

РІВНЯННЯ НЕСИМЕТРІЇ ВУЗЛА ЖИВЛЕННЯ ЕЛЕКТРОМОТОРІВ ПРИ МІЖФАЗНОМУ КОРОТКОМУ ЗАМИКАННІ

Запропоновано формулу обчислення напруги вузла живлення електричних моторів від спільного трансформатора в разі короткого замикання двох фаз. Формула призначена для використання на кожному часовому кроці інтегрування рівнянь стану електромеханічної системи.

Предложено формулу вычисления напряжения узла питания электрических двигателей от общего трансформатора в случае короткого замыкания двух фаз. Формула предназначена для использования на каждом временном шаге интегрирования уравнений состояния электромеханической системы.

ВСТУП

Дана стаття є третьою з присвячених нами екстремальній несиметрії, зумовленій обривами і короткими замиканнями в групових вузлах. Так, у [1] йдеться про обрив фази одного з задіяних пристроїв. У [2], навпаки, – випадок її короткого замикання. У даній статті розглядається міжфазне коротке замикання в груповому вузлі. Для прикладу розглядається вузол живлення асинхронних моторів від спільного трансформатора. Несиметричний стан зумовлений к. з. двох фаз. Для спрощення викладу на рис. 1 показано схему системи з трансформатором і двома моторами. Ушкодження відбулося між фазами В і С.

Але спочатку повторимо з [2] теорію неушкодженої системи, яку затим узагальнимо на випадок міжфазного короткого замикання

РІВНЯННЯ СИМЕТРИЧНОГО СТАНУ

Рівняння електромагнетної системи складаються з рівнянь її елементів, що відображають їхню внутрішню природу, і структурних рівнянь, що відображають спосіб з'єднання елементів між собою.

А-модель трансформатора. Рівняння трансформатора запишемо в нормальній формі Коші [2]

$$\begin{aligned} \frac{di_1}{dt} &= A_1(u_1 - r_1 i_1) + A_{21}(u_2 - r_2 i_2); \\ \frac{di_2}{dt} &= A_{21}(u_1 - r_1 i_1) + A_2(u_2 - r_2 i_2), \end{aligned} \quad (1)$$

де u_1, u_2 – колонки напруг первинної і вторинної обмоток; i_1, i_2 – колонки струмів; A_1, A_{21}, A_2 – матриці коефіцієнтів, алгоритм обчислення яких можемо знайти в джерелах з математичного моделювання, напр. [3].

А-модель асинхронного мотора. Рівняння асинхронного мотора подібно до (1) теж записуються в нормальній формі Коші [2]. Скористаємося їх формою, при якій струми й напруги обмотки статора тожні власним фазним величинам

$$\begin{aligned} \frac{di_S}{dt} &= A_S(u_S - r_S i_S) + A_{SR}(\Omega_R \Psi_R - r_S i_S); \\ \frac{di_R}{dt} &= A_{RS}(u_S - r_S i_S) + A_R(\Omega_R \Psi_R - r_R i_R), \end{aligned} \quad (2)$$

де u_S, u_R – колонки напруг статорної і роторної обмоток; i_S – колонка статорних струмів; Ψ_R – колонка повних роторних потокозчеплень; Ω_R – матриця кутової швидкості; A_S, A_{SR}, A_{RS}, A_R – матриці коефіцієнтів. Алгоритм обчислення цих матриць і колонок теж можемо знайти напр. у [3]. Рівняння електромагнетного стану слід доповнити рівнянням механічного руху

$$\frac{d\omega}{dt} = f(i_S, i_R, \omega, t). \quad (3)$$

Ми не конкретизуємо до алгоритмічного рівня рівнянь (1) – (3), тільки тому, що тут це не є принципово. Структурні рівняння електричного кола вузла живлення запишемо за першим і другим законами Кірхгофа

$$\sum_{i=1}^n i_{Si} + i_2 = 0; \quad u_{Si} = u_2, \quad i = 1, 2, \dots, n, \quad (4)$$

де n – число заживлених у вузлі моторів.

Вирази (1) – (4) утворюють повну систему алгебро-диференціальних рівнянь електромеханічного стану досліджуваної електромеханічної системи.

