



УКРАЇНА

(19) UA (11) 63928 (13) U
(51) МПК
G01R 27/08 (2006.01)

ДЕРЖАВНА СЛУЖБА
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ
УКРАЇНИ

ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

видається під
відповідальність
власника
патенту

(54) СПОСІБ ІДЕНТИФІКАЦІЇ ПАРАМЕТРІВ АСИНХРОННИХ ДВИГУНІВ

1

2

(21) u201103565

(22) 25.03.2011

(24) 25.10.2011

(46) 25.10.2011, Бюл.№ 20, 2011 р.

(72) РОДЬКІН ДМИТРО ЙОСИПОВИЧ, РОМАШИХІН ЮРІЙ ВОЛОДИМИРОВИЧ, РОМАШИХІНА ЖАННА ІВАНІВНА, РОДЬКІН ДМИТРО ІЛЛІЧ

(73) КРЕМЕНЧУЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ МИХАЙЛА ОСТРОГРАДСЬКОГО

(57) 1. Спосіб ідентифікації параметрів асинхронних двигунів, що полягає у підключенні дослідного двигуна до джерела напруги за допомогою датчиків напруги та струму, подаванні напруги до двигуна, цифровому записі напруг та струмів фаз, математичній обробці отриманих результатів шляхом розкладу кривих напруги та струму в ряд Фур'є, визначенні гармонійних складових миттєвої потужності фаз, складанні системи ідентифікаційних рівнянь на основі рівнянь балансу гармонік потужності елементів схеми заміщення двигуна, визначенні параметрів двигуна шляхом розв'язання системи ідентифікаційних рівнянь, який відрізняється тим, що вимірюють період змінної напруги T , виконують цифровий запис напруги та струму протягом двох періодів змінної напруги, задають період розкладу кривих напруги та струму T в ряд Фур'є для діапазонів від $0,75T$ до $0,95T$ та від $1,05T$ до $1,25T$, виконують розклад напруг та струмів в ряд Фур'є, визначають гармонійні складові миттєвої потужності для вказаних періодів, складають системи ідентифікаційних рівнянь для визначення параметрів схеми заміщення двигуна, визначають параметри двигуна для напруги та струму з періодами від $0,75T$ до $0,95T$ та від

$1,05T$ до $1,25T$, будують залежності визначених параметрів асинхронного двигуна від періоду розкладу, вибирають значення ΔT , яке лежить в діапазоні від $0,05$ до $0,25$, будують дотичні до залежностей визначених параметрів асинхронного двигуна від періоду розкладу у точках $T + \Delta T$, визначають параметри $L'_1, L'_{\mu}, L'_2, R'_2$, як точки перетину дотичних з прямою, яка проходить через значення T : для $T - \Delta T - L'_1, L'_{\mu}, L'_2, R'_2$, а та-

кож для періоду $T + \Delta T - L''_1, L''_{\mu}, L''_2, R''_2$, а також для періоду R_2 визначають розрахункові значення параметрів двигуна

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

$$R_{2p} = \frac{R'_2 + R''_2}{2}.$$

2. Спосіб за п. 1, який відрізняється тим, що задають період розкладу кривих напруги та струму в ряд Фур'є, рівний періоду вказаних сигналів в діапазоні від 0 до T , виконують розклад напруг та струмів в ряд Фур'є для періоду розкладу, рівного періоду сигналів, визначають гармонійні складові миттєвої потужності для вказаних періодів, складають систему ідентифікаційних рівнянь для визначення параметрів схеми заміщення двигуна, визначають електромагнітні параметри асинхронного двигуна.

Корисна модель належить до галузі електротехніки, зокрема до методів визначення електромагнітних параметрів асинхронних двигунів. Корисна модель може бути використана при післяремонтних випробуваннях асинхронних двигунів в практиці електроремонтних підприємств, при приймально-здавальних випробуваннях в умовах заводів-виготовлювачів та для експлуата-

ційного моніторингу в умовах промислових підприємств.

