

УДК 621.316.1:622.012.2

К.М. Маренич

Донецький національний технічний університет, вул. Артема, 58, Донецьк, 83001

ВЛАСТИВОСТІ СИЛОВОГО ЕЛЕКТРОУСТАТКУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ ДІЛЬНИЦІ В КОНТЕКСТІ СТВОРЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ НЕБЕЗПЕК

В статті проаналізовані процеси в промисловому електротехнічному комплексі, обумовлені властивостями асинхронних двигунів, які створюють зворотні енергетичні потоки після відключення мережі, і обґрунтована цілеспрямованість подавлення зворотних енергетичних потоків у разі виникнення небезпечних умов в електричній мережі.

Ключевые слова: *Електротехнічний комплекс – Асинхронний двигун – Пускатель – Обратная ЭДС – Аварийное состояние – Защитное отключение*

The paper analyzes the processes of industrial power complex, conditioned by the properties of induction motors to create a reverse flow of energy after a network failure and the expediency of suppressing reverse energy flow in the event of a hazardous electrical conditions is substantiated.

Keywords: *Electrotechnical complex - Induction motor – Actuator – Back-to-network power generation – Emergency condition – Protective disconnection*

I. ВСТУП

Електромеханічне устаткування переважно більшості технологічних установок промислових підприємств базується на застосуванні трифазних асинхронних двигунів (АД) з короткозамкненим ротором за умови використання магнітних пускатрів у якості силових засобів контакторної комутації. Отже, пуск цих двигунів відбувається підключенням їх статорів до дільничної електромережі контакторами магнітних пускатрів. Типовим станом експлуатаційної безпеки електротехнічного комплексу технологічної дільниці, який має бути припинений засобами автоматичного захисту є міжфазне коротке замикання в силовому приєднанні живлення асинхронного двигуна, а в мережі з ізольованою нейтраллю трансформатора – виникнення кола витоку струму на землю (в разі торкання людиною фазного провідника, що є під напругою). Дія відомих засобів максимального струмового захисту полягає у визначенні перевищення споживаним струмом електродвигуна величини уставки спрацьовування, а будова захисту від витоків струму на землю оснований на визначенні перевищення оперативним струмом захисного засобу (що подається в мережу) величини тривалого безпечного струму (25 мА). Спрацьовування обох типів захисних засобів передбачає вплив на відповідний (незалежний, або нульовий) розчеплювач автоматичного вимикача електротехнічного комплексу, тобто, - знеструмлення дільничної електромережі шляхом відокремлення енергетичного потоку з боку живлячої трансформаторної підстанції [1]. Однак, практика експлуатації свідчить про недостатність цієї захисної функції, оскільки силові приєднання дільничної мережі після захисного відключення ще певний час перебуватимуть в

стані провідності електричного струму, обумовленого зворотними ЕРС асинхронних двигунів споживачів. Дослідженнями [2] встановлені особливості впливу параметрів АД на тривалість (постійну частину) експоненти зворотного енергетичного потоку в силовому приєднанні мережі, що дає підстави стверджувати про наявність небезпечного стану між пускатчем та двигуном одразу після захисного відключення. Однак ймовірність підтримання ввімкненого стану контактора після захисного відключення мережі (через вплив зворотного енергетичного потоку АД) обумовлює утворення ланцюгів провідності від статорів сукупності двигунів споживачів дільниці у напрямку точки пошкодження силового приєднання, що потребує окремого розгляду.

II. ОСНОВНА ЧАСТИНА

Незважаючи різноманітність компоновальних і схемних рішень магнітних пускатрів, досвід застосування контакторів з вакуумним, або повітряним дугогасінням, загальна особливість пускатрів полягає у тому, що умовою відключення їх контакторів є знеструмлення кола дистанційного управління (натисканням кнопки «СТОП» або відповідною командою пристрою автоматичного управління); знеструмлення засобу дистанційного управління (БДУ) пускатчем, або котушки його контактора (рисунок 1). Умовою спрацьовування нульового захисту автоматичного вимикача є знеструмлення котушки його нульового розчеплювача KV2 (рисунок 2). Отже, в процесі експлуатації дільничного електроустаткування, в разі спрацьовування автоматичного вимикача комплектної трансформаторної підстанції виникають умови підтримання у ввімкненому стані всіх контакторів магнітних пускатрів і силової контакт-

ної групи автоматичного вимикача розподільного пункту дільниці на період часу, доки напруга у силових приєднаннях мережі, що обумовлена зворотними ЕРС АД, перевищуватиме напругу утримання виконавчих реле засобів управління, контакторів і нульових розчеплювачів відповідних силових комутаційних апаратів. Тобто, мова йде про створення узагальненої ЕРС в мережі дільниці від сукупності зворотних ЕРС окремих АД, через наявність ввімкнених станів контакторів пускачів.

