

УДК 621.316: 622.012.2

К.М. Маренич (канд. техн. наук, доц.)
Донецький національний технічний університет

ДІАЛЕКТИКА УДОСКОНАЛЕННЯ ЗАСОБІВ ЗАХИСНОГО ЗНЕСТРУМЛЕННЯ КОЛА ВИТОКУ СТРУМУ НА ЗЕМЛЮ В ШАХТНІЙ ДІЛЬНИЧНІЙ ЕЛЕКТРОМЕРЕЖІ

Удосконалення функції захисного знеструмлення шахтної дільничної електромережі передбачає контроль стану пристрою виміру струму витоку на землю, застосування компенсації ємності ізоляції мережі, короткозамикача пошкодженої фази і автономних засобів відокремлення зворотних енергетичних потоків асинхронних двигунів.

Ключові слова: електротехнічний комплекс, дільниця шахти, безпека експлуатації, струм витоку на землю, асинхронний двигун, ЕРС обертання, автоматичний пристрій, захисне знеструмлення

Актуальність проблеми та її зв'язок з прикладними задачами. Небезпека електроураження при експлуатації шахтних дільничних електромереж обумовлена утворенням ланки електричної провідності активним опором людини – опором витоку струму на землю ($R_{\text{вум}} = 1$ кОм), а також активними і ємнісними опорами ізоляції кабельної мережі (R_{i3} ; X_{i3}). Існуючі теоретичні засади створення засобів автоматичного захисного знеструмлення кола витоку струму на землю враховують властивості відомих методів визначення небезпечного стану мережі - контроль величини: напруги нульової послідовності; струму нульової послідовності; постійного оперативного струму в ланці: „джерело струму – фази мережі – опори ізоляції (витоку) – земля”. Дослідженнями [1; 2] встановлена раціональність останнього методу, який взятий за основу схемотехніки сучасних засобів захисту. Однак, захисна дія цих засобів, що спрямована на відокремлення енергетичного потоку з боку живлячої трансформаторної підстанції, є недостатньою, оскільки мережа після захисного відключення перебуватиме певний час під дією зворотних ЕРС асинхронних двигунів (АД) споживачів. Удосконалення захисних засобів у напрямку відокремлення зворотних енергетичних потоків в шахтних дільничних електромережах має наукову і практичну актуальність.

Аналіз досліджень та публікацій. Проблематика захисту від витоків струму на землю в шахтних дільничних електромережах ви-

світлена результатами досліджень в напрямках визначення наявності кола підвищеної провідності між фазою мережі і землею, а також створення засобів компенсації ємнісної складової опору ізоляції кабельної мережі [1-3]. Дослідженнями обґрунтована схемотехніка захисних засобів і захисний захід, який полягає у відокремленні всієї дільничної мережі від джерела електроживлення - комплектної трансформаторної підстанції. Дослідженнями [4] визначена можливість удосконалення захисної функції за рахунок застосування автономних засобів визначення небезпечного стану мережі і відокремлення зворотних енергетичних потоків АД споживачів. Це обумовлює доцільність аналізу області застосування окремих видів засобів захисного знеструмлення шахтних дільничних електромереж і напрямів удосконалення їхньої структури.

Постановка задачі. Задача досліджень полягає у визначенні області застосування окремих видів засобів захисного знеструмлення шахтних дільничних електромереж і напрямів удосконалення їхньої структури на основі аналізу їх властивостей захисних засобів.

Основний матеріал і результати досліджень. Застосування постійного оперативного струму в якості контрольованого параметру, знайшло промислове впровадження у схемах апаратів захисту від витоків струму на землю (як сучасного виробництва, так і у попередніх зразках). Принциповими є відмінності у застосуванні вимірювального пристрою. Найпростішим є узагальнення функції виміру оперативного струму і формування команди на захисне відключення дільничної мережі в одному технічному засобі – електромагнітному реле при підключенні його послідовно в ланцюг оперативного струму. Незважаючи на простоту виконання, це технічне рішення має очевидні недоліки, які полягають наявності можливості неспрацьовування захисту через відмову реле, пошкодження ланки оперативного струму, у недостатній точності виміру струму витоку на землю.

