

УДК 621.311:622:621.3

К.М. Маренич, С.В. ВасилюкДонецький національний технічний університет, м. Донецьк
кафедра «Гірнична електротехніка і автоматика ім. Р.М. Лейбова»E-mail: gea@dgту.donetsk.ua**АВТОМАТИЧНЕ ГАСІННЯ ЗВОРОТНЬОЇ ЕРС ДВИГУНІВ СПОЖИВАЧІВ
ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНОГО КОМПЛЕКСУ ДІЛЬНИЦІ ШАХТИ ЯК СПОСІБ
ПІДВИЩЕННЯ БЕЗПЕКИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ****Анотація**

Маренич К.М., Василюк С.В. Автоматичне гасіння зворотньої ЕРС двигунів споживачів електротехнічного комплексу дільниці шахти як спосіб підвищення безпеки експлуатації. Обґрунтовано спосіб та один із варіантів схемотехнічної реалізації пристрою гасіння зворотньої ЕРС асинхронних двигунів споживачів електротехнічного комплексу дільниці шахти після відключення напруги живлення, застосування якого дозволить знизити тривалість протікання струму через коло витоку на землю в дільничному електротехнічному комплексі шахти, що підвищує безпеку експлуатації.

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

Актуальність проблеми та її зв'язок з прикладними задачами.

Важливою вимогою до систем електропостачання технологічних дільниць вугільних підприємств є забезпечення достатнього рівня безпеки персоналу від ураження електричним струмом. На сьогодні це питання вирішується завдяки впровадженню апаратури відключення електромережі при наявності достатньої величини струму витоку на землю. Однак, ця апаратура не виконує повною мірою функції захисту людини від електроураження. Причиною є наявність в електричній мережі (після її відключення) зворотньої ЕРС асинхронних двигунів (АД) споживачів дільниці.

Підвищення енергетичних показників гірничих машин призводить до використання кабелів підвищеної довжини та перерізу, електродвигунів підвищеної потужності. Це обумовлює суттєве підвищення активної та ємнісної провідностей ізоляції кабельної мережі дільниці та збільшення часу існування зворотньої ЕРС двигунів після їх відключення від джерела живлення. Внаслідок цього збільшується величина струму витоку на землю та тривалість його існування, що може стати причиною смертельного електроураження людини при протіканні струму витоку через її тіло, або запалення метано-повітряної суміші достатнього рівня концентрації при виникненні електричної дуги в місці пошкодження ізоляції. Тому актуальним є питання щодо автоматичного обмеження тривалості існування ЕРС обертання асинхронного двигуна під час вибігу.

Аналіз досліджень та публікацій.

Питанню підвищення безпеки експлуатації дільничних електромереж шахт при виникненні витоку струму на землю присвячені роботи В.С. Дзюбана, В.П. Колосюка, Б.М. Ягудаєва, Ф.П. Шкрабця та інших науковців [1, 2]. Були обґрунтовані теоретичні основи та технічні рішення щодо виконання захисного відключення мережі та автокомпенсації ємнісної складової струму витоку в мережах напругою 660 В, а також виявлення та закорочення пошкодженої фази в мережах напругою 1140 В. Проте достатньої уваги питанню примусового гасіння зворотньої ЕРС обертання для зниження сукупної величини кількості електрики через опір кола витоку струму на землю приділено не було.

Постановка задачі.

Задчею дослідження є Обґрунтування способу та пристрою схемотехнічної реалізації гасіння зворотної ЕРС асинхронних двигунів споживачів електротехнічного комплексу (ЕТК) дільниці шахти після відключення напруги живлення.

Основний матеріал та результати досліджень.

Підвищити безпеку експлуатації дільничного електротехнічного комплексу за рахунок припинення дії ЕРС обертання двигунів можливо шляхом:

- забезпечення постійної готовності до припинення дії зворотної ЕРС двигунів споживачів, оскільки момент відключення напруги живлення ЕТК (наприклад, через виникнення витоку струму на землю) є випадковим;
- припинення дії ЕРС вибігу двигунів усіх відгалужень електротехнічної системи через непередбачуваність місця виникнення витоку струму на землю у структурі ЕТК;
- виконання припинення дії зворотної ЕРС двигунів споживачів не тільки після захисного, а також після штатного відключення автоматичного вимикача, оскільки існує можливість виникнення витоку струму на землю під час вибігу двигунів після відключення мережі за командою обслуговуючого персонала;
- забезпечення мінімально можливої тривалості часового проміжка від відключення групового силового комутаційного апарата до моменту здійснення гасіння ЕРС вибігу двигунів.