Дослідження впливової дії групи АД в разі їх одночасного відключення передбачає урахування величини електромагнітної сталої часу T_e затухання зворотної ЕРС кожного двигуна і виконується відповідно до [3]:

$$T_e = \frac{U_\phi}{I_0 r_e \omega_0} K, \quad (1)$$

де U_ϕ – фазна напруга статора; I_0 – струм двигуна в ненавантаженому режимі; r_e – еквівалентний активний опір ротора; ω_0 – синхронна частота обертання; K – коефіцієнт для врахування насичення магнітного кола двигуна (для АД з повітряним охолодженням $K = 1 \div 1,2$, для АД з водяним охолодженням $K = 1,6 \div 1,8$).

Стала часу T_e затухання ЕРС групового вибігу n двигунів має бути визначена залежністю:

$$T_e = \frac{\sum_{i=1}^n P_{nk}}{\sum_{i=1}^n \frac{P_{nk}}{T_{ek}}}, \quad (2)$$

де P_{nk} – номінальна потужність k -го двигуна

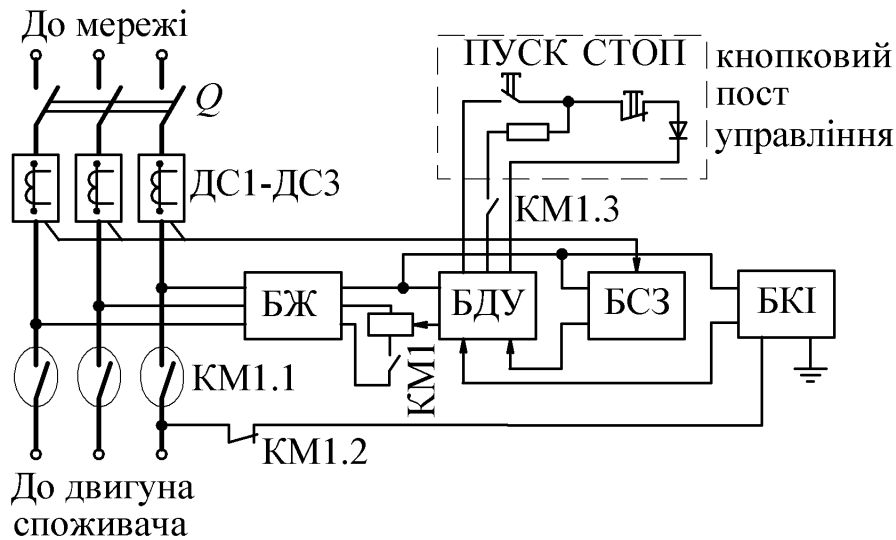


Рисунок 1 - Узагальнена структурна схема шахтного пускача: ДС – датчики струму; БЖ – блок живлення; БДУ – блок дистанційного управління; БСЗ – блок струмового захисту; БКІ – блок контролю ізоляції; КМ1 – котушка контактора; КМ1.1 – силові контакти контактора; КМ1.2, КМ1.3 – допоміжні контакти контактора; Q – силовий роз'єднувач

Залежності (1) та (2) дозволяють визначити сталі часу затухання зворотної ЕРС АД, проте вони не враховують рівень механічного навантаження двигунів під час вибігу. Вплив рівня навантаження двигуна на характер затухання зворотної ЕРС представлений діаграмою експерименту (рисунок 3), що дає підстави стверджувати про наявність тенденції до зменшенні зворотної ЕРС АД в разі підвищення моменту опору [4].

$$u_{об} = \frac{L_m}{L_p} j(1-S)\omega_0 \psi_{op} e^{-\frac{t}{T_p}} e^{j\omega_0(1-S)t} \quad (3)$$

де L_m – індуктивність намагнічування АД; L_p – повна індуктивність ротора; s та ω_0 – ковзання та синхронна частота обертання ротора.