Цим обумовлені принципові зміни в підході до побудови схеми засобу визначення наявності кола витоку струму на землю, а саме, у запровадженні властивості самоконтролю працездатності схеми. Ці принципові положення реалізовані в схемах апаратів АЗПБ; АЗУР і полягають у створенні керуючого впливу на захисне відключення дільничної мережі в разі відключення виконавчого реле засобу захисту. Визначення наявності ланки з небезпечним струмом витоку на землю виконується шляхом порівняння постійного оперативного струму, що циркулює у фазах мережі, опорах ізоляції та контурі „земля”, з ета-

лонним струмом в самій схемі апарата захисту [2]. Схема апарата захисту має постійно отримувати живлення безпосередньо від трансформатора комплектної підстанції (КТП), а захисна функція полягатиме

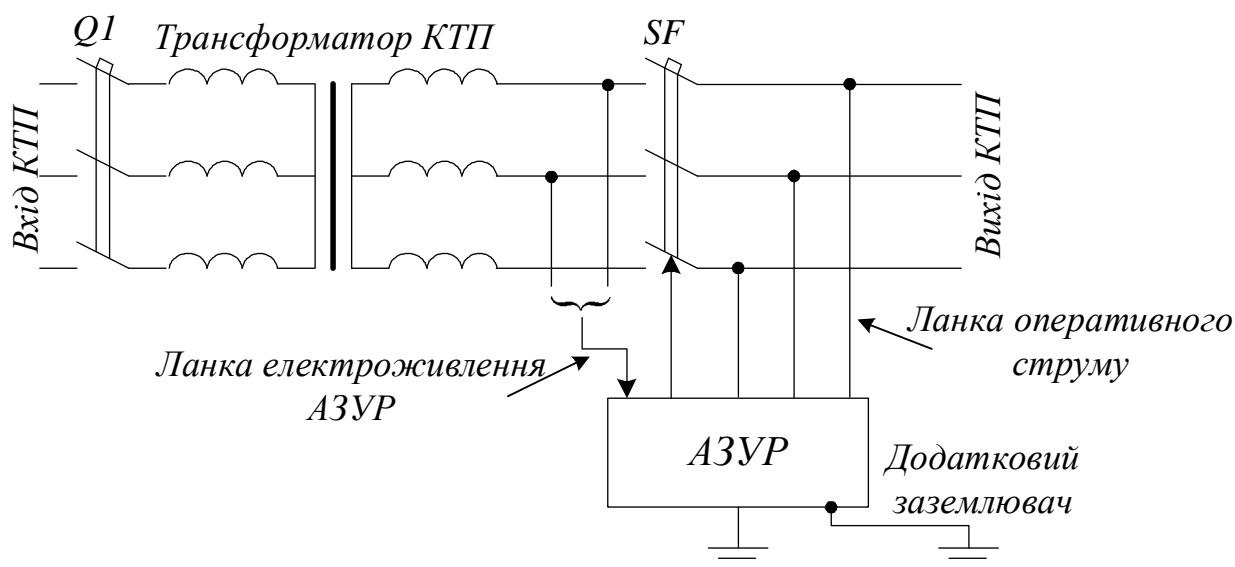


Рис. 1 – Схема підключення функціональних ланцюгів АЗУР до елементів комплектної трансформаторної підстанції

у відключенні виконавчого реле і впливі на автоматичний вимикач SF КТП (рис. 1).

Забезпечення захисту від електроураження людини в мережі шахтної ділянки може бути досягнуто в разі не перевищення кількості електрики в колі витoku на землю максимальної нормованої величини $50 \text{ мА} \times \text{с}$ [5]. Це досягається поєднанням двох функцій – прискоренням визначення і відключення ланки витoku струму на землю і зменшенням величини струму в колі витoku за рахунок компенсації ємнісної складової опору ізоляції. Враховуючи на те, що в процесі експлуатації технологічного устаткування опір ізоляції змінюється із підключенням, або відключенням окремих силових приєднань, доцільним технічним рішенням є автокомпенсація ємності мережі. В апаратах серії АЗУР-1 – АЗУР-3 вона здійснюється зміною постійного струму підмагнічування компенсуючого дроселя в ланцюзі оперативного струму) відповідно до визначеної величини ємності ізоляції фаз мережі.

