

УДК 622: 621.3

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

ОБГРУНТУВАННЯ ДОЦІЛЬНОСТІ ПРИМУСОВОГО ВІДКЛЮЧЕННЯ КОНТАКТОРА МАГНІТНОГО ПУСКАЧА В ПРОЦЕСІ ЗАХИСНОГО ЗНЕСТРУМЛЕННЯ ДІЛЬНИЧНОЇ ЕЛЕКТРОМЕРЕЖІ ШАХТИ

Визначена особливість впливу зворотної ЕРС асинхронного двигуна на параметри струму витоку на землю після захисного відключення електромережі з урахуванням властивостей засобу захисту від витоків струму на землю, обумовлена доцільність і запропонований пристрій примусового відключення контактора магнітного пускача.

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

Актуальність проблеми та її зв'язок з прикладними задачами. Застосування засобів автоматичного захисту від витоків струму на землю в електромережах шахтних дільниць є обов'язковим заходом із забезпечення електробезпеки при експлуатації рудникового електрообладнання. Але захисна функція цих засобів не є достатньою через наявність зворотних енергетичних потоків асинхронних двигунів (АД) споживачів після відключення напруги живлення мережі. Тому дослідження властивостей споживачів дільниці стосовно утворення (підтримання) небезпечного стану їх електромережі є актуальним.

Аналіз досліджень та публікацій. Дослідженням [1] встановлена спроможність зворотних ЕРС АД не тільки підтримувати струм в колі однофазного витоку на землю, але й підтримувати ввімкнений стан контакторів магнітних пускачів і, через це, створювати узагальнену ЕРС мережі, підтримуючи певний час двигуни малої потужності гірничих машин у рушійному стані, і загальне електроживлення мережі після її відключення від трансформаторної підстанції. Детального аналізу потребує проблематика впливу АД на процес утворення струму в колі витоку на землю після захисного відключення мережі з урахуванням захисних властивостей дільничних засобів захисту від витоку струму на землю.

Постановка задачі. Задачею дослідження є встановлення характерних особливостей та параметрів процесів в дільничному електротехнічному комплексі під час вибігу двигунів споживачів за умови наявності автоматичної компенсації ємнісної складової струму витоку на землю на основі математичного моделювання об'єкта.

Основний матеріал і результати досліджень. Стан ланцюга однофазного витоку струму на землю досліджується за схемою заміщення, що наведена на рис. 1 [2], де позначено: u_ϕ – фазна напруга в аварійній точці; $R_{лв}$ – опір ланцюга витоку; $C_{i3} = 3C_{i3\phi}$,

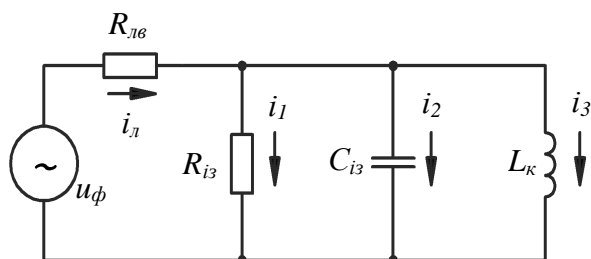


Рис. 1 - Схема заміщення системи електроживлення АД за наявності кола однофазного витоку струму на землю

$R_{i3} = R_{i3\phi}/3$ – сукупна ємність та активний опір ізоляції трьох фаз мережі; $C_{i3\phi}$, $R_{i3\phi}$ – те ж саме однієї фази мережі; L_k – індуктивність компенсуючого дроселя; i_l – струм витоку.

