



УКРАЇНА

(19) UA (11) 57650 (13) U
(51) МПК (2011.01)
G01R 27/08МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІОПИС
ДО ПАТЕНТУ
НА КОРИСНУ МОДЕЛЬвидається під
відповідальність
власника
патенту

(54) СПОСІБ ІДЕНТИФІКАЦІЇ ПАРАМЕТРІВ ДВИГУНІВ ЗМІННОГО СТРУМУ

1

2

(21) u201009110

(22) 20.07.2010

(24) 10.03.2011

(46) 10.03.2011, Бюл.№ 5, 2011 р.

(72) РОДЬКІН ДМИТРО ЙОСИПОВИЧ, РОМАШИ-
ХІН ЮРІЙ ВОЛОДИМИРОВИЧ(73) КРЕМЕНЧУЦЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИ-
ТЕТ ІМЕНІ МИХАЙЛА ОСТРОГРАДСЬКОГО

(57) Спосіб ідентифікації параметрів двигунів змін-
ного струму, що полягає у підключенні дослідного
двигуна до джерела полігармонійної напруги з
заданим рівнем гармонік через датчики напруги та
струму, подачі напруги до двигуна, цифровому
записі напруг та струмів фаз, математичній оброб-
ці отриманих результатів шляхом розкладу кривих
напруги та струму в ряд Фур'є, визначенні гармо-
нічних складових миттєвої потужності фаз, скла-
данні системи ідентифікаційних рівнянь на основі
рівнянь балансу гармонік потужності елементів
схеми заміщення двигуна, визначенні параметрів
електричної машини шляхом вирішення системи
ідентифікаційних рівнянь, який відрізняється тим,
що вимірюють період змінної напруги T , виконують

цифровий запис напруги та струму протягом двох
періодів змінної напруги, задають два періоди роз-
кладу кривих напруги та струму в ряд Фур'є
 $T'=(0,9 \div 0,95)T$ та $T''=(1,05 \div 1,1)T$, виконують розк-
лад напруг та струмів у ряд Фур'є із періодами
розкладу T' та T'' , визначають гармонійні складові
миттєвої потужності з періодами розкладу T' та T'' ,
складають системи ідентифікаційних рівнянь для
визначення параметрів схеми заміщення двигуна,
визначають параметри двигуна для напруги з пе-
ріодом T' індуктивності розсіювання статора L_1' ,
індуктивності кола намагнічування L_μ' , індуктивно-
сті розсіювання ротора L_2' , активного опору рото-
ра R_2' , а також з періодом T'' - L_1'' , L_μ'' , L_2'' , R_2'' ,
визначають розрахункові значення параметрів
двигуна

$$L_{1p} = \frac{L_1' + L_1''}{2}; L_{\mu p} = \frac{L_\mu' + L_\mu''}{2}; L_{2p} = \frac{L_2' + L_2''}{2}; R_{2p} = \frac{R_2' + R_2''}{2}.$$

Корисна модель відноситься до галузі елект-
ротехніки, зокрема до методів визначення елект-
ромагнітних параметрів машин змінного струму.
Корисна модель може бути використана при після
ремонтних випробуваннях машин змінного струму
в практиці електроремонтних підприємств, при
приймально-здавальних випробуваннях в умовах
заводів-виготовлювачів та для експлуатаційного
моніторингу в умовах промислових підприємств.

Відомий спосіб визначення активних та індук-
тивних опорів ротору [Способ определения актив-
ных и индуктивных сопротивлений рассеяния об-
мотки статора асинхронного двигателя: А.С. СССР
1372259: G01R 31/34 / Г.Г.Рогозин, Ю.И.Печуркин,
В.И.Алексеев], за яким нерухомий асинхронний
двигун (АД) підключають до однофазного джерела
промислової частоти, вимірюють значення напру-
ги, струму статора та кута між ними, відключають
джерело у момент переходу струму через нуль,
вимірюють миттєві значення напруги, що загасає.
За отриманими даними розраховують активні та

індуктивні опори ротора. Недоліками наведеного
способу визначення параметрів є:

- низька точність результатів, що обумовлю-
ється неврахуванням опорів, еквівалентних втра-
там в сталі ротора та статора, ефекту витіснення
струму в роторі;

- необхідність у розбиранні АД для визначення
індуктивного опору розсіювання статора;

- розділення операцій по визначенню параме-
трів двигуна (статора за однією схемою, а ротора -
за іншою) робить зазначений спосіб малопримат-
ним для практичного визначення параметрів АД.

