

УДК 621.317.61:622.012.2

І.В. Ковальова

Донецький національний технічний університет, м. Донецьк
кафедра «Гірнична електротехніка і автоматика ім. Р.М. Лейбова»
E-mail: inna_kovalyova@ukr.net

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ФОРМУВАННЯ ЗВОРОТНОГО ЕНЕРГЕТИЧНОГО ПОТОКУ АСИНХРОННОГО ДВИГУНА ПРИ КОРОТКОМУ ЗАМИКАННІ В ЖИВЛЯЧОМУ КАБЕЛІ З УРАХУВАННЯМ ВПЛИВУ ПАРАМЕТРІВ ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНОГО КОМПЛЕКСУ

Анотація

Ковальова І.В. Дослідження процесу формування зворотного енергетичного потоку асинхронного двигуна при короткому замиканні в живлячому кабелі з урахуванням впливу параметрів електротехнічного комплексу. Встановлена закономірність зміни амплітуди і тривалості стрибкоподібної зміни величини струму статора асинхронного двигуна в момент виникнення короткого замикання у живлячому кабелі в залежності від параметрів електротехнічного комплексу, включаючи довжину та перетин кабелю.

Ключові слова: електротехнічний комплекс, коротке замикання, асинхронний двигун, струм статора, перехідний процес, параметри, фактори впливу, дослідження.

Загальна постановка проблеми.

Достатньо висока імовірність виникнення короткого замикання в електротехнічному комплексі (ЕТК) технологічної дільниці шахти обумовлена поширеним застосуванням гнучких кабелів як необхідного засобу електроживлення потужного пересувного технологічного обладнання. Коротке замикання в разі виникнення в умовах шахти здатне спричинити не тільки пожежу, але й вибух метано-повітряної суміші і тому є вкрай небезпечним станом ЕТК. Існуючі засоби максимального струмового захисту відрізняються високою швидкістю, але, відокремлюючи від точки к.з. енергетичний потік з боку живлячої підстанції, вони не здатні перешкоджати енергетичному потоку з боку асинхронного двигуна аварійного приєднання. Тому термін існування спалаху в місці пошкодження кабелю буде продовжений після захисного відключення мережі. Ця обставина обумовлює актуальність пошуку технічних рішень щодо усунення дії зворотного енергетичного потоку асинхронного двигуна (АД) в разі виникнення к.з. в його живлячому кабелі.

Попереднім дослідженням [1] встановлений характер протікання перехідного процесу зміни струму в обмотці статора АД, який полягає у наступному. Коротке замикання в кабелі живлення асинхронного двигуна супроводжується знеструмленням його статора, після чого сам двигун, що перебуває в стані вибігу, перетворюється на генератор зворотної ЕРС обертання. Таким чином, в якості інформаційного параметра про виникнення к.з. в мережі живлення АД, є короткочасне інтенсивне зменшення величини струму I_1 статора з подальшим інтенсивним його підвищенням (рис.1). Відповідно до цього розроблене технічне рішення [2] із визначення інформаційного сигналу про наявність короткого замикання в мережі живлення асинхронного двигуна, дія якого основана на визначенні терміну t_1-t_2 існування короткочасного зменшення цього струму.

Однак, детального вивчення потребує проблематика закономірностей впливу на цей процес сукупності електричних параметрів складових електротехнічного комплексу дільниці шахти, таких, як опори кабельної мережі та електромеханічні параметри асинхронного двигуна аварійного приєднання.

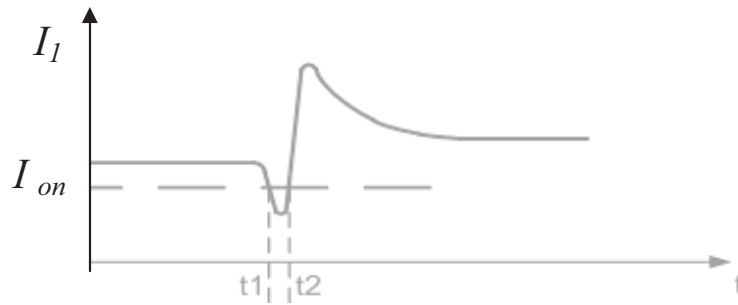


Рисунок 1 – Діаграма зміни діючого струму в ланцюзі статора асинхронного двигуна в разі виникнення к.з. у живлячому кабелі

Постановка задач дослідження.