Відомий спосіб визначення активних та індуктивних опорів ротора [Способ определения активных и индуктивных сопротивлений рассеяния обмотки статора асинхронного двигателя: А. С. СССР 1372259, G01R31/34 / Г.Г. Рогозин, Ю.И. Печуркин, В.И. Алексеев], за яким підключають нерухомий асинхронний двигун (АД) до однофаз-

(19) UA (11) 63928 (13) U

ного джерела промислової частоти, вимірюють значення напруги, струму статора та кута між ними, відключають джерело у момент переходу струму через нуль, вимірюють миттєві значення загасаючої напруги. За отриманими даними розраховують активні та індуктивні опори ротора.

Суттєві ознаки, які збігаються з корисною моделлю, що заявляється: підключення нерухомого АД до однофазного джерела промислової частоти, вимірювання значень напруги, струму статора та кута між ними, розрахунок активних та індуктивних опорів ротора.

Недоліками наведеного способу визначення параметрів є:

- низька точність результатів, що обумовлюється неврахуванням опорів, еквівалентних втратам в сталі ротора та статора, ефекту витіснення струму в роторі;

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

- розділення операцій при визначенні параметрів двигуна (статора за однією схемою, а ротора - за іншою) робить вказаний спосіб малопридатним для практичного визначення параметрів АД.

Найбільш близьким технічним рішенням до корисної моделі, вибраним як прототип до способу, що заявляється, є спосіб [Спосіб діагностики параметрів синхронного двигуна та пристрій для його здійснення: Пат. України №65733А:G01R31/34 / Д.Й. Родькін, А.П. Калінов, О.П. Чорний, В.Ф. Живора, А.М. Аміров; 2003042860; опубліковано 15.04.2004, бюл. № 4/2004] визначення параметрів двигуна відповідно до Т-подібних схем заміщення 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.

Суттєві ознаки, які збігаються з корисною моделлю, що заявляється: підключення дослідного двигуна до джерела напруги за допомогою датчиків напруги та струму, подавання напруги до двигуна, цифровий запис напруг та струмів фаз, математична обробка отриманих результатів шляхом розкладу кривих напруги та струму в ряд Фур'є, визначення гармонійних складових миттєвої потужності фаз, складання системи ідентифікаційних рівнянь на основі рівнянь балансу гармонік потужності елементів схеми заміщення двигуна, визначення параметрів двигуна шляхом розв'язання системи ідентифікаційних рівнянь.

Недоліками наведеного способу визначення параметрів двигунів є:

- самостійне вирішення систем рівнянь дає результат, точність якого значною мірою 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 підвищення точності та достовірності ідентифікації параметрів асинхронних двигунів 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 асинхронних двигунів.

Поставлена задача вирішується тим, що досліджуваній двигун підключають до джерела полігармонійної напруги із заданим рівнем гармонік за допомогою датчиків 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 асинхронних двигунів шляхом вирішення системи ідентифікаційних рівнянь.

Згідно з корисною моделлю, двигун підключають за допомогою датчиків напруги та струму до мережі, вимірюють період змінної напруги T , виконують цифровий запис напруги та струму протягом двох періодів змінної напруги, визначають значення струмів ланцюгів схеми заміщення та електромагнітних параметрів асинхронного двигуна для діапазонів від $0,75T$ до $0,95T$ та від $1,05T$ до $1,25T$ з використанням системи рівнянь енергетичного балансу складових гармонік миттєвої потужності, будують залежність визначених електромагнітних параметрів асинхронного двигуна від періоду розкладу T , проводять до неї дотичні у точках $T + \Delta T$, де ΔT лежить в діапазоні від $0,05$ до $0,25$, визначають значення електромагнітних параметрів як точки перетину дотичних з прямою, яка проходить через значення T : для $T - \Delta T - L_1^I$,

L_{μ}^I, L_2^I, R_2^I , а також для періоду $T + \Delta T - L_1^{II}, L_{\mu}^{II}, L_2^{II}, R_2^{II}$, визначають розрахункові значення пара-

метрів двигуна $L_{1p} = \frac{L_1^I + L_1^{II}}{2}; L_{\mu p} = \frac{L_{\mu}^I + L_{\mu}^{II}}{2};$

