

© 2012 р. К.М. Маренич

Донецький національний технічний університет, Донецьк

ОБГРУНТУВАННЯ ІНФОРМАЦІЙНОГО ПАРАМЕТРУ ДЛЯ ЗАПРОВАДЖЕННЯ АВТОМАТИЧНОГО ВІДОКРЕМЛЕННЯ ЗВОРОТНИХ ЕНЕРГЕТИЧНИХ ПОТОКІВ ПРОМИСЛОВИХ ЕЛЕКТРОМЕРЕЖ

Стосовно до дільничної шахтної електромережі обгрунтована доцільність захисного відключення зворотного енергетичного потоку асинхронного двигуна і обгрунтован принцип формування інформаційного параметру в момент виникнення аварійного стану в силовому кабелі двигуна.

Expedience of protective disconnection the back-to-network power generation produced by induction motors and method of formation of information parameter about emergency condition of power cable are grounded.

Вступ

Чисельні пожежі на об'єктах промисловості, обумовлені виникненням коротких замикань в електромережах, свідчать про недостатність функції відокремлення енергетичного потоку живлячої трансформаторної підстанції засобами максимального струмового захисту, оскільки джерелом живлення аварійного силового приєднання після захисного відключення мережі залишатиметься асинхронний двигун (АД), або група таких двигунів споживачів. Спроба застосувати швидкодіюче захисне відокремлення зворотного енергетичного потоку асинхронного двигуна шляхом подачі команди на виконавчий засіб на його ввіді від максимального струмового захисту з боку підстанції по сигнальних жилах кабеля аварійного приєднання [1] виявилася непрацездатною через ймовірність пошкодження сигнальних жил кабеля водночас із пошкодженням (через коротке замикання, або механічний вплив) його силових жил. У той же час, наявність зворотних енергетичних потоків АД обумовлює затримання відключення контакторів пускачів після відключення напруги мережі, утворення в ній узагальненої ЕРС та зрівнювальних струмів [2], а тенденція до підвищення потужностей промислових електроустановок передбачає підвищення тривалості існування зворотних ЕРС АД під час їх вільного вибігу. Отже,

запровадження автоматичного відключення зворотних енергетичних потоків промислових електромереж автономно діючими захисними засобами є актуальною науково-прикладною задачею.

Основний матеріал дослідження

Застосування функції автоматичного захисного відокремлення зворотного енергетичного потоку АД передбачає операцію визначення аварійного стану силового приєднання статора технічним засобом з боку, безпосередньо, статорної обмотки. Тому має бути обгрунтований інформаційний параметр, придатний для використання при утворенні команди на захисну дію. З метою визначення цього параметру запропонована розрахункова схема (рис.1) типового промислового електротехнічного комплексу при застосуванні режиму ізольованої нейтралі мережі (що є типовим для шахтних підземних дільничних електромереж). Вона передбачає наявність трифазного джерела електроживлення TV (трансформаторна підстанція з автоматичним вимикачем SA на виході розподільного пристрою (РПНН) низької напруги), від якого через магістральний кабель $МК$ та додаткові комутаційні апарати KM_1-KM_n (виконують функції магнітних пускачів) кабелями GK_1-GK_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. Активні і ємнісні опори ізоляції позначені елементами $R_{iz,\phi}$, $C_{iz,\phi}$. До аварійних станів мають бути віднесені міжфазні короткі замикання, або утворення кола витoku струму на землю R_θ , зокрема, в разі торкання людиною струмоведучого фазного провідника, що є під напругою. Наявність зворотних ЕРС в фазах АД передбачена джерелами e_{ep} .

Дослідження процесів в асинхронному двигуні виконується методом складових α і β . В цьому разі електричні параметри записуються в системі координат статора (нерухомій), дійсна вісь якої співпадає з віссю статорної обмотки фази А. Просторові вектори розкладаються на вісі α і

β [3]:

$$\bar{u}_1 = u_{1\alpha} + ju_{1\beta} \quad (1)$$

$$\bar{\psi}_s = \psi_{s\alpha} + j\psi_{s\beta}; \bar{\psi}_r = \psi_{r\alpha} + j\psi_{r\beta} \quad (2)$$

$$\bar{i}_1 = i_{1\alpha} + ji_{1\beta}; \bar{i}_r = i_{r\alpha} + ji_{r\beta} \quad (3)$$

де $\bar{\psi}_s$, $\bar{\psi}_r$ - вектори потокозчеплення статорного кола та ротора, відповідно.