В мережі номінальної напруги 660 В вищезазначені захисні властивості технічних засобів є достатніми, однак інерційність пере налаштування дроселя авто компенсатора припускає утворення великої кількості електрики (на часових інтервалах пере налаштуван-

ня) і обумовлює недостатність цієї захисної функції в мережі номінальної лінійної напруги 1140 В. Це обумовлює принципову зміну структури засобу захисту від витoku струму на землю в мережі вказаної напруги, що ілюструється схемою (рис. 2).

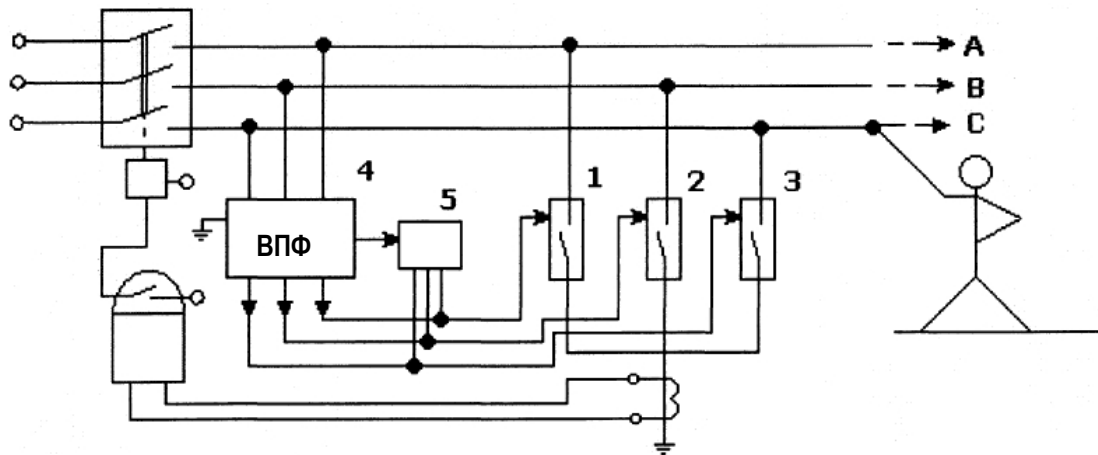


Рис. 2 – Схема пристрою застосування захисного закорочування на землю пошкодженої фази. 1-3 – фазні короткозамикачі; 4 – блок визначення пошкодженої фази; 5 – блок керування короткозамикачами

В захисних засобах мережі напруги 1140 В додатковою захисною функцією слід вважати застосування короткозамикачів пошкодженої фази, що спрацьовують водночас із захисним відключенням мережі [6]. Це дає можливість «шунтування» людини на землю (в процесі захисного відключення мережі) в разі її торкання до струмоведучих елементів мережі 1140 В, що є під напругою. Визначення пошкодженої фази в блоці короткозамикача полягає у зіставленні напруги між фазами мережі і землею з певною еталонною напругою, яка має бути меншою мінімального значення напруги між фазами з непошкодженою ізоляцією і землею, а спрацьовування короткозамикача пошкодженої фази відбувається водночас із захисним відключенням мережі за командою блока визначення кола витoku струму на землю. Доведено, що застосування статичних компенсаторів ємності ізоляції мережі, налаштованих на компенсацію ємності 0,5 мкФ/фазу є достатнім захисним заходом в мережах сучасних потужностей (напруги 1140 В) за умови запровадження коротко замикання пошкодженої фази. Однак, недолік, пов'язаний із інерційністю регульованих дросельних автокомпенсаторів, має тенденцію усунення схемотехнікою перспективних засобів захисту (апарати АЗУР-1М), де запроваджена безперервна компенсація узагальненої ємності 1мкФ/фазу, створеної, частково, ємністю мережі і, частково, додатковими ємнос-

тями у схемі апарата за умови швидкодіючої корекції цих додаткових ємностей шляхом комутації їх складових при керуванні процесом від мікропроцесорного засобу виміру ємності мережі (рис. 3) [7].

