

Висновки. 1. При використанні розробленої ІВС діагностики рухомих вузлів енергетичних вузлів були проведені експериментальні дослідження вібраційного сигналу, виміряні безпосередньо на якорі електричної машини постійного струму П-51. Після побудови гістограм та згладжуючих її кривих, що входять в систему Пірсона, були отримані навчаючі сукупності, що дозволять в подальшому формувати вирішуючі правила, завдяки яким при виконанні діагностики буде визначатися технічний стан шихтованого магнітопроводу якоря електричної машини П-51.

2. Проведений експеримент з лабораторним зразком ІВС діагностики довів доцільність використання радіоканалу в якості каналу передачі сигналу, виміряного на рухомих вузлах електричних машин.

3. Результати проведеного експерименту виявили, що найбільш інформативними діагностичними ознаками, що дозволяють діагностувати ступінь пресування шихтованого магнітопроводу, виступають амплітуди основних максимумів спектрограми, частоти основних максимумів спектрограми, число основних максимумів спектрограми в фіксованій смузі частот.

1. Гижко Ю.І., Мислович М.В. *Особливості побудови інформаційно-вимірювальних систем діагностики рухомих частин електротехнічного обладнання // Праці інституту електродинаміки Національної академії наук України. – 2007. – № 2/17. – С. 107–115.* 2. Гижко Ю.І., Мислович М.В. *Деякі питання практичної реалізації та застосування інформаційно-вимірювальних систем діагностики обертових частин роторних енергетичних машин. Технічна електродинаміка. Тематичний випуск. Проблеми сучасної електротехніки. Ч. 4. – К., 2008. – С. 53–58.* 3. Марченко Б.Г., Мислович М.В. *Вибродіагностика подшипниковых узлов электрических машин. – К.: Наук. думка, 1992. – 195 с.* 4. *Specification of the Bluetooth System, Bluetooth SIG, Інтернет-сторінка <http://www.bluetooth.com>.* 5. Марченко Б.Г., Мислович М.В., Целина В.Н. *Ударная диагностика шихтованных магнитопроводов. Институт электродинамики. Академия наук Украины. – К., 1993.*

УДК 621.313.33-82

В.М. Гладкий, Й.Р. Селепина

Національний університет “Львівська політехніка”,
кафедра ЕМА, ТЗЕ

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ДЛЯ РОЗРАХУНКУ ПЕРЕХІДНИХ ПРОЦЕСІВ В АСИНХРОННОМУ ЕЛЕКТРОПРИВОДІ З НЕСИМЕТРИЧНИМ МОСТОВИМ ВИПРОСТУВАЧЕМ

© Гладкий В.М., Селепина Й.Р., 2009

Опрацьовано математичну модель для розрахунків електромеханічних перехідних процесів в асинхронному електроприводі, що складається з асинхронного двигуна з клітковим ротором та несиметричного мостового випростувача.

A mathematical model for calculating electromechanical transients in asynchronous drive, consisting squirrel-cage asynchronous motor and asymmetrical bridge rectifier has been developed.

Постановка проблеми та аналіз останніх досліджень. Асинхронні двигуни з клітковим ротором є одними з найпоширеніших електромеханічних перетворювачів, які мають деякі позитивні властивості, однак мають погані регульовальні властивості. Для плавного та економічного регулювання частоти обертання асинхронних двигунів запропоновано багато систем

керування, які описані, наприклад, в [1, 2], однак донині ведуться роботи зі створення нових систем керування і ця задача залишається актуальною.

В [3] запропоновано асинхронний електропривід з несиметричним мостовим випростувачем, схема якого зображена на рис. 1. Частоту обертання ротора змінюють кутом керування тиристорів (а саме, величиною постійної напруги U_2 від додаткового джерела) та зміною опору R_3 , ввімкненого між анодною та катодною групами випростувача.

