

УДК 622.012.2:621.316

**І.В. Ковальова (канд. техн. наук)**ДВНЗ «Донецький національний технічний університет», м. Донецьк  
кафедра «Гірнична електротехніка і автоматика ім. Р.М.Лейбова»  
E-mail: [inna\\_kovalyova@ukr.net](mailto:inna_kovalyova@ukr.net)

## **ОБҐРУНТУВАННЯ СПОСОБУ ЗАХИСНОГО ЗНЕСТРУМЛЕННЯ МІСЦЯ ВИНИКНЕННЯ МІЖФАЗНОГО ДУГОУТВОРЕННЯ В МЕРЕЖІ ЖИВЛЕННЯ АСИНХРОННОГО ДВИГУНА**

*Досліджена комп'ютерна модель процесу міжфазного дугоутворення в мережі живлення асинхронного двигуна і отримані закономірності зміни величини струму його статора з урахуванням параметрів живлячого кабелю та відстані до місця ушкодження. Обґрунтовано спосіб визначення стану міжфазного дугоутворення з подальшим швидкодіючим двобічним знеструмленням аварійної точки силового приєднання.*

**Ключові слова:** міжфазне дугоутворення, асинхронний двигун, двобічне знеструмлення, апарат захисту, заземлююча жила, ізоляція.

### **Загальна постановка проблеми**

Експлуатація електромеханічного обладнання технологічних дільниць гірничих підприємств визначається нестационарністю його місцезнаходження, що, у свою чергу, обумовлює необхідність застосування гнучких кабелів. У той же час, в умовах шахти має місце підвищена ймовірність механічного пошкодження таких кабелів, що являє собою причину найнебезпечніших аварійних станів електротехнічного комплексу – коротких замикань (к.з.), та створює умови електроураження людини. Дія існуючих засобів максимального струмового захисту полягає у відокремленні місця виникнення к.з. від джерела живлення з боку дільничної трансформаторної підстанції. Захисна дія засобів захисту від витoku струму на землю також полягає у відокремленні енергетичного потоку підстанції від мережі дільничного електротехнічного комплексу в разі виникнення ланки завеликої провідності між фазою і землею. Але захисна дія вказаних засобів не є достатньою, оскільки стан мережі дільничного електротехнічного комплексу шахти після вимкнення напруги живлення певний час визначатиметься параметрами зворотних енергетичних потоків асинхронних двигунів (АД)споживачів.

Окрім того, специфічним видом аварійного стану силового приєднання шахтного дільничного електротехнічного комплексу є міжфазне дугоутворення (дугове замикання), що виникає внаслідок погіршення ізоляції між фазами силового приєднання. Одною з причин такого стану є пошкодження гумової ізоляції внутрішніх силових жил кабелю оголеною заземлюючою жилою при зовнішньому надмірному стисненні кабелю, що має місце в складних умовах експлуатації кабельної мережі [1].

Небезпека процесу полягає в тому, що опір електричної дуги не дорівнює нулю і, як правило, є співрозмірним активному опору навантаження силового приєднання (асинхронного двигуна споживача). Отже, процес дугового замикання не може бути визначений засобами максимального струмового захисту пускачів (або аналогічної комутаційної апаратури), хоча таке дугоутворення носить всі ознаки небезпеки відкритого спалаху в умовах шахти.

Щонайбільше, захисне відключення мережі в цьому випадку може бути здійснене за командою апарату захисту від витoku струму на землю в разі, якщо внаслідок дугового замикання мало місце утворення ланцюга між фазою мережі і землею.

В іншому випадку, функція захисного відключення силового кола з міжфазним дуговим замиканням потребує спеціального захисного засобу. Як варіант, це може бути максимальний струмовий захист зі змінною уставкою, величина якої зменшується після закінчення пуску асинхронного двигуна відповідного приєднання [2].

### Постановка задач дослідження

Враховуючи на небезпеку міжфазного дугоутворення в умовах експлуатації електротехнічного комплексу шахтної дільниці актуальним є дослідження процесів при виникненні дугового замикання в контексті доцільності застосування засобів відокремлення зворотного енергетичного потоку асинхронного двигуна аварійного приєднання.