Під час вибігу двигунів через стохастичне самовільне відключення КА відгалужень значення $C_{i3\phi}$ та $R_{i3\phi}$ не лишаються сталими. Обчислювати вказані величини у довільний момент перебігу аварійної ситуації пропонується за допомогою виразів:

$$C_{i3\phi} = \bar{\beta}_k \left(C'_{i3\phi} + \sum_{i=1}^n \bar{\beta}_i C''_{i3\phi i} \right) + \beta_k C''_{i3\phi k} = f(C'_{i3\phi}, \{C''_{i3\phi i}\}, \{\beta_i\}, k); \quad (1)$$

$$R_{i3\phi} = \left[\bar{\beta}_k \left(\frac{1}{R'_{i3\phi}} + \sum_{i=1}^n \frac{\bar{\beta}_i}{R''_{i3\phi i}} \right) + \frac{\beta_k}{R''_{i3\phi k}} \right]^{-1} = f(R'_{i3\phi}, \{R''_{i3\phi i}\}, \{\beta_i\}, k), \quad (2)$$

де $\{\beta_i\}$ – вектор змінних стану комутаційних апаратів відгалужень системи ($\beta_i=1$ – КА $_i$ відключений; $\beta_i=0$ – КА $_i$ ввімкнений); $\bar{\beta}_i$ – інверсована змінна стану КА $_i$; k – номер відгалуження із ланцюгом витоку струму на землю; $C'_{i3\phi}$, $R'_{i3\phi}$ – відповідно ємність та активний опір ізоляції фази магістрального кабеля; $C''_{i3\phi i}$, $R''_{i3\phi i}$ – те ж саме гнучкого кабеля i -го відгалуження; $\{C''_{i3\phi i}\}$, $\{R''_{i3\phi i}\}$ – вектори параметрів ізоляції гнучких кабелів;

Якість налаштування компенсуючого дроселя оцінюється коефіцієнтом розладу V . Знаходження величини V у припустимих межах $V_{np1,2} = \pm 0,1$ [2] з імовірністю 0,9973 забезпечується встановленням математичного очікування $\mu_V = 0$ та стандартного відхилення $\sigma_V = 0,033$ коефіцієнта розладу. Індуктивність компенсуючого дроселя без урахування часу на переналаштування обчислюється за залежністю [2]:

$$L = \frac{1}{\omega^2 C_{i3} (1 - \nu)}, \quad (3)$$

де ω – частота напруги в системі.

Стрибкоподібна зміна ємності ізоляції мережі при самовільному відключенні КА відгалужень призводить до переналаштування автокомпенсатора ємнісної складової струму витоку на землю. Припустивши, що при цьому індуктивність компенсуючого дроселя змінюється аперіодично, введемо до розгляду аперіодичну ланку першого порядку з передавальною функцією:

$$W(p) = \frac{1}{T_{ак} p + 1}, \quad (4)$$

де $T_{ак}$ – стала часу переналаштування автокомпенсатора; приймаючи, що за 0,1 с згідно ГОСТ 22929–78 індуктивність дроселя досягає 95% від усталеного значення, маємо: $T_{ак} = 0,1/3 = 0,033$ с.

За нульових початкових умов процеси у схемі заміщення ланцюга однофазного витоку струму на землю (рис. 1) описуються системою рівнянь:

$$\begin{cases} i_1 = \frac{1}{R_{i3} C_{i3}} \int i_2 dt; \\ i_2 = \frac{1}{R_{лв}} (u_\phi - i_1 R_{i3}) - i_1 - i_3; \\ i_3 = \alpha_{ак} \bar{\beta}_k \int i_4 dt; \\ i_l = i_1 + i_2 + i_3, \end{cases} \quad (5)$$

де $i_4 = \frac{1}{L_k C_{i3}} \int i_2 dt$; L_k – індуктивність дроселя з урахуванням процесу переналаштування; $\alpha_{ак}$ – логічна змінна визначає наявність ($\alpha_{ак} = 1$) або відсутність ($\alpha_{ак} = 0$) компенсатора в системі; $\bar{\beta}_k$ – інверсована змінна стану комутаційного апарата (КА) аварійного відгалуження,

враховує порушення зв'язку компенсуючого дроселя із аварійною точкою після самовільного відключення КА.