Стосовно до наведеної схеми заміщення (рис.1) згідно законів Кірхгофа, запишемо рівняння електричної рівноваги у нерухомій системі координат із додаванням основного рівняння динаміки двигуна [3]:

$$\begin{cases} \psi_{s\alpha} = \int (u_{s\alpha} - i_{1\alpha} R_s) dt + \psi_{s\alpha}(0); \\ \psi_{s\beta} = \int (u_{s\beta} - i_{1\beta} R_s) dt + \psi_{s\beta}(0); \\ \psi_{r\alpha} = \int (-i_{r\alpha} R_r - \omega \psi_{r\beta}) dt + \psi_{r\alpha}(0); \\ \psi_{r\beta} = \int (-i_{r\beta} R_r + \omega \psi_{r\alpha}) dt + \psi_{r\beta}(0); \\ \omega = \frac{1}{J} \int (M - M_c) dt + \omega(0); \end{cases} \quad (4)$$

де J – момент інерції двигуна; M_c – момент навантаження; M – електромагнітний момент двигуна:

$$M = \frac{3}{2} \frac{L_m}{L_s L'_r} \bar{\psi}_r \times \bar{\psi}_s = \frac{3}{2} \frac{L_m}{L_s L'_r} (\psi_{r\alpha} \psi_{s\beta} - \psi_{r\beta} \psi_{s\alpha}) \quad (5)$$

$$L_s = L_{sl} + L_m \quad (6)$$

$$L_r = L'_{rl} + L_m \quad (7)$$

L'_r - перехідна індуктивність ротора:

$$L'_r = L_r - \frac{L_m^2}{L_s} \quad (8)$$

$$i_{1\alpha} = \frac{L_r \cdot \psi_{s\alpha} - L_m \cdot \psi_{r\alpha}}{L_s \cdot L_r - L_m^2}; i_{1\beta} = \frac{L_r \cdot \psi_{s\beta} - L_m \cdot \psi_{r\beta}}{L_s \cdot L_r - L_m^2} \quad (9)$$

$$i_{r\alpha} = \frac{L_s \cdot \psi_{r\alpha} - L_m \cdot \psi_{s\alpha}}{L_s \cdot L_r - L_m^2}; i_{r\beta} = \frac{L_s \cdot \psi_{r\beta} - L_m \cdot \psi_{s\beta}}{L_s \cdot L_r - L_m^2} \quad (10)$$

Наведені вирази відповідають двополосній асинхронній машині. В процесі дослідження багатополосної машини механічні параметри мають бути перераховані до еквівалентної двополосної машини [3].

Колова швидкість:

$$\omega = p\omega' \quad (11)$$

Обертаючий момент:

$$M = M'/p \quad (12)$$

Момент інерції:

$$J = J'/p^2 \quad (13)$$

де p – число пар полюсів асинхронної машини; дійсні параметри позначені рискою.

Просторовий вектор напруги в мережі визначається виразом:

$$\bar{u}_1 = R_{KM} \cdot \bar{i}_1 + R_k \cdot \bar{i}_1 + L_k \frac{d\bar{i}_1}{dt} + \bar{u}_s \quad (14)$$

Залежності (4)-(14) являють собою математичну модель відгалуження ЕТК ДШ, що містить приєднання, навантажене асинхронним двигуном, яка дозволяє обчислювати параметри стану двигуна та досліджувати процеси при виникненні пошкоджень у живлячому кабелі.

У пошуку інформаційного параметру про утворення аварійного стану в приєднанні живлення АД, перш за все, доцільно розглянути реакцію струму в обмотці статора АД. Слід очікувати, що в момент виникнення трифазного короткого замикання буде припиняється струм від живлячої трансформаторної підстанції до кола статора двигуна, після чого двигун, як електрогенеруюча машина, розпочне підживлення точки трифазного короткого замикання своїм зворотним енергетичним потоком.