Реалізувати перелічені принципи пропонується з використанням способу [3] захисту людини від ураження електричним струмом в мережі з ізолюваною нейтраллю, що полягає у відключенні мережі груповим вимикачем за наявності струму витоку на землю, яке супроводжується припиненням дії зворотної ЕРС двигунів шляхом закорочення фаз кожного відгалуження.

Виявлення моменту відключення групового силового комутаційного апарата може бути здійснене опосередковано – шляхом аналізу величини струму кожного відгалуження. Перехід двигунів до режиму вибігу після відключення автоматичного вимикача супроводжується зниженням струмів у відгалуженнях до рівня зрівнювальних струмів, величина яких менша від струмів ненавантаженого стану двигунів. Таке зниження величини струму відгалуження є ознакою необхідності виконання припинення дії зворотної ЕРС двигуна даного відгалуження.

Закорочення фаз може здійснюватися на виході КА кожного відгалуження або на затискачах статорів двигунів (на рис. 1 показано другий варіант), що з точки зору безпеки є рівнозначним. Штучна нульова точка закорочувача може лишатися ізолюваною або під'єднуватися до заземлювача через дросель. В останньому випадку реле витоку здатне виявляти помилкове замкнення одного з ключів закорочувача під час функціонування ЕТК у нормальному режимі. Наявність дроселя суттєво не впливатиме на стан кола витоку струму на землю.

В разі виникнення витоку струму на землю у відгалуженні через опір 15, реле витоку 9 виявить аварійну ситуацію та подасть команду на захисне відключення групового комутаційного апарату (автоматичного вимикача) 8 (рис. 1). Це супроводжується зниженням струмів у кожному відгалуженні до рівня зрівнювальних струмів, що протікають між двигунами системи під час групового вибігу. За вказаною ознакою, використовуючи дані датчиків струму 2, блок контролю 7 виявляє момент відключення автоматичного вимикача та подає команду по лінії 16 на замикання ключів трифазного швидкодіючого комутатора 1. Закорочування фаз відгалуження комутатором 1 забезпечує припинення дії зворотної ЕРС двигуна 14, що підвищує безпеку стану кола витоку 15 після захисного відключення напруги живлення.