### Результати досліджень

Склад шахтного дільничного електротехнічного комплексу, схема якого наведена на рис. 1, передбачає наявність трифазного джерела електроживлення  $TB$  (трансформаторна підстанція з автоматичним вимикачем  $SA$  на виході розподільчого пристрою (РПНН) низької напруги), від якого через магістральний кабель  $МК$  та додаткові комутаційні апарати  $KM_1-KM_n$  (виконують функції магнітних пускачів) кабелями  $ГК_1-ГК_n$  приєднані асинхронні двигуни  $M_1-M_n$  споживачів. Введемо припущення, що в схемі статора АД  $M_1$  додатково запроваджений комутаційний апарат  $SF$ , який комутує трифазну схему статорної обмотки АД. В обраній розрахунковій схемі (рис. 1) імітація електричної дуги виконується підключенням активного опору  $R_d$  контактом  $KI$  між двома фазами в мережі живлення АД. Враховуючи на співрозмірність опору дуги і активного опору АД середньої потужності, введемо припущення, що опір дуги знаходиться в межах  $0,5 \text{ Ом} < R_{ed} < 2 \text{ Ом}$ .

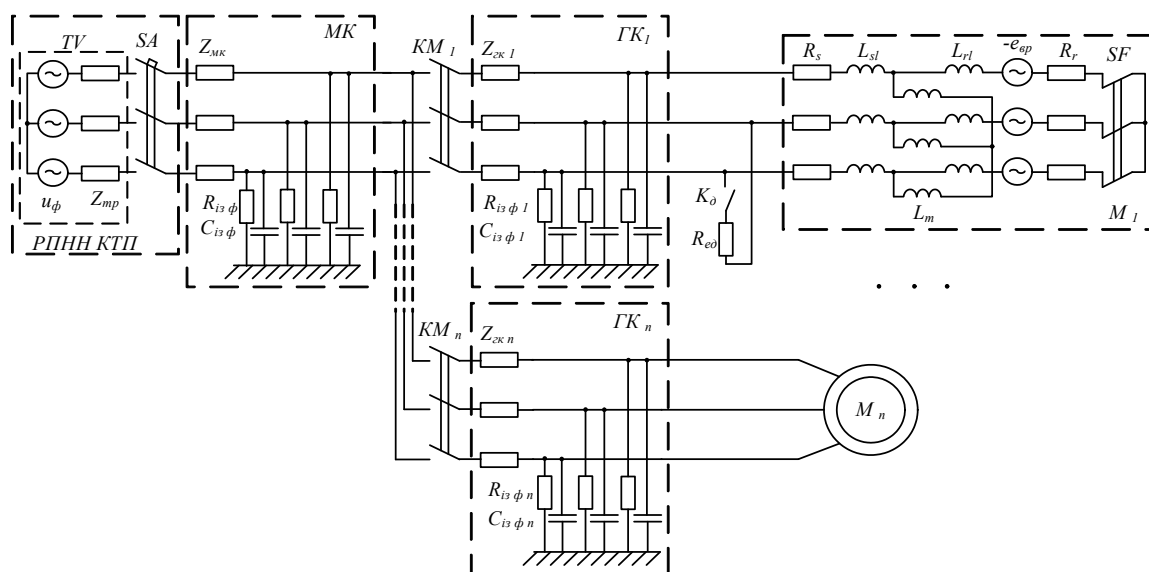


Рисунок 1 – Загальна розрахункова схема ЕТК ДШ при виникненні дугового замикання в кабелі живлення АД

Отже, дослідженню підлягатимуть параметри струму в мережі живлення АД, на інтервалі пуску АД, його роботи під номінальним навантаженням, в момент виникнення і у подальший термін існування міжфазного дугоутворення. При цьому, у загальних координатах часу ( $t$ ) мають бути представлені струми всіх трьох фаз в мережі між дільничною підстанцією та ланкою дугоутворення; між асинхронним двигуном та ланкою дугоутворення, а також в самій ланці дугоутворення.

Слід, також, враховувати наступні стани електротехнічного комплексу, що наведені на рис. 2.



Рисунок 2 – Ймовірні стани електротехнічного комплексу, що підлягають дослідженню

Результати дослідження наведені у вигляді діаграм струму (рис. 3, рис. 4) і свідчать про доцільність запровадження засобів примусового відокремлення енергетичного потоку АД аварійного приєднання в разі виникнення міжфазного дугоутворення в мережі електроживлення.