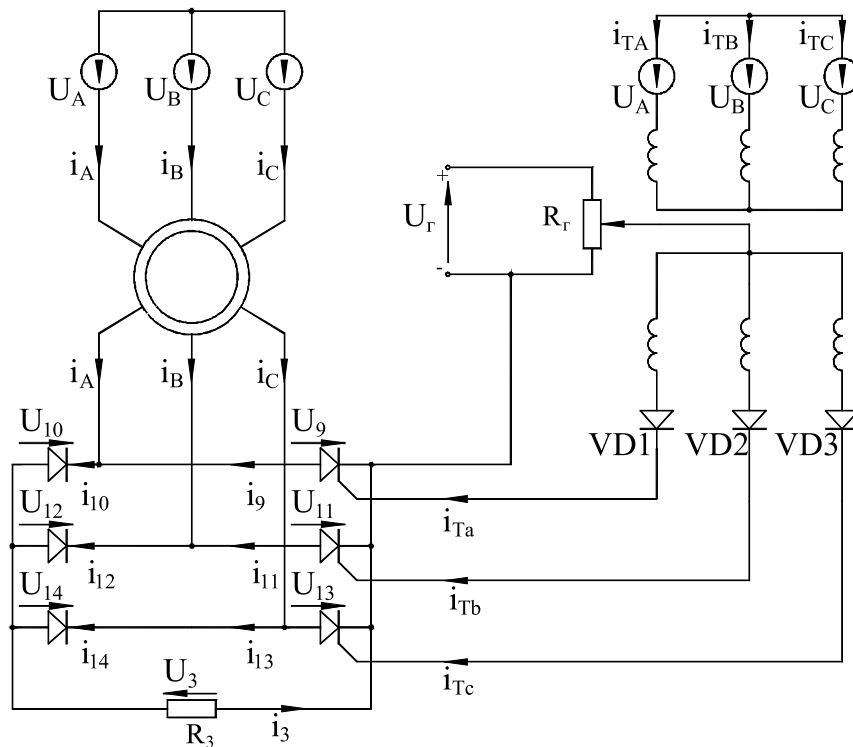


Рис. 1. Схема асинхронного електроприводу з несиметричним мостовим випростувачем

Постановка задачі. Створення математичної моделі асинхронного електроприводу з несиметричним мостовим випростувачем для розрахунків перехідних процесів у цьому приводі.

Виклад основного матеріалу. Математична модель для розрахунків перехідних процесів в асинхронному електроприводі з несиметричним мостовим випростувачем складається з моделі власне самого двигуна з випростувачем та моделі системи керування.

Математична модель асинхронного двигуна з випростувачем.

Математична модель асинхронного двигуна з клітковим ротором ґрунтується на таких припущеннях:

- гістерезис і вихрові струми не враховуються;
- скіс пазів не враховується;
- обмотки статора і ротора є симетричними і розподілені вздовж розточки статора і ротора за гармонічним законом;
- магнітне поле складається з трьох частин – робочого поля, поля розсіяння статора та поля розсіяння ротора;
- потокозчеплення фаз статора і ротора є лінійними однорідними функціями струмів фаз статора та ротора відповідно.
- ротор машини є зведеним до статора за кількістю витків.

Напівпровідникові елементи випростувача еквівалентуємо активним опором, який є нескінченно великим, якщо вентиль перебуває у непровідному стані, і дорівнює відношенню напруги до струму провідної частини вольт-амперної характеристики вентиля у провідному стані.

Активні опори вентилів змінюються стрибкоподібно в моменти відкривання та закривання вентилів.

Вольт-амперну характеристику вентиля у провідному стані вважатимемо лінійною.

Електромеханічні перехідні процеси в асинхронному електроприводі за зазначених допущень описуються системою рівнянь, яка складається з рівнянь магнітно-механічної характеристики двигуна [4]

$$\vec{\Psi}_s = (L_{\sigma s} + L_{\delta ss})\vec{i}_s + L_{\delta sr}(\gamma)\vec{i}_r; \quad (1)$$

$$\vec{\Psi}_r = L_{\delta rs}(\gamma)\vec{i}_s + (L_{\sigma r} + L_{\delta rr})\vec{i}_r;$$