Оскільки в таких системах не передбачається наявність нульових провідників між нульовими точками трифазних обмоток трансформатора й моторів, то в (1), (2), (4), виходячи з закону струмів Кірхгофа, опустимо і струми, і напруги фази С задіяних окремих елементів.

Основна проблема подальшого аналізу полягає у визначенні колонки невідомих напруг вузла живлення $u_2 = (u_{2A}, u_{2B})_t$ – напруг вторинної обмотки трансформатора. Знаючи u_2 на даному часовому кроці інтегрування, система $2(n+1)$ матричних рівнянь (1), (2) і n звичайних (3) розпадаються на окремі незалежні рівняння, числове інтегрування яких очевидне.

Продиференціюємо рівняння струмів (4) за часом

$$\sum_{i=1}^n \frac{di_{Si}}{dt} + \frac{di_2}{dt} = 0. \quad (5)$$

Підставляючи в (5) рівняння вторинної обмотки трансформатора (1) і рівняння статорних обмоток моторів (2), з урахуванням другого виразу (4) одержуємо потрібний вираз для напруг вузла

$$u_2 = AY, \quad (6)$$

де

$$\begin{aligned} A &= \left(A_2 + \sum_{i=1}^n A_{Si} \right)^{-1}; \quad Y = -A_{21}(u_1 - r_1 i_1) + \\ &+ A_{21} r_2 i_2 + \sum_{i=1}^n (+ A_{Si} r_{Si} - A_{SRi}(\Omega_{Ri} \Psi_{Ri} - r_{Ri} i_{Ri})) \end{aligned} \quad (7)$$

РІВНЯННЯ НЕСИМЕТРИЧНОГО СТАНУ

А тепер розглянемо пошкоджену систему коротким замиканням між фазами В і С безпосередньо у вузлі живлення, як це показано на рис. 1. Зауважимо, що вибір тих чи інших закорочених фаз є непринциповим.

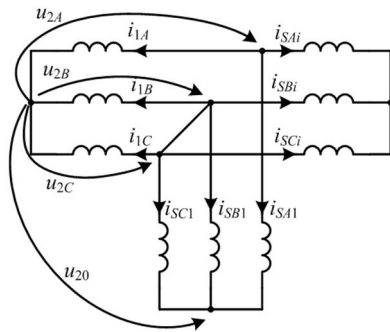


Рис. 1. Схема електромашинної системи

Запишемо диференціальні рівняння всіх трьох фаз статора ушкодженого i -го мотора у вигляді

$$\frac{d\Psi_{SAi}}{dt} = u_{2A} - r_{Si}i_{SAi}; \quad \frac{d\Psi_{SBi}}{dt} = u_{2B} - r_{Si}i_{SBi};$$

$$\frac{d\Psi_{SCi}}{dt} = u_{2C} - r_{Si}i_{SCi},$$

де Ψ_{ski} ($k = A, B, C$) – повні потокозчеплення фаз статора i -го мотора

$$\Psi_{ski} = \Psi_{ki} + L_{\sigma i}i_{ski}, \quad (k = A, B, C),$$

причому Ψ_k – основні потокозчеплення; L_{σ} – індуктивність дисипації обмотки статора.

Міжфазне коротке замикання незалежно в якому з елементів системи зумовлює те, що

$$u_{2B} = u_{2C}. \quad (10)$$

Якщо тепер підставити (9) у (8) і просумувати усі три рівняння (8) за тотожності, що

$$\Psi_A + \Psi_B + \Psi_C \equiv 0, \quad (11)$$

то за умови (10) одержимо

$$u_{20} = (u_{2A} + 2u_{2B})/3. \quad (12)$$

Згідно з графічною побудовою рис. 1 маємо очевидні залежності

$$u_{SAi} = u_{2A} - u_{20}; \quad u_{SBi} = u_{2B} - u_{20}; \quad u_{SCi} = u_{2C} - u_{20}. \quad (13)$$

На підставі (12), (13) формуємо матричне рівняння

$$u_{Si} = C_2 u_2, \quad (14)$$

де

$$C_2 = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 2 & -2 \\ -1 & 1 \end{bmatrix}. \quad (15)$$

Підставляючи (15) у (6), одержуємо шукану корекцію першого виразу (7) на випадок міжфазного короткого замикання фази B і C вузла живлення моторів

$$A = \left(A_2 + \left(\sum_{i=2}^n A_{Si} \right) C_2 \right)^{-1}. \quad (16)$$

Решта виразів у (6), (7) залишаються без зміни.