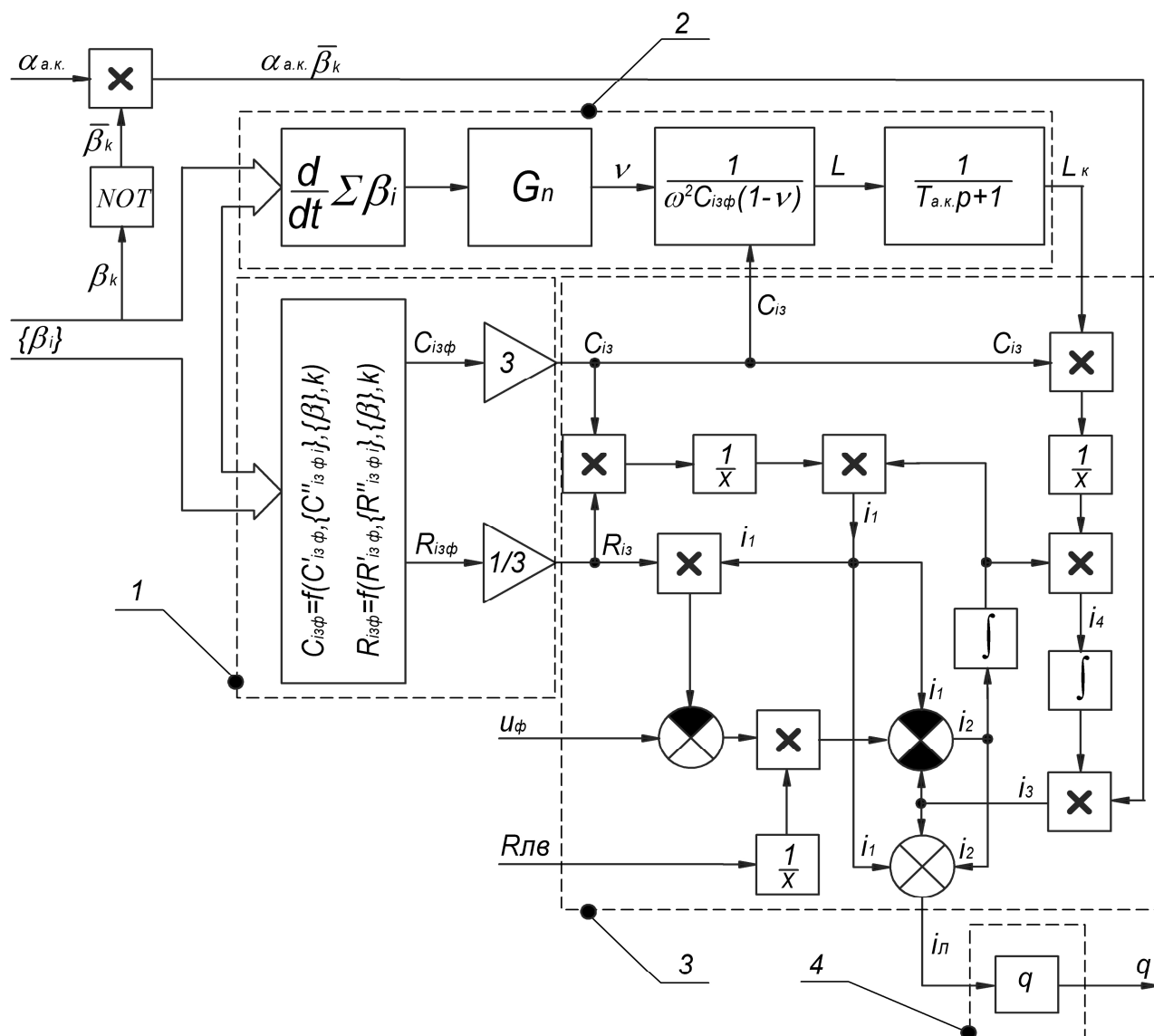


Рис. 2 - Модель ланцюга витoku струму на землю: 1 – блоки обрахування параметрів ізоляції; 2 – блоки моделювання автокомпенсації ємнісного струму витoku; 3 – блоки реалізації системи рівнянь (5); 4 – блок, що відповідає залежності (6)

Кількість електрики, що пройшла через опір ланцюга однофазного витoku струму за інтервал часу $[t', t'']$, обчислюється згідно залежності (6) а структурна схема математичної моделі ланцюга однофазного витoku струму на землю з урахуванням наявності пристрою автокомпенсації ємнісної складової струму витoku наведена на рис. 2:

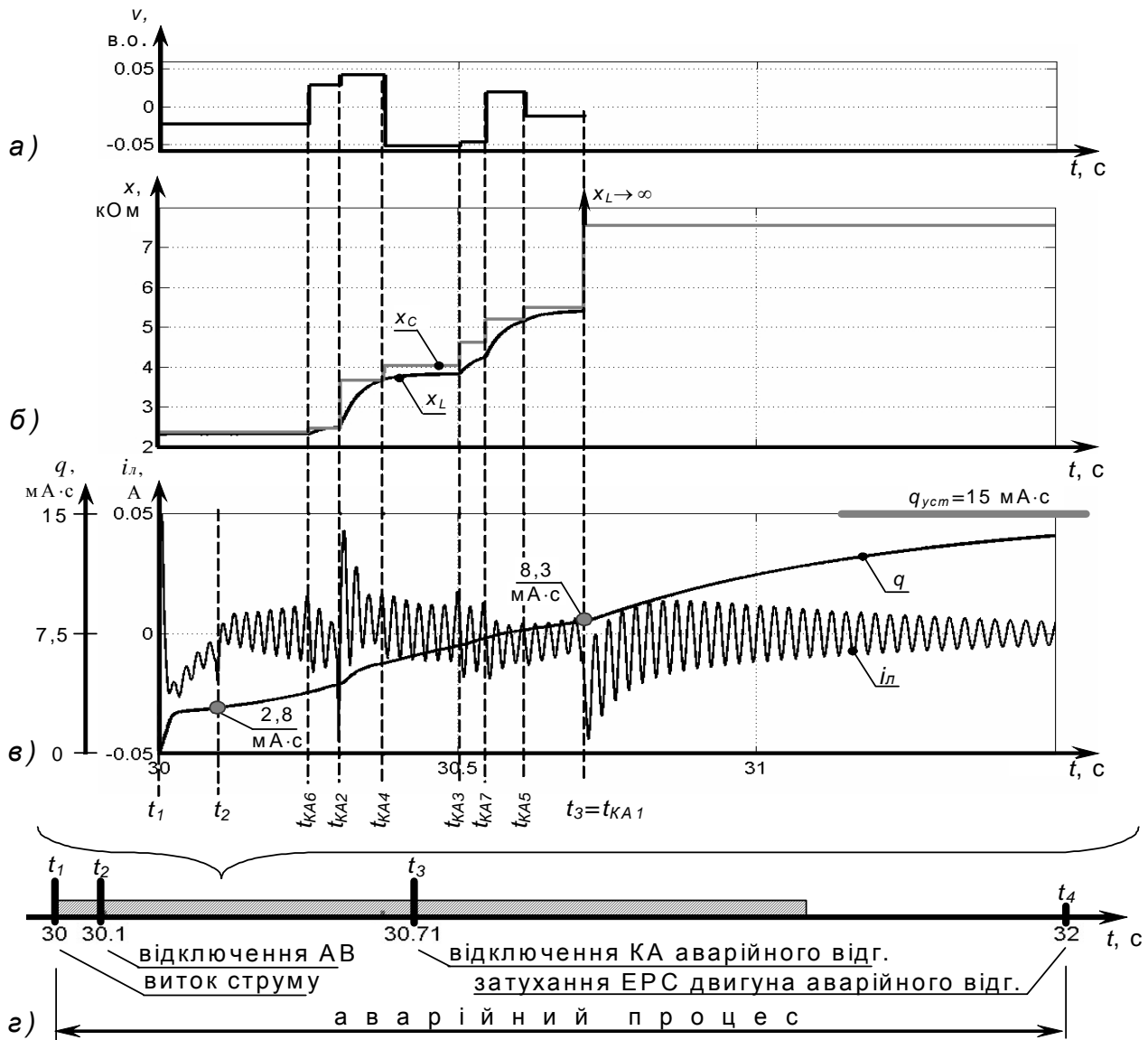


Рис. 3 – Діаграми, що характеризують стан ланцюга однофазного витoku струму на землю за наявності пристрою автоматичної компенсації ємнісної складової струму витoku: *а* – випадкові значення коефіцієнта розладу автокомпенсатора v ; *б* – ємнісний опір ізоляції трьох фаз мережі відносно землю x_C та індуктивний опір автокомпенсатора x_L ; *в* – миттєві значення струму витoku i_L та кількості електрики через опір ланцюга витoku q ; *г* – вісь для ілюстрації часового діапазону (заштрихований), який відображений на діаграмах

$$q = \int_{t'}^{t''} I_L dt, \tag{6}$$

де I_L – ефективне значення струму витoku.

