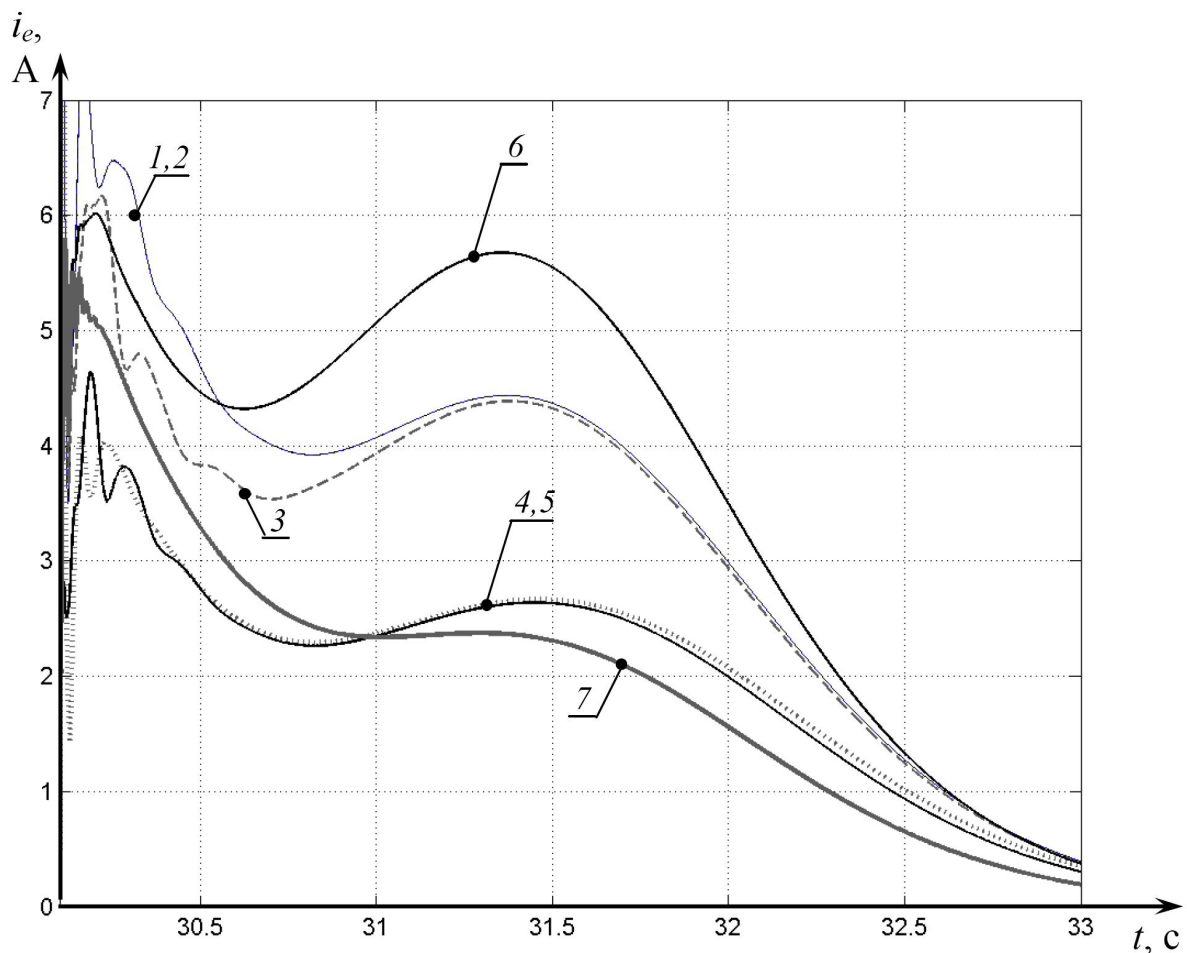
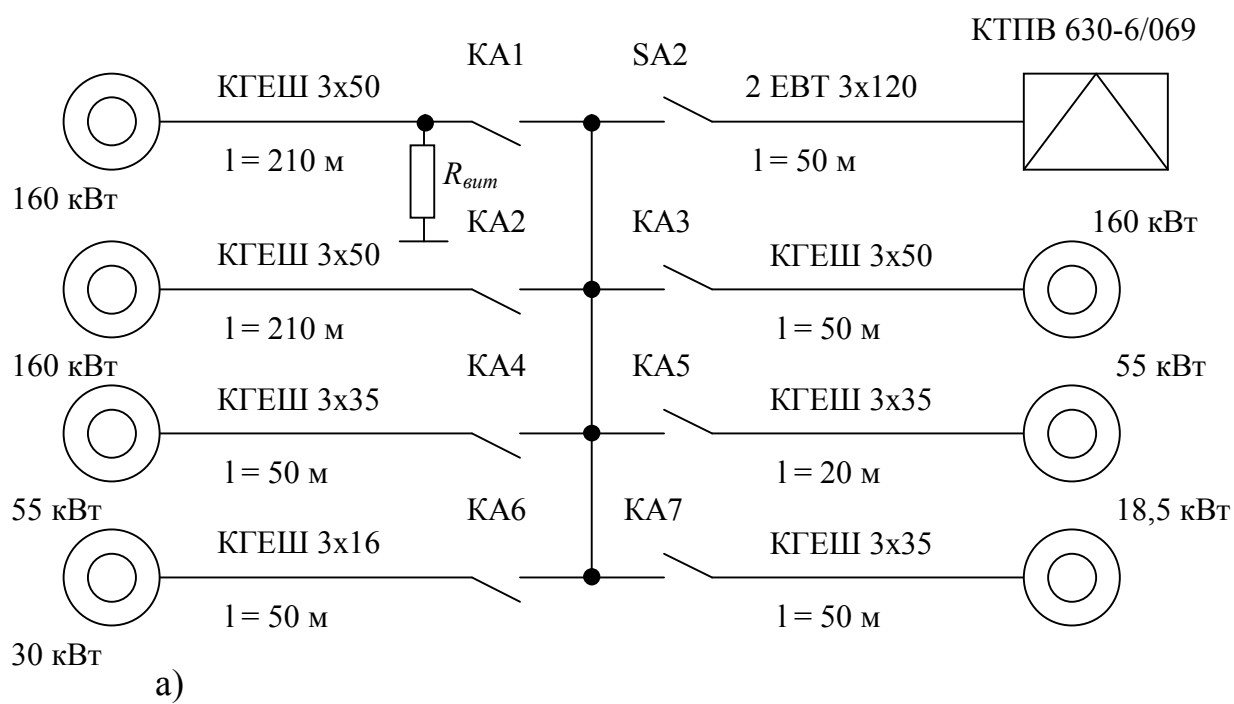


Рисунок 7 - Приклад структури шахтного дільничного ЕТК і розрахункові діаграми модулів просторових векторів зрівнювальних струмів його відгалужень під час групового вибігу двигунів (1–7 позначають номер відгалуження)

Аналіз методів визначення міжфазного короткого замикання або (в узагальненому розумінні) кіл завеликої міжфазної провідності, з боку приєднань статорів АД споживачів в момент виникнення аварійного аналізу та після відключення напруги живлення довів неприйнятність використання параметру лінійного струму в колі між статором та місцем ушкодження кабелю для керування відокремленням зворотного енергетичного потоку через недостатню інформативність отриманого параметру

Обґрунтування принципу побудови захисту від впливу зворотного енергетичного потоку АД має бути виконане з урахуванням таких особливостей улаштування шахтного дільничного ЕТК, як обов'язкове:

- дотримання режиму ізольованої нейтралі трансформатора в процесі експлуатації дільничної електромережі;
- заземлення заземлюючої жили кабеля і заземлення через неї металевого корпусу електродвигуна споживача дільниці;
- застосування засобу захисту від витoku струму на землю в схемі з боку живлячої КТП і неприпустимість утворення впливу на параметри постійного оперативного струму цього засобу;
- застосування гнучких кабелів з екранованими силовими жилами, конструкція яких передбачає наявність електричного контакту (зв'язку) між екранами силових жил і заземлюючою жилою.

З урахуванням цього, небезпечний стан кабеля (міжфазне коротке замикання; міжфазне дугоутворення; утворення кола витoku струму на землю) буде супроводжуватися наявністю кола завеликої провідності між силовою жилою кабеля і контуром «земля» через екран і заземлену заземлюючу жилу. В цьому разі момент виникнення аварійного стану кабеля живлення АД може бути встановлений шляхом короткочасного утворення кола підвищеної провідності між фазою і землею як умови створення керуючого сигналу на захисне відокремлення зворотного енергетичного потоку асинхронного двигуна.