$L_{2p} = \frac{L_2^I + L_2^{II}}{2}; R_{2p} = \frac{R_2^I + R_2^{II}}{2}.$

Запропонований спосіб пояснюється наступними кресленнями, де на фіг. 1 наведені миттєві значення напруги та струму, на якій прийняті позначення: $u(t)$ - миттєві значення напруги фази; $i(t)$ - миттєві значення струму фази; на фіг. 2 наведена Т-подібна схема заміщення двигуна, на якій прийняті позначення: U_{1V} - напруга живлення асинхронного двигуна; I_{1V} - струм кола статора; R_1 - активний опір кола статора; L_1 - індуктив-

ність кола статора; ν - відносна частота; I_{μ_v} - струм кола намагнічування; R_{μ} - активний опір кола намагнічування; L_{μ} - індуктивність кола намагнічування; I_{2_v} - струм кола ротора; R_2 - приведений активний опір кола ротора; L_2 - приведена індуктивність кола ротора; на фіг. 3 наведена залежність індуктивності статорного кола схеми заміщення двигуна змінного струму від періоду розкладу; T - період змінної напруги.

Спосіб здійснюється наступним чином: асинхронний двигун підключають до джерела полігар-

$$U'_0 = \frac{1}{T'} \int_0^{T'} u(t) dt;$$

$$U'_{na} = \frac{1}{T'} \int_0^{T'} u(t) \cos(2\pi n \Omega' t) dt;$$

$$U'_{nb} = \frac{1}{T'} \int_0^{T'} u(t) \sin(2\pi n \Omega' t) dt;$$

$$I'_0 = \frac{1}{T'} \int_0^{T'} i(t) dt;$$

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

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

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'' :

монійної напруги. Фізично як джерело полігармонійної напруги може бути використаний тиристорний регулятор напруги. У режимі короткого замикання, при нерухомому роторі, по черзі на кожну фазу подається полігармонійна напруга, вимірюються значення напруги $u(t)$ та струму $i(t)$ статора асинхронного двигуна протягом двох періодів змінної напруги T , визначаються за допомогою перетворення Фур'є синусні й косинусні складові напруг і струмів із періодами розкладу для діапазонів від 0,75T до 0,95T та від 1,05T до 1,25T (фіг. 1):

$$U''_0 = \frac{1}{T''} \int_0^{T''} u(t) dt;$$

$$U''_{na} = \frac{1}{T''} \int_0^{T''} u(t) \cos(2\pi n \Omega'' t) dt;$$

$$U''_{nb} = \frac{1}{T''} \int_0^{T''} u(t) \sin(2\pi n \Omega'' t) dt;$$

$$I''_0 = \frac{1}{T''} \int_0^{T''} i(t) dt;$$

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

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

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

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

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

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

Визначають гармонійні складові миттєвої потужності з періодами розкладу для діапазонів від 0,75T до 0,95T та від 1,05T до 1,25T. У відповідності зі схемою заміщення (фіг. 2) складаються рівняння енергетичного балансу для складових гармонік миттєвої потужності. Для трьох гармонік напруги і струму можна скласти 11 ідентифікаційних рівнянь. Невідомими параметрами асинхронних двигунів є електромагнітні параметри (активні та індуктивні опори) та струми кіл схеми заміщення (струми кола намагнічування та роторного кола).

Рівняння енергетичного балансу складаються згідно з тим, що складові гармонік миттєвої потужності джерела полігармонійної напруги дорівнюють

сумі складових гармонік миттєвих потужностей на кожному елементі схеми заміщення асинхронних двигунів.

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

$$\begin{cases} P_{0d} = P_{0R_1} + P_{0R_\mu} + P_{0R_2}; \\ P_{кад} = P_{каR_1} + P_{каR_\mu} + P_{каR_2} + P_{каL_1} + P_{каL_\mu} + P_{каL_2} \\ P_{кбд} = P_{кбR_1} + P_{кбR_\mu} + P_{кбR_2} + P_{кбL_1} + P_{кбL_\mu} + P_{кбL_2} \end{cases}$$

де P_{0d} , $P_{кад}$, $P_{кбд}$ - нульова, косинусні та синусні складові гармонік джерела полігармонійної напруги;