Найбільш близьким технічним рішенням до
корисної моделі, обраним в якості прототипу до
способу, що заявляється, є спосіб [Спосіб діагно-
стики параметрів синхронного двигуна та пристрій
для його здійснення: А.С. №65733 А: G01R31/34
/Д.Й.Родькін, А.П.Калінов, О.П.Чорний,
В.Ф.Живора, А.М.Аміров; 2003042860; опублікова-
но 15.04.2004, бюл. № 4/2004] визначення пара-
метрів двигуна відповідно до Т-подібних схем за-

(13) U

(11) 57650

(19) UA

міщення двигуна, до яких додаються активні опори контуру взаємодукції, що є еквівалентом втрат у сталі, які залежать від частоти гармоніки в ступені α . Спосіб полягає у підключенні фаз статорних обмоток двигуна до джерела полігармонійної випробувальної напруги, вимірюванні миттєвих значень фазних струмів і напруг, визначенні їх гармонійного складу, складанні системи рівнянь, порядок якої визначається кількістю невідомих, розрахунку системи рівнянь, визначенні параметрів двигуна.

Недоліками наведеного способу визначення параметрів двигунів є:

- самостійне вирішення систем рівнянь дає результат, точність якого дуже залежить від кута керування тиристорами і, як наслідок, від співвідношення рівнів гармонік у кривих напруги та струму;

- невідповідність рівнянь, які складаються на основі принципу суперпозиції струмів полігармонійного сигналу, закону збереження енергії, що викликає нестійкість отримуваних рішень.

В основу корисної моделі поставлено задачу підвищити точність та достовірність визначення параметрів машин змінного струму шляхом використання рівнянь балансу складових гармонік миттєвої потужності для різних періодів розкладу кривих напруги та струму в ряд Фур'є при живленні від джерела полігармонійної напруги, що забезпечує підвищення надійності використання електричних машин.

Згаданий технічний результат при реалізації корисної моделі досягається тим, що дослідний двигун підключають до джерела полігармонійної напруги із заданим рівнем гармонік через датчики напруги та струму, записують сигнали напруг та струмів фаз, представляють виміряні сигнали у вигляді рядів Фур'є, визначають гармонійні складові миттєвої потужності фаз, складають систему ідентифікаційних рівнянь на основі рівнянь балансу гармонік потужності елементів схеми заміщення двигуна, визначають параметри машин змінного струму шляхом вирішення системи ідентифікаційних рівнянь.

Згідно з корисною моделлю двигун підключають через датчики напруги та струму до мережі з полігармонійною напругою, вимірюють період змінної напруги T , виконують цифровий запис напруги та струму протягом двох періодів змінної напруги, задають два періоди розкладу кривих

напруги та струму у ряд Фур'є $T'=(0,9 \div 0,95)T$ та $T''=(1,05 \div 1,1)T$, виконують розклад напруг та струмів в ряд Фур'є з періодами розкладу T' та T'' , визначають гармонійні складові миттєвої потужності з періодами розкладу T' та T'' , складають системи ідентифікаційних рівнянь для визначення параметрів схеми заміщення двигуна, визначають параметри двигуна для напруги з періодом T' індуктивності розсіювання статора L'_1 , індуктивності кола намагнічування L'_μ , індуктивності розсіювання ротора L'_2 , активного опору ротору R'_2 , а також з періодом T'' L''_1 , L''_μ , L''_2 , R''_2 , визначають розрахункові значення параметрів двигуна

$$L_{1p} = \frac{L'_1 + L''_1}{2}; L_{\mu p} = \frac{L'_\mu + L''_\mu}{2}; L_{2p} = \frac{L'_2 + L''_2}{2}; R_{2p} = \frac{R'_2 + R''_2}{2};$$

