

РІВНЯННЯ НЕСИМЕТРИЇ ВУЗЛА ЖИВЛЕННЯ ЕЛЕКТРОМОТОРІВ ПРИ ФАЗНОМУ КОРОТКОМУ ЗАМИКАННІ

Запропоновано формулу обчислення напруги вузла живлення електричних моторів від спільного трансформатора в разі короткого замикання фази одного з моторів. 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 фазы одного из двигателей. Формула предназначена для использования на каждом временном шаге интегрирования уравнений состояния электромеханической системы.

ВСТУП

Переважна кількість наукових праць з аналізу електромеханічних систем, присвячена аналізу їхніх симетричних станів. У [1] нами змодельовано випадок обриву фази одного з задіяних пристроїв. У даній праці навпаки пропонується випадок її короткого замикання. Для прикладу розглядається вузол живлення асинхронних моторів від спільного трансформатора. Несиметричний стан зумовлений к. з. обмотки статора одного з заживлених моторів. Якщо таке замикання відбувається одночасно в декількох машинах, то це аж ніяк не вносить додаткових теоретичних труднощів. Для спрощення і дохідливості викладу на рис. 1 показано схему системи з двома моторами, ушкодженого й нормально функціонуючого.

Але спочатку розглянемо теорію неушкодженої системи, яку затим узагальнимо на випадок фазного короткого замикання.

РІВНЯННЯ СИМЕТРИЧНОГО СТАНУ

Рівняння будь-якої 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 цієї моделі представлені в нормальній формі Коші

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

де u_1, u_2 – колонки напруг первинної і вторинної обмоток; i_1, i_2 – колонки струмів; A_1, A_{12}, A_{21}, A_2 – матриці коефіцієнтів, алгоритм обчислення яких можемо знайти в джерелах з математичного моделювання [2].

А-модель асинхронного мотора. Рівняння асинхронного мотора цієї моделі теж записуються в нормальній формі Коші. Скористаємося косогональною системою координат, при якій струми й напруги обмотки статора тотожні власним фазним величинам

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

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 перерахованих матриць і колонок

теж можемо знайти в джерелах з математичного моделювання [2]. 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 записуємо 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 алгебодиференціальних 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 C 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, інтегрування яких не спричиняє будь-яких труднощів.

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

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

РІВНЯННЯ НЕСИМЕТРИЧНОГО СТАНУ

Розглянемо пошкоджену систему коротким замиканням фази C в одному з моторів, для визначеності в першому, як це показано на рис. 1. Зауважимо, що вибір фази C є непринциповим.

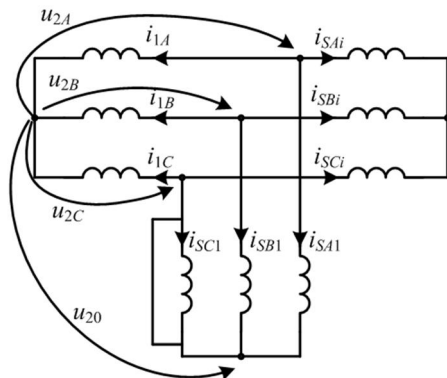


Рис. 1. Схема електромашинної системи

Запишемо диференціальні рівняння всіх трьох фаз статора ушкодженого (першого) мотора у вигляді

$$\begin{aligned} \frac{d\Psi_{SA1}}{dt} &= u_{2A} - r_{S1}i_{SA1}; & \frac{d\Psi_{SB1}}{dt} &= u_{2B} - r_{S1}i_{SB1}; \\ \frac{d\Psi_{SC1}}{dt} &= u_{2C} - r_{S1}i_{SC1}, \end{aligned} \quad (8)$$

де $\Psi_{Sk1} = (k = A, B, C)$ – повні потокозчеплення фаз статора першого мотора

$$\Psi_{Sk1} = \Psi_k + L_{\sigma}i_{Sk1}, \quad (k = A, B, C), \quad (9)$$

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

Коротке замикання фази C першого мотора зумовлює те, що

$$u_{20} = u_{2C}, \quad (10)$$

де u_{20} – напруга зміщення нейтралей обмоток трансформатора й першого мотора (див. рис. 1).

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

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

одержимо

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

Згідно з графічною побудовою (рис. 1) маємо очевидні залежності

$$u_{SA1} = u_{2A} - u_{20}; \quad u_{SB1} = u_{2B} - u_{20}; \quad u_{SC1} = 0. \quad (13)$$

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

$$u_{S1} = C_1 u_2, \quad (14)$$

де

$$C_1 = \frac{1}{2} \begin{bmatrix} 1 & -1 \\ -1 & 1 \end{bmatrix}. \quad (15)$$

Підставляючи (15) у (6), одержуємо шукану корекцію першого виразу (7) на випадок короткого замикання фази C першого мотора

$$A = \left(A_2 + \sum_{i=2}^n A_{Si} + A_{S1} C_1 \right)^{-1}. \quad (16)$$

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

У випадку наявності серед живлених 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 , у 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 як спільного координатного базиса. Але оскільки запис диференціальних рівнянь електромоторів як елементів системи в перетворених координатах обмоток статора недоцільний, то ми відповідних примітивних корекцій формул (7), (16) не робитимемо.

ВИСНОВОК

Запропонований метод обчислення напруг вузла живлення електромоторів, заживлених від спільного трансформатора в разі короткого замикання однієї з фаз статора того чи іншого електромотора, дає можливість на кожному часовому кроці інтегрування рівнянь стану електромеханічної системи звести до інтегрування заздалегідь представлених у нормальній формі Коші рівнянь стану окремих задіяних пристроїв.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Чабан В. И., Чабан О. В. Экстремальная несимметрия узла живления асинхронных моторов. – ЕіЕ, 2012/4, с. 43–44.
2. Чабан В. Математичне моделювання електромеханічних процесів. – Львів, 1997, 344 с.

Bibliography (transliterated): 1. Chaban V. I., Chaban O. V. Ekstremal'na nesimetriya vuzla zhivlennya asinhronnih motoriv. - EіE, 2012/4, s. 43-44. 2. Chaban V. Matematichne modelyuvannya elektromehanichnih procesiv. - L'viv, 1997, 344 s.

Надійшла 01.03.2012

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@polidet.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 short-circuit fault.

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

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