Розгляд прийнятних технічних рішень в діалектиці поліпшення функціональних властивостей є ґрунтацією доцільності застосування принципу короткочасного утворення, імпульсу струму як інформативного в додатковому колі між фазами кабеля і контури «земля», утвореним приєднанням конденсаторів $C1$; $C2$ між опорами $R1-R3$, підключеними до фаз мережі і діодом $VD1$, приєднаним катодом до заземленого корпусу електродвигуна споживача (рис 8). Параметром керування захисним відокремленням зворотного енергетичного потоку АД є падіння напруги на резисторі $R4$. Цей підхід не спричиняє впливу: на режим нейтралі мережі в тривалому стані її функціонування; на параметри дільничного засобу захисту від витokів струму на землю і на величину опору ізоляції мережі. Доведена можливість зменшення кількості електрики в колі однофазного витoku струму на землю (рис. 9) за рахунок усунення впливу зворотної ЕРС АД. Зіставленням технічних властивостей відомих засобів відокремлення зворотних ЕРС АД доведена можливість використання вакуумних контакторів (рис. 10), які у порівнянні з напівпровідниковими короткозамикачами не утворюють небезпеку створення режиму к.з. в мережі при хибкому спрацьовуванні.

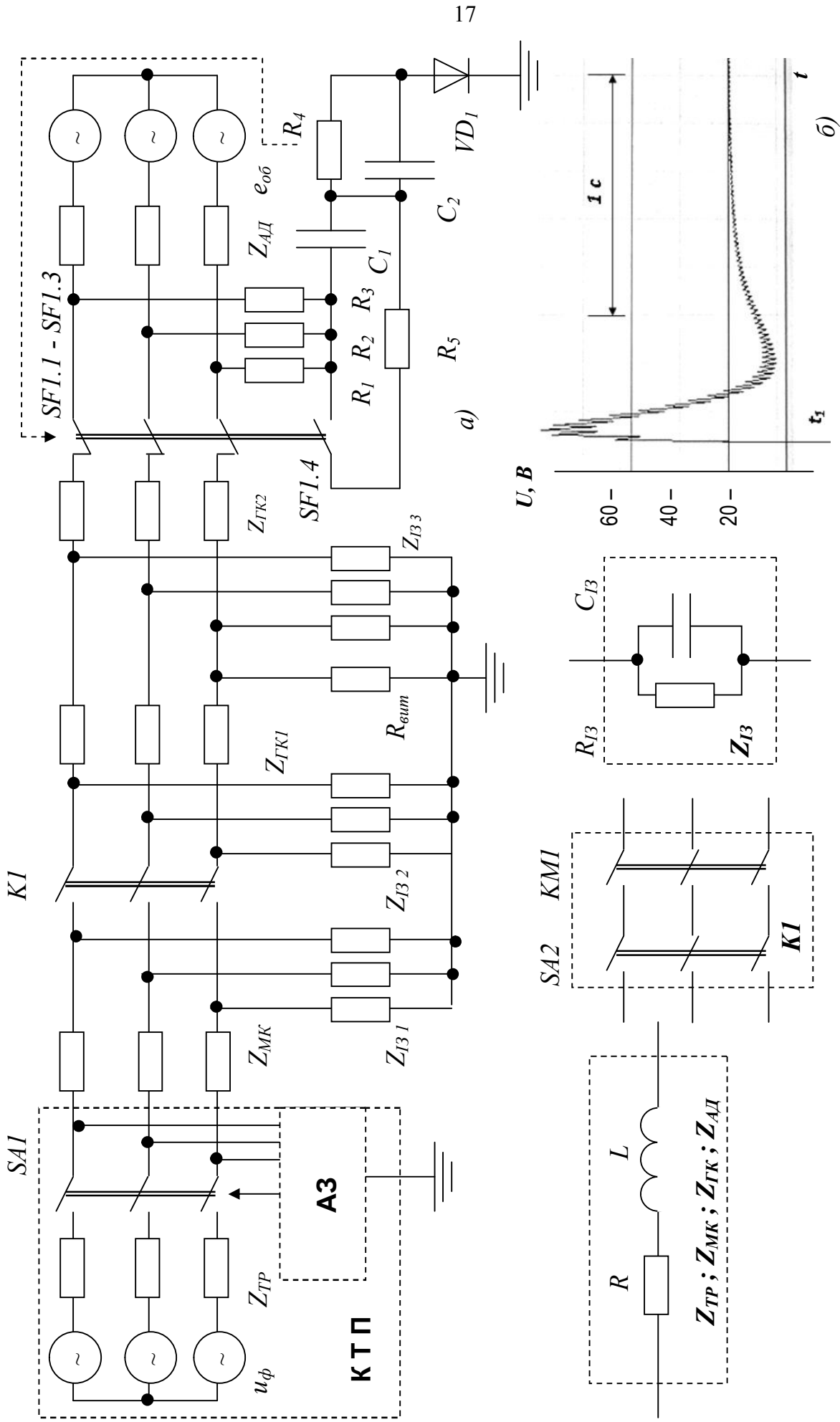


Рисунок 8 – Схема підключення засобу відокремлення зворотної ЕРС АД в схемі ЕТК шахтної ділянки (а), і осцилограма напруги на резисторі R_4 в момент утворення кола $R_{\text{вум}} = 1 \text{ кОм}$ (лінійна напруга мережі 660 В)

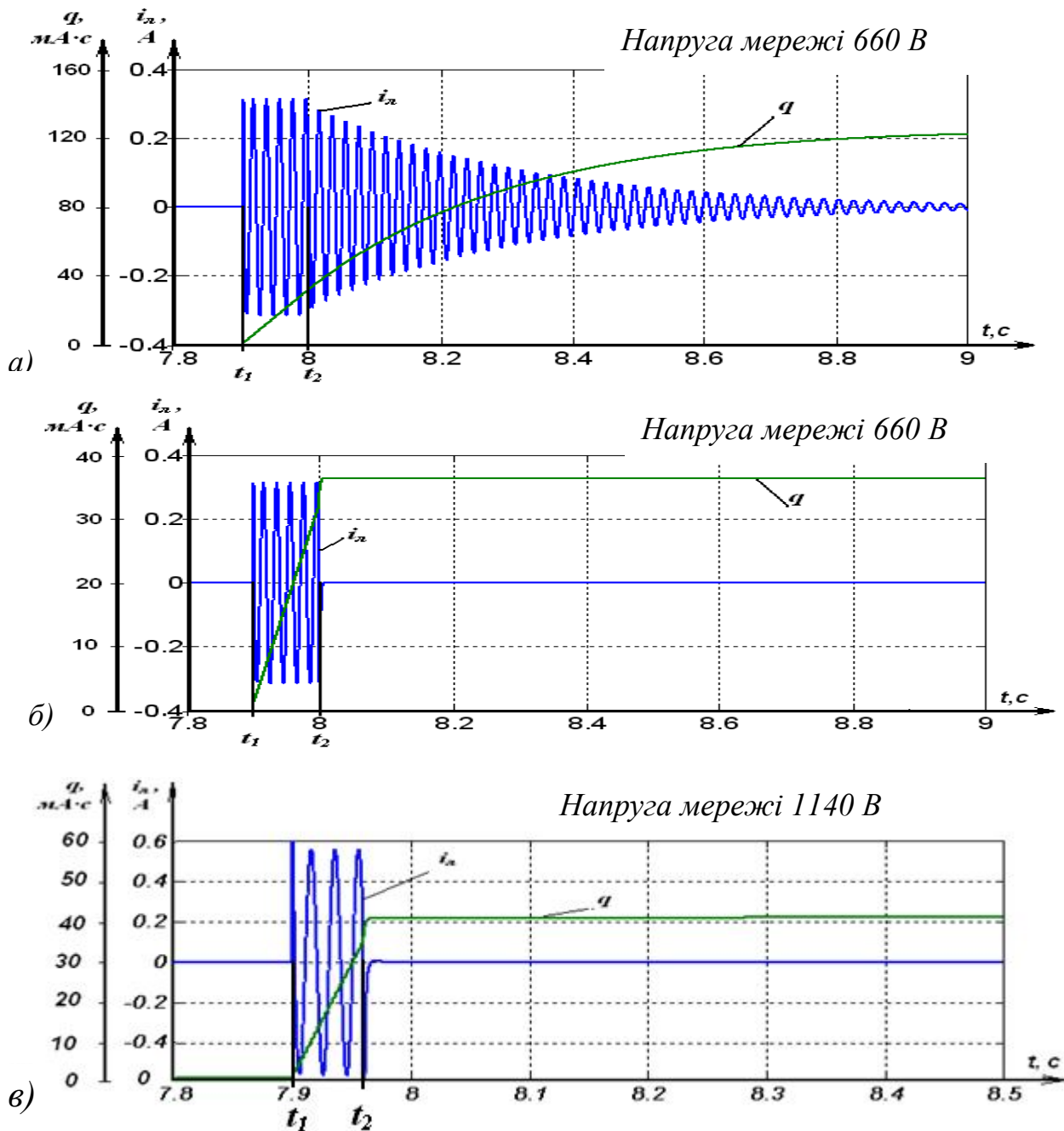


Рисунок 9 - Діаграми, що характеризують струм витoku на землю та накопичення кількості електрики через опір кола витoku струму на землю а) при відсутності усунення зворотних ЕРС АД; б) за наявності усунення зворотних ЕРС всіх АД дільниці; пристрій компенсації ємнісної складової струму витoku на землю відсутній в) за наявності примусового відокремлення енергетичних потоків АД всіх споживачів через 0,06с.