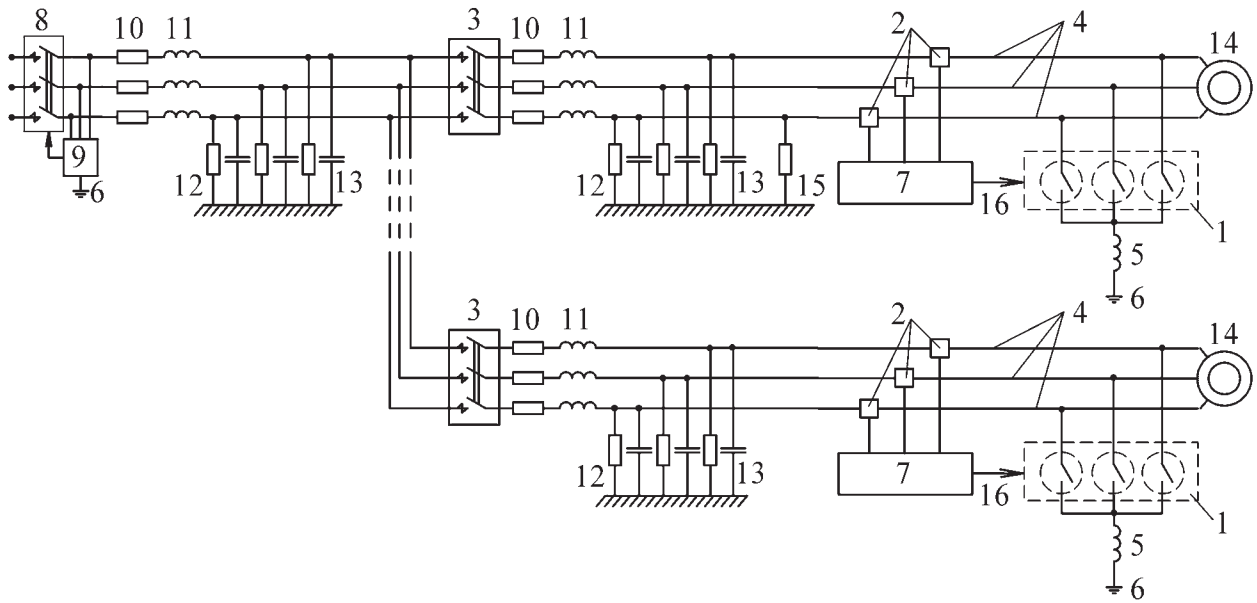


Рисунок 1 – Схема дільничного ЕТК із закорочувачами зворотної ЕРС двигунів, що підключені до затискачів статорів двигунів споживачів: 1 – трифазний швидкодіючий комутатор; 2 – датчики струму; 3 – пускач; 4 – кабельні відгалуження; 5 – дросель; 6 – заземлювач; 7 – блок контролю; 8 – груповий комутаційний апарат (автоматичний вимикач); 9 – апарат захисту від витоків струму на землю (реле витоків); 10, 11 – активний та індуктивний опір жил кабеля; 12, 13 – активний опір та ємність ізоляції фази кабеля відносно землі; 14 – асинхронний двигун споживача; 15 – опір кола однофазного витоків струму на землю; 16 – лінія подачі команд керування

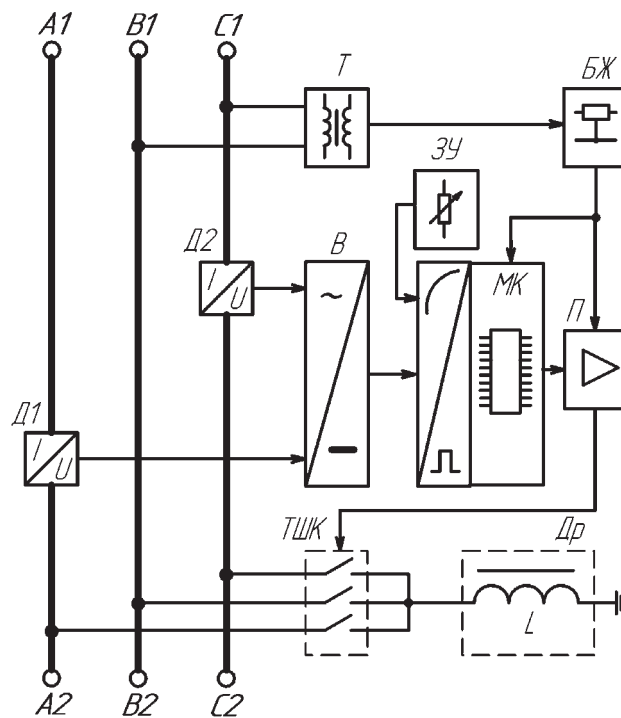


Рисунок 2 – Функціональна схема пристрою гасіння зворотної ЕРС двигуна відгалуження: БЖ – блок живлення; В – випрямляч; Д1, Д2 – датчики струму; Др – дросель; ЗУ – задатчик уставки; МК – мікроконтролер; П – підсилювач; Т – знижувальний трансформатор; ТШК – трифазний швидкодіючий комутатор

Відповідно до обґрунтованих вимог та способу [3] розроблено технічне рішення для підвищення безпеки експлуатації дільничного електротехнічного комплексу, яке забезпечує гасіння ЕРС двигуна відгалуження. Згідно функціональної схеми пристрою (рис. 2) струм відгалуження вимірюється датчиками Д1 та Д2, сигнали з яких надходять до випрямляча В. Вихід останнього підключено до аналого-цифрового перетворювача мікроконтролера МК, що дозволяє програмно контролювати рівень струму відгалуження. Згідно алгоритму функціонування мікроконтролера, в разі зменшення даної величини нижче уставки, яка встановлюється задатчиком ЗУ з урахуванням струму ненавантаженого стану двигуна відгалуження, через підсилювач П видається команда трифазному швидкодіючому комутатору ТШК на закорочення фаз відгалуження. В якості джерела живлення до моменту захисного відключення мережі використовується трансформатор Т, а після вказаного моменту, протягом необхідного для виконання припинення дії зворотньої ЕРС часу, пристрій живиться енергією, запасеною у конденсаторах блока живлення. Запропонований пристрій працює в автоматичному режимі без втручання обслуговуючого персоналу.