Як приклад, може бути розглянутий випадок функціонування групи з 6-и асинхронних двигунів (М1 – М6) різної потужності в режимі вільного вибігу після відключення напруги живлення мережі за умови припущення, що електромагніти контакторів підтримуватимуть їх ввімкнений стан при нарузі, що перевищує 40% від номінальної (що збігається з реальними властивостями електромагнітів контакторів). В даному випадку об'єктом дослідження виступає електротехнічний комплекс, що вміщує 6 споживачів, оснащених асинхронними двигунами потужністю: 220 кВт; 210 кВт; 110 кВт; 110 кВт; 55 кВт; 30 кВт з номі-

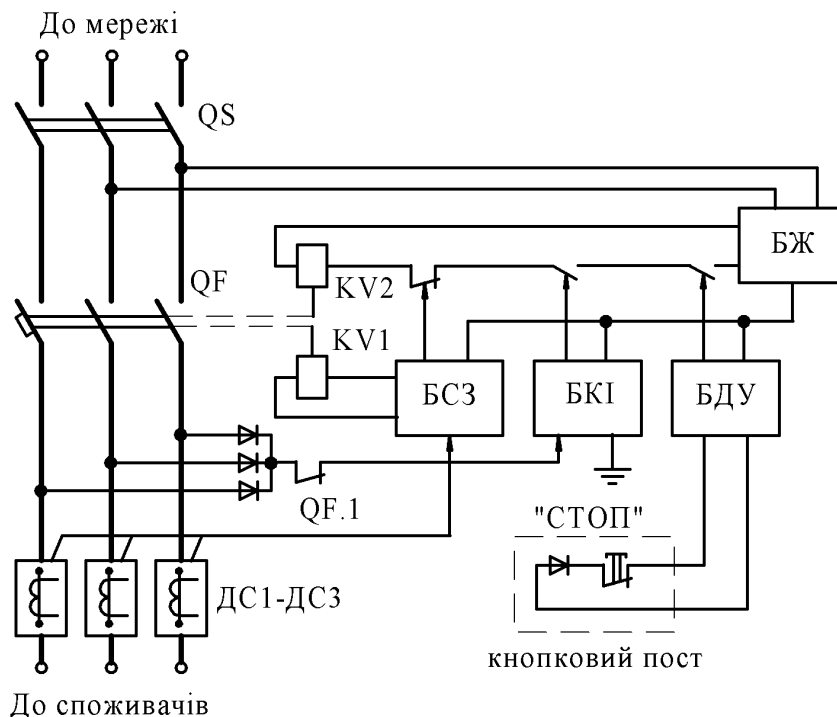


Рисунок 2 – Узагальнена структура рудникового автоматичного вимикача:
 ДС – датчики струму; БЖ – блок живлення; БДУ – блок дистанційного управління; БСЗ – блок струмового захисту; БКІ – блок контролю ізоляції; QS – силовий роз'єднувач;
 QF – автоматичний вимикач; QF.1 – допоміжний контакт QF; KV1 та KV2 – незалежний та нульовий розчеплювачі

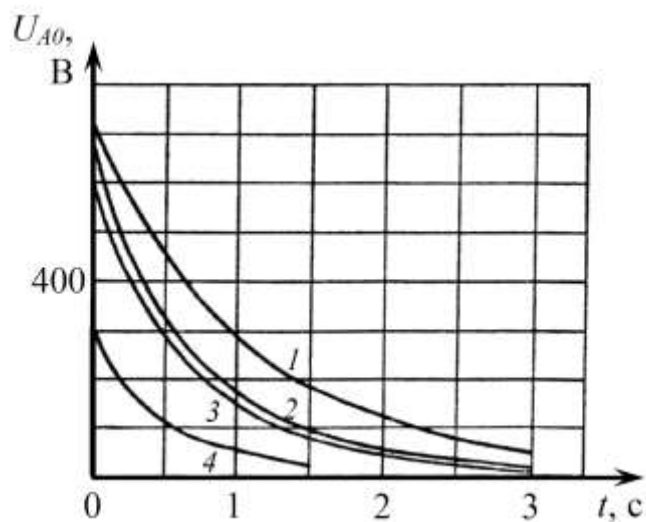


Рисунок 3 – Залежність ефективного значення напруги фази відносно землі U_{A0} , що обумовлена дією ЕРС АД 88 кВт під час вибігу при навантаженні: 1 – $0,68I_n$; 2 – $0,84I_n$; 3 – $1,7I_n$; 4 – $4,1I_n$; I_n – номінальний струм двигуна; t – час вибігу з моменту відключення мережі