На рис. 2 представлені розрахункові діаграми струму в мережі статора двигуна

типу 2ЭКВ4УС2 потужністю 220 кВт при номінальному значенні лінійної трифазної напруги мережі 660 В [4], починаючи з моменту пуску ненавантаженого асинхронного двигуна (момент часу t_0). В момент часу t_1 двигун виходить на номінальне навантаження. Трифазне коротке замикання виникає в момент часу t_2 . Детальний розгляд діаграми струму статора АД (на інтервалі, визначеному площиною «А») свідчить про наявність короткочасного (за результатами дослідів – 0,0015 с) зменшення струму в колі статора АД з подальшим інтенсивним його підвищенням. Це є наслідком перехідного процесу, обумовленого зміною напрямку руху енергетичного потоку в мережі статора АД, що обумовлено перетворенням двигуна з об'єкту енергоспоживання (від живлячої дільничної трансформаторної підстанції) у об'єкт генерації зворотного енергетичного потоку, що супроводжується створенням струму в точці виникнення к.з. у кабелі живлення. Отже, типовим явищем, що характеризує процес виникнення міжфазного к.з. в кабелі живлення АД, можна вважати короткочасне зменшення статорного струму з подальшим інтенсивним його збільшенням. Однак амплітуда коливання струму статора у перший момент виникнення аварійного стану в кабелі живлення є замалою для використання зазначеного ефекту у якості інформаційного параметра про наявність аварійного (небезпечного) стану силового приєднання електромережі.

Іншим рішенням є створення ланки проходження імпульсу обмеженої тривалості між приєднанням до фаз мережі з боку статора АД і контуром „земля” в момент виникнення аварійного стану силового приєднання. З цією метою пропонується засіб визначення завеликої провідності між фазою і землею (або заземленою заземлюючою жилою кабеля) відповідно до рис. 3, де ланка з конденсаторів $C1 - C2$ і діода VDI : підтримує режим ізольованої нейтралі мережі за відсутності однофазного витоку струму на землю, унеможлиблює протікання постійного струму, включаючи оперативний струм апарата захисту (типу АЗУР) від витоків струму на землю (тобто, не впливає на його захисні функції); в

момент t_1 виникнення однофазного витоку на землю (через опір R_{sum}) створює імпульс напруги U_1 обмеженої тривалості на резисторі R_4 , як керуючу команду для приведення в дію реагуючого органу (РО) засобу відокремлення зворотного енергетичного потоку асинхронного двигуна (рис. 4) [4]. Для повернення схеми до первинного стану після спрацьовування має бути передбачене шунтування конденсатора $C1$ додатковим контактом $KM2.2$ виконавчого пристрою $KM2$.

Аналіз параметрів імпульсу напруги обмеженої тривалості (рис.4) дає підстави вважати їх достатніми для використання цього імпульсу у якості інформаційного параметру про виникнення аварійного стану в мережі живлення АД.

Таким чином, з урахуванням спрацьовування штатних захисних засобів з боку живлячої комплектної трансформаторної підстанції (КТП),

створюються передумови застосування захисного відокремлення зворотного енергетичного потоку асинхронного двигуна і синхронного двобічного знаструмлення промислової дільничної електромережі в момент виникнення її аварійного стану.

Висновки

На основі дослідження розрахункової схеми шахтної дільничної електромережі методами математичного і комп'ютерного моделювання визначений прийнятний спосіб формування інформаційного параметру для приведення в дію засобу захисного відокремлення зворотного енергетичного потоку асинхронного двигуна при виникненні аварійного стану електромережі. Обґрунтована доцільність створення ланки проходження імпульсу струму обмеженої тривалості між ланцюгами мережі з боку підключення статора двигуна і контуром „земля”.