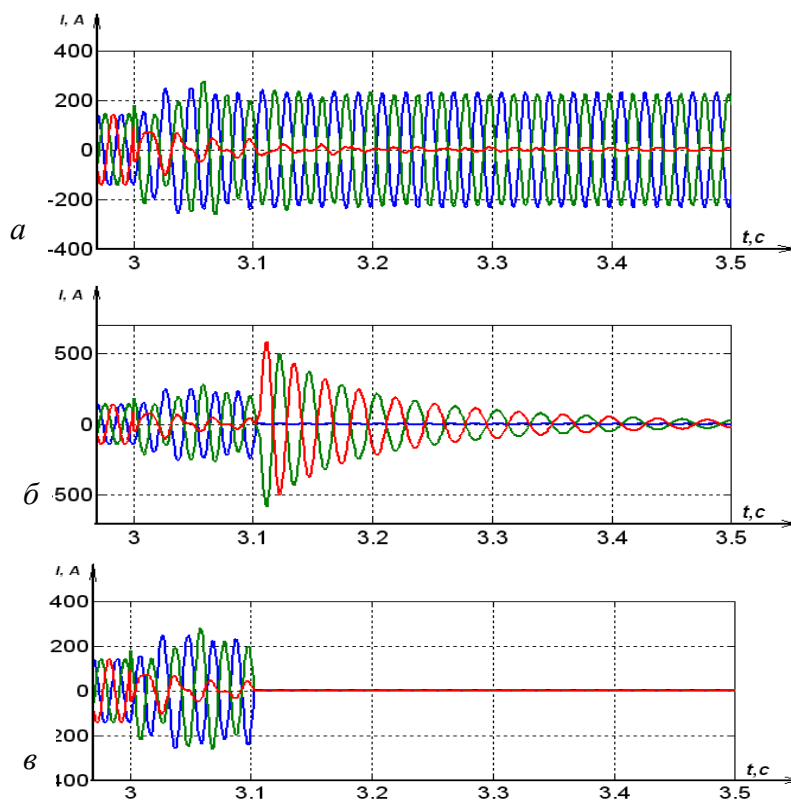


Рисунок 3 – Діаграми струму в аварійній точці при виникненні дугоутворення в кабелі живлення АД: а) стан №1; б) стан №2; в) стан №3

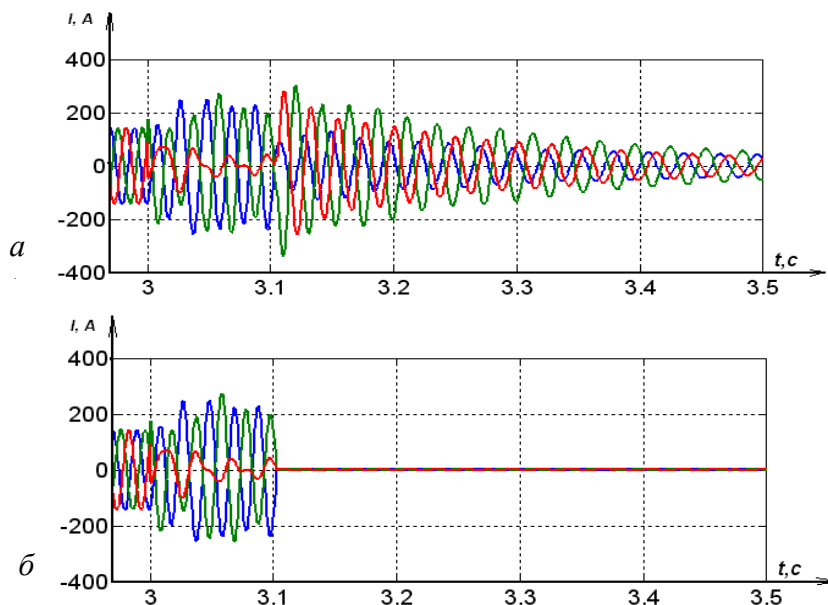


Рисунок 4 – Діаграми струму в аварійній точці при виникненні дугоутворення в кабелі живлення АД при роботі всіх споживачів дільниці: а) стан № 4; б) стан №5

Технічна реалізація принципу виявлення міжфазного дугоутворення з подальшим відокремленням зворотного енергетичного потоку АД може бути здійснена шляхом визначення різниці величин лінійних струмів у трифазній схемі статора асинхронного двигуна аварійного приєднання з подальшим роз'єднанням цієї трифазної схеми і приєднанням обмотки однієї з фаз статора двигуна до його заземленого корпусу через резистор активного опору. За умови застосування апарату захисту від витоків струму на землю (АЗУР) цим забезпечується швидкодіюче двобічне знеструмлення аварійного місця силового приєднання в дільничному електротехнічному комплексі шахти (водночас із захисним відключенням ЕТК від КТП). Цим має бути досягнуте виконання функції попередження пожежі, обумовленої струмом міжфазного дугового замикання у кабелі живлення АД [3].