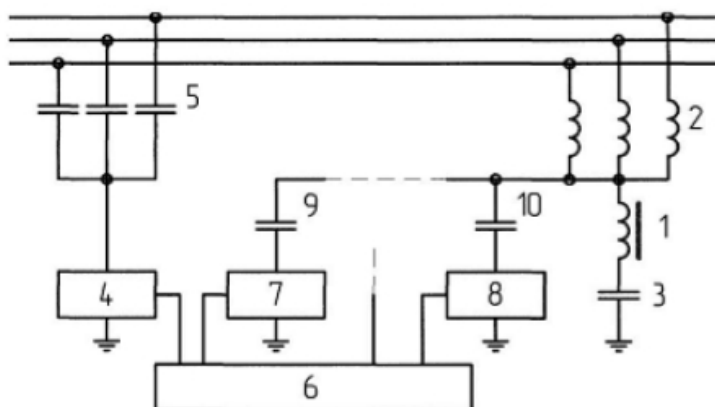


Рис. 3 – Структурна схема пристрою компенсації ємнісних струмів витoku: 1 – компенсуючий дросель з немагнітним зазором; 2, 5 – фільтри; 3, 9, 10 – конденсатори; 4 – генератор струму підвищеної частоти; 6 – блок управління; 7, 8 – комутуючі ключі

джерела живлення не припиняється струм в колі витoku на землю, оскільки залишається впливова функція з боку зворотних ЕРС АД споживачів. В разі відсутності коротко-замикання пошкодженої фази живлення кола витoku струму на землю відбуватиметься весь термін наявності зворотної ЕРС АД аварійного приєднання і певний термін часу від зворотних ЕРС АД суміжних приєднань, доки узагальнена зворотна ЕРС мережі підтримуватиме у ввімкненому стані контактори (КМ1; КМ2; КМ3) магнітних пускачів дільничного розподільчого пункту (рис. 4) [8].

В разі застосування короткозамикачів підживлення кола витoku струму на землю відбуватиметься від АД аварійного приєднання після відключення контактора його магнітного пускача, що теж підвищуватиме кількість електрики в ланцюзі витoku струму на землю. Отже, принципово важливим є запровадження функції захисного відокремлення зворотних енергетичних потоків АД за умови обмеження кількості електрики, що накопичується в ланцюзі R_{sum} (тіло людини) на рівні, що не перевищує припустимої за критерієм електробезпеки величини ($q=50 \text{ мА}\cdot\text{с}$).

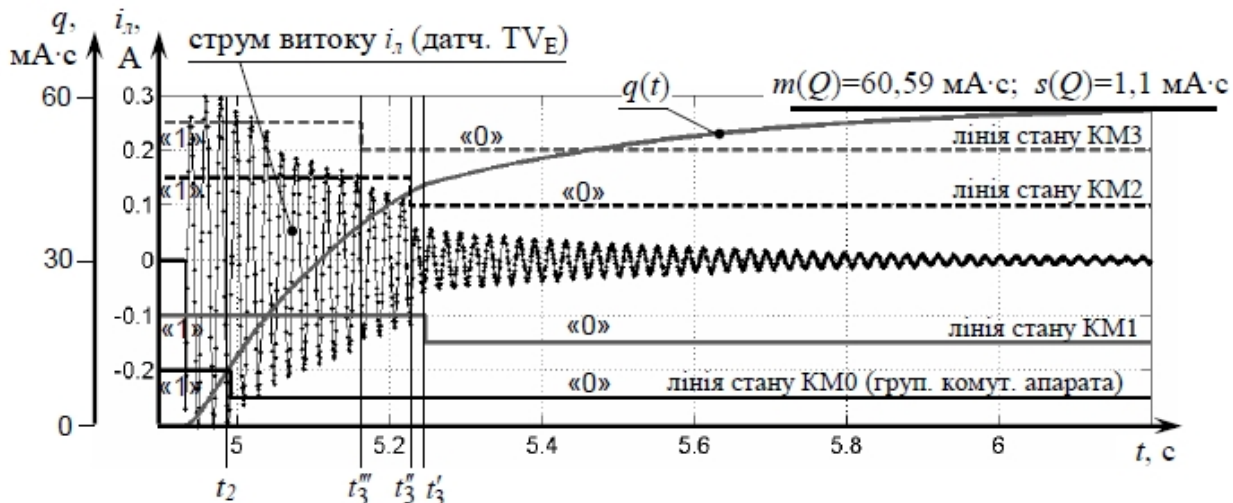


Рис. 4 – Осцилограма струму витoku та накопичення кількості електрики $q(t)$ при функціонуванні трьох двигунів [8]

З урахуванням розташування пристрою відокремлення зворотного енергетичного потоку з боку асинхронного двигуна, його функціонування:

- має бути автономним і не узгоджуватись із станом захисних пристроїв комплектної трансформаторної підстанції, групового автоматичного вимикача та пускачів;

- не повинно впливати на режим нейтралі електромережі і параметри дільничного пристрою захисту від витoku струму на землю; зменшувати величину опору ізоляції мережі; залежати від впливу комутаційних перехідних процесів в дільничній мережі.