З метою експериментального дослідження ефективності функціонування лабораторного зразка пристрою (рис. 3) реалізована схема стенда, що імітує фрагмент дільничного ЕТК. Ця схема розрахована на напругу 380 В та вміщує наступні елементи:

- силовий комутаційний апарат КМ1 (контактор ПМЕ–211), сигнали керування на який подаються від мікропроцесорного блоку імітації функціонування дільничного ЕТК;
- модель ізоляції мережі, що вміщує конденсатори (КБГ–МН $1\text{мкФ}\pm 10\%$) та резистори (МЛТ–1–1М $\pm 5\%$) для імітації відповідно ємності та активного опору ізоляції кожної фази мережі відносно землі, а також коло однофазного витоку струму на землю, утворене резистором ПЭ–23–1к $\pm 5\%$, який за допомогою реле підключається між фазою мережі та шиною «земля»;
- вимірювач величини загальної кількості електрики Q через опір кола витоку за час аварійного процесу, що являє собою послідовне з'єднання знижуючого трансформатора, діодного випрямляча та активно-ємнісного фільтра, причому первинна обмотка трансформатора під'єднана до опору кола витоку; вимірювач характеризується квадратичною залежністю напруги на ємності від кількості електрики, що пройшло через опір кола витоку.

Лабораторний зразок пристрою (рис. 3) функціонує наступним чином. Сигнал за напругою від датчиків струму відгалуження ТА1, ТА3, після спрямлення випрямлячем VD1, VD3, подаються на вхід резистивного дільника напруги R4, R5. Вихід останнього під'єднано до входу ADC0 АЦП мікроконтролера DD1. Уставка спрацювання пристрою задається потенціометром R16, що підключений до входу ADC1 АЦП. Сигнал керування на оптосимістори V1, V2 подається з вихода PD6 мікроконтролера через транзисторний підсилювач (VT1, VT2). Алгоритм функціонування мікроконтролера DD1 при подачі напруги на відгалуження передбачає виконання перевірки наявності навантаження у відгалуженні, що дозволяє уникнути помилкового спрацювання закорочувачів при від'єданому від гнучкого кабеля двигуні. При наявності силового навантаження здійснюється безперервний контроль з метою виявлення відключення мережі, в разі чого забезпечується гасіння зворотньої ЕРС двигуна. Блок контролю А7 живиться від трансформаторів TV1, TV2 через інтегральний стабілізатор напруги DA1. Необхідна для виконання закорочування фаз енергія зберігається конденсаторами С1–С6.

З використанням стенда розглянутої конфігурації в умовах лабораторії шахтного електропривода кафедри «Гірнична електротехніка та автоматика» ДВНЗ «Донецький національний технічний університет» були проведені експерименти з метою оцінки ефективності примусового припинення дії (шляхом гасіння) зворотньої ЕРС двигуна ДК16 (напругою 380 В, потужністю 1,5 кВт) за критеріями електробезпеки експлуатації електрообладнання.