$$M = \vec{i}_r^T L_{\delta rs}'(\gamma)\vec{i}_s, \quad (2)$$

рівнянь електричного стану, записаних за I-м та II-м законами Кірхгофа

$$K_{is}\vec{i}_s + K_{im}\vec{i}_m + K_{i3}i_3 = 0; \quad (3)$$

$$K_{ir}\vec{i}_r = 0; \quad (4)$$

$$K_{us}\vec{u}_s(t) - K_{us}\frac{d\vec{\Psi}_s}{dt} - K_{us}R_s\vec{i}_s + K_{um}\vec{u}_m + K_{u3}R_3i_3 = 0; \quad (5)$$

$$K_{ur}\frac{d\vec{\Psi}_r}{dt} + K_{ur}R_r\vec{i}_r = 0; \quad (6)$$

вольт-амперних характеристик вентилів випростувача

$$\vec{u}_m = R_m\vec{i}_m \quad (7)$$

та рівнянь механічного стану

$$-J\frac{d\omega}{dt} + M + M_{\text{вал}}(t) = 0; \quad (8)$$

$$\omega = \frac{d\gamma}{dt},$$

де $\vec{i}_s = \begin{bmatrix} i_A \\ i_B \\ i_C \end{bmatrix}$; $\vec{i}_r = \begin{bmatrix} i_a \\ i_b \\ i_c \end{bmatrix}$; $\vec{\Psi}_s = \begin{bmatrix} \Psi_A \\ \Psi_B \\ \Psi_C \end{bmatrix}$; $\vec{\Psi}_r = \begin{bmatrix} \Psi_a \\ \Psi_b \\ \Psi_c \end{bmatrix}$; $\vec{u}_s(t) = \begin{bmatrix} u_A(t) \\ u_B(t) \\ u_C(t) \end{bmatrix}$ – вектори струмів і потоко-

зчеплень фаз статора й ротора відповідно та вектор напруг фаз статора як відомих функцій часу;

$\vec{u}_m = [u_9 \ u_{10} \ u_{11} \ u_{12} \ u_{13} \ u_{14}]^T$, $\vec{i}_m = [i_9 \ i_{10} \ i_{11} \ i_{12} \ i_{13} \ i_{14}]^T$ – вектор напруг та струмів

вентилів випростувача; $R_m = \text{diag}(R_9, R_{10}, R_{11}, R_{12}, R_{13}, R_{14})$ – діагональна матриця опорів вентилів

випростувача; R_s , R_r – опори фази статора та ротора відповідно; R_3 , i_3 – опір гілки між групою

діодів і групою тиристорів та струм цієї ж гілки відповідно; $M_{\text{вал}}(t)$, M – момент на валу як

відома функція часу та електромагнітний момент двигуна відповідно; γ , ω – кут повороту та

кутова швидкість ротора відповідно; J – момент інерції ротора; $L_{\sigma s} = \begin{bmatrix} L_{\sigma sL} & L_{\sigma sM} & L_{\sigma sM} \\ L_{\sigma sM} & L_{\sigma sL} & L_{\sigma sM} \\ L_{\sigma sM} & L_{\sigma sM} & L_{\sigma sL} \end{bmatrix}$;

$L_{\sigma r} = \begin{bmatrix} L_{\sigma rL} & L_{\sigma rM} & L_{\sigma rM} \\ L_{\sigma rM} & L_{\sigma rL} & L_{\sigma rM} \\ L_{\sigma rM} & L_{\sigma rM} & L_{\sigma rL} \end{bmatrix}$ – матриця власних та взаємних індуктивностей розсіяння фаз статора

і фаз ротора відповідно;

$$L_{\delta ss} = \begin{bmatrix} L_{\delta} & -\frac{1}{2}L_{\delta} & -\frac{1}{2}L_{\delta} \\ -\frac{1}{2}L_{\delta} & L_{\delta} & -\frac{1}{2}L_{\delta} \\ -\frac{1}{2}L_{\delta} & -\frac{1}{2}L_{\delta} & L_{\delta} \end{bmatrix}; \quad L_{\delta rr} = \begin{bmatrix} L_{\delta} & -\frac{1}{2}L_{\delta} & -\frac{1}{2}L_{\delta} \\ -\frac{1}{2}L_{\delta} & L_{\delta} & -\frac{1}{2}L_{\delta} \\ -\frac{1}{2}L_{\delta} & -\frac{1}{2}L_{\delta} & L_{\delta} \end{bmatrix}$$