Запропонований спосіб пояснюється наступними кресленнями, де на Фіг.1. наведені миттєві значення напруги та струму, на якій прийнятті позначення: $u(t)$ - миттєві значення напруги фази; $i(t)$ - миттєві значення струму фази; на Фіг.2 наведена Т-подібна схема заміщення двигуна, на якій прийнятті позначення, на якій прийнятті позначення:

\dot{U}_1 - напруга живлення асинхронного двигуна; \dot{I}_1 - струм кола статора; R_1 - активний опір кола статора; L_1 - індуктивність кола статора; v - відносна частота; $\dot{I}_{\mu v}$ - струм кола намагнічування; R_μ - активний опір кола намагнічування; L_μ - індуктивність кола намагнічування; \dot{I}_2 - струм кола ротора; R_2 - приведений активний опір кола ротора; L_2 - приведена індуктивність кола ротора.

Спосіб здійснюється наступним чином: машину змінного струму підключають до джерела полігармонійної напруги. Фізично в якості джерела полігармонійної напруги можуть бути використаний тиристорний регулятор напруги.

У режимі короткого замикання, при нерухомому роторі, по черзі на кожен фазу підключається полігармонійна напруга, вимірюються значення напруги $u(t)$ та струму $i(t)$ статора машин змінного струму протягом 2 періодів змінної напруги T , визначаються за допомогою перетворення Фур'є синусні й косинусні складові напруг і струмів з періодами розкладу T' та T'' , причому $T'=(0,9 \div 0,95)T$ та $T''=(1,05 \div 1,1)T$ (Фіг.1):

$$\begin{aligned} U'_0 &= \frac{1}{T'} \int_0^{T'} u(t) dt; & U''_0 &= \frac{1}{T''} \int_0^{T''} u(t) dt; \\ U'_{na} &= \frac{1}{T'} \int_0^{T'} u(t) \cos(2\pi n \Omega' t) dt; & U''_{na} &= \frac{1}{T''} \int_0^{T''} u(t) \cos(2\pi n \Omega'' t) dt; \\ U'_{nb} &= \frac{1}{T'} \int_0^{T'} u(t) \sin(2\pi n \Omega' t) dt; & U''_{nb} &= \frac{1}{T''} \int_0^{T''} u(t) \sin(2\pi n \Omega'' t) dt; \\ I'_0 &= \frac{1}{T'} \int_0^{T'} i(t) dt; & I''_0 &= \frac{1}{T''} \int_0^{T''} i(t) dt; \end{aligned}$$

$$I'_{ma} = \frac{1}{T'} \int_0^{T'} i(t) \cos(2\pi m \Omega' t) dt; \quad I''_{na} = \frac{1}{T''} \int_0^{T''} i(t) \cos(2\pi m \Omega'' t) dt;$$

$$I'_{mb} = \frac{1}{T'} \int_0^{T'} i(t) \sin(2\pi m \Omega' t) dt; \quad I''_{nb} = \frac{1}{T''} \int_0^{T''} i(t) \sin(2\pi m \Omega'' t) dt;$$

де $U_{na}=U_n \cos(\varphi_n)$, $I_{ma}=I_m \cos(\varphi_m)$ - косинусні гармонійні складові напруги та струму; $U_{nb}=U_n \sin(\varphi_n)$, $I_{mb}=I_m \sin(\varphi_m)$ - синусні гармонійні складові напруги та струму; U_n - амплітудні значення складових гармонік напруги; n - номер гармоніки напруги; N - число гармонік напруги; Ω - кругова частота мережі; φ_n - кут зсуву фаз між напругою та віссю, яка приймається за нульове положення векторів (при цьому приймається, що вектор першої гармоніки напруги співпадає з віссю, тобто $\varphi_1=0$); I_m - амплітудні значення складових гармонік струму; m - номер гармоніки струму; M - число гармонік струму; φ_m - кут зсуву фаз між напругою та струмом.