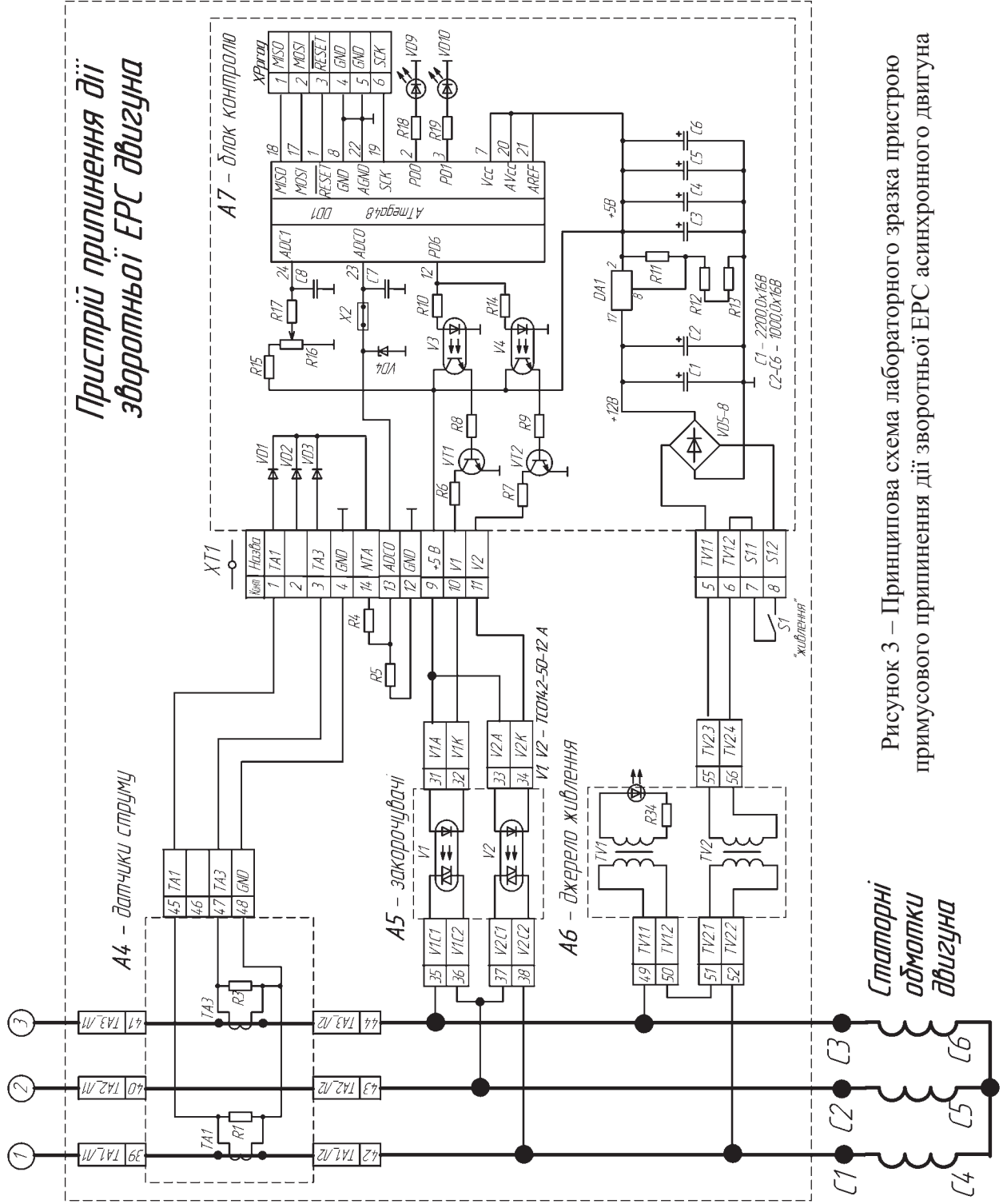


Рисунок 3 – Принципова схема лабораторного зразка пристрою примусового припинення дії зворотньої ЕРС асинхронного двигуна

Статорні
обмотки
двигуна

Експеримент №1 передбачав реєстрацію, за допомогою вимірювача Q , кількості електрики через опір кола витoku за час аварійного процесу при відсутності гасіння зворотньої ЕРС двигуна. В експерименті №2 передбачалося функціонування пристрою примусового припинення дії зворотньої ЕРС АД. Кожна з реалізацій експериментів проводилася за наступним алгоритмом: ввімкнення силового комутаційного апарата КМ1, витримка паузи для запуску двигуна, виникнення витoku струму на землю та, через $\Delta t_{36}=0,07$ с, відключення КМ1. Оцінка стану кола витoku струму на землю за показаннями вольтметра PV1 в кожній з 30 реалізацій експериментів №1 та №2 (табл. 1) проводилося згідно залежності:

$$Q = 60U_{PV1}^2 + 18U_{PV1} - 0,72, \quad (1)$$

де Q – загальна кількість електрики через опір кола витoku струму на землю за час аварійного процесу, мА·с; U_{PV1} – показання вольтметра PV1 вимірювача Q , В.