Параметри силових відгалужень:

- споживач № 1 – АД типу ЭКВК4-220; кабель КГЕШ 3x70; $l = 250$ м;
- споживач № 2 – АД типу ЭДКОФВ315М4; кабель КГЕШ 3x50; $l = 200$ м;
- споживач № 3 – АД типу АИУМ225М4; кабель КГЕШ 3x35; $l = 50$ м;

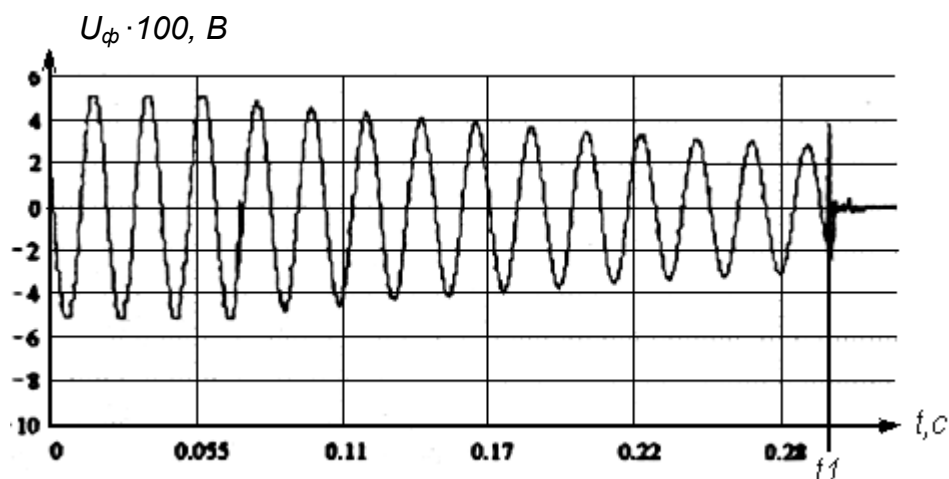


Рисунок 10 - Осцилограма фазної зворотної ЕРС статора АД при контакторному від'єднанні трифазної схеми статора в момент t_1

Зміст п'ятого розділу „Технічна реалізація заходів із удосконалення захисту електроустаткування шахт від аварійних станів і небезпек” розкриває сутність заходів із удосконалення захисту рудникового електроустаткування від аварійних станів і небезпек, що є технічною реалізацією результатів дослідження і базується на науково обгрунтованому висновку про неможливість забезпечити знеструмлення шахтного дільничного ЕТК на початковому часовому інтервалі після відключення напруги живлення. Виходячи з цього, задачу прискорення знеструмлення силового приєднання в разі виникнення аварійного стану запропоновано вирішувати сукупністю заходів:

- прискорення відокремлення енергетичного потоку живлячої трансформаторної підстанції (за рахунок удосконалення принципів струмового захисту);
- запровадження засобів захисного відокремлення енергетичного потоку АД споживача (розгалуженої сукупності споживачів).

В контексті вирішення задач першого напрямку пропонується доцільним запровадження принципу визначення к.з. в мережі енергетичного потоку, що надходить від КТП, шляхом реагування на швидкість зростання миттєвого фазного струму мережі. У запропонованих технічних рішеннях цей спосіб представлений у варіанті, адаптованому до використання в шахтних силових комутаційних апаратах і полягає у вимірі часового інтервалу проходження синусоїдою фазного струму двох фіксованих рівнів з подальшим порівнянням отриманого результату з заданою (опорною) величиною.

Умовою рішення задач другого напрямку є застосування відокремлення зворотних ЕРС АД споживачів в момент виникнення аварійного (небезпечного) стану в силовому приєднанні мережі. З урахуванням спрацьовування засобів захисного відключення напруги живлення цим досягається ефект захисного автоматичного двобічного знеструмлення мережі шахтного дільничного ЕТК.

Цей принцип захисту, окрім к.з. та витоків струму на землю, може бути розповсюджений на міжфазні дугоутворення в кабелях живлення АД. Враховуючи на ефект струмообмеження через наявність активного опору міжфазної

електричної дуги, струмовий захист з боку КТП має передбачати зіставлення параметру мережевого струму з уставкою, величина якої зменшується (після заданої тривалості на час пуску АД) до рівня, що перевищує номінальний струм силового приєднання, але є співрозмірним з його величиною. Водночас, визначення міжфазного дугоутворення в кабелі живлення АД може здійснюватися у спосіб реагування на відмінність амплітуд струмів в міжфазних колах з'єднання фаз статорних обмоток АД.

При розгляді станів кола витоку струму на землю в приєднанні між пускачем і АД слід відзначити, що захисна функція короткозамикача АЗ припиняється після розмикання контактної групи групового автоматичного вимикача ЕТК. Крім того, слід враховувати, що велика кількість АЗ попередніх розробок (АЗУР-1 і модифікації) взагалі не обладнані короткозамикачами пошкодженої фази. В цьому разі за відсутності засобів відокремлення зворотних ЕРС АД додатковим захисним заходом слід вважати примусове відключення контактора пускача в момент відключення напруги живлення мережі як засіб відокремлення впливу енергетичних потоків суміжних приєднань на коло витоку струму на землю. Реалізація цього способу полягає на удосконаленні схеми пускача шляхом застосування засобів виміру і порівняння струмів в магістралі до – та після вхідних затисків кабельного вводу.

Вживання додаткових захисних заходів потребує проблематика забезпечення електробезпеки експлуатації двошвидкісного АД. Експериментально встановлено, що при електроживленні однієї з обмоток статора (рушійний стан двошвидкісного АД) в іншій наводиться трифазна трансформаторна ЕРС, параметри якої можуть бути представлені як результат послідовного підключення декількох фазних джерел напруги різних підвищених частот (рис. 11).

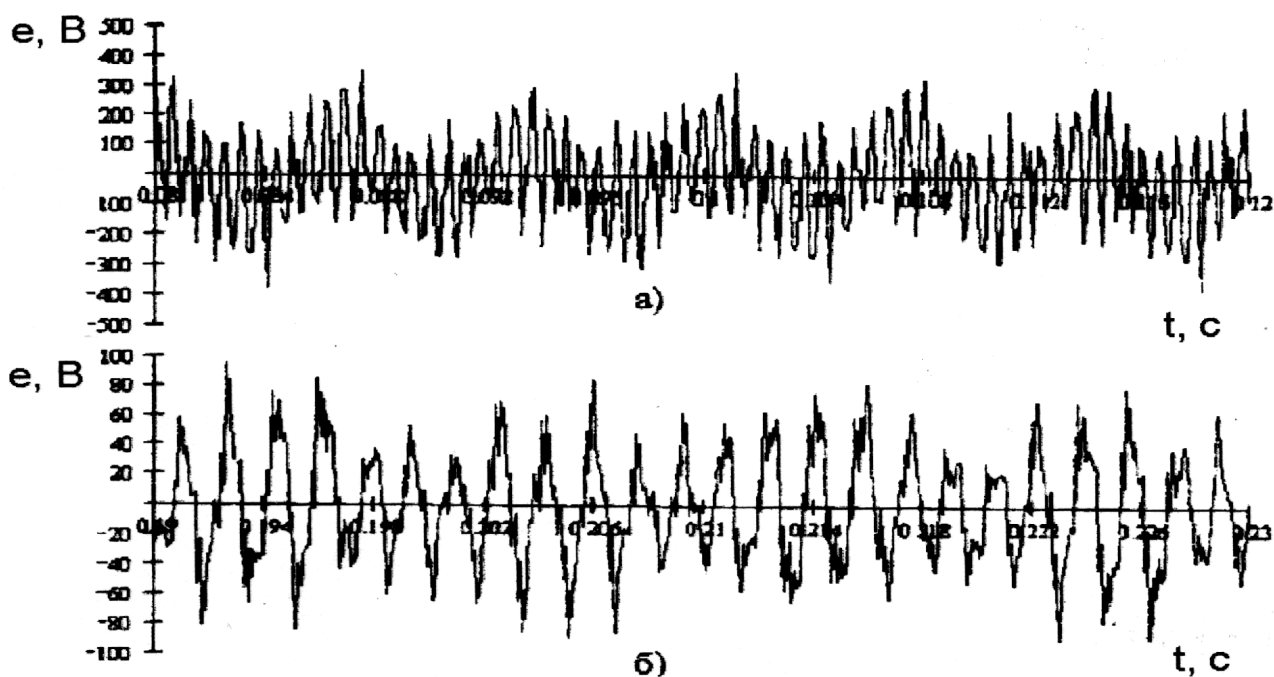


Рисунок 11 - Осцилограми вторинних ЕРС АД в обмотках зниженої (а) і номінальної (б) швидкостей асинхронного двигуна ЕКВФ-355L12/4