В результаті комп'ютерного моделювання витoku струму на землю через опір 1кОм в типовій схемі електротехнічного комплексу технологічної дільниці, що вміщує 7 АД номінальної потужності: 30 кВт; 55 кВт (по 2 двигуни) і 160 кВт (3 двигуни) з кабелями перерізом від 16 мм^2 до 50 мм^2 , довжиною від 50 м до 210 м при напрузі 660 В отримані діаграми (рис. 3), що ілюструють зміну струму і кількості електрики в колі витoku на землю на від початку аварійної ситуації (момент t_1) до моменту t_3 самовільного відключення комутаційного апарата аварійного відгалуження і у подальшому – внаслідок підживлення кола витoku на землю від АД аварійного відгалуження. Отже, до моменту t_3 струм витoku на землю підтримується груповою ЕРС обертання двигунів споживачів внаслідок підтримання цією ЕРС у ввімкненому стані контакторів всіх пускачів. Це обумовлює доцільність запровадження примусового відключення контактора пускача при відключенні напруги живлення мережі.

Засіб керування примусовим відключенням контакторів пускачів в момент спрацьовування захисту від витoku струму на землю представлений схемою (рис. 4) [3].

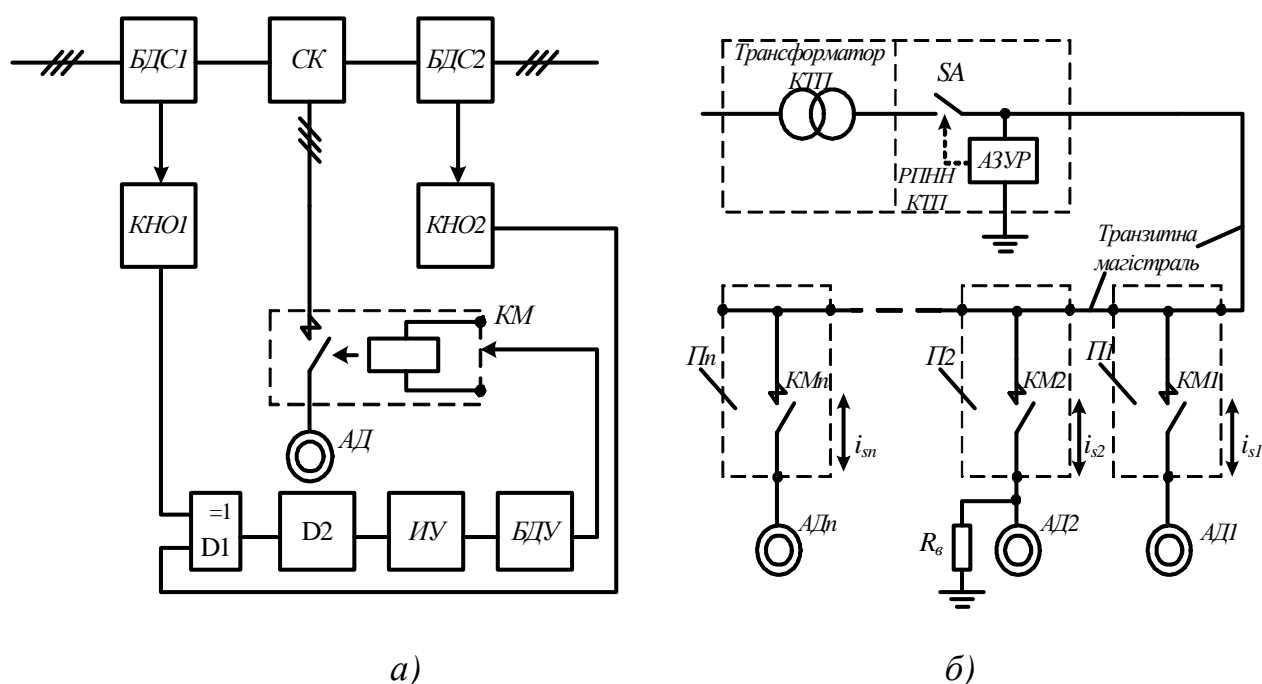


Рис. 4 – Спрощені структурні схеми: а) пристрою примусового відключення пускача; б) електропостачання дільниці шахти