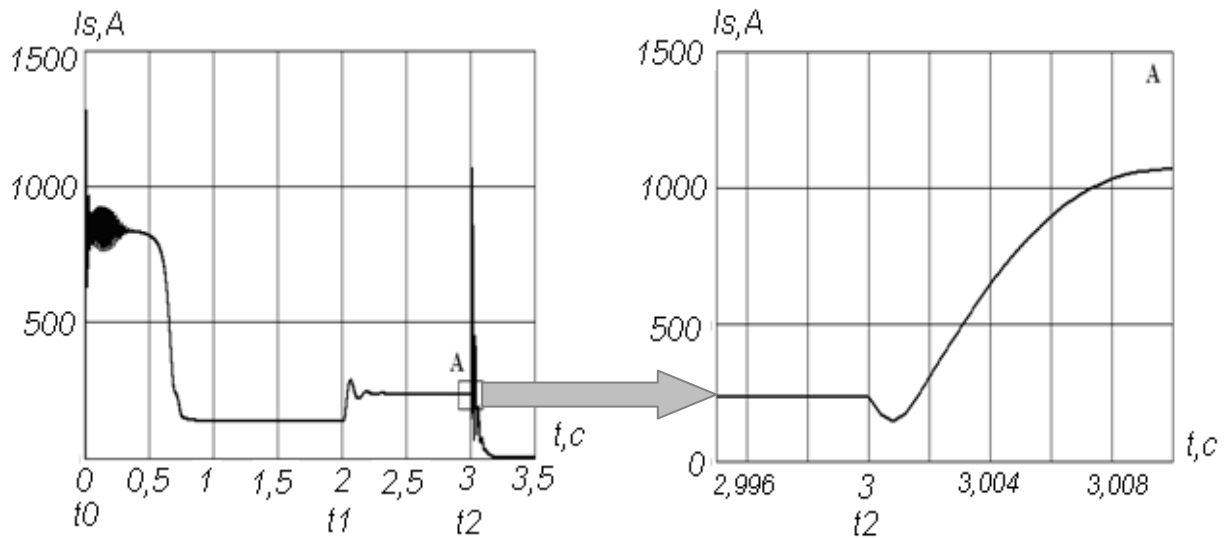


Рисунок 2 – Діюче значення струму статора асинхронного двигуна 2ЭКВ4УС2 з урахуванням пускового режиму і виникнення к.з. в живлячому кабелі в момент часу t_2