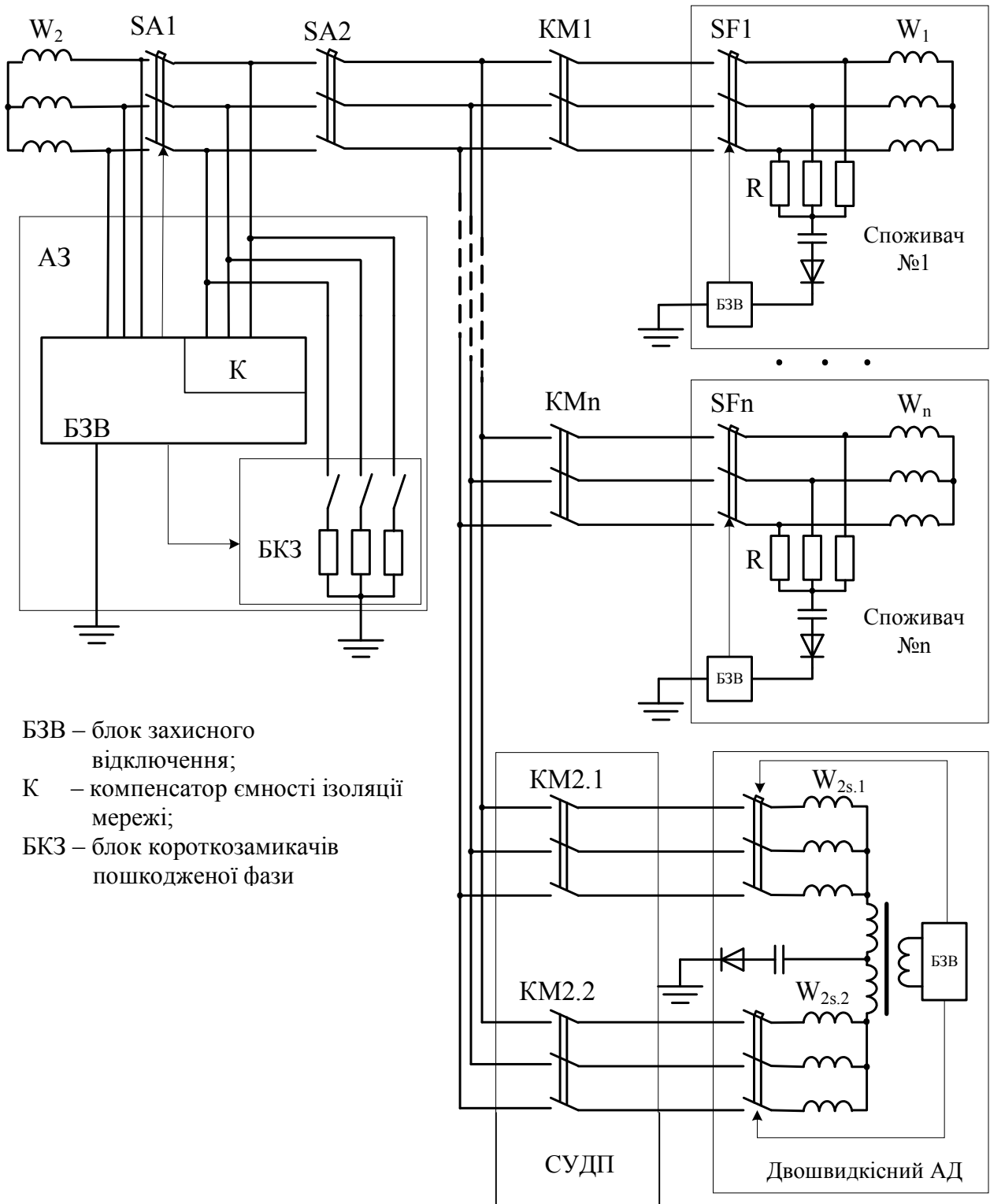
Це створює небезпеку електроураження в приєднанні відключеної обмотки статора працюючого двошвидкісного АД, тим більш, що ця обмотка є не пов'язаною з контуром протікання оперативного струму АЗ. Фактори електро-небезпеки підтверджуються розрахунком кількісних показників струму в колі витоку цієї обмотки статора, що мають функціональну залежність від ємності ізоляції кабеля (перетин, довжина) відповідного силового приєднання.

Захист від електроураження в силовому приєднанні відключеної обмотки статора працюючого двошвидкісного АД може бути здійснений створенням шляху проходження на її коло оперативного струму АЗ дільничного ЕТК.

З метою виконання захисної функції пропонується підключення між „зірками” обох обмоток статора первинної обмотки трансформатора реагуючого органу та у створенні ланцюга короточасної однополярної ємнісно-напівпровідникової провідності між первинною обмоткою цього трансформатора і контуром „земля”. Останнім забезпечується поширення захисної функції на випадок виникнення кола витоку струму на землю в приєднанні відключеної обмотки статора АД в разі знаходження його в стані вільного вибігу.

Узагальненням запровадження технічних рішень, спрямованих на прискорення знеструмлення силових приєднань шахтного дільничного ЕТК при виникненні його аварійного або небезпечного стану є нова концепція побудови схеми електропостачання технологічної дільниці шахти (рис. 12), яка передбачає виконання захисного двобічного знеструмлення електромережі за рахунок застосування в приєднаннях статорів АД автономно діючих засобів захисного відокремлення зворотних енергетичних потоків при обов'язковому застосуванні існуючих захисних засобів з боку впливу енергетичного потоку КТП, а також екранованих шахтних гнучких кабелів з заземленням заземлюючих жил.

Обґрунтовані технічні рішення щодо удосконалення ЕТК дільниці шахти захищені патентами України на винаходи, що підтверджує їх технічну новизну, а також, патентами України на корисні моделі. Концептуальні положення дисертації прийняті до випровадження Українським науково-дослідним, проектно-конструкторським і технологічним інститутом вибухозахищеного і рудникового електрообладнання УкрНДІВЕ для впровадження у перспективних розробках рудникових силових комутаційних засобів.



СУДП – станція управління
 двошвидкісним електроприводом

Рисунок 12 - Узагальнена схема електротехнічного комплексу шахтної дільниці при застосуванні засобів відокремлення зворотних енергетичних потоків асинхронних двигунів

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі вирішена важлива науково-технічна проблема підвищення ефективності функціонування шахтних дільничних електротехнічних комплексів на основі розвитку теорії і методів визначення параметрів їх аварійних і небезпечних станів та принципів удосконалення їх захистів з урахуванням тенденцій підвищення потужності рудникових електромеханічних установок.

Основні наукові і практичні результати роботи полягають у наступному.

1. Аналіз процесів в шахтних дільничних електричних мережах з урахуванням властивостей технічних засобів захисту від аварійних станів і небезпек дозволяє зробити висновок, що їх захисними функціями є автоматичні відключення напруги живлення мережі дільничного електротехнічного комплексу шляхом відокремлення енергетичного потоку КТП живлення. З метою прискорення захисту людини від електроураження, з урахуванням тенденції переводу дільничних електромереж на підвищені рівні номінальної трифазної напруги, в сучасних засобах захисту від витоків струму на землю захисна функція відпрацьовується в поєднанні швидкодіючого визначення стану виникнення кола витoku струму на землю з закорочуванням пошкодженої фази через активний опір малої величини. Цей захисний ефект розповсюджується на всі силові елементи, доки вони приєднані до вихідних затисків КТП живлення.

2. Електротехнічний комплекс шахтної технологічної дільниці вміщує асинхронні двигуни великої, середньої та малої потужності і є багатомашинним. В разі виникнення аварійного або небезпечного стану автоматичне відключення напруги існуючими засобами захисту не можна вважати достатньою захисною функцією внаслідок наявності впливу зворотних енергетичних потоків АД споживачів після відключення енергетичного потоку живлячої КТП. Враховуючи на тенденції підвищення потужностей електромеханічного технологічного устаткування шахтних дільниць слід передбачати підсилення факторів безпеки, утворюваних зворотними енергетичними потоками АД внаслідок збільшення постійних часу зворотних ЕРС, ємностей ізоляції кабелів дільничної електромережі, застосування напруги підвищеного номінального рівня.