З урахуванням перетворення Фур'є сигнали напруг та струмів записують у вигляді тригонометричних рядів для періодів розкладу T' та T'' :

Визначають гармонійні складові миттєвої потужності з періодами розкладу T' та T'' . У відповідності зі схемою заміщення (Фіг.2) складаються рівняння енергетичного балансу для складових гармонік миттєвої потужності. Для трьох гармонік напруги і струму можна скласти одинадцять ідентифікаційних рівнянь. Невідомими параметрами машин змінного струму є електромагнітні параметри (активні та індуктивні опори) та струми кіл схеми заміщення (струми ланцюга намагнічування та роторного ланцюга).

$$u'(t) = \sum_{n=0}^N U'_{na} \cos(n\Omega t) + \sum_{n=0}^N U'_{nb} \sin(n\Omega t) \quad (1)$$

$$i'(t) = \sum_{m=0}^M I'_{ma} \cos(m\Omega t) + \sum_{m=0}^M I'_{mb} \sin(m\Omega t) \quad (2)$$

$$u''(t) = \sum_{n=0}^N U''_{na} \cos(n\Omega t) + \sum_{n=0}^N U''_{nb} \sin(n\Omega t) \quad (3)$$

$$i''(t) = \sum_{m=0}^M I''_{ma} \cos(m\Omega t) + \sum_{m=0}^M I''_{mb} \sin(m\Omega t) \quad (4)$$

Рівняння енергетичного балансу складаються у відповідності з тим, що складові гармонік миттєвої потужності джерела полігармонійної напруги дорівнюють сумі складових гармонік миттєвих потужностей на кожному елементі схеми заміщення машин змінного струму.

Складається система рівнянь енергетичного балансу складових гармонік миттєвої потужності відповідно до схеми заміщення (Фіг.2):

$$\begin{cases} P_{0d} = P_{0R_1} + P_{0R_\mu} + P_{0R_2}; \\ P_{kad} = P_{kaR_1} + P_{kaR_\mu} + P_{kaR_2} + P_{kaL_1} + P_{kaL_\mu} + P_{kaL_2}; \\ P_{kbd} = P_{kbR_1} + P_{kbR_\mu} + P_{kbR_2} + P_{kbL_1} + P_{kbL_\mu} + P_{kbL_2} \end{cases} \quad (5)$$

де P_{0d} , P_{kad} , P_{kbd} - нульова, косинусні та синусні складові гармонік джерела полігармонійної напруги; P_{0R1} , P_{0R_μ} , P_{0R2} - нульові складові миттєвої потужності відповідно на активних опорах кола статора, кола намагнічування та роторного кола; P_{kaR1} , P_{kaR_μ} , P_{kaR2} - косинусні складові миттєвої потужності на k -ій гармоніці відповідно на активних опорах кола статора, кола намагнічування та роторного кола; P_{kaL1} , P_{kaL_μ} , P_{kaL2} - косинусні складові миттєвої потужності на k -ій гармоніці відповідно на індуктивних опорах кола статора, кола на-

магнічування та роторного кола; P_{kbR1} , P_{kbR_μ} , P_{kbR2} - синусні складові миттєвої потужності на k -ій гармоніці відповідно на активних опорах кола статора, кола намагнічування та роторного кола; P_{kbL1} , P_{kbL_μ} , P_{kbL2} - синусні складові миттєвої потужності на k -ій гармоніці відповідно на індуктивних опорах кола статора, кола намагнічування та роторного кола.

При використанні трьох гармонік напруги та струму система енергетичного балансу:

$$\begin{aligned} & R_1 (I_{1a_1}^2 + I_{1b_1}^2 + I_{1a_3}^2 + I_{1b_3}^2 + I_{1a_5}^2 + I_{1b_5}^2) + R_\mu (I_{\mu a_1}^2 + I_{\mu b_1}^2 + I_{\mu a_3}^2 + I_{\mu b_3}^2 + I_{\mu a_5}^2 + I_{\mu b_5}^2) + \\ & R_2 (I_{2a_1}^2 + I_{2b_1}^2 + I_{2a_3}^2 + I_{2b_3}^2 + I_{2a_5}^2 + I_{2b_5}^2) = U_1 I_{1a_1} + U_3 I_{1a_3} + U_5 I_{1a_5}; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& \Omega \cdot [L_1(2I_{1a_1}I_{1b_1} + 2I_{1a_1}I_{1b_3} - 2I_{1b_1}I_{1a_3} + 2I_{1a_3}I_{1b_5} - 2I_{1b_3}I_{1a_5}) + \\
& + L_\mu(2I_{\mu a_1}I_{\mu b_1} + 2I_{\mu a_1}I_{\mu b_3} - 2I_{\mu b_1}I_{\mu a_3} + 2I_{\mu a_3}I_{\mu b_5} - 2I_{\mu b_3}I_{\mu a_5}) + \\
& + L_2(2I_{2a_1}I_{2b_1} + 2I_{2a_1}I_{2b_3} - 2I_{2b_1}I_{2a_3} + 2I_{2a_3}I_{2b_5} - 2I_{2b_3}I_{2a_5})] + \\
& + R_1(I_{1a_1}^2 - I_{1b_1}^2 + 2I_{1a_1}I_{1a_3} + 2I_{1b_1}I_{1b_3} + 2I_{1a_3}I_{1a_5} + 2I_{1b_3}I_{1a_5}) + \\
& + R_\mu(I_{\mu a_1}^2 - I_{\mu b_1}^2 + 2I_{\mu a_1}I_{\mu a_3} + 2I_{\mu b_1}I_{\mu b_3} + 2I_{\mu a_3}I_{\mu a_5} + 2I_{\mu b_3}I_{\mu a_5}) + \\
& + R_2(I_{2a_1}^2 - I_{2b_1}^2 + 2I_{2a_1}I_{2a_3} + 2I_{2b_1}I_{2b_3} + 2I_{2a_3}I_{2a_5} + 2I_{2b_3}I_{2a_5}) = \\
& = U_1I_{1a_1} + U_1I_{1a_3} + U_1I_{1a_5} + U_1I_{1a_1} + U_1I_{1a_5} + U_1I_{1a_3};
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& \Omega \cdot [L_1(-I_{1a_1}^2 + I_{1b_1}^2 - 2I_{1a_1}I_{1a_3} - 2I_{1b_1}I_{1b_3} - 2I_{1a_3}I_{1a_5} - 2I_{1b_3}I_{1a_5}) + \\
& + L_\mu(-I_{\mu a_1}^2 + I_{\mu b_1}^2 - 2I_{\mu a_1}I_{\mu a_3} - 2I_{\mu b_1}I_{\mu b_3} - 2I_{\mu a_3}I_{\mu a_5} - 2I_{\mu b_3}I_{\mu a_5}) + \\
& + L_2(-I_{2a_1}^2 + I_{2b_1}^2 - 2I_{2a_1}I_{2a_3} - 2I_{2b_1}I_{2b_3} - 2I_{2a_3}I_{2a_5} - 2I_{2b_3}I_{2a_5})] + \\
& + R_1(2I_{1a_1}I_{1b_1} + 2I_{1a_1}I_{1b_3} - 2I_{1b_1}I_{1a_3} + 2I_{1a_3}I_{1b_5} - 2I_{1b_3}I_{1a_5}) + \\
& + R_\mu(2I_{\mu a_1}I_{\mu b_1} + 2I_{\mu a_1}I_{\mu b_3} - 2I_{\mu b_1}I_{\mu a_3} + 2I_{\mu a_3}I_{\mu b_5} - 2I_{\mu b_3}I_{\mu a_5}) + \\
& + R_2(2I_{2a_1}I_{2b_1} + 2I_{2a_1}I_{2b_3} - 2I_{2b_1}I_{2a_3} + 2I_{2a_3}I_{2b_5} - 2I_{2b_3}I_{2a_5}) = \\