P_{0R_1} , P_{0R_μ} , P_{0R_2} - нульові складові миттєвої потужності відповідно на активних опорах кола статора, кола намагнічування та роторного кола;

$P_{каR_1} + P_{каR_\mu} + P_{каR_2}$ - косинусні складові миттєвої потужності на k -ій гармоніці, відповідно на активних опорах кола статора, кола намагнічування та роторного кола;

$P_{каL_1} + P_{каL_\mu} + P_{каL_2}$ - косинусні складові миттєвої потужності на k -ій гармоніці, відповідно на індуктивних опорах кола статора, кола намагнічування та роторного кола;

$P_{кбR_1}$, $P_{кбR_\mu}$, $P_{кбR_2}$ - синусні складові миттєвої потужності на k -ій гармоніці, відповідно на активних опорах кола статора, кола намагнічування та роторного кола;

$P_{кбL_1} + P_{кбL_\mu} + P_{кбL_2}$ - 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 має вигляд:

$$\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_1 I_{1a_3} + U_1 I_{1a_5}; \\ & \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_{1b_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 b_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_{2b_5}) = U_1 I_{1a_1} + U_1 I_{1a_3} + U_1 I_{1a_5} + \\ & + U_1 I_{1a_5} + U_1 I_{1a_3}; \\ & \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_{1b_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 b_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_{2b_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_1 I_{1b_1} + U_1 I_{1b_3} - U_1 I_{1b_1} + U_1 I_{1b_3} - U_1 I_{1b_5} - U_1 I_{1b_3}; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& \Omega \cdot [L_1(4l_{1a_1}l_{1b_3} + 4l_{1a_1}l_{1b_5} + 4l_{1b_1}l_{1a_3} + 4l_{1b_1}l_{1a_5}) + L_\mu(4l_{\mu a_1}l_{\mu b_3} + \\
& + 4l_{\mu a_1}l_{\mu b_5} + 4l_{\mu b_1}l_{\mu a_3} - 4l_{\mu a_1}l_{\mu a_5}) + L_2(4l_{2a_1}l_{2b_3} + 4l_{2a_1}l_{2b_5} + 4l_{2b_1}l_{2a_3} - \\
& - 4l_{2b_1}l_{2a_5})] + R_1(2l_{1a_1}l_{1a_3} + 2l_{1a_1}l_{1a_5} - 2l_{b_1}l_{1b_3} + 2l_{b_1}l_{1b_5}) + \\
& + R_\mu(2l_{\mu a_1}l_{\mu a_3} + 2l_{\mu a_1}l_{\mu a_5} - 2l_{\mu b_1}l_{\mu b_3} + 2l_{\mu b_1}l_{\mu b_5}) + R_2(2l_{2a_1}l_{2a_3} + \\
& + 2l_{2a_1}l_{2a_5} - 2l_{2b_1}l_{2b_3} + 2l_{2b_1}l_{2b_5}) = U_1l_{1a_3} + U_1l_{1a_5} + U_3l_{1a_1} + U_5l_{1a_3}; \\
& \Omega \cdot [L_1(-4l_{1a_1}l_{1a_3} - 4l_{1a_1}l_{1a_5} + 4l_{1b_1}l_{1b_3} - 4l_{1b_1}l_{1b_5}) + L_\mu(-4l_{\mu a_1}l_{\mu a_3} - 4l_{\mu a_1}l_{\mu a_5} + \\