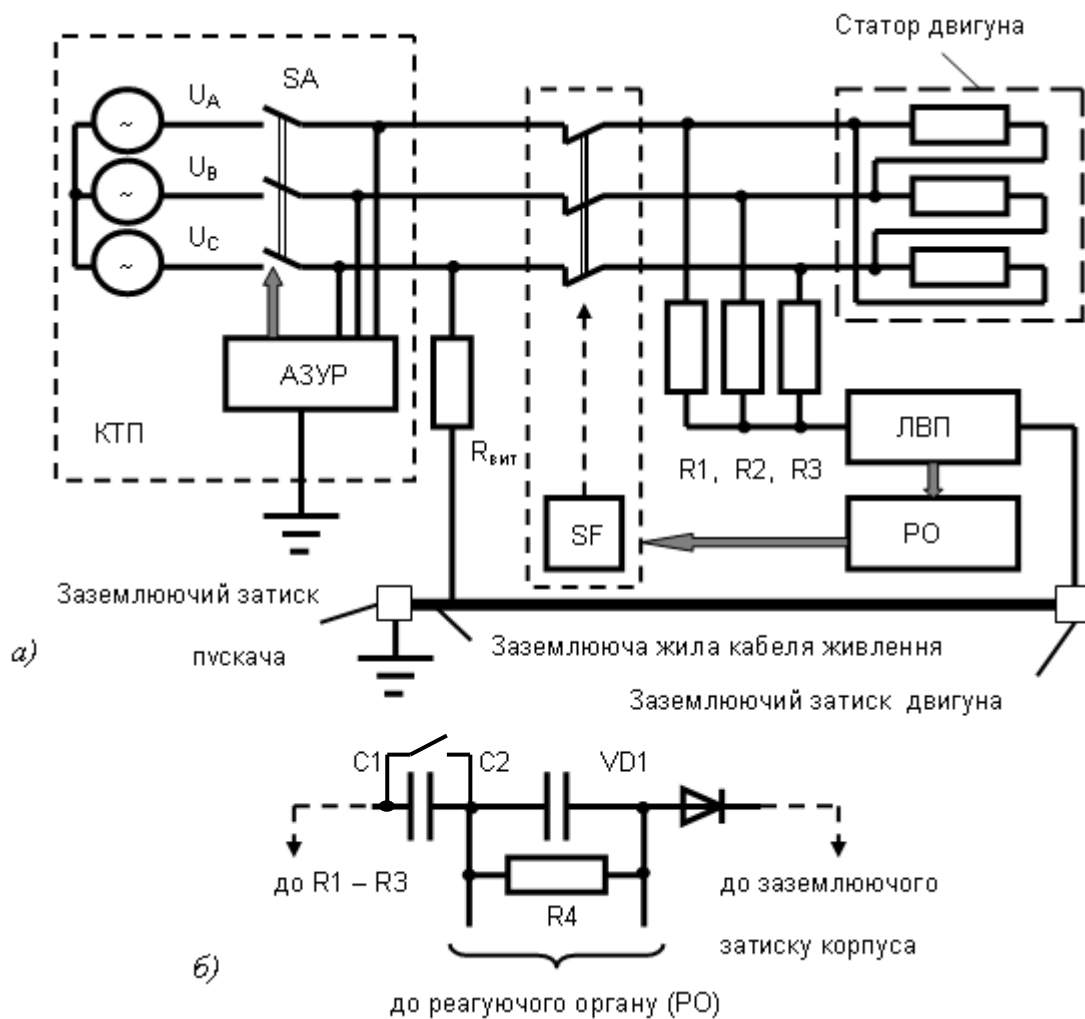


Рисунок 3 - Схема підключення засобу відокремлення зворотного енергетичного потоку асинхронного двигуна (а); варіант ланцюга визначення оперативного параметру засобу відокремлення зворотного енергетичного потоку двигуна (б) [4]

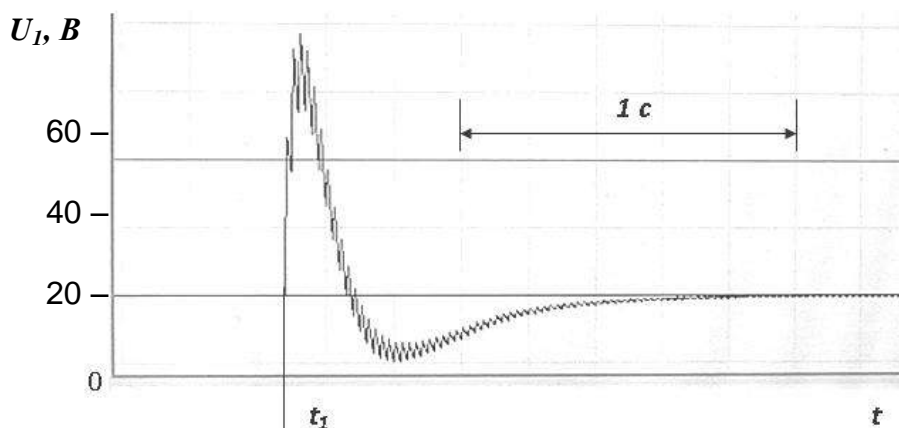


Рисунок 4 - Осцилограма напруги на резисторі R_4 ланцюга визначення оперативного параметру засобу відокремлення зворотного енергетичного потоку асинхронного двигуна при виникненні в момент t_1 пошкодження живлячого кабелю

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. *Шишкин Н.Ф.* Быстродействующая защита шахтных сетей от замыкания на землю / Н.Ф. Шишкин – М.: Госгортехиздат, 1960. – 53 с.
2. *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.
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.- С.52-70.
4. Патент на корисну модель 73720 (UA), МПК (2006.01) H02H 3/08 Пристрій захисту від впливу зворотного енергетичного потоку асинхронного двигуна на точку короткого замикання в кабелі живлення / К.М. Маренич, І. В. Ковальова, І.О. Лагута. – u 2012 01848. Заявл. 20.02.2012. Опубл 10.10.2012. Бюл. №19.

K.N.Marenych. Ground of information parameter for application the automatic disconnection the back-to-network power generation in industrial electrical grid.

К.Н. Маренич. Обоснование информационного параметра для применения автоматического отделения обратных энергетических потоков промышленных электросетей.

Применительно к участковой шахтной электросети обоснована целесообразность защитного отключения обратного энергетического потока асинхронного двигателя и обоснован принцип формирования информационного параметра в момент возникновения аварийного состояния в силовом кабеле двигателя.