Структурна схема відповідного засобу захисту представлена на рис. 5.

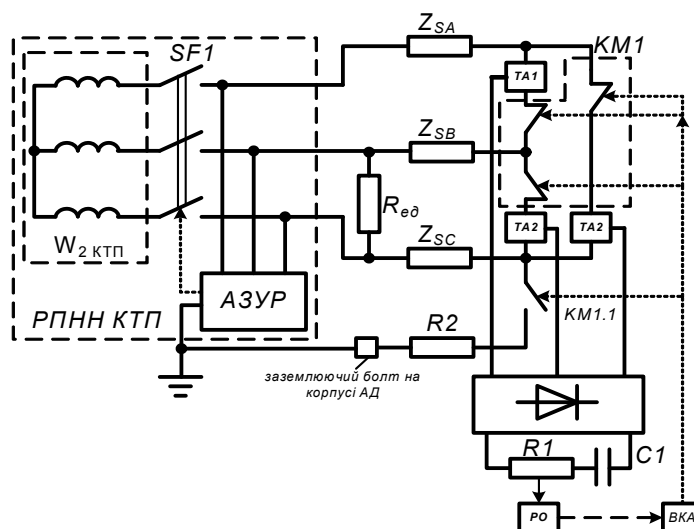


Рисунок 5 – Структурна схема засобу відокремлення зворотного енергетичного потоку АД в електротехнічному комплексі дільниці шахти при виникненні міжфазного дугоутворення в кабелі живлення

Пристрій захисту передбачає у своєму складі триполюсний апарат комутації (контактор  $KMI$ ) трифазної схеми статора  $Z_{SA}$ ;  $Z_{SB}$ ;  $Z_{SC}$  асинхронного двигуна споживача дільниці.

В колах лінійних струмів статора (у «зірці» статорної обмотки АД) передбачені трансформатори струмів, відповідно,  $TA1$ ;  $TA2$ ;  $TA3$ , що з'єднані виходами зі входом випрямляча  $VCI$ . Навантаженням цього випрямляча є ланка послідовного з'єднання потенціометра  $RI$  і конденсатора  $CI$ . Це дає можливість виділити на потенціометрі  $RI$  змінну складову випрямленої напруги (з виходу  $VCI$ ), пропорційної вторинному струму трансформаторів  $TA1$ - $TA3$ .

У нормальному режимі роботи електротехнічного комплексу, за відсутності дугового замикання в мережі електроживлення асинхронного двигуна всі три лінійні струми його статора, що є з'єднаним у трифазну схему розмикаючими контактами контактора  $KMI$ , є однаковими. Вторинні струми трансформаторів струму  $TA1$ - $TA3$  теж не відрізняються за величиною один від одного. Будучі поданими на випрямляч  $VCI$ , вони створюють на резистивному дільнику напруги (потенціометрі  $RI$ ) змінну складову напруги стабільної величини та форми.

В разі виникнення міжфазного дугового замикання (позначено резистором  $R_d$ ) в мережі живлення асинхронного двигуна, лінійний струм його статора, що контролюється трансформатором струму  $TA2$ , буде суттєво відрізнятися від інших двох лінійних струмів трифазної обмотки статора. Через це матиме місце наявність імпульсів підвищеної амплітуди у змінній складовій вихідної напруги на резисторному дільнику напруги  $RI$  активно-ємнісного навантаження випрямляча  $VCI$ . Це має призвести до спрацьовування реагуючого органу ( $PO$ ) та виконавчого комутаційного апарату  $BKA$ . Замикаючий контакт  $KMI.1$  цього апарату приєднає статорну обмотку асинхронного двигуна до його заземленого корпусу (заземлюючий болт) через резистор  $R2$ , що є створенням штучного витоку струму на землю і через це має призвести до спрацьовування дільничного апарату захисту від витоків струму на землю (АЗУР) в розподільчому пристрої низької напруги дільничної комплексної трансформаторної підстанції (РПНН КТП). За командою останнього відключиться автоматичний вимикач  $SFI$  КТП. Водночас з цим, виконавчий комутаційний апарат ( $BKA$ ) розімкне свої розмикаючі контакти (трифазна система  $KMI$ ), чим розірве трифазну схему з'єднання статорних обмоток двигуна, та унеможливить електроживлення пошкодженого місця мережі від зворотного енергетичного потоку асинхронного двигуна.