Задачею дослідження є встановлення характеру впливу параметрів електротехнічного комплексу ієхнологічної ділянки шахти на процеси формування зворотного енергетичного потоку асинхронного двигуна в умовах виникнення короткого замикання в кабелі його живлення.

Рішення задач і результати дослідження.

Характер впливу параметрів ЕТК на перехідний процес при виникненні короткого замикання в кабелі живлення АД може бути встановлений дослідженням схеми заміщення (рис.2), на якій позначено: \bar{u}_1 - просторовий вектор напруги; R_k, L_k - активний опір та індуктивність гнучкого кабелю; R_s, R'_r - активні опори фази статора та ротора (приведеного до статора), відповідно; L_{sl}, L'_{rl} - індуктивності статора та ротора (приведеного до статора), відповідно; L_m - індуктивність, що обумовлена головним магнітним потоком; $\bar{\psi}_r$ - просторовий вектор потокозчеплення ротора; ω - швидкість обертання ротора двигуна; \bar{i}_1, \bar{i}_r - просторові вектори струму у статорному колі та струму ротора двигуна, відповідно.

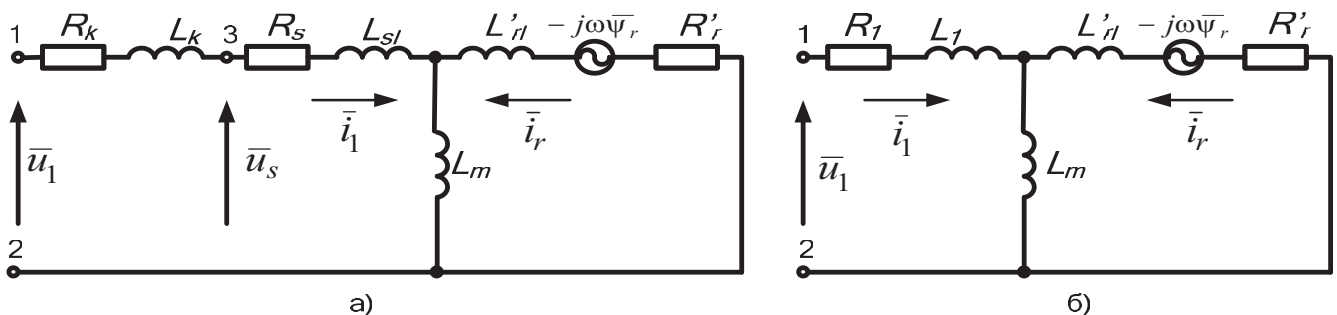


Рисунок 2 – Схема заміщення відгалуження АД: а) вихідна; б) розрахункова

На розрахунковій схемі (рис.2б) позначено:

$$R_1 = R_k + R_s$$

$$L_1 = L_k + L_{sl} + L_m$$

Відповідно до законів Кірхгофа за умови симетрії трифазної системи (трифазне коротке замикання), запишемо рівняння електричної рівноваги у нерухомій системі координат із додаванням основного рівняння динаміки двигуна:

$$\begin{cases} \bar{u}_1 = \frac{d\bar{\psi}_1}{dt} + \frac{R_1}{L_1}\bar{\psi}_1 - k_r \frac{R_1}{L_1}\bar{\psi}_r ; \\ \bar{u}_r = 0 = \frac{d\bar{\psi}_r}{dt} - k_s \frac{R'_r}{L_r}\bar{\psi}_{s\alpha} - \frac{R'_r}{L_r}\bar{\psi}_r - j\omega\bar{\psi}_r ; \\ J \frac{d\omega}{dt} = M - M_c ; \end{cases}$$