Враховуючи на наявність передумов підтримання небезпечного стану шахтного дільничного ЕТК після захисного відключення напруги живлення і загальну потенційну небезпеку умов експлуатації силового електроустаткування в шахті наукову і практичну актуальність набуває науково-технічна проблема підвищення ефективності функціонування шахтних дільничних електротехнічних комплексів на основі розвитку теорії і методів визначення параметрів їх аварійних і небезпечних станів та принципів удосконалення їх захистів з урахуванням тенденцій підвищення потужності рудникових електромеханічних установок, зокрема, на основі запровадження автоматичного захисного відокремлення зворотних енергетичних потоків асинхронних двигунів споживачів.

3. Спроба запровадження у попередні роки захисту з функцією випереджального знеструмлення мережі ЕТК шахтної дільниці (по відношенню до моменту виникнення вибуху метано-повітряної суміші) довела неприйнятність

підпорядкування спрацьовування засобу відокремлення зворотної ЕРС АД керуючому впливу зовнішнього захисту, що потребує додаткових досліджень в напрямку створення автономно діючих засобів захисного відокремлення зворотних енергетичних потоків АД в умовах виникнення витоків струму на землю, міжфазних к.з., дугоутворень в силових приєднаннях мережі електротехнічного комплексу.

4. Аналізом структури сучасного шахтного ЕТК та характеру впливових дій перехідних процесів при виникненні динамічних станів його структурних складових, а також апробованих підходів до моделювання складних електротехнічних систем доведена доцільність запровадження удосконалених методів дослідження, що ґрунтуються на врахуванні динамічних станів всіх структурних складових ЕТК в процесі їх взаємодії шляхом представлення системами диференційних рівнянь, з урахуванням впливу енергетичних потоків всієї сукупності джерел, станів і стохастичного характеру відключення засобів комутації силових приєднань, що є суттєвим для розвитку теорії дослідження динамічних станів промислових ЕТК.

5. Можливості обґрунтованих методів моделювання перевірені на прикладі дослідження характеру впливу процесу комутації силового приєднання на процес утворення оперативного параметру в реагуючому органі апарата захисту від витоків струму на землю (АЗ). Встановлено, що реакцією реагуючого органу АЗ на процес контакторної комутації силового приєднання є короткочасне підвищення амплітуди оперативного параметру. В мережі з ємністю ізоляції, що перевищує дозволений нормативні показники ($C > 1,0$ мкФ/фазу) при комутації приєднання з ємністю ізоляції $0,15$ мкФ/фазу і більше амплітуда вихідного параметру реагуючого органу АЗ має тенденцію перевищувати опорну величину, що є умовою хибного спрацьовування захисту. В умовах застосування електроустаткування підвищеної потужності, з урахуванням ймовірності використання кабельної мережі з підвищеними ємностями ізоляції виникає доцільність узгодження комутаційних процесів з параметрами стійкості проти хибних спрацьовувань АЗ.

6. Дослідженням процесів, що виникають в момент та після відключення напруги живлення шахтної дільничної електромережі визначені властивості енергетичного обміну між АД під час вибігу при стохастичному відключенні комутаційних апаратів силових приєднань, проаналізовано характер зміни величини ЕРС вибігу двигунів, що підтримує струм в колі витоку на землю і процес стохастичної зміни сукупних параметрів ізоляції відносно землі кабелів мережі, які електрично пов'язані з колом витоку струму на землю. Визначені умови перевищення струмом і кількістю електрики, що утворюються зворотними ЕРС двигунів в колі витоку на землю, нормованих величин за критерієм дотримання безпеки від електроураження людини електричним струмом. Зазначені параметри знаходяться у функціональній залежності від опорів ізоляції кабельної мережі, електрично пов'язаної з колом витоку струму на землю, електричних параметрів (узагальнені активний опір та індуктивність) і моментів опору асинхронних двигунів, що утворюють зворотні ЕРС, спрямовані на коло витоку струму на землю.

7. З метою прискорення швидкодії знеструмлення місця короткого замикання, міжфазного дугоутворення, місця утворення кола витоків струму на землю обгрунтована доцільність захисного відокремлення зворотних енергетичних потоків АД споживачів технічними засобами, при запровадженні їх функціонування безпосередньо в приєднаннях статорів відповідних двигунів і за відсутності їх підпорядкування керуючому впливу зовнішнього захисту. З урахуванням захисного відключення дільничної мережі при виникненні її небезпечного стану засобами захисного відокремлення енергетичного потоку живлячої підстанції це дозволяє реалізувати функцію двобічного захисного знеструмлення шахтної дільничної мережі.

8. Встановлено, що прийнятним і достатнім заходом визначення аварійного стану в кабелі живлення асинхронного двигуна є вимір інформаційного сигналу в додатковому колі, утвореному послідовним приєднанням ємності між активними опорами, підключеними до фаз мережі, і діодом, катод якого приєднаний до контуру „земля” (заземленого металевого корпусу двигуна) за умови обов'язкового застосування у якості живлячих в мережі шахтного дільничного ЕТК – шахтних гнучких екранованих кабелів із заземленням заземлюючої жили. Цей технічний захід забезпечує:

- дотримання режиму ізольованої нейтралі мережі електротехнічного комплексу в тривалому стані її експлуатації;
- відсутність впливу на параметри захисту від витоків струму на землю;
- обмеження кількості електрики в колі витоків струму на землю на припустимому, нормативно визначеному рівні на інтервалі спрацьовування засобу виявлення небезпечного стану мережі.

У якості засобу відокремлення зворотного енергетичного потоку АД в умовах шахти доцільно застосувати роз'єднання трифазної схеми статора, або її відключення від кабелю живлення.

9. Отриманими показниками зміни у часі кількості електрики у ланцюзі витоків струму на землю доведена можливість суттєвого обмеження на припустимому рівні цього параметру шляхом запровадження засобів захисного автоматичного відокремлення зворотних енергетичних потоків АД як в шахтних дільничних електромережах сучасних конфігурацій, так і з урахуванням застосування гнучких кабелів підвищених довжин і перетинів в системах електропостачання перспективних видобувних установок підвищеної потужності.

10. Доведена можливість і запропонована технічна реалізація:

- прискорення визначення стану міжфазного к.з. в шахтній дільничній електромережі на основі виміру терміну проходження струмом двох фіксованих рівнів;
- захисту від міжфазного дугоутворення в силовому приєднанні шахтного дільничного ЕТК шляхом застосування двобічного захисного знеструмлення на основі управління уставкою спрацьовування струмового захисту з боку дільничної КТП і визначення відмінностей величин струмів у складових кола „зірки” статора асинхронного двигуна аварійного приєднання;

- примусового відключення контактора пускача як додатковий засіб підвищення безпеки експлуатації шахтного дільничного електротехнічного комплексу.

11. Встановлені параметри, що у сукупності обумовлюють потенційну небезпеку електроураження в силовому приєднанні відключеного статора працюючого двошвидкісного АД і запропонована технічна реалізація захисту від електроураження в цьому приєднанні на основі його зв'язку з контуром оперативного струму засобу захисту від витoku струму на землю, що діє з боку трансформаторної підстанції дільниці при запровадженні автономно діючого засобу визначення кола підвищеної провідності між фазою і контуром „земля”, що діє з боку силового приєднання, безпосередньо, двошвидкісного АД. Цим створюватиметься можливість синхронного двобічного знеструмлення мережі в разі виникнення кола витoku на землю в приєднання відключеного статора працюючого двошвидкісного асинхронного двигуна.

У сукупності отримані результати є суттєвими в контексті розвитку теорії і принципів побудови засобів захисного знеструмлення сучасних рудникових електротехнічних комплексів.

ПУБЛІКАЦІ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Маренич К.М. Питання стійкості систем „тиристорний комутаційний апарат – асинхронний двигун” під час фазового регулювання напруги / К.М. Маренич // Теорія та моделі пристроїв вимірювальної та перетворювальної техніки. Зб. наук. праць Інституту електродинаміки НАН України.- Київ: 1993.- С. 35-39.

2. Маренич К.Н. Проблематика електробезопасности системы “кабель – двигатель” участка шахты / К.Н. Маренич// Наукові праці Донецького державного технічного університету. Серія гірничо-електромеханічна. Вип. 27. Донецьк, ДонДТУ, 2001.- С. 270-277.

3. Маренич К.М. Нова концепція керування захисним відключенням низьковольтної електричної мережі дільниці шахти / К.М. Маренич // Вісник Вінницького політехнічного ін-ту, Вінниця, ВДТУ, 2001, № 6.- С. 104-107.

4. Маренич К.Н. Анализ параметров эксплуатационной безопасности двухскоростного асинхронного двигателя шахтного скребкового конвейера / К.Н.Маренич // Наукові праці Донецького державного технічного університету. Серія гірничо-електромеханічна. Вип. 35. - Донецьк, ДонДТУ, 2001.- С.127-131.

5. Маренич К.Н. Об актуальности применения контакторов серии SPVC в схеме трансформаторной подстанции участка шахты / К.Н.Маренич // Наукові праці Донецького держ. технічного університету. Серія гірничо-електромеханічна. Вип. 42, Донецьк, ДонНТУ, 2002.- С.173-177.