– матриця власних та взаємних робочих індуктивностей фаз статора та фаз ротора відповідно;

$$L_{\delta sr}(\gamma) = \begin{bmatrix} L_{\delta} \cos(p\gamma) & L_{\delta} \cos(p\gamma + 2\pi/3) & L_{\delta} \cos(p\gamma - 2\pi/3) \\ L_{\delta} \cos(p\gamma - 2\pi/3) & L_{\delta} \cos(p\gamma) & L_{\delta} \cos(p\gamma + 2\pi/3) \\ L_{\delta} \cos(p\gamma + 2\pi/3) & L_{\delta} \cos(p\gamma - 2\pi/3) & L_{\delta} \cos(p\gamma) \end{bmatrix}$$

– матриця взаємних робочих індуктивностей фаз статора і ротора;

$$L_{\delta rs}(\gamma) = \begin{bmatrix} L_{\delta} \cos(p\gamma) & L_{\delta} \cos(p\gamma - 2\pi/3) & L_{\delta} \cos(p\gamma + 2\pi/3) \\ L_{\delta} \cos(p\gamma + 2\pi/3) & L_{\delta} \cos(p\gamma) & L_{\delta} \cos(p\gamma - 2\pi/3) \\ L_{\delta} \cos(p\gamma - 2\pi/3) & L_{\delta} \cos(p\gamma + 2\pi/3) & L_{\delta} \cos(p\gamma) \end{bmatrix}$$

– матриця взаємних робочих індуктивностей фаз ротора і статора; L_{δ} – амплітуда робочої взаємної індуктивності фаз статора і ротора; p – кількість пар полюсів асинхронного двигуна;

$$L'_{\delta rs}(\gamma) = \frac{dL_{\delta rs}(\gamma)}{d\gamma} = -p \begin{bmatrix} L_{\delta} \sin(p\gamma) & L_{\delta} \sin(p\gamma - 2\pi/3) & L_{\delta} \sin(p\gamma + 2\pi/3) \\ L_{\delta} \sin(p\gamma + 2\pi/3) & L_{\delta} \sin(p\gamma) & L_{\delta} \sin(p\gamma - 2\pi/3) \\ L_{\delta} \sin(p\gamma - 2\pi/3) & L_{\delta} \sin(p\gamma + 2\pi/3) & L_{\delta} \sin(p\gamma) \end{bmatrix}$$

– похідна матриці взаємних робочих індуктивностей фаз ротора і статора;

$$K_{is} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ -1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}; \quad K_{ir} = [1 \quad 1 \quad 1]; \quad K_{i3} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix}; \quad K_{us} = \begin{bmatrix} 1 & -1 & 0 \\ 0 & 1 & -1 \\ -1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix};$$

$$K_{ur} = \begin{bmatrix} 1 & -1 & 0 \\ 0 & 1 & -1 \end{bmatrix}; \quad K_{um} = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & -1 \\ 0 & -1 & 0 & 0 & -1 & 0 \\ 1 & 1 & -1 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & -1 & -1 \end{bmatrix}; \quad K_{u3} = \begin{bmatrix} -1 \\ -1 \\ -1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix};$$

$$K_{im} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & -1 \\ -1 & 0 & -1 & 0 & -1 & 0 \end{bmatrix}$$

– матриці-коефіцієнти рівнянь (1), (3)–(6).

Тут і надалі індекс „Т” означає транспонування.

Система рівнянь (1) – (8) складається з 10 рівнянь і містить стільки ж невідомих. Разом з початковою умовою

$$t = t_0; \quad \vec{i}_s = \vec{i}_{s0}; \quad \vec{i}_r = \vec{i}_{r0}; \quad \gamma = \gamma_0; \quad \omega = \omega_0$$

вона відображає задачу Коші, яка описує електромеханічні перехідні процеси в асинхронному електроприводі з несиметричним мостовим випростувачем.

Для інтегрування цієї системи рівнянь застосуємо метод ФДН [5].