& = U_1I_{1b_1} + U_1I_{1b_3} + U_1I_{1b_1} + U_1I_{1b_5} - U_1I_{1b_3};
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& \Omega \cdot [L_1(4I_{1a_1}I_{1b_3} + 4I_{1a_1}I_{1b_5} + 4I_{1b_1}I_{1a_3} - 4I_{1b_1}I_{1a_5}) + \\
& + L_\mu(4I_{\mu a_1}I_{\mu b_3} + 4I_{\mu a_1}I_{\mu b_5} - 4I_{\mu b_1}I_{\mu a_3} - 4I_{\mu b_1}I_{\mu a_5}) + \\
& + L_2(4I_{2a_1}I_{2b_3} + 4I_{2a_1}I_{2b_5} + 4I_{2b_1}I_{2a_3} - 4I_{2b_1}I_{2a_5})] + \\
& + R_1(2I_{1a_1}I_{1a_3} + 2I_{1a_1}I_{1a_5} - 2I_{1b_1}I_{1b_3} + 2I_{1b_1}I_{1b_5}) + \\
& + R_\mu(2I_{\mu a_1}I_{\mu a_3} + 2I_{\mu a_1}I_{\mu a_5} - 2I_{\mu b_1}I_{\mu b_3} + 2I_{\mu b_1}I_{\mu b_5}) + \\
& + R_2(2I_{2a_1}I_{2a_3} + 2I_{2a_1}I_{2a_5} - 2I_{2b_1}I_{2b_3} + 2I_{2b_1}I_{2b_5}) = \\
& = U_1I_{1a_3} + U_1I_{1a_5} + U_1I_{1a_1} + U_1I_{1a_1};
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& \Omega \cdot [L_1(-4I_{1a_1}I_{1a_3} - 4I_{1a_1}I_{1a_5} + 4I_{1b_1}I_{1b_3} - 4I_{1b_1}I_{1b_5}) + \\
& + L_\mu(-4I_{\mu a_1}I_{\mu a_3} - 4I_{\mu a_1}I_{\mu a_5} + 4I_{\mu b_1}I_{\mu b_3} - 4I_{\mu b_1}I_{\mu b_5}) + \\
& + L_2(-4I_{2a_1}I_{2a_3} - 4I_{2a_1}I_{2a_5} + 4I_{2b_1}I_{2b_3} - 4I_{2b_1}I_{2b_5})] + \\
& + R_1(2I_{1a_1}I_{1b_3} + 2I_{1a_1}I_{1b_5} + 2I_{1b_1}I_{1a_3} - 2I_{1b_1}I_{1a_5}) + \\
& + R_\mu(2I_{\mu a_1}I_{\mu b_3} + 2I_{\mu a_1}I_{\mu b_5} + 2I_{\mu b_1}I_{\mu a_3} - 2I_{\mu b_1}I_{\mu a_5}) + \\
& + R_2(2I_{2a_1}I_{2b_3} + 2I_{2a_1}I_{2b_5} + 2I_{2b_1}I_{2a_3} - 2I_{2b_1}I_{2a_5}) = \\
& = U_1I_{1b_3} + U_1I_{1b_5} + U_1I_{1b_1} + U_1I_{1b_1};
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& \Omega \cdot [L_1(6I_{1a_1}I_{1b_5} + 6I_{1b_1}I_{1a_5} + 6I_{1a_3}I_{1b_3}) + L_\mu(6I_{\mu a_1}I_{\mu b_5} + 6I_{\mu b_1}I_{\mu a_5} + 6I_{\mu a_3}I_{\mu b_3}) + \\
& + L_2(6I_{2a_1}I_{2b_5} + 6I_{2b_1}I_{2a_5} + 6I_{2a_3}I_{2b_3})] + R_1(I_{1a_3}^2 - I_{1b_3}^2 + 2I_{1a_1}I_{1a_5} - 2I_{1b_1}I_{1b_5}) + \\
& + R_\mu(I_{\mu a_3}^2 - I_{\mu b_3}^2 + 2I_{\mu a_1}I_{\mu a_5} - 2I_{\mu b_1}I_{\mu b_5}) + R_2(I_{2a_3}^2 - I_{2b_3}^2 + 2I_{2a_1}I_{2a_5} - 2I_{2b_1}I_{2b_5}) = \\