де $\bar{\psi}_1$ - просторовий вектор потокозчеплення статора АД та живлячого його кабелю;
 J – момент інерції двигуна; M_{max} – момент навантаження; M – електромагнітний момент двигуна:

$$M = 1,5\bar{\psi}_r \times \bar{i}_r$$

k_r - коефіцієнт зв'язку ротора:

$$k_r = L_m / L_r$$

$$L_r = L'_{rl} + L_m$$

k_s - коефіцієнт зв'язку статора:

$$k_s = L_m / L_1$$

Просторовий вектор струму у статорному колі двигуна обчислюється:

$$\bar{i} = \frac{L_r \cdot \bar{\psi}_1 - L_m \cdot \bar{\psi}_r}{L_1 \cdot L_r - L_m^2}$$

Наведені вирази відповідають дво полюсній асинхронній машині. В разі дослідження багатополісної машини механічні параметри мають бути перераховані до еквівалентної дво полюсної машини.

Згідно розробленої математичної моделі побудована комп'ютерна модель, яка дозволяє отримати величину струму в статорному колі асинхронного двигуна при різних параметрах живлячого кабелю. Моделювання має проводитися у наступній послідовності: до моменту часу $t_l = 1$ с двигун працював у штатному режимі. У момент t_l виникає трифазне коротке замикання в кабелі живлення АД.

Таким чином, параметрами ЕТК, які суттєво впливають на процеси і повинні враховуватись при моделюванні є наступні: потужність та параметри статорів АД, марка, перетин і довжина кабелю живлення і відповідні їм величини активних і індуктивних опорів. На рис.3 і рис.4 представлені результати моделювання процесів у системі з наступними параметрами: номінальна напруга живлення – 660В частоти 50 Гц; потужність АД становить 220 кВт (що відповідає машині типу 2ЭКВ4УС2, або аналогічному); момент на валу двигуна приймається сталою величиною. Тип дільничної підстанції - КТПВ-630; гнучкий екранований кабель (марки КГЭШ) живлення АД може мати довжину від 50 м до 300 м, включно і перетин силових жил: 35 мм²; 50 мм²; 70 мм². Це є найбільш типовим для схемотехніки сучасних шахтних дільничних ЕТК.

З метою полегшення подальшого аналізу характеру зміни струму в мережі статора АД при виникненні к.з. в кабелі живлення безвідносно до потужності конкретної електричної машини є доцільним цей струм представляти у відносних одиницях, як відношення фактичного струму до номінального струму двигуна.

Результатами дослідження встановлено, що амплітудне значення i_{lm} короткочасного інтенсивного зменшення статорного струму АД залежить від параметрів живлячого кабелю (його перетину та довжини) та потужності двигуна споживача (опору його статорних обмоток). Зокрема при прийнятих параметрах ЕТК амплітуда вказаного струмового параметру знаходиться в межах 0,25÷0,5 від номінального струму двигуна. Тривалість t_p цього зменшення також змінюється залежно від параметрів гнучкого кабелю та

асинхронного двигуна і лежить в межах $(0,5\div 0,7)$ мс. Із збільшенням потужності асинхронного двигуна споживача амплітуда i_{1m} збільшується, а тривалість t_p – зменшується.