Після алгебризації похідних у рівняннях (5), (6)–(8) за формулою диференціювання назад g -го порядку отримуємо алгебричні рівняння

$$K_{us}\bar{u}_s(t) - K_{us}(b\bar{\psi}_s + \sum_{j=1}^g b_j\bar{\psi}_{sj}) - K_{us}R_s\bar{i}_s + K_{um}\bar{u}_m + K_{u3}R_3i_3 = 0; \quad (9)$$

$$K_{ur}(b\bar{\psi}_r + \sum_{j=1}^g b_j\bar{\psi}_{rj}) + K_{ur}R_r\bar{i}_r = 0; \quad (10)$$

$$-J(b\omega + \sum_{j=1}^g b_j\omega_j) + M + M_{eal}(t) = 0; \quad \omega = b\gamma + \sum_{j=1}^g b_j\gamma_j, \quad (11)$$

де $\bar{i}_s, \bar{i}_r, i_3, \bar{\psi}_s, \bar{\psi}_r, \bar{u}_m, M, \gamma, \omega$ – невідомі значення змінних у момент часу t ; $\bar{u}_s(t)$ – відомі значення напруг фаз статора у момент часу t ; $\bar{\psi}_{sj}, \bar{\psi}_{rj}, \gamma_j, \omega_j$ ($j = 1, \dots, g$) – відомі у результаті виконання попередніх g кроків інтегрування значення змінних; b, b_j ($j = 1, \dots, g$) – коефіцієнти, що визначаються сукупністю значень t, t_j ($j = 1, \dots, g$).

Система алгебричних рівнянь (1)–(4), (9), (10), (7), (11) складається з 10 рівнянь і містить невідомі значення змінних $\bar{i}_s, \bar{i}_r, \bar{i}_m, i_3, \bar{\psi}_s, \bar{\psi}_r, \bar{u}_m, M, \gamma, \omega$ у моменті t . До її розв’язання застосуємо метод Ньютона.

Лінеаризована система рівнянь на i -й ітерації методу Ньютона має вигляд

$$\Delta\bar{\psi}_s^{(i)} = (L_{\sigma s} + L_{\delta ss})\Delta\bar{i}_s^{(i)} + L_{\delta sr}(\gamma^{(i-1)})\Delta\bar{i}_r^{(i)} + L_{\delta sr}^{\gamma}(\gamma^{(i-1)})\bar{i}_r^{(i-1)}\Delta\gamma^{(i)}; \quad (12)$$

$$\Delta\bar{\psi}_r^{(i)} = L_{\delta rs}(\gamma^{(i-1)})\Delta\bar{i}_s^{(i)} + L_{\delta rs}^{\gamma}(\gamma^{(i-1)})\bar{i}_s^{(i-1)}\Delta\gamma^{(i)} + (L_{\sigma r} + L_{\delta rr})\Delta\bar{i}_r^{(i)}; \quad (13)$$

$$\Delta M^{(i)} = \bar{i}_{rT}^{(i-1)}L_{\delta rs}^{\gamma}(\gamma^{(i-1)})\Delta\bar{i}_s^{(i)} + \bar{i}_{rT}^{(i-1)}L_{\delta rs}^{\gamma\gamma}(\gamma^{(i-1)})\bar{i}_s^{(i-1)}\Delta\gamma^{(i)} + \bar{i}_{sT}^{(i-1)}L_{\delta rsT}^{\gamma}(\gamma^{(i-1)})\Delta\bar{i}_r^{(i)}; \quad (14)$$

$$K_{is}\Delta\bar{i}_s^{(i)} + K_{im}\Delta\bar{i}_m^{(i)} + K_{i3}\Delta i_3^{(i)} = -\bar{f}_{is}^{(i-1)}; \quad (15)$$

$$K_{ir}\Delta\bar{i}_r^{(i)} = -\bar{f}_{ir}^{(i-1)}; \quad (16)$$

$$-K_{us}b\Delta\bar{\psi}_s^{(i)} - K_{us}R_s\Delta\bar{i}_s^{(i)} + K_{um}\Delta\bar{u}_m^{(i)} + K_{u3}R_3\Delta i_3^{(i)} = -\bar{f}_{us}^{(i-1)}; \quad (17)$$