& = U_1I_{1a_5} + U_1I_{1a_3} + U_1I_{1a_1};
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \Omega \cdot [L_1(-3(I_{1a_3})^2 + 3(I_{1b_3})^2 - 6I_{1a_1}I_{1a_5} + 6I_{1b_1}I_{1b_5}) + L_\mu(-3(I_{\mu a_3})^2 + 3(I_{\mu b_3})^2 - 6I_{\mu a_1}I_{\mu a_5} + 6I_{\mu b_1}I_{\mu b_5}) + \\ & + L_2(-3(I_{2a_3})^2 + 3(I_{2b_3})^2 - 6I_{2a_1}I_{2a_5} + 6I_{2b_1}I_{2b_5})] + R_1(2I_{1a_1}I_{1b_5} + 2I_{1b_1}I_{1a_5} + 2I_{1a_3}I_{1b_3}) + \\ & + R_\mu(2I_{\mu a_1}I_{\mu b_5} + 2I_{\mu b_1}I_{\mu a_5} + 2I_{\mu a_3}I_{\mu b_3}) + R_2(2I_{2a_1}I_{2b_5} + 2I_{2b_1}I_{2a_5} + 2I_{2a_3}I_{2b_3}) = \\ & = U_{1_1}I_{1b_5} + U_{1_3}I_{1b_3} + U_{1_5}I_{1b_1}; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \Omega \cdot [L_1(8I_{1a_3}I_{1b_5} + 8I_{1b_3}I_{1a_5}) + L_\mu(8I_{\mu a_3}I_{\mu b_5} + 8I_{\mu b_3}I_{\mu a_5}) + L_2(8I_{2a_3}I_{2b_5} + 8I_{2b_3}I_{2a_5})] + \\ & + R_1(2I_{1a_3}I_{1a_5} - 2I_{1b_3}I_{1b_5}) + R_\mu(2I_{\mu a_3}I_{\mu a_5} - 2I_{\mu b_3}I_{\mu b_5}) + R_2(2I_{2a_3}I_{2a_5} - 2I_{2b_3}I_{2b_5}) = \\ & = U_{1_3}I_{1a_5} + U_{1_5}I_{1a_3}; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \Omega \cdot [L_1(-8I_{1a_3}I_{1a_5} + 8I_{1b_3}I_{1b_5}) + L_\mu(-8I_{\mu a_3}I_{\mu a_5} + 8I_{\mu b_3}I_{\mu b_5}) + L_2(-8I_{2a_3}I_{2a_5} + 8I_{2b_3}I_{2b_5})] + \\ & + R_1(2I_{1a_3}I_{1b_5} + 2I_{1b_3}I_{1a_5}) + R_\mu(2I_{\mu a_3}I_{\mu b_5} + 2I_{\mu b_3}I_{\mu a_5}) + R_2(2I_{2a_3}I_{2b_5} + 2I_{2b_3}I_{2a_5}) = \\ & = U_{1_3}I_{1b_5} + U_{1_5}I_{1b_3}; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \Omega \cdot [L_1(10I_{1a_5}I_{1b_5}) + L_\mu(10I_{\mu a_5}I_{\mu b_5}) + L_2(10I_{2a_5}I_{2b_5})] + R_1(I_{1a_5}^2 - I_{1b_5}^2) + \\ & + R_\mu(I_{\mu a_5}^2 - I_{\mu b_5}^2) + R_2(I_{2a_5}^2 - I_{2b_5}^2) = U_{1_5}I_{1a_5}; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \Omega \cdot [L_1(-5(I_{1a_5})^2 + 5(I_{1b_5})^2) + L_\mu(-5(I_{\mu a_5})^2 + 5(I_{\mu b_5})^2) + L_2(-5(I_{2a_5})^2 + 5(I_{2b_5})^2)] + R_1(2I_{1a_5}I_{1b_5}) + \\ & + R_\mu(2I_{\mu a_5}I_{\mu b_5}) + R_2(2I_{2a_5}I_{2b_5}) = U_{1_5}I_{1b_5}; \end{aligned}$$