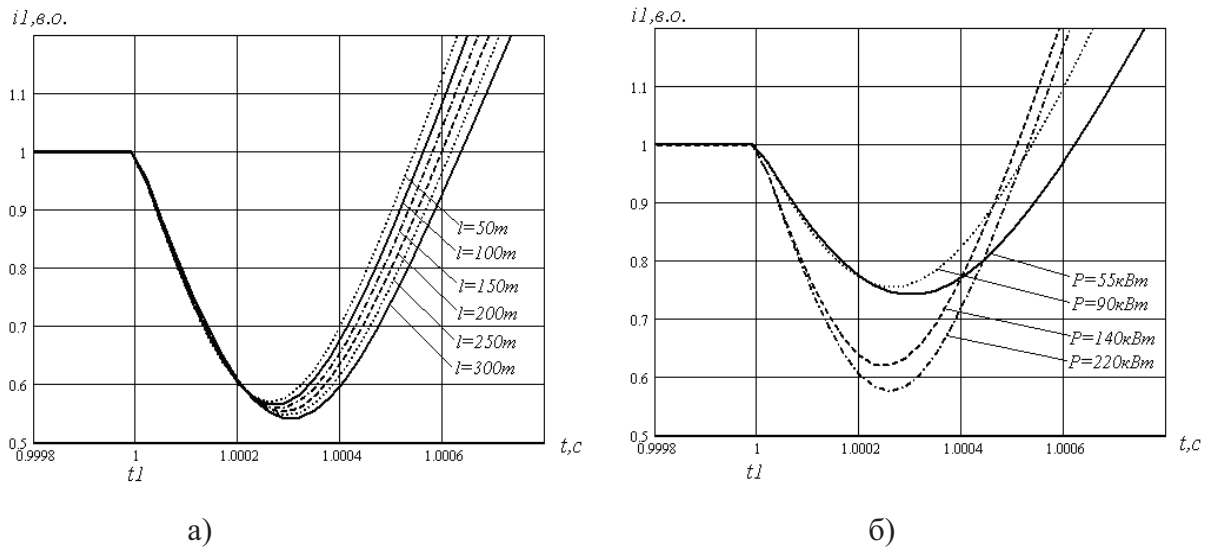


Рисунок 3 – Величина струму у статорному колі у момент виникнення трифазного короткого замикання: а) при змінній довжини кабелю ($S=70\text{мм}^2$); б) при змінній потужності АД (к.з. на затискачах двигуна)

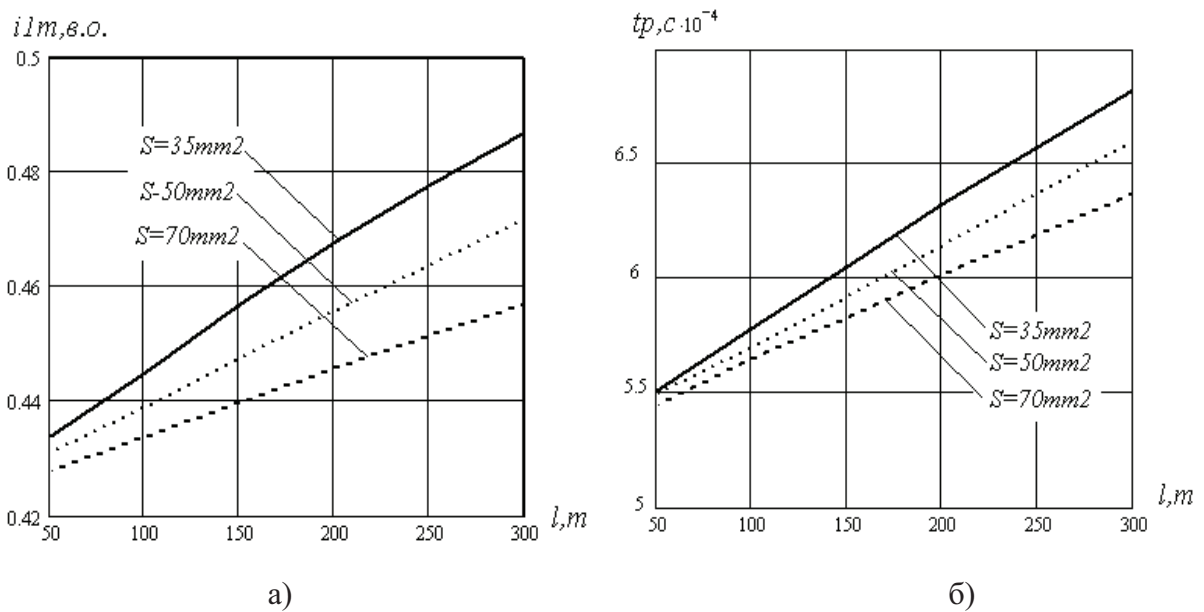


Рисунок 4 – Діаграми амплітуд $i_{1m}=f(L)$ (а) та тривалостей $t_p=f(L)$ (б) короткочасного інтенсивного зменшення струму у статорному колі у момент виникнення трифазного короткого замикання