6. Маренич К.Н. Исследование влияния ЭДС вращения группы двигателей в режиме выбега на величину тока утечки в электросети участка шахты / К.Н. Маренич, С.В. Василец // Наукові праці Донецького національного технічного університету, серія гірничо-електромеханічна. – Донецьк: ДонНТУ, 2004. - Вип. 83. - С. 303-308.

7. Маренич К.Н. Исследование процессов в участковой электросети при групповом выбеге асинхронных двигателей / К.Н. Маренич, С.В. Василец // Гірнична електромеханіка та автоматика. - 2005. - Вип. 74. - С. 30-36.

8. Сивокобиленко В.Ф. Математичне моделювання групового вибігу електродвигунів споживачів технологічної дільниці шахти / В.Ф. Сивокобиленко, К.М. Маренич, С.В. Василець // Наукові праці Донецького національного технічного університету, серія гірничо-електромеханічна. –Донецьк: ДонНТУ, 2005. – Вип. 101. – С.103-110.

9. Маренич К. Н. Обоснование структуры модели процесса короткого замыкания в низковольтной электросети участка шахты / К. Н. Маренич, И. В. Ковалёва // Наукові праці Донецького національного технічного університету, серія гірничо-електромеханічна. – Донецьк: ДонНТУ, 2006. – Вип. 12(113). – С.179-185.

10. Маренич К.М. Аналіз енергетичних співвідношень у електротехнічному комплексі дільниці шахти під час групового вибігу електродвигунів споживачів / К.М. Маренич, С.В. Василець // Взрывозащищенное электрооборудование: сб. науч. трудов УкрНИИВЭ. - Донецк: ООО «Юго-Восток, Лтд», 2007. - С. 137–142.

11. Маренич К.М. Математичне моделювання асинхронного електродвигуна як об'єкта електротехнічного комплексу дільниці шахти / К.М. Маренич, С.В. Василець // Вісник Національного університету водного господарства та природокористування. – Рівне: НУВГП, 2007. - Вип. 4(40), част. 3. - С. 132-139.

12. Маренич К. Н. Моделирование процесса короткого замыкания в низковольтном электротехническом комплексе участка шахты с учетом влияния электропотребителя / К. Н. Маренич, И. В. Ковалёва // Наукові праці Донецького національного технічного університету, серія електротехніка і енергетика. – Донецьк: ДонНТУ, 2007. - Вип. 7(128). - С.146-149.

13. 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 // Взрывозащищенное электрооборудование: сб. науч. трудов УкрНИИВЭ. - Донецк: ООО «Юго-Восток, Лтд», 2009. - С. 221–227.

14. Маренич К.М. Обґрунтування ефективності нейтралізації зворотної ЕРС двигунів як способу підвищення безпеки експлуатації електротехнічного комплексу дільниці шахти / К. М. Маренич, С. В. Василець // Технічна електродинаміка. - 2009. - №2. - С. 42–47.

15. Маренич К.М. Зворотні енергетичні потоки як фактор погіршення безпеки експлуатації електротехнічного комплексу дільниці шахти/ К.М. Маренич, С.В. Василець // Наукові праці Донецького національного технічного університету, серія „Електротехніка і енергетика”. - Донецьк: ДонНТУ, 2009. - Вип. 9(158). - С.160-165.

16. Маренич К.М. Спільна робота двигунів як фактор формування зворотного енергетичного потоку в дільничній електромережі шахти/ К. М. Маренич,

С.В Василець // Взрывозащищенное электрооборудование: сб. науч. трудов УкрНИИВЭ. - Донецк: ООО «Юго–Восток, Лтд», 2010. - С. 231–241.

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

18. Маренич К.М. Структура та дослідження математичної моделі процесів при виникненні витоку струму на землю в електротехнічному комплексі дільниці шахти/ К.М. Маренич, С.В. Василець // Наукові праці Донецького національного технічного університету, серія „Обчислювальна техніка та автоматизація”. - Донецьк: ДонНТУ, 2010. - Вип. 18(169). - С.141-151.

19. Theoretical research into motor back EMF influence on emergency state in the electrotechnical complex of a mine section / К. Marenych, S. Vasylets, I. Kovalyova // Proceedings of Donetsk national technical university. - Donetsk: DonNTU, 2010. - P. 81–87.

20. Маренич К.М. Дослідження процесів у дільничній електромережі шахти при застосуванні засобу синхронного двобічного знеструмлення місця пошкодження кабелю / К.М. Маренич, І.В. Ковальова // Гірничая електромеханіка та автоматика: науково-технічний збірник. - Дніпропетровськ: НГУ, 2010. - Вип. 85. - С. 3-11.

21. Маренич К. Н. Синхронное двустороннее обесточивание поврежденного участка кабеля шахтной участковой электросети / К. Н. Маренич, И. В. Ковалёва // Уголь Украины: научный журнал. - Киев, 2011. - Вып. №5. - С. 53-54.

22. Маренич К. Н. Технические возможности автоматического отключения пускателя / К. Н. Маренич, И. В. Ковалёва // Уголь Украины: научный журнал. - Киев, 2011. - Вып. №10. - С. 33-36.

23. Маренич К.М. Математичне моделювання короткого замикання в живлячому кабелі електротехнічного комплексу дільниці шахти / К. М. Маренич, І. В. Ковальова // Наукові праці Донецького національного технічного університету, серія гірничо-електромеханічна. – Донецьк: ДонНТУ, 2011. - Вип. 21(189). - С.126-136.

24. Маренич К.М. Дослідження впливу перехідних процесів на стійкість схеми апарата АЗУР проти хибного спрацьовування методами математичного моделювання / К. М. Маренич, С.А. Руссіян // Взрывозащищенное электрооборудование: сб. науч. трудов УкрНИИВЭ. – Донецк: ООО «Юго–Восток, Лтд», 2011. - С. 62-77.

25. Маренич К.М. Автоматичне гасіння зворотної ЕРС двигунів споживачів електротехнічного комплексу дільниці шахти як спосіб підвищення безпеки експлуатації / К.М. Маренич, С.В. Василець // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія «Обчислювальна техніка та автоматизація». Вип. 20 (182), Донецьк, ДонНТУ, 2011.- С. 50-57.

26. Маренич К.М. Дослідження умов порушення стійкості системи „тиристорний регулятор напруги – асинхронний двигун” при керуванні пуском елек-

тропривода / К.М. Маренич, С.А. Руссіян // Зб. наук. пр. Інституту електродинаміки. НАН України, Вип. 28, Київ, 2011.- С. 96-102.

27. Маренич К.М. Зворотні енергетичні потоки асинхронних двигунів як фактор небезпеки в електромережі шахти [монографія] / К.М. Маренич, С.В. Василюк, Донецьк, ДВНЗ „ДонНТУ”, 2012 . – 206 с.

28. Маренич К.М. Удосконалення засобу відокремлення зворотного енергетичного потоку асинхронного двигуна / К.М. Маренич, І.В. Ковальова // Наукові праці Донецького нац. техн. університету. Серія „Електротехніка і енергетика”. Вип. 1 (12)-2 (13) Донецьк, ДонНТУ, 2012.- С.166-172.

29. Маренич К.М. Наукові основи впровадження автоматичного захисного двобічного знеструмлення шахтної дільничної електромережі [монографія] / К.М. Маренич, І.В. Ковальова, Донецьк, ДВНЗ „ДонНТУ”, 2012 . - 125 с.

30. Маренич К.М. Діалектика удосконалення засобів захисного знеструмлення кола витоку струму на землю в шахтній дільничній електромережі / К.М. Маренич // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія гірничо-електромеханічна. Вип. 2 (24) 2012 Донецьк, ДонНТУ, 2012. - С. 165-174

31. Маренич К.М. Обґрунтування ефективності гасіння електрорушійної сили вибігу двигунів як способу підвищення безпеки дільничного електротехнічного комплексу / К.М. Маренич, С.В. Василюк // Електромеханічні і енергозберігаючі системи. Щоквартальний науково-виробничий журнал. – Кременчук; КрНУ, 2012.- Вип. 4/2012(20).- С. 54-56

32. Маренич К.М. Комутаційні процеси в шахтній дільничній електромережі як фактор впливу на стійкість роботи засобів захисного знеструмлення [монографія] / К.М. Маренич, С.А. Руссіян, Донецьк, ДВНЗ „ДонНТУ”, 2013 . - 117 с.

33. Дубінін С.В. Автокомпенсація ємнісних струмів витоку на землю в мережі з перетворювачем частоти конвертуванням негативного опору [монографія] / С.В. Дубінін, К.М. Маренич, Донецьк, ДВНЗ „ДонНТУ”, 2013.- 104 с.

34. Маренич К.М. Захист від електроураження в приєднанні відключеного статора працюючого двошвидкісного асинхронного двигуна / К.М. Маренич // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія „Електротехніка і енергетика”. Вип. 1(14), Донецьк, ДонНТУ, 2013.- С. 183-188.