$$K_{ur}b\Delta\bar{\psi}_r^{(i)} + K_{ur}R_r\Delta\bar{i}_r^{(i)} = -\bar{f}_{ur}^{(i-1)}; \quad (18)$$

$$\Delta\bar{u}_m^{(i)} = R_m\Delta\bar{i}_m^{(i)}; \quad (19)$$

$$-Jb\Delta\omega^{(i)} + \Delta M^{(i)} = -\bar{f}_M^{(i-1)}; \quad \Delta\omega = b\Delta\gamma^{(i)}, \quad (20)$$

де $\Delta\bar{i}_s^{(i)}, \Delta\bar{i}_r^{(i)}, \Delta\bar{i}_m^{(i)}, \Delta i_3^{(i)}, \Delta\gamma^{(i)}, \Delta\omega^{(i)}, \Delta\bar{u}_m^{(i)}, \Delta\bar{\psi}_s^{(i)}, \Delta\bar{\psi}_r^{(i)}, \Delta M^{(i)}$ – поправки невідомих на i -й ітерації; $\bar{f}_{is}^{(i-1)}, \bar{f}_{ir}^{(i-1)}, \bar{f}_{us}^{(i-1)}, \bar{f}_{ur}^{(i-1)}, \bar{f}_M^{(i-1)}$ – значення нев’язок

$$\bar{f}_{is} = K_{is}\bar{i}_s + K_{im}\bar{i}_m + K_{i3}i_3; \quad (21)$$

$$\bar{f}_{ir} = K_{ir}\bar{i}_r; \quad (22)$$

$$\bar{f}_{us} = K_{us}\bar{u}_s(t) - K_{us}(b\bar{\psi}_s + \sum_{j=1}^g b_j\bar{\psi}_{sj}) - K_{us}R_s\bar{i}_s + K_{um}\bar{u}_m + K_{u3}R_3i_3; \quad (23)$$

$$\bar{f}_{ur} = K_{ur}(b\bar{\psi}_r + \sum_{j=1}^g b_j\bar{\psi}_{rj}) + K_{ur}R_r\bar{i}_r; \quad (24)$$

$$f_M = -J(b\omega + \sum_{j=1}^g b_j \omega_j) + M + M_{\text{вал}}(t), \quad (25)$$

обчислені за $(i-1)$ -м наближенням $\vec{i}_s^{(i-1)}$, $\vec{i}_r^{(i-1)}$, $\vec{i}_m^{(i-1)}$, $i_3^{(i-1)}$, $\gamma^{(i-1)}$, $\omega^{(i-1)}$, $\vec{u}_m^{(i-1)}$, $\vec{\psi}_s^{(i-1)}$, $\vec{\psi}_r^{(i-1)}$, $M^{(i-1)}$ невідомих.

Лінійна система рівнянь (12)–(20) зводиться до вигляду

$$A^{(i-1)} \Delta \vec{X}^{(i)} = -\vec{f}^{(i-1)}, \quad (26)$$

де $\vec{f}^{(i-1)}$, $A^{(i-1)}$ – значення вектора нев'язок $\vec{f} = [\vec{f}_{is} \quad \vec{f}_{ir} \quad \vec{f}_{us} \quad \vec{f}_{ur} \quad f_M]^T$ та матриці

$$A = \begin{bmatrix} K_{is} & 0_{5,3} & K_{im} & K_{i3} & 0_{5,1} \\ 0_{1,5} & K_{ir} & 0_{1,6} & 0_{1,1} & 0_{1,1} \\ -K_{us}(b(L_{\sigma s} + L_{\delta ss}) + R_s 1_3) & -K_{us} b L_{\delta sr}(\gamma) & K_{um} R_m & K_{u3} R_3 & -K_{us} b L_{\delta sr}'(\gamma) \vec{i}_r \\ K_{ur} b L_{\delta rs}(\gamma) & K_{ur}(b(L_{\sigma r} + L_{\delta rr}) + R_r 1_3) & 0_{2,6} & 0_{2,1} & K_{ur} b L_{\delta rs}'(\gamma) \vec{i}_s \\ \vec{i}_{rT} L_{\delta rs}'(\gamma) & \vec{i}_{sT} L_{\delta sr}'(\gamma) & 0_{1,6} & 0_{1,1} & \vec{i}_{rT} L_{\delta rs}'(\gamma) - b^2 J \end{bmatrix},$$