Цим вимогам відповідає схема пристрою (рис. 5). Ланка послідовно приєднаних конденсатора $C1$, ланцюга $R4$ $C2$ та діода $VD1$ між загальною точкою резисторів $R1 - R3$ і землею утворює ланцюг короточасної провідності в разі торкання людиною фазного провідника мережі. Параметри імпульсу напруги на резисторі $R4$ (10 кОм) в мережі 660 В при моделюванні процесу програмними засобами комп'ютерного моделювання наведені на рис. 6 і є достатніми для формування сигналу на відключення додаткового контактора $KM 2.1$ на ввіді статора асинхронного двигуна.

Таким чином, наявність конденсатора $C1$ перешкоджає тривалому протіканню струму в ланцюзі визначення пошкодження кабелю; полярність підключення діода $VD1$ перешкоджає впливу цього ланцюга на оперативний струм дільничного апарата захисту від витoku струму на землю. Комутацією резистора $R5$ в момент замикання $KM2.2$ розряджається конденсатор $C1$, чим відновлюється працездат-

ність ланцюга визначення пошкодження кабелю після спрацювання засобу захисного відокремлення зворотного енергетичного потоку асинхронного двигуна. У сукупності, це створює ефект визначення пошкодження в кабелі живлення асинхронного двигуна автономним технічним засобом. Дослідження параметрів струму в ланцюзі витoku на землю (тіло людини) в розрахунковій схемі (рис. 7) передбачає опис струмів в окремих ланках системою рівнянь (1) [9]