Гіпотеза про нормальне розподілення вибірових значень Q в експериментах №1 та №2 не була відкинута за рівня значущості 0,05 (застосовано критерій згоди Колмогорова–Смирнова). Вибіркове математичне очікування величини Q при відсутності гасіння зворотньої ЕРС двигуна становить $m(Q)=19,9$ мА·с при стандартному відхиленні $s(Q)=0,9$ мА·с (табл. 1). В разі виконання примусового припинення дії зворотньої ЕРС АД за допомогою запропонованого пристрою ці показники становлять: $m(Q')=6,5$ мА·с та $s(Q')=0,5$ мА·с, - відповідно.

Ефективність застосування примусового гасіння зворотньої ЕРС двигунів під час вибігу може бути оцінена наступним показником:

$$\varepsilon = Q/Q', \quad (2)$$

де Q – загальна кількість електрики через опір кола витoku струму на землю за час аварійного процесу при відсутності гасіння ЕРС вибігу двигунів, мА·с; Q' – аналогічний параметр за умови здійснення гасіння зворотньої ЕРС двигунів, мА·с.

Випадок $\varepsilon > 1$ відповідає покращенню стану кола витoku струму на землю завдяки припиненню дії ЕРС вибігу двигунів. Якщо $\varepsilon < 1$, спостерігається погіршення параметрів електробезпеки експлуатації ЕТК внаслідок використання даного способу. Виконання умови $\varepsilon = 1$ свідчить про відсутність позитивних або негативних змін у статусі системи.

Вибіркове математичне очікування показника ефективності (2) застосування примусового гасіння ЕРС вибігу двигуна становить $m(\varepsilon)=3,09$ при стандартному відхиленні $s(\varepsilon)=0,29$. Це свідчить про зниження приблизно в 3 рази, для заданих умов, кількості електрики через опір кола витoku струму на землю за час аварійного процесу при застосуванні запропонованого пристрою.

Елементи пристрою припинення дії зворотньої ЕРС двигуна (датчики струму, швидкодіючий комутатор, блок контролю) пропонується розмістити у спеціальній вибухобезпечній оболонці, що має бути додатком до оболонки пристрою кабельного вводу асинхронного двигуна або рудникового пускача.

Висновки і напрямок подальших досліджень. Застосування запропонованого пристрою підвищує безпеку експлуатації ЕТК ДШ, наслідками чого має бути зменшення виробничого травматизму серед працівників на відповідній технологічній дільниці шахти. Це, в свою чергу, зменшує витрати на соціальне забезпечення травмованих людей, підготовку нових кадрів у разі втрати працездатності в результаті травм, що є джерелом економічної ефективності.

Таблиця 1

Результати експериментального визначення ефективності функціонування лабораторного зразка запропонованого пристрою

Реалізація №	Експеримент №1		Експеримент №2		$\varepsilon = \frac{Q}{Q'}$, в.о.	
	U_{PVI} , В	Q , мА·с	U_{PVI} , В	Q' , мА·с		
Експериментальні вибірки	1	0,45	19,5	0,22	6,1	3,2
	2	0,50	23,3	0,24	7,1	3,3
	3	0,46	20,3	0,23	6,6	3,1
	4	0,45	19,5	0,24	7,1	2,7
	5	0,46	20,3	0,21	5,7	3,6
	6	0,44	18,8	0,24	7,1	2,6
	7	0,46	20,3	0,22	6,1	3,3
	8	0,46	20,3	0,22	6,1	3,3
	9	0,45	19,5	0,24	7,1	2,7
	10	0,44	18,8	0,24	7,1	2,6
	11	0,46	20,3	0,23	6,6	3,1
	12	0,45	19,5	0,23	6,6	3,0
	13	0,45	19,5	0,22	6,1	3,2
	14	0,46	20,3	0,24	7,1	2,9
	15	0,45	19,5	0,24	7,1	2,7
	16	0,47	21,0	0,21	5,7	3,7
	17	0,45	19,5	0,22	6,1	3,2
	18	0,45	19,5	0,23	6,6	3,0
	19	0,46	20,3	0,22	6,1	3,3
	20	0,45	19,5	0,24	7,1	2,7
	21	0,44	18,8	0,23	6,6	2,8
	22	0,46	20,3	0,22	6,1	3,3
	23	0,45	19,5	0,22	6,1	3,2
	24	0,46	20,3	0,21	5,7	3,6
	25	0,44	18,8	0,23	6,6	2,8
	26	0,47	21,0	0,23	6,6	3,2
	27	0,46	20,3	0,21	5,7	3,6
	28	0,46	20,3	0,24	7,1	2,9
	29	0,45	19,5	0,23	6,6	3,0
	30	0,44	18,8	0,22	6,1	3,1
Параметри вибірок		Од. виміру для Q та Q'	Q		Q'	ε , в.о.
Міри положення	мат. очікування	мА·с	19,90	x	6,50	3,09
	медіана	мА·с	19,50		6,60	3,08
Міри розсіювання	дисперсія	(мА·с) ²	0,81		0,25	0,09
	станд. відхилення	мА·с	0,90		0,50	0,29
	розмах	мА·с	4,50		1,40	1,04
	коефіцієнт варіації		0,045		0,077	0,095
Міри форми	асиметрія		1,343		-0,717	0,123
	ексцес		5,924		-1,334	-0,825
Довір. інтерв. для оцінки мат. очік.	нижня межа	мА·с	19,57		6,29	2,98
	верхня межа	мА·с	20,24		6,67	3,2
Довір. інтерв. для оцінки станд. відх.	нижня межа	мА·с	0,718	0,400	0,233	
	верхня межа	мА·с	1,211	0,674	0,393	