обчислені за $(i-1)$ -м наближенням невідомих; $\Delta \vec{X} = [\Delta \vec{i}_s \quad \Delta \vec{i}_r \quad \Delta \vec{i}_m \quad \Delta i_3 \quad \Delta \gamma]^T$ – вектор поправок первинних невідомих на i -й ітерації.

У матриці A коефіцієнтів системи рівнянь (26) $0_{5,3}$, $0_{5,1}$, $0_{1,5}$, $0_{1,6}$, $0_{1,1}$ – нульові матриці розміру 5×3 , 5×1 , 1×5 , 1×6 , 1×1 відповідно, 1_3 – одинична матриця розміру 3.

Математична модель системи керування

Момент відкривання тиристорів визначається на основі розв'язування рівнянь логіки [1].

Якщо анодна напруга на тиристорі, струм керування стають додатними, а тиристор до цього моменту був закритим, то він відкривається.

Закривання тиристора відбувається у момент переходу його струму через нуль з додатного значення у від'ємне. Відповідно треба визначити моменти переходу струму тиристора через нуль.

Алгоритм розрахунку перехідних процесів в асинхронному електроприводі.

На кожному кроці інтегрування нелінійної системи алгебричних і диференціальних рівнянь (1)–(8) необхідно виконати ітераційну процедуру розв'язування нелінійної системи алгебричних рівнянь (1)–(4), (9), (10), (7), (11), під час якої слід:

- за $(i-1)$ -м наближенням невідомих обчислити значення $A^{(i-1)}$ матриці A і $\vec{f}^{(i-1)}$ вектора \vec{f} нев'язок;
- розв'язати чисельним методом лінійну систему (26) алгебричних рівнянь;
- обчислити i -те наближення первинних невідомих за формулою

$$\vec{X}^{(i)} = \vec{X}^{(i-1)} + \Delta \vec{X}^{(i)};$$

- обчислити i -те наближення вторинних невідомих за формулами (1), (2), (7), (11).

Після виконання кожного кроку інтегрування, якщо струм одного з вентилів змінив свій знак на протилежний, слід відшукати момент переходу струму через нуль, змінити величину активного опору вентиля і продовжити інтегрування системи від моменту переходу струму через нуль.

Зміна опору тиристора відбувається у момент переходу струму через нуль, але за умови виконання умов рівнянь логіки.

На рис. 2 зображено перебіги струмів фаз статора (рис. 2, а) та кутової швидкості й електромагнітного моменту (рис. 2, б) двигуна АО12-2 з несиметричним мостовим випростувачем при вмиканні двигуна та подальшому накиданні навантаження.