35. Маренич К.М. Властивості силового електроустаткування технологічної дільниці в контексті створення експлуатаційних небезпек / К.М. Маренич // Холодильна техніка і технологія. Наук.-техн. журнал №1 (141), Одеська державна акад. холоду, Одеса, 2013.- С.80-84.

36. Маренич К.М. Обґрунтування інформаційного параметру для запровадження автоматичного відокремлення зворотних енергетичних потоків промислових електромереж / К.М. Маренич // Науковий вісник Чернівецького університету. Комп'ютерні системи та компоненти. Т. 4. Вип. 1, Чернівці, ЧНУ, 2013.- С.101-106.

37. Маренич К.М. Експериментальне визначення властивостей схеми засобу автоматичного захисту від витоків струму на землю щодо реакції на вплив комутаційного перехідного процесу / Маренич К.М. // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія «Обчислювальна техніка та автоматизація». №1(24)'2013, Донецьк, ДонНТУ, 2013.- С. 32-38.

38. Маренич К.М. Визначення терміну проходження струмом двох рівнів як спосіб прискорення функції максимального струмового захисту / К.М. Маренич // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія «Обчислювальна техніка та автоматизація». Вип. №2(25)'2013, Донецьк, ДонНТУ, 2013.- С. 27-33.

39. Маренич К.М. Обґрунтування доцільності примусового відключення контактора магнітного пускача в процесі захисного знеструмлення дільничної електромережі шахти / К.М. Маренич // Наукові праці Донецького національного технічного університету, серія „Гірничо-електромеханічна”. Вип. 1 (25)'2013 Донецьк, ДонНТУ, 2013. - С. 130-137.

40. Маренич К.М. Двофазне коротке замикання на виході тиристорного регулятора напруги промислової електромережі як об'єкт дослідження / К.М. Маренич // Збірник наукових праць Донецького інституту залізничного транспорту. Вип. 33, Донецьк, 2013. - С.146-151.

41. Товстик Ю.В. Уточнение методологии оценки опасности поражения человека электрическим током в шахтной участковой электросети с учетом воздействия ЭДС вращения двигателя / Ю.В. Товстик, К.Н. Маренич // Наукові праці Донецького національного технічного університету, серія „Гірничо-електромеханічна”. Вип. 2 (26)'2013 Донецьк, ДонНТУ, 2013.- С. 265-272.

42. Патент на винахід 82111 (UA), МПК (2006) H02H 3/16 Спосіб захисту людини від ураження електричним струмом в мережі з ізолюваною нейтраллю / К.М. Маренич, С.В. Василець. – а 2006 00387. Заявл. 16.01.2006. Опубл. 11.03.2008. Бюл. № 5. - 4 с.: іл.

43. Патент на корисну модель 48268 (UA), МПК (2009) H02H 3/00 Спосіб захисту від струмів короткого замикання в мережі живлення асинхронного двигуна / К.М. Маренич, І. В. Ковальова. – и 2009 09863. Заявл. 28.09.2009. Опубл. 10.03.2010. Бюл. № 5. - 3 с.: іл.

44. Патент на корисну модель 50773 (UA), МПК (2009) H02H 3/00 Спосіб захисту від струмів короткого замикання в мережі живлення асинхронного двигуна / К.М. Маренич, І. В. Ковальова. и 2009 13013. Заявл. 14.12.2009. Опубл. 25.06.2010. Бюл. № 12. - 4 с.: іл.

45. Патент на винахід 95757 (UA), МПК (2006.01) H02H 3/10 H02H 7/08 Пристрій захисту від впливу асинхронного двигуна на точку короткого замикання в кабелі живлення / К.М. Маренич, І. В. Ковальова, І. О. Лагута, С.В. Василець. – а 2010 13816. Заявл. 22.11.2010. Опубл. 25.08.2011. Бюл. № 16.-4 с.: іл.

46. Патент на винахід 97592 (UA), МПК (2011.01) H02H 3/00 Спосіб струмового захисту в мережі живлення асинхронного двигуна в складі гірничо-

го дільничного електротехнічного комплексу / К.М. Маренич, І. В. Ковальова, С.В. Василець. – а 2010 15324. Заявл. 20.12.2010. Опубл. 27.02.2012. Бюл. № 4.- 4 с.: іл.

47. Патент на корисну модель 71661 (UA), МПК (2012.01) H02H 3/00 Пристрій захисту від впливу зворотного енергетичного потоку асинхронного двигуна на точку короткого замикання в кабелі живлення / К.М. Маренич, І. В. Ковальова, І.О. Лагута, u 2011 14935. Заявл. 16.12.2011. Опубл. 25.07.2012. Бюл. № 14.- 5с.: іл.

48. Патент 101843 на винахід (UA), МПК (2013.01) H02P7/00. Спосіб управління тиристорним регулятором напруги в пристрої уповільнення пуску асинхронного двигуна / К.М. Маренич, С.А. Руссіян, № а 2011 01024. Заявл. 31.01.2011. Опубл. 13.05.2013. Бюл. 9.- 3 с.: іл.

49. Патент на винахід 102285 (UA), МПК (2013.01) H02H 3/00 Пристрій контакторної комутації асинхронного двигуна в електромережі технологічної дільниці / К.М. Маренич, І. В. Ковальова. а 2011 09048. Заявл. 19.07.2011. Опубл. 25.06.2013. Бюл. № 12.- 4 с.: іл.

50. Патент на винахід 103735 (UA), МПК (2013.01) H02H 3/00; H02H3/02 Пристрій визначення стану витоків струму на землю в мережі двошвидкісного асинхронного двигуна / К.М. Маренич, І. В. Ковальова, а 2012 14770. Заявл. 24.12.2012. Опубл. 11.11.2013. Бюл. № 21. - 4 с.: іл.

51. Патент на винахід 103934 (UA), МПК (2006.01) H02H 3/02; H02H3/10 Пристрій захисту від впливу зворотного енергетичного потоку асинхронного двигуна на точку ушкодження в кабелі живлення / К.М. Маренич, І.В. Ковальова, І.О. Лагута, а 2012 01369. Заявл. 09.12.2013. Опубл. 10.12.2013. Бюл. № 23.- 5с.: іл.

Особистий внесок дисертанта в публікаціях, написаних у співавторстві: [6, 7, 13, 18-20, 24, 26] – постановка задач дослідження, обґрунтування принципів урахування факторів впливу, припущень, структур об'єктів дослідження, аналіз результатів, формулювання висновків; [8] – аналіз, узагальнення результатів дослідження; [9, 23] – визначення станів процесу короткого замикання в силовому приєднанні з урахуванням впливу зворотних ЕРС асинхронних двигунів і побудова структури моделі об'єкта та припущень при її дослідженні; [10, 11, 16] – обґрунтування структури моделі об'єкта, параметрів її елементів, припущень, аналіз результатів моделювання; [12] – обґрунтування припущень при визначенні станів електротехнічного комплексу з урахуванням впливу зворотних ЕРС асинхронних двигунів, аналіз результатів моделювання; [14] – аналіз властивостей структури об'єкта дослідження і результатів моделювання; [15] – формулювання концепції дослідження процесу накопичення кількості електрики в колі витоків струму на землю в функції величини зворотної ЕРС асинхронного двигуна з урахуванням динаміки її стану; [17] – аналіз процесів в системі „тиристорний регулятор напруги – асинхронний двигун” і обґрунтування припущень щодо запобігання автоколиванням електричних параметрів системи при керованій комутації асинхронного двигуна; [21, 22] – обґрунтування доцільності і принципу запровадження синхронного захисного двобічного знеструмлення шахтної дільничної електромережі, включаючи спо-