При проведенні регресійного аналізу методом найменших квадратів отримані параметри регресійних залежностей, представлених на рис.4:

$$i_{1m} = 0.424 + 0.0002 \cdot x; \quad t_p = 0.0005 + (5e - 07) \cdot x \quad \rightarrow \quad S = 35 \text{ мм}^2$$

$$i_{1m} = 0.4227 + 0.0002 \cdot x; \quad t_p = 0.0005 + (4e - 07) \cdot x \quad \rightarrow \quad S = 50 \text{ мм}^2$$

$$i_{1m} = 0.4224 + 0.0001 \cdot x; \quad t_p = 0.0005 + (4e - 07) \cdot x \quad \rightarrow \quad S = 70 \text{ мм}^2$$

Отримані результати свідчать про лінійну залежність величин амплітуд i_{1m} та тривалостей t_p короткочасного інтенсивного зменшення струму у статорному колі двигуна від довжини гнучкого кабелю живлення L (фактор x) в разі виникнення к.з. у цьому кабелі. Це може бути застосовано при проектуванні схеми пристрою виявлення к.з. в мережі живлення АД, зокрема, при визначенні інтегральної уставки спрацьовування цього пристрою за параметрами i_{1m} та t_p .

Висновки.

Дослідженнями встановлена закономірність зміни амплітуди і тривалості стрибкоподібної зміни величини струму статора асинхронного двигуна при виникненні короткого замикання у живлячому кабелі в залежності від параметрів електротехнічного комплексу, включаючи опір кабелю та потужність двигуна аварійного приєднання. Це створює умови визначення інформаційного параметру для подальшого керування в автоматичному режимі усуненням дії зворотного енергетичного потоку двигуна на місце пошкодження живлячого кабелю.

Література

1. Маренич К.Н. Обоснование информационного параметра функционирования устройства автоматического подавления ЭДС двигателей при аварийном отключении электросети / К.Н. Маренич, И.В. Ковалёва // Автоматика - 2008: 15-а Міжнар.конф. з автоматичного управління. - Одеса: Одеська нац. морська акад., 2008.- С. 352-354..

2. Спосіб захисту від струмів короткого замикання в мережі живлення асинхронного двигуна: патент на корисну модель № 48268 Україна МПК⁸ H02H3/10 / Маренич К.М., Ковальова І.В.; заявник Донецький нац. техн. ун-т.- № u200909863; заявл. 28.09.2009; опубл. 10.03.2010, Бюл. №5.

Надійшла до редакції:
28.01.2011

Рекомендовано до друку:
д-р техн.наук, проф. Зорі А.А.

Abstract

Kovalyova I.V. Analysis of forming process of back electromotive force of asynchronous motor in case of fault in flexible cable taking into account influence of parameters of electrotechnical complex. Pattern of change of amplitude and duration of transient in stator of asynchronous motor in the moment of short-circuit in flexible cable depending on the parameters of electrotechnical complex, including length and cross-section of cable, is based.

Keywords: electrotechnical complex, fault, asynchronous motor, stator current, transient, parameters, influence factors, analysis.

Аннотация

Ковалева И.В. Исследование процесса формирования обратного энергетического потока асинхронного двигателя при коротком замыкании в питающем кабеле с учетом влияния параметров электротехнического комплекса. Установлена закономерность изменения амплитуды и длительности бестоковой паузы в цепи статора асинхронного двигателя в момент возникновения короткого замыкания в питающем кабеле в зависимости от параметров электротехнического комплекса, включая длину и сечение кабеля.

Ключевые слова: электротехнический комплекс, короткое замыкание, асинхронный двигатель, ток статора, переходный процесс, параметры, факторы влияния, исследование.

© Ковальова І.В., 2011