нальним $\cos\varphi = 0,85$ в мережі трифазної лінійної напруги 660 В. за умови що відключення напруги мережі відбулося в момент t_2 (0,1 с після виникнення небезпечного стану – витoku струму на землю в момент t_1), а реальне відключення всіх контакторів пускачів відбулося в момент t_3 ; коли узагальнена напруга від зворотних ЕРС в мережі зменшилась до 0,4 від номінальної. Стала часу затухання струму ротора визначається виразом:

$$T_p = \frac{L_p}{r_p} = \frac{U_\phi K_n}{I_0 r_p \omega_0}, \quad (4)$$

де r_p – активний опір обмотки ротора АД; U_ϕ – фазна напруга статора двигуна в режимі неробочого ходу; $K_n=1,1$ (для АД з повітряним охолодженням) – коефіцієнт, що враховує насичення магнітної системи АД; I_0 – струм неробочого ходу АД.

ЕРС обертання, що наводиться в статорі асинхронного двигуна полем струмів ротора, визначається із співвідношення [5]:

Вплив приведенного моменту інерції привода ($J_{пр}$) та статичного моменту опору (M_c) на тривалість зниження швидкості обертання ротора АД враховано у виразі:

$$t_T = J_{пр} \int_0^{\omega_2} \frac{d\omega}{-M_c} = \frac{J_{пр} \omega_2}{M_c}, \quad (5)$$

де ω_2 – частота обертання ротора двигуна при $M = M_c$.

Згідно припущення, що синхронно з автоматичним вимикачем відключаються контактори всіх пускачів (в момент t_1) та з урахуванням залежностей (3)-(5), можна встановити, що миттєві значення ЕРС обертання роторів різних за потужністю двигунів при зниженні можуть приймати значення, різні за амплітудою, частотою та знаком. Завдяки цьому можуть формуватися умови підтримання у двигуновому режимі окремих АД за умови, що контактори пускачів залишаються ввімкненими. Під час вибігу в такому випадку двигуни споживачів дільниці створюють в мережі трифазну напругу (ЕРС), що знижується експоненціально. Вказана ЕРС підтримує струм в мережі і, зокрема, в колі витoku на землю (рисунок 4). З моменту t_3 відключення контакторів через припинення взаємного впливу двигунів збільшується інтенсивність гальмування роторів АД (рисунок 5).

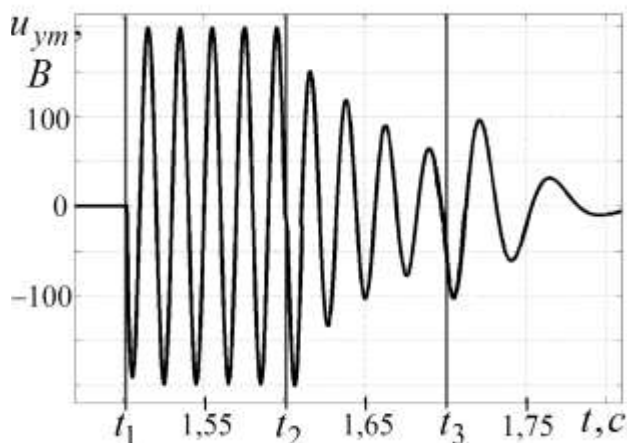


Рисунок 4 – Діаграма напруги на опорі кола однофазного витoku струму на землю

Отриманий результат моделювання підтверджується експериментом (рис.6) в ході якого визначені напруги на вході і виході магнітного пускача (ПВІ) в процесі захисного відключення мережі в режимі ізолюваної нейтралі трансформатора внаслідок спрацьовування автоматичного захисту від витoku струму на землю.