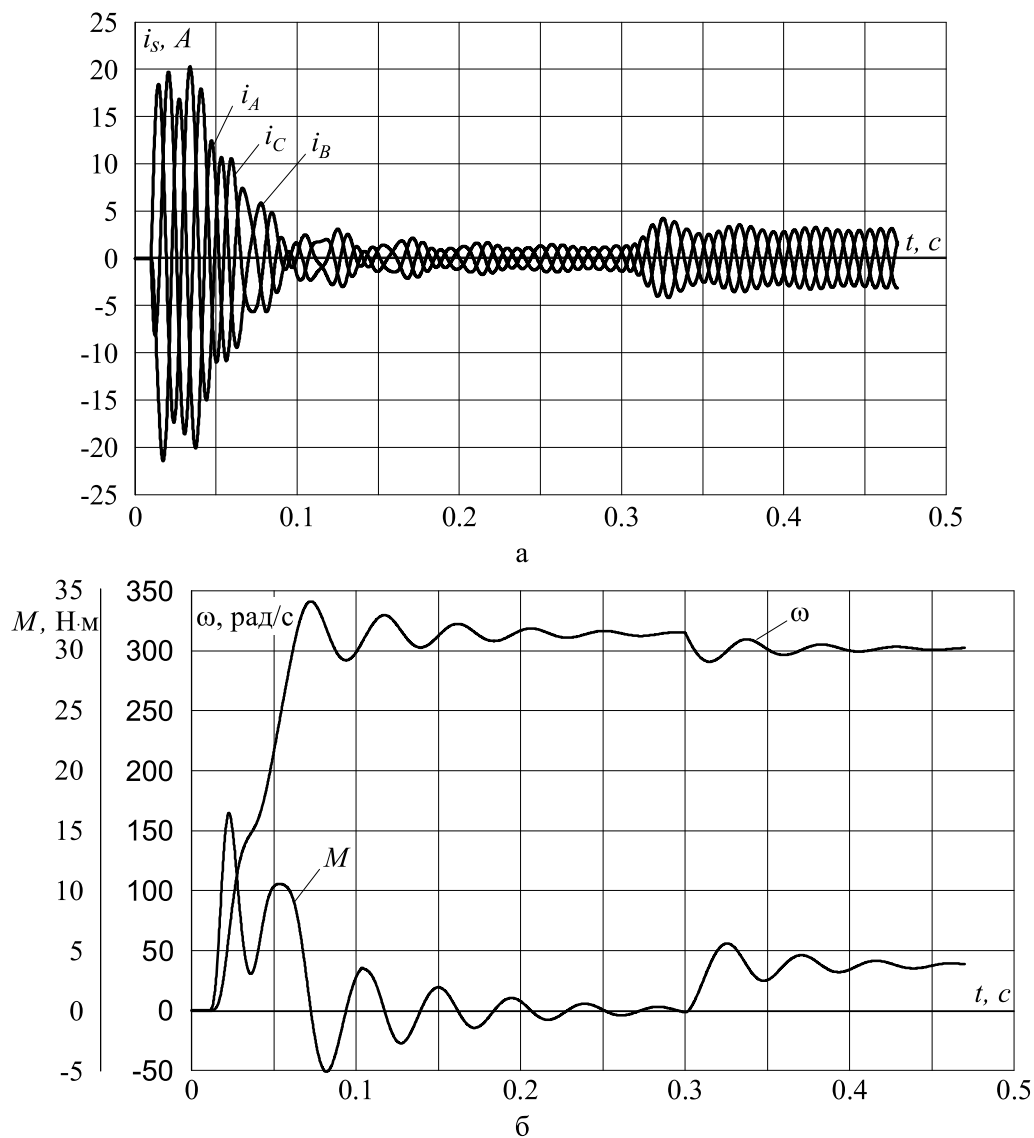


Рис. 2. Перехідний процес в асинхронному електроприводі з несиметричним випростувачем під час розгону двигуна та подальшого накидання навантаження

Висновки. За описаним алгоритмом складено комп'ютерну програму, яка дозволяє здійснювати розрахунки не лише електромеханічних перехідних процесів в асинхронному електроприводі з несиметричним мостовим випростувачем, але й усталені режими і на їх підставі побудову статичних характеристик.

1. Плахтина О.Г., Мазепа С.С., Куцик А.С. Частотно-керовані асинхронні та синхронні електроприводи. – Львів: Вид-во Нац. ун-ту “Львівська політехніка”, 2002. – 228 с.
2. Плахтына Е.Г. Математическое моделирование электромашино-вентильных систем. – Львов: Вища шк., 1986. – 164 с.
3. Селепина Й.Р. Характеристики асинхронного электропривода з не лінійностями в колі статора // Вісн. Нац. ун-ту “Львівська політехніка”. – 2007. – № 587: Електроенергетичні та електромеханічні системи. – С. 89–93.
4. Фильц Р.В. Магнитно-механические параметры электромеханических преобразователей энергии // Изв. Вузов. Электромеханика. – 1988. – С. 18–22.
5. Чуа Л.О., Пен-Мин Лин. Машинный анализ электронных схем. – М.: Энергия, 1980. – 638 с.