

РІВНЯННЯ ВУЗЛА ЖИВЛЕННЯ ВИКОНАВЧИХ МОТОРІВ ПРИ ЕКСТРЕМАЛЬНІЙ НЕСИМЕТРІЇ

Чабан О.В.

Національний університет "Львівська політехніка"

Запропоновано формул обчислення напруги вузла живлення виконавчих асинхронних моторів від спільного трансформатора в разі екстремальних коротких замикань, одно- і двофазних. Формула призначені для використання на кожному часовому кроці інтегрування рівнянь стану електромеханічної системи.

Переважає кількість наукових праць з аналізу електромеханічних систем, присвячена аналізу симетричних станів. У даній праці, навпаки, пропонується випадок фазних і міжфазних коротких замикань. Для прикладу розглядається вузол живлення асинхронних моторів від спільного трансформатора. Несиметричний стан зумовлений к. з. статора одного з виконавчих 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 і рис. 2 показано схеми можливих uszkodжень системи.

Але спочатку розглянемо теорію неушкодженої системи, яку затим узагальнимо на випадок як фазного, так і міжфазного коротких замикань.

РІВНЯННЯ СИМЕТРИЧНОГО СТАНУ

Рівняння 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, напр. в [1].

А-модель виконавчого 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 [1]

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

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 перечислених матриць і колонок теж можемо знайти в джерелах з математичного моделювання, напр. в [1]. 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 алгебо-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 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, звичайно явними методами.

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

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

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

РІВНЯННЯ НЕСИМЕТРИЧНОГО СТАНУ

1. Фазне к.з. А тепер 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.

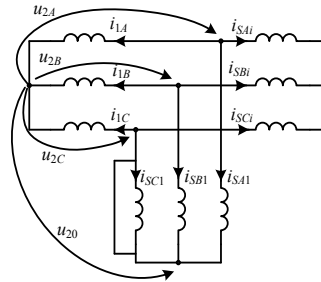


Рис. 1. Схема фазного к.з

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

$$\Psi_{Sk1} = \psi_{k1} + L_{\sigma 1} i_{Sk1}, \quad (k = A, B, C), \quad (9)$$

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 [3]

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

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

2. Міжфазне к.з. А тепер розглянемо пошкоджену систему коротким замиканням між фазами B і C безпосередньо у вузлі живлення, як це показано на рис. 2.

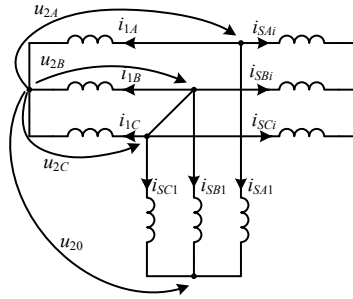


Рис. 2. Схема міжфазного к.з.

Зауважимо, що вибір тих чи інших закорочених фаз є непринциповим. Тут також скористаємося виразами (8), (9), (11). Але на відміну від (10) міжфазне коротке замикання, не залежно в якому з елементів системи, зумовлює те, що

$$u_{2B} = u_{2C}. \quad (17)$$

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

$$\psi_A + \psi_B + \psi_C \equiv 0, \quad (18)$$

то одержимо

$$u_{20} = (u_{2A} + u_{2B}) / 2. \quad (19)$$

Згідно з графічною побудовою рис. 1 маємо очевидні залежності

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

На підставі (19), (20) формуємо матричне рівняння

$$u_2 = C_2 u_{S1}, \quad (20)$$

де

$$C_2 = 3 \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & 2 \end{bmatrix}. \quad (21)$$

Підставляючи (20) у (6), одержуємо шукану корекцію першого виразу (7) на випадок міжфазного короткого замикання фаз мотора [4]

$$A = \left(A_2 + \left(\sum_{i=2}^n A_{Si} \right) C_2 \right)^{-1}. \quad (22)$$

Решта виразів у (6), (7) залишаються без зміни.
Результати симуляції показані на рис. 3.

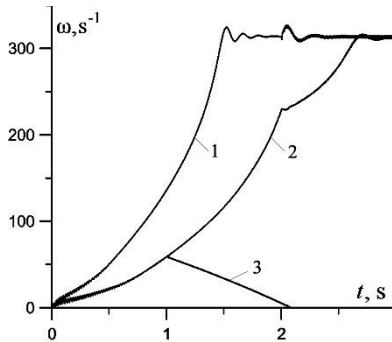


Рис. 3. Пуск моторів: ненавантаженого А12-52-8А (1) і навантаженого (1000 Нм) А13-62-8 (2, 3) від спільного трансформатора при к.з. в момент $t = 2$ с (1, 2) і $t = 1$ с (3)

ВИСНОВОК

Запропонований метод обчислення напруг вузла живлення електромоторів, заживлених від спільного трансформатора в разі короткого замикання однієї з фаз статора або міжфазного к.з. 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.

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