III. ВИСНОВКИ

Дослідженнями встановлена властивість асинхронних двигунів споживачів технологічної

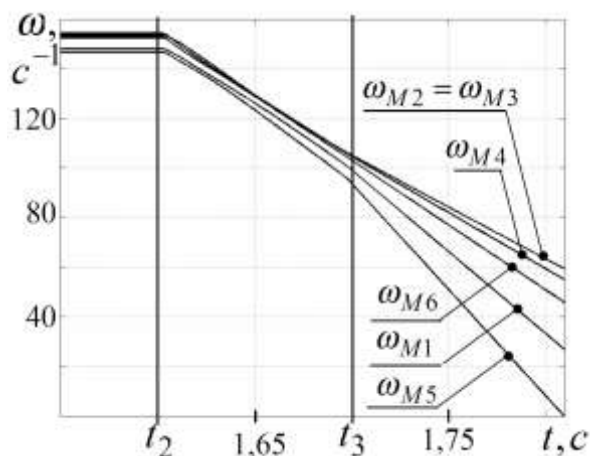


Рисунок 5 – Діаграма зміни частот обертання двигунів М1-М6 під час вибігу

дільниці створювати небезпечний стан мережі після її захисного відключення через утворення зворотних ЕРС. Наявність цих ЕРС спроможна підтримувати у ввімкненому стані контактори магнітних пускачів, що створює умови виникнення зрівнювальних струмів мережі і впливу зворотних енергетичних потоків всієї сукупності двигунів на точку виникнення небезпечного стану. Цим обумовлена доцільність запровадження технічних засобів автоматичного захисного відокремлення зворотних енергетичних потоків асинхронних двигунів споживачів при виникненні небезпечного стану дільничного електротехнічного комплексу.

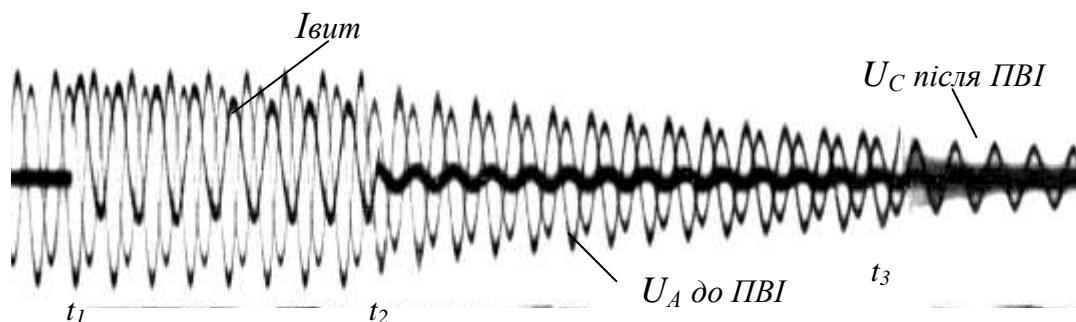


Рисунок 6 – Осцилограма фазних напруг на вході і виході пускача серії ПВІ в разі виникнення кола струму витоку ($I_{\text{вит}}$) на землю в момент часу t_1

ЛІТЕРАТУРА

1. **Вареник Є.О.** Забезпечення безпеки та ефективності шахтних електроустановок / [Вареник Є.О., Випанасенко С.І., Дзюбан В.С., Шидловська Н.А., Шкрабець Ф.П.]; за ред. акад. НАН України Півняка Г.Г.- Дніпропетровськ: НГУ, 2004. – 334 с.
2. **Маренич К.М.** Зворотні енергетичні потоки асинхронних двигунів як фактор погіршення безпеки експлуатації електро-технічного комплексу дільниці шахти / К.М. Маренич, С.В. Василець // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія «Електротехніка і енергетика».- Вип. 9 (158).- Донецьк, ДВНЗ «ДонНТУ», 2009.- С. 160-165.
3. **Дзюбан В.С.** Аппараты защиты от токов утечки в шахтных электрических сетях / В.С. Дзюбан.- М.: Недра, 1982.- 152 с.
4. **Озерной М.И.** Переходные процессы в шахтной участковой сети при коммутации асинхронных короткозамкнутых электро-двигателей / М.И. Озерной, В.М. Фарович // Известия вузов. Горный журнал.- 1969.- №3.- С. 136-141.
5. **Маренич К.Н.** Проблематика электро-безопасности систем «кабель – двигатель» участка шахты / К.Н. Маренич // Наукові праці Донецького державного технічного університету. Серія „гірничо-електромеханічна”.- 2001.- Вип 27.- С.270-277.

Получена в редакции 18.01.2013, принята к печати 21.01.2013