сіб управління примусовим відключенням контактора силового комутаційного апарата; [25] – обґрунтування принципу побудови схеми пристрою керування відокремленням зворотної ЕРС асинхронного двигуна; [27] – аналіз стану шахтного дільничного електротехнічного комплексу в умовах впливу зворотних енергетичних потоків багатомашинного навантаження, визначення принципових положень методики дослідження цього стану методами математичного і комп’ютерного моделювання, аналіз і узагальнення результатів дослідження; [28] – принцип коригування схеми засобу відокремлення зворотного енергетичного потоку асинхронного двигуна; [29] – обґрунтування принципових положень методики дослідження аварійного стану електротехнічного комплексу в умовах впливу зворотних енергетичних потоків асинхронних двигунів, принципів запровадження функції автоматичного захисного двобічного знеструмування шахтної дільничної електромережі; [31] – визначення залежності кількості електрики в колі витoku на землю від параметрів ізоляції кабеля з урахуванням впливу зворотних ЕРС асинхронних двигунів, узагальнення результатів дослідження, формулювання висновків; [32] – обґрунтування концепції моделювання процесів в шахтному дільничному електротехнічному комплексі з урахуванням впливу контакторної та керованої комутації силових відгалужень, принципів удосконалення захисних засобів і пристроїв керованої комутації; аналіз і узагальнення результатів досліджень; [33] – аналіз процесів утворення ємнісних струмів витoku на землю в комбінованій шахтній дільничній електромережі; [41] – визначення електроуражуючих властивостей зворотних ЕРС асинхронних двигунів; [42] – принцип струмообмеження в колі витoku на землю на основі комутації індуктивних компенсаторів вентильними модулями в окремих силових приєднаннях; [43] – принцип використання струмового сигналу у якості інформаційного для управління примусовим відокремленням зворотної ЕРС асинхронного двигуна; [44] – спосіб формування інформаційного сигналу при запровадженні контролю швидкості проходження струмом приєднання двох фіксованих рівнів; [45, 47, 50, 51] – концепція визначення аварійного (небезпечного) стану кабеля живлення асинхронного двигуна технічними засобами в колах приєднання статора і способи її реалізації; [46] – принцип визначення міжфазного дугоутворення в кабелі технічними засобами в колах статора асинхронного двигуна і спосіб формування інформаційного сигналу; [48] – принцип визначення відхилення параметрів системи „тиристорний регулятор напруги – асинхронний двигун” до початкових умов автоколивального процесу і спосіб перетворення інформативних сигналів при формуванні керуючої команди; [49] – принцип визначення моменту запровадження примусового відключення контактора пускача.

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

АНОТАЦІЇ

Маренич К.М. Развитие теории и принципов построения средств защитного обесточивания современных рудничных электротехнических комплексов. – На правах рукописи.

Диссертация на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.09.03 – електротехнічні комплекси та системи. – ДВНЗ «Донецький національний технічний університет», Донецьк, 2014.

У дисертаційній роботі вирішена актуальна науково-технічна проблема підвищення ефективності функціонування шахтних дільничних електротехнічних комплексів на основі розвитку теорії і методів визначення параметрів їх аварійних і небезпечних станів та удосконалення їх захисту з урахуванням тенденцій підвищення потужності електромеханічних установок.

Обґрунтований і апробований метод математичного моделювання перехідних процесів в шахтному дільничному електротехнічному комплексі, згідно з яким об'єкт дослідження представляється системою розгалужених: джерел енергетичних потоків; опорів ізоляції силових приєднань; провідностей в контурі „земля” та враховуються зміни конфігурації мережі в процесі та після відключення напруги живлення. Отримані закономірності зміни електричних параметрів в структурах електротехнічного комплексу в умовах впливу перехідних процесів і дії сукупності енергетичних потоків розгалужених джерел. Визначена здатність зворотних ЕРС асинхронних двигунів підтримувати небезпечний стан електромережі після її захисного відключення. Подальшого розвитку набули принципи побудови захисту шахтного дільничного електротехнічного комплексу від аварійних станів і небезпек. За основу прийнята концепція його захисного знеструмлення відокремленням від мережі всіх джерел енергетичних потоків при застосуванні в приєднаннях статорів асинхронних двигунів вимірювальних і виконавчих засобів, реагуючих на підвищення провідностей в колах „фаза-земля” кабелів живлення.

Ключові слова: електротехнічний комплекс, вугільна шахта, аварійний стан, диференційні рівняння, асинхронні двигуни, зворотні енергетичні потоки, захисне знеструмлення, засоби захисту.

Маренич К.Н. Развитие теории и принципов построения средств защитного обесточивания современных рудничных электротехнических комплексов. – На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.09.03 – электротехнические комплексы и системы. – ГВУЗ «Донецкий национальный технический университет», Донецк, 2014.

В диссертационной работе решена важная научно-техническая проблема повышения эффективности функционирования шахтных участковых электротехнических комплексов на основе развития теории и методов определения параметров их аварийных и опасных состояний и принципов усовершенствования их защит с учётом тенденций повышения мощности рудничных электромеханических установок.

В частности, обоснован и апробирован метод математического моделирования переходных процессов в шахтном участковом электротехническом комплексе (ЭТК), в соответствии с которым объект исследования представляется системой распределённых: источников энергетических потоков; сопротивлений изоляции силовых присоединений, проводимостей в контуре «земля» и учитываются изменения конфигурации сети в процессе и после отключения напряжения питания.

Применением этого метода получены закономерности изменения электрических параметров в структурах ответвлений многомашинного ЭТК шахтного участка при возникновении коммутационных переходных процессов, а так же в случае появления цепей утечки тока на землю, включая состояния объекта в процессе и после защитного отключения напряжения питания.

С учётом тенденции применения шахтного технологического оборудования с электроприводами повышенной мощности доказано, что автоматическое защитное отключение сети не является функцией её обесточивания в связи с наличием воздействия обратных энергетических потоков распределённой системы источников – асинхронных двигателей (АД) потребителей.

Обоснованы методы расчёта и анализа электропоражающего фактора в многомашинном ЭТК шахтного участка с учётом воздействия распределённой системы источников энергетических потоков в течение и после отключения напряжения электропитания, определены количественные показатели опасности электропоражения человека обратными ЭДС асинхронных двигателей потребителей в процессе и после защитного отключения сети.

Обоснована целесообразность мер по защитному обесточиванию шахтного участкового электротехнического комплекса, к которым должно быть отнесено принудительное отделение обратных ЭДС асинхронных двигателей от силовых цепей электросети в случае возникновения её опасного состояния.

Дальнейшее развитие получили принципы построения защиты шахтного участкового электротехнического комплекса от аварийных и опасных состояний, основанные на реализации функции обесточивания электросети путём отключения от неё всех распределённых источников энергетических потоков, включая обратные ЭДС АД потребителей. Техническая реализация этой функции основана на применении измерительных и исполнительных устройств защиты непосредственно в присоединениях статоров каждого из асинхронных двигателей и состоит в выявлении повышенной электрической проводимости в контуре «фаза – земля» питающего силового кабеля в момент появления импульса тока ограниченной продолжительности в дополнительно созданной полупроводниково-ёмкостной цепи между статором двигателя и контуром «земля». Данный принцип позволяет непосредственно реагировать на возникновение аварийного состояния в кабеле электропитания АД и исключает необходимость подчинения устройств защитного отключения обратных ЭДС асинхронных двигателей воздействию внешнего защитного устройства.

Разработаны варианты адаптации предложенной концепции построения защиты шахтных участковых ЭТК применительно к состояниям междуфазных дугообразований в силовых присоединениях и возникновения цепи утечки тока

на землю в присоединении отключенного статора работающего двухскоростного асинхронного двигателя.

Обобщением применения технических решений, направленных на ускорение обесточивания силовых присоединений шахтного участкового электро-технического комплекса при возникновении его аварийного или опасного состояния является новая концепция построения схемы электроснабжения технологического участка шахты, которая предполагает осуществление двустороннего обесточивания электросети за счёт применения в присоединения статоров асинхронных двигателей автономно действующих устройств защитного отделения обратных энергетических потоков при обязательном применении существующих защитных средств со стороны воздействия энергетического потока комплектной трансформаторной подстанции, а так же, экранированных шахтных гибких кабелей при заземлении их заземляющих жил.

Ключевые слова: электротехнический комплекс, угольная шахта, аварийное состояние, дифференциальные уравнения, асинхронные двигатели, обратные энергетические потоки, защитное обесточивание, средства защиты.

Marenych K.M. Development of the theory and principles of structural formation of the protective de-energization devices of modern mine electrotechnical complexes. Manuscript.

Thesis for a Doctor of technical science on speciality 05.09.03 - electrotechnical complexes and systems. - Donetsk National Technical University, Donetsk, 2014.

In dissertation work the actual scientific and technical problem of increase of efficiency of functioning of mine local electrotechnical complexes on the basis of development of the theory and methods of determination of parameters of their accident and dangerous conditions and the improvement of their protection taking into account tendencies of increase of power of electromechanical equipment is solved.

In particular, the specified method of mathematical modelling of transients in a mine local electrotechnical complex is reasonable and approved. It differs that the object of research is represented system distributed: sources of power streams; active resistance and capacities of isolation of power accessions, conductions in a contour "earth". Besides, changes of a configuration of a network in time and after supply voltage shutdown are considered. Regularities of change of electric parameters in structures of an electrotechnical complex in the conditions of impact of transients and action of activity of the distributed sources of power generation are received. Ability of the return EMFs of induction motors to support a dangerous condition of an electric network after its protective disconnection is defined. These principles are based on the concept of a protective de-energization of an electric network by disconnection from it all sources of power generation by means of application in accessions of stator of induction motors of protective devices which react to conductivity increase in chains "a phase - the earth" of power supply cables.

Key words: electrotechnical complex, coal mine, emergency state, differential equations, induction motors, back-to-network power generation, protectional de-energizing, means of protection.