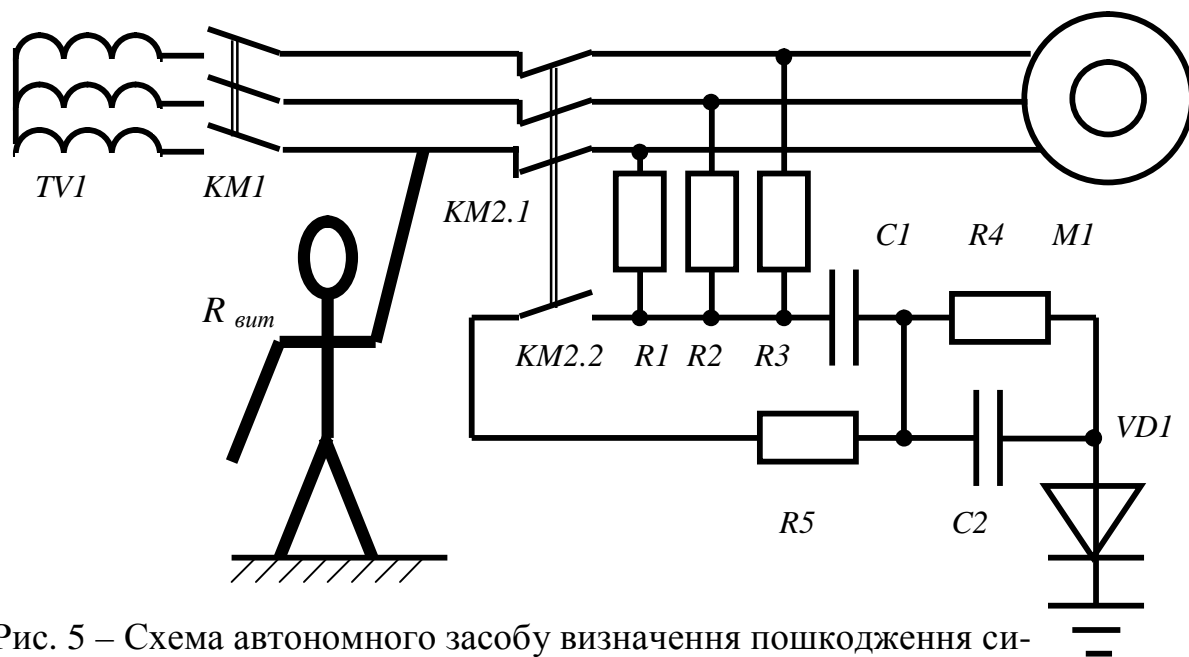


Рис. 5 – Схема автономного засобу визначення пошкодження силової ланки електроживлення асинхронного двигуна і захисного відокремлення його зворотного енергетичного потоку

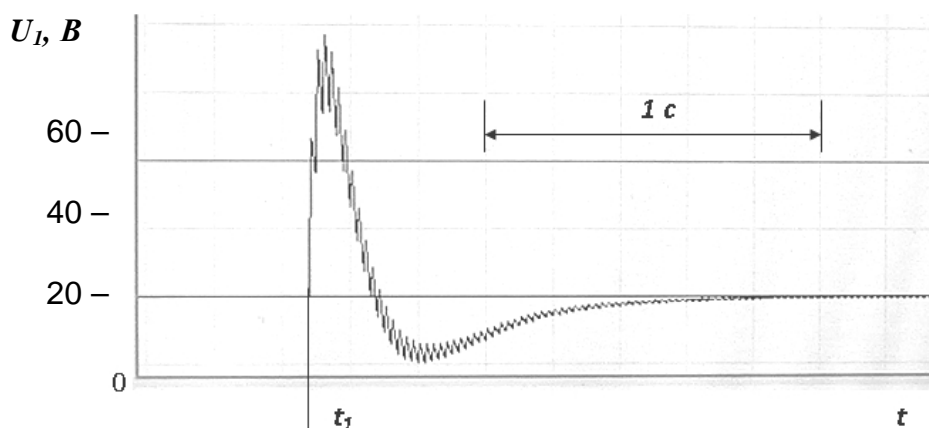


Рис. 6 – Осцилограма напруги на резисторі R4 ланцюга визначення оперативного параметру засобу відокремлення зворотного енергетичного потоку асинхронного двигуна при виникненні в момент t_1 пошкодження живлячого кабелю

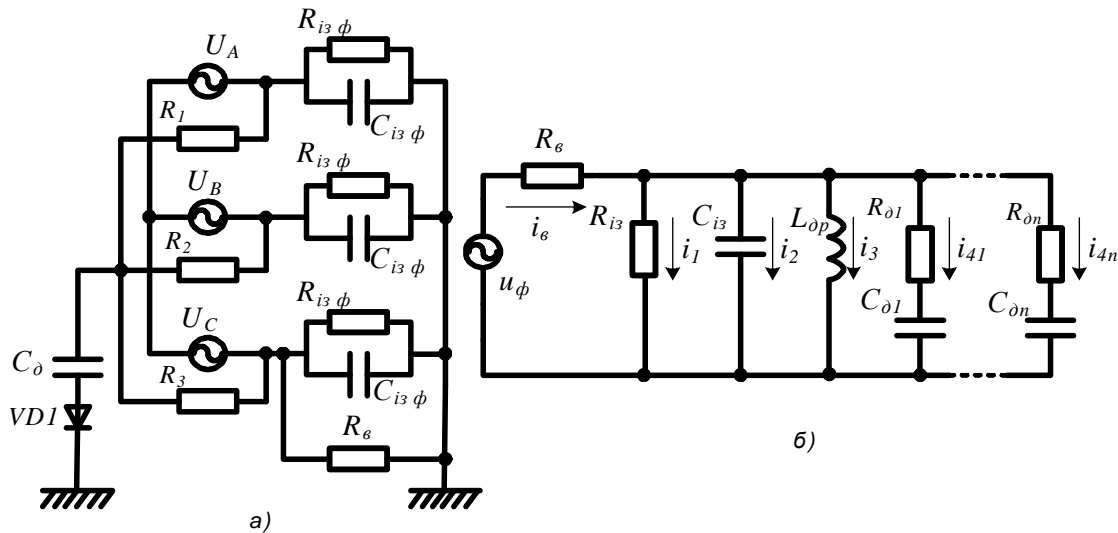


Рис. 7 – Схема заміщення системи (а) та еквівалентна схема заміщення (б) кола однофазного витоку струму на землю з урахуванням ланцюга визначення оперативного параметра та пристрою компенсації ємнісної складової струму витоку