Цим забезпечується двобічне знеструмлення місця виникнення міжфазного дугоутворення в мережі живлення АД шахтного дільничного електротехнічного комплексу.

В разі виникнення міжфазного дугового замикання в мережі після її відключення за умови знаходження асинхронного двигуна споживача в стані вільного вибігу теж матиме місце неоднаковість лінійних струмів, що контролюються трансформаторами струму  $TA1$ - $TA3$ . Це призведе до спрацьовування реагуючого органу  $PO$  та виконавчого комутаційного апарату  $BKA$ , який відключенням контактів трифазної контактної групи  $KMI$  відокремить зворотний енергетичний потік з боку статора асинхронного двигуна і цим знеструмить місце пошкодження (виникнення міжфазного дугоутворення) в мережі його живлення.

### Висновки

1. Отримана закономірність зміни величини струму в елементах статора асинхронного двигуна при виникненні міжфазного дугоутворення з урахуванням параметрів живлячого кабеля, включаючи відстань від місця дугоутворення.

2. Обґрунтований спосіб виявлення цього аварійного стану виміром струму в ланцюзі статора АД і засіб відокремлення його зворотного енергетичного потоку. Відповідне технічне рішення захищене патентом на винахід [3].

**Список використаної літератури**

1. Демченко О.А. Обоснование мер предотвращения взрывов при эксплуатации гибких силовых кабелей на угольных шахтах: дис. ... канд. техн. наук: спец. 05.26.01 / Демченко Олег Александрович. – Макеевка, 2011. – 194 с.
2. Устройство для максимальной токовой защиты электродвигателей: А. с. 1494103 СССР, МПК<sup>5</sup> H02H7/08. / И.Т. Сидоренко, К.Н. Маренич, С.В. Дзюбан (СССР). – № 4300883/24-07; заявл. 02.06.87; опубл. 15.07.89, Бюл. №26.
3. Спосіб струмового захисту в мережі живлення асинхронного двигуна в складі гірничого дільничного електротехнічного комплексу: патент на винахід 97592 (UA), МПК (2006.01) H02H 3/10, H02H 7/08, H02H 7/09 / К.М. Маренич, І. В. Ковальова, С.В. Василюк. – а 2010 015324. Заявл. 20.12.2010; Опубл. 27.02.2012, Бюл. №4.

Надійшла до редакції:  
18.04.2013

Рецензент:  
д-р техн. наук, проф. Кондрахін В.П.

**И.В. Ковалёва**

**ГВУЗ «Донецкий национальный технический университет»**

**Обоснование способа защитного обесточивания места возникновения междуфазного дугообразования в сети питания асинхронного двигателя.** Исследована компьютерная модель процесса междуфазного дугообразования в сети питания асинхронного двигателя и получены закономерности изменения величины тока его статора с учетом параметров питающего кабеля и расстояния до места повреждения. Обоснован способ определения состояния междуфазного дугообразования с дальнейшим быстросрабатывающим двусторонним обесточиванием аварийной точки силового присоединения.

**Ключевые слова:** междуфазное дугообразование, асинхронный двигатель, двустороннее обесточивание, аппарат защиты, заземляющая жила, изоляция.

**I. Kovalyova**

**Donetsk National Technical University**

**Justification of the Method of Power Supply Disconnection of Phase to Phase Electrical Arcing in the Power Network of the Induction Motor.** Operating conditions of electromechanical equipment of mine technological section is determined by its location nonstationarity, which, in turn, makes it necessary to use of flexible cables. Phase to phase electrical arcing is the specifically view of emergency conditions in power supply of the mine section electrotechnical complex, occurs as a result of insulation damage of internal power wires by bare ground wire with increased external compression of the cable, that is determined by complex operating conditions the cable network. In this case, the resistance of an electric arc maybe comparable with the load resistance and arcing process will not be detected by overcurrent protection means. We studied computer models of the process of phase to phase electrical arcing in the power network of the induction motor and obtained the laws of the value of its stator current taking into account the parameters of the feeder cable and the distance to the fault location. We considered the way of defining the state of phase to phase electrical arcing with further fast disconnection of emergency point of power connection, which is based on determining the difference of the linear currents in three-phase induction motor stator circuit emergency network with followed disconnection of the three-phase circuits and connection one of the phase windings of the induction motor stator to its normally earthed body through the resistor. This provides a quick acting two-end power supply disconnection emergency conditions in power supply of the mine section electrotechnical complex.

**Keywords:** phase to phase electric arcing, induction motor, two-end power supply disconnection, protection device, ground wire, insulation.