У випадку наявності серед заживлених моторів синхронних метод аналізу залишається незмінним. У такому разі зазнають відповідної корекції лише рівняння (2), а відтак (7), (16).

Якщо струми й напруги задіяних моторів будуть представлені в області координатних перетворень, наприклад, у осях x , y чи d , q , то структурні рівняння (4) дещо ускладняться

$$\sum_{i=1}^n \Pi_i^{-1} i_{Si} + i_2 = 0; \quad \Pi_i^{-1} u_{Si} = u_2, \quad i = 1, 2, \dots, n, \quad (17)$$

де Π_i^{-1} – обернені матриці координатних перетворень до фазних величин. Але запис рівнянь електромоторів як елементів системи в перетворених координатах недоцільний.

Результати симуляції показані на рис. 2.

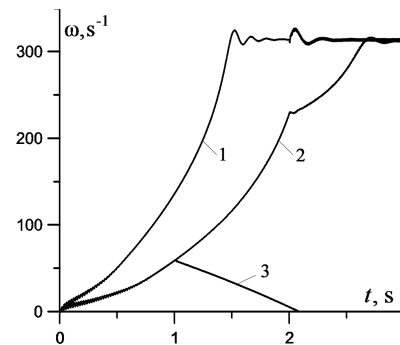


Рис. 2. Пуск моторів: ненавантаженого А12-52-8А (1) і навантаженого (1000 Нм) А13-62-8 (2, 3) від спільного трансформатора при к.з. в момент $t = 2$ с (2) і $t = 1$ с (3)

ВИСНОВОК

Запропоновано метод обчислення напруг вузла живлення електромоторів від спільного трансформатора в разі міжфазного к.з. Це дає можливість рівняння стану електромеханічної системи представити в нормальній формі Коші.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Чабан В.Й., Чабан О.В. Екстремальна несиметрія вузла живлення асинхронних моторів // Електротехніка і електромеханіка. – 2012. – № 4. – С. 43-44.
2. Чабан В.Й., Чабан О.В. Рівняння несиметрії вузла живлення електромоторів при фазному короткому замиканні // Електротехніка і електромеханіка. – 2013. – № 2. – С. 38-39.
3. Чабан В. Математичне моделювання електромеханічних процесів. – Львів, 1997. – 344 с.

Bibliography (transliterated): 1. Chaban V.J., Chaban O.V. Ekstremal'na nesimetriya vuzla zhivlennya asinhronnih motoriv // Elektrotehnika i elektromehanika. - 2012. - № 4. - S. 43-44. 2. Chaban V.J., Chaban O.V. Rivnyannya nesimetrii vuzla zhivlennya elektromotoriv pri faznomu korotkomu zamikanni // Elektrotehnika i elektromehanika. - 2013. - № 2. - S. 38-39. 3. Chaban V. Matematichne modelyuvannya elektromechanichnih procesiv. - L'viv, 1997. - 344 s.

Надійшла 14.05.2013

Чабан Василь Йосипович, д.т.н., проф.

Національний університет "Львівська політехніка" й Ряшівський університет
79021, Львів, вул. Кульпарківська, 142, кв. 33
тел: (067) 7202181, e-mail: vtchaban@polynet.lviv.ua

Чабан Остап Васильович, к.т.н., доц.

Національний університет "Львівська політехніка"
79021, Львів, вул. Акад. Лазаренка, 38, кв. 14
тел: (067) 6734482

Tchaban V.Y., Tchaban O.V.

Equations of electric motor power supply unit dissymmetry under phase-to-phase short-circuit fault.

In the paper, a formula is introduced to calculate electric motor supply unit voltage under feeding by a common transformer in the condition of a phase-to-phase short-circuit. The formula is used in every time step of electromechanical state equations integration.

Key words – power supply unit, transformer, electric motors, phase-to-phase short-circuit.