$$\left\{ \begin{aligned}
 i_1 &= \frac{1}{R_{i3} C_{i3}} \int i_2 dt \\
 i_2 &= \frac{1}{R_6} (u_\phi - R_{i3} i_1) - i_1 - i_3 - i_4 \\
 i_3 &= \int i_n dt \\
 i_n &= \frac{1}{L_{\partial p} C_{u3}} \int i_2 dt \\
 i_4 &= \frac{1}{R_\partial} \left(L_{\partial p} i_n - \frac{1}{C_{u3}} \int i_4 dt \right) \\
 i_6 &= i_1 + i_2 + i_3 + i_4
 \end{aligned} \right. \quad (1)$$

З урахуванням захисної дії дільничного апарата захисту від витоків струму на землю відокремлення зворотного енергетичного потоку асинхронного двигуна створює ефект синхронного автоматичного двобічного знеструмлення мережі в момент виникнення її аварійного (небезпечного) стану і суттєво зменшує величину кількості електрики в колі витоку струму на землю (рис. 8).

Це обумовлює доцільність застосування автономних засобів відокремлення зворотних енергетичних потоків асинхронних двигунів.

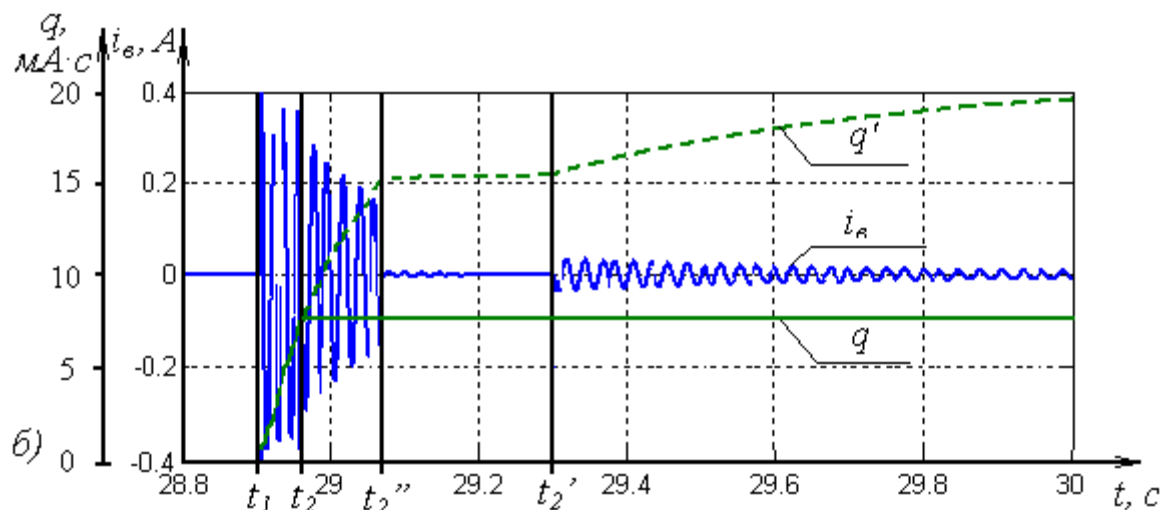


Рис. 8 – Діаграми струму витoku на землю i_e та кількості електрики q через коло витoku в мережі 1140 В за наявності статичної компенсації ємності мережі та функції замикання пошкодженої фази на землю (РУ-1140): q' - без урахування; q - з урахуванням наявності ланцюга відокремлення зворотного енергетичного потоку АД

Висновки і напрямок подальших досліджень. Діалектика удосконалення засобів захисного знеструмлення шахтних дільничних електромереж полягає у створенні швидкодіючих пристроїв виміру струму витoku на землю з функцією самоконтролю стану схеми; підтримання параметру кількості електрики в колі витoku на припустимому рівні за рахунок додаткових функцій компенсації ємності ізоляції мережі і закорочування ушкодженої фази. Доведена працездатність і доцільність застосування автономних засобів визначення пошкодження кабелів живлення асинхронних двигунів як умови одночасного автоматичного захисного відокремлення енергетичних потоків в шахтній дільничній електромережі. Напрямок подальших досліджень слід вважати визначення параметрів виконавчих пристроїв комутації зворотних ЕРС асинхронних двигунів.