Завдяки наявності керуючого мікроконтролера алгоритм роботи пристрою є гнучким і може коригуватися відповідно до конкретних умов роботи, що знижує час налагодження та введення пристрою в експлуатацію.

В ході подальших досліджень доцільно удосконалити методику розрахунку та вибору елементів шахтних електротехнічних комплексів на етапі проектування шляхом врахування характеру протікання перехідного процесу в разі наявності витoku струму на землю, що дозволить підвищити ефективність роботи існуючих апаратів захисту від витоків струму на землю та виявити відгалуження мережі, які мають бути оснащені пристроями примусового припинення дії зворотньої ЕРС двигунів.

Література

1. Анализ параметров и процессов в шахтных электрических сетях / [Шкрабец Ф.П., Шидловская Н.А., Дзюбан В.С., Вареник Е.А.]. – Днепропетровск: Нац. горный ун-т, 2003. – 151 с.
2. Забезпечення безпеки та ефективності шахтних електроустановок / [Вареник Є.О., Випанасенко С.І., Дзюбан В.С., Шидловська Н.А., Шкрабець Ф.П.]; за ред. Г. Г. Півняка. – Дніпропетровськ: Нац. гірничий ун-т, 2004. – 334 с.
3. Спосіб захисту людини від ураження електричним струмом в мережі з ізолюованою нейтраллю: патент на винахід 82111 (UA), МПК (2006) H02H 3/16 / К.М. Маренич, С.В. Василюк. – а 2006 00387; заявл. 16.01.2006; опубл 11.03.2008; бюл. №5.

Надійшла до редакції:
11.01.2011

Рекомендовано до друку:
д-р техн. наук, проф. Ковальов Є.Б.

Abstract

Marenych K., Vasylets S. Automatic Suppression of Back EMF generated by Consumers Motors in Electrotechnical Complex of Mine Section as a Way of Safety Rising. The method and a variant of schematic realization of automatic device for suppression of back EMF, generated by consumers motors in electrotechnical complex of mine section after power net de-energization, was founded, utilization of which allows to reduce the duration of leakage current flowing in the electrotechnical complex of mine section, that resulted in safety rising.

Key words: *electrotechnical complex, mine section, exploitation safety, leakage current, induction motor, rotating EMF, automatic device.*

Аннотация

Маренич К.Н., Василюк С.В. Автоматическое гашение обратной ЭДС двигателей потребителей электротехнического комплекса участка шахты как способ повышения безопасности эксплуатации. Обоснован способ и один из вариантов схемотехнической реализации устройства гашения обратной ЭДС асинхронных двигателей потребителей электротехнического комплекса участка шахты после отключения напряжения питания, использование которого позволит снизить длительность протекания тока через цепь утечки тока на землю в участковом электротехническом комплексе шахты, что повысит безопасность эксплуатации.

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

© Маренич К.Н., Василюк С.В., 2011