Ця функція має бути реалізована за умови модернізації пускача. Зокрема, підключення ввідного та відходячого кабелю транзитної магістралі до силових контактів (СК) приєднання в мереженому відді-

ленні кабельного вводу пускача має бути здійснене послідовно через блоки датчиків струму (БДС1 і БДС2). Компаратори - нуль-органи (КНО1 і КНО2) призначені для формування сигналів логічної «одиниці» в разі наявності струму в кабелі, що контролюється відповідним блоком датчиків струму. При відключенні живлячої трансформаторної підстанції припиняється струм у ввідному кабелі пускача, в той час, як в силовому ланцюзі контактора (КМ) та у відходячому кабелі магістралі буде протікати зрівнювальний струм, створений зворотними ЕРС двигунів споживачів. В цьому разі на виходах блоків БДС1 і БДС2 будуть сформовані, відповідно, логічний «нуль» і логічна «одиниця». Ці сигнали подаються на входи елемента «Виключне АБО» (D1) і обумовлюють формування логічної «одиниці» на його виході та імпульсу заданої тривалості на виході одно вібратора (D2). Це дає можливість виконавчому пристрою (ВП), виконаному за релейною, або напівпровідниковою ключовою схемою, розірвати ланцюг живлення котушки контактора КМ в блоці дистанційного управління (БДУ) і, тим самим, здійснити примусове відключення контактора пускача в момент відключення напруги мережі з боку живлячої трансформаторної підстанції.

Висновки та напрямок подальших досліджень. Обґрунтовано математичну модель ланцюга витоку струму на землю, яка відрізняється врахуванням переналаштовувань автокомпенсатора ємності мережі, та впливової функції зворотних ЕРС АД. Встановлено особливості впливу зворотних енергетичних потоків АД на електричні параметри в колі витоку на землю. Запропонований пристрій примусового відключення контактора пускача як засіб протидії зворотним енергетичним потокам АД. В ході подальших досліджень, має бути встановлена доцільність суміщення примусового відключення контакторів і запровадження примусового закорочування на землю фази з ланкою витоку.

Список літератури

1. Маренич К.М. Зворотні енергетичні потоки асинхронних двигунів як фактор небезпеки в електромережі шахти: монографія / К.М.Маренич, С.В.Василець. – Донецьк: ДВНЗ «ДонНТУ», 2012. – 206 с.
2. Колосюк В.П. Защитное отключение рудничных электроустановок / В.П.Колосюк. – М.: Недра, 1980. – 334 с.
3. 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.

Стаття надійшла до редакції 18.03.2013

К.Н. Маренич. ГВУЗ «Донецкий национальный технический университет»

Обоснование целесообразности принудительного отключения контактора магнитного пускателя в процессе защитного обесточивания участковой электросети шахты

Определена особенность воздействия обратной ЭДС асинхронного двигателя на параметры тока утечки на землю после защитного отключения электросети с учетом свойств защиты от утечек тока на землю, обусловлена целесообразность и предложено устройство принудительного отключения контактора магнитного пускателя.

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

K. Marenych. Donetsk National Technical University

Expediency of Forced Shutdown of Magnetic Actuator Contactor in the Course of Protective Disconnection of Mine Local Power Supply Network

The paper considers the influence of back emf of the induction motor on the parameters of leakage current after protective disconnection of the power network, taking into account the properties of the protection from current leakage. We suggest a device for forced shutdown of the magnetic actuator contactor.

Keywords: electrical system, mine section, exploitation safety, leakage current, induction motor, rotating electromotive force, contactor, protective disconnection.