Список літератури

1. Лейбов Р.М. Взрывобезопасное реле утечки типа РУВ (Устройство и опыт эксплуатации) / Р.М. Лейбов. – М.: Углетехиздат, 1953. – 31 с.
2. Дзюбан В.С. Взрывозащищенные аппараты низкого напряжения / В.С. Дзюбан. – М.: Энергоатомиздат, 1993. – 240 с.
3. Забезпечення безпеки та ефективності шахтних електроустановок / [Вареник Є.О., Випанасенко С.І., Дзюбан В.С. и др.]; за ред. Г. Г. Півняка. – Дніпропетровськ: Нац. гірничий ун-т, 2004. – 334 с.
4. Маренич К.Н. Синхронное двустороннее обесточивание поврежденного участка кабеля шахтной участковой электросети / К.Н. Маренич, И.В. Ковалёва // Уголь Украины: научный журнал. – 2011. – Вып. №5. – С. 53-54.

5. Апараты защиты от токов утечки рудничные для сетей напряжением до 1200 В. Общие технические условия: ГОСТ 22929–78. С изменениями согласно ИУС 11–80, 7–81, 11–83. Соответствует СТ СЭВ 2309–80. – [Вступил в силу 01.01.1979]. – М.: Изд-во стандартов, 1987. – 13 с.
6. Справочник энергетика угольной шахты: в 2 т. / [Дзюбан В.С., Ширнин И.Г., Ванеев Б.Н. и др.]; под ред. Б.Н. Ванеева. – 2-е изд., перераб. и доп. – Донецк: ООО «Юго-Восток, Лтд», 2001. – Т.1.: (Гл. 1–21). – 447 с.; Т.2.: (Гл. 22–44). – 440 с.
7. Спосіб автоматичної компенсації ємнісних струмів витoku в трифазних електричних мережах з ізольованою нейтраллю: патент на корисну модель 46748 (UA), МПК (2009) H02J 3/00 / В.М. Савицький, О.І. Белошистов, О.В. Савицький. – u 2009 04385. заявл. 05.05.2009, опубл 11.01.2010; Бюл. №1.
8. Василець С.В. Математичне моделювання перехідних процесів в багатомашинних шахтних електротехнічних комплексах: дис. ...канд. техн. наук: 05.09.03 / Святослав Володимирович Василець. – Донецьк, 2010. – 194 с.
9. Пристрій захисту від впливу зворотного енергетичного потоку асинхронного двигуна на точку ушкодження в кабелі живлення: патент на корисну модель 73720 (UA), МПКН02Н3/08 / К.М. Маренич, І.В. Ковальова, І.О. Лагута. – u 201201848; заявл. 20.02.2012, опубл. 10.10.2012; Бюл. № 19.

Стаття надійшла до редакції 05.11.2012

К.Н. Маренич. Донецкий национальный технический университет

Диалектика совершенствования средств защитного обесточивания цепи утечки тока на землю в шахтной участковой электросети.

Совершенствование функции защитного обесточивания шахтной участковой электросети предполагает контроль состояния устройства измерения тока утечки, применение компенсации ёмкости изоляции сети, короткозамыкателя повреждённой фазы и автономных средств подавления обратных энергетических потоков асинхронных двигателей.

Ключевые слова: электротехнический комплекс, участок шахты, безопасность эксплуатации, ток утечки на землю, асинхронный двигатель, ЭДС вращения, автоматическое устройство, защитное обесточивание.

К. Marynych. Donetsk National Technical University

Dialectics of Improving the Devices for Protective Disconnection of the Circuit of Current Leakage to the Earth in a Mine Power Supply Network.

Improving the protective disconnection of mine local power supply network presupposes current measurement device control, the use of network insulation capacity compensation, the application of a damaged phase short circuitor and independent units of suppressing the reverse power currents of induction motors.

Keywords: electrotechnical complex, mine section, exploitation safety, current leakage, induction motor, rotating EMF, automatic device, protective disconnection.