$$I_{2a_1} + I_{\mu a_1} = I_{1a_1};$$

$$I_{2b_1} + I_{\mu b_1} = I_{1b_1};$$

$$I_{2a_3} + I_{\mu a_3} = I_{1a_3};$$

$$I_{2b_3} + I_{\mu b_3} = I_{1b_3};$$

$$I_{2a_5} + I_{\mu a_5} = I_{1a_5};$$

$$I_{2b_5} + I_{\mu b_5} = I_{1b_5};$$

де $U_{1_1}, U_{1_3}, U_{1_5}$ - гармонійні складові напруги статорного кола; $I_{1_1}, I_{1_3}, I_{1_5}$ - гармонійні складові струму статорного кола; $I_{\mu_1}, I_{\mu_3}, I_{\mu_5}$ - гармонійні складові струму кола намагнічування; $I_{2_1}, I_{2_3}, I_{2_5}$ - гармонійні складові струму роторного кола; $I_{1a_1}, I_{1a_3}, I_{1a_5}, I_{1b_1}, I_{1b_3}, I_{1b_5}$ - косинусні та синусні гармонійні складові струму статорного кола; $I_{\mu a_1}, I_{\mu a_3}, I_{\mu a_5}, I_{\mu b_1}, I_{\mu b_3}, I_{\mu b_5}$ - косинусні та синусні гармонійні складові струму кола намагнічування;

$I_{2a_1}, I_{2a_3}, I_{2a_5}, I_{2b_1}, I_{2b_3}, I_{2b_5}$ - косинусні та синусні гармонійні складові струму роторного кола.

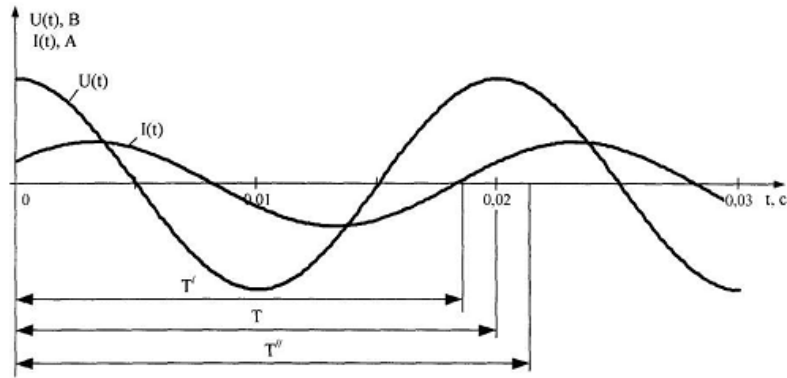
Розрахунковим шляхом визначають значення струмів ланцюгів схеми заміщення та електромагнітних параметрів машини змінного струму для напруги та струму з періодом T' : індуктивності розсіювання статора L'_1 , індуктивності кола намагнічування L'_μ , індуктивності розсіювання ротора L'_2 , активного опору ротору R'_2 , а також для періоду T'' - $L''_1, L''_\mu, L''_2, R''_2$, визначають розрахункові значення параметрів двигуна:

$$L_{1p} = \frac{L'_1 + L''_1}{2}; L_{\mu p} = \frac{L'_\mu + L''_\mu}{2}; L_{2p} = \frac{L'_2 + L''_2}{2}; L_{2p} = \frac{L'_2 + L''_2}{2}$$

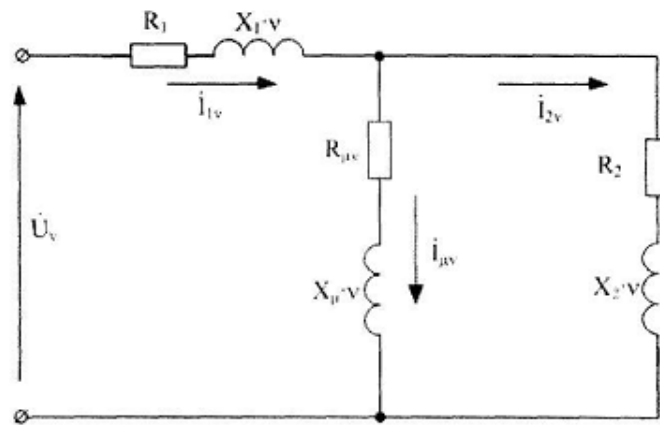
(6)

Корисна модель дозволяє підвищити надійність використання АД за рахунок збільшення точ-

ності визначення електромагнітних параметрів схеми заміщення АД при врахуванні дефектів.



Фиг. 1



Фиг. 2