& + 4l_{\mu b_1}l_{\mu b_3} - 4l_{\mu b_1}l_{\mu b_5}) + L_2(-4l_{2a_1}l_{2a_3} - 4l_{2a_1}l_{2a_5} + 4l_{2b_1}l_{2b_3} - 4l_{2b_1}l_{2b_5})] + \\
& + R_1(2l_{1a_1}l_{1b_3} + 2l_{1a_1}l_{1b_5} + 2l_{1b_1}l_{1a_3} - 2l_{1b_1}l_{1a_5}) + R_\mu(2l_{\mu a_1}l_{\mu b_3} + 2l_{\mu a_1}l_{\mu b_5} + \\
& + 2l_{\mu b_1}l_{\mu a_3} - 2l_{\mu b_1}l_{\mu a_5}) + R_2(2l_{2a_1}l_{2b_3} + 2l_{2a_1}l_{2b_5} + 2l_{2b_1}l_{2a_3} - 2l_{2b_1}l_{2a_5}) = \\
& = U_1l_{1b_3} + U_1l_{1b_5} + U_3l_{1b_1} + U_5l_{1b_1}; \\
& \Omega \cdot [L_1(6l_{1a_1}l_{1b_5} + 6l_{1b_1}l_{1b_5} + 6l_{1a_3}l_{1b_3}) + L_\mu(6l_{\mu a_1}l_{\mu b_5} + 6l_{\mu b_1}l_{\mu a_5} + \\
& + 6l_{\mu a_3}l_{\mu b_3}) + L_2(6l_{2a_1}l_{2b_5} + 6l_{2b_1}l_{2a_5} + 6l_{2a_3}l_{2b_3})] + R_1((l_{1a_3})^2 - \\
& - (l_{1b_3})^2 + 2l_{1a_1}l_{1a_5} - 2l_{1b_1}l_{1b_5}) + R_\mu((l_{\mu a_3})^2 - (l_{\mu b_3})^2 + 2l_{\mu a_1}l_{\mu a_5} - \\
& - 2l_{\mu b_1}l_{\mu b_5}) + R_2((l_{2a_3})^2 - (l_{2b_3})^2 + 2l_{2a_1}l_{2a_5} - 2l_{2b_1}l_{2b_5}) = \\
& = U_1l_{1a_5} + U_3l_{1a_3} + U_5l_{1a_1}; \\
& \Omega \cdot [L_1(-3(l_{1a_3})^2 + 3(l_{1b_3})^2 + 6l_{1a_1}l_{1a_5} + 6l_{1b_1}l_{1b_5}) + L_\mu(-3(l_{\mu a_3})^2 + \\
& + 3(l_{\mu b_3})^2 - 6l_{\mu a_1}l_{\mu a_5} + 6l_{\mu b_1}l_{\mu b_5}) + L_2(-3(l_{2a_3})^2 + 3(l_{2b_3})^2 - 6l_{2a_1}l_{2a_5} + \\
& + 6l_{2b_1}l_{2b_5})] + R_1(2l_{1a_1}l_{1b_5} + 2l_{1b_1}l_{1a_5} + 2l_{1a_1}l_{1b_5}) + R_\mu(2l_{\mu a_1}l_{\mu b_5} + \\
& + 2l_{\mu b_1}l_{\mu a_5} + 2l_{\mu a_3}l_{\mu b_3}) + R_2(2l_{2a_1}l_{2b_5} + 2l_{2b_1}l_{2a_5} + 2l_{2a_3}l_{2b_3}) = \\
& = U_1l_{1b_5} + U_3l_{1b_3} + U_5l_{1b_1}; \\
& \Omega \cdot [L_1(8l_{1a_3}l_{1b_5} + 8l_{1b_3}l_{1a_5}) + L_\mu(8l_{\mu a_3}l_{\mu b_5} + 8l_{\mu b_3}l_{\mu a_5}) + L_2(8l_{2a_3}l_{2b_5} + \\
& + 8l_{2b_3}l_{2a_5})] + R_1(2l_{1a_3}l_{1a_5} - 2l_{1b_3}l_{1b_5}) + R_\mu(2l_{\mu a_3}l_{\mu a_5} - 2l_{\mu b_3}l_{\mu b_5}) + \\
& + R_2(2l_{2a_3}l_{2a_5} - 2l_{2b_3}l_{2b_5}) = U_3l_{1a_5} + U_5l_{1a_3}; \\
& \Omega \cdot [L_1(-8l_{1a_3}l_{1a_5} + 8l_{1b_3}l_{1b_5}) + L_\mu(-8l_{\mu a_3}l_{\mu a_5} + 8l_{\mu b_3}l_{\mu b_5}) + L_2(-8l_{2a_3}l_{2a_5} + \\
& + 8l_{2b_3}l_{2b_5})] + R_1(2l_{1a_3}l_{1b_5} + 2l_{1b_3}l_{1a_5}) + R_\mu(2l_{\mu a_3}l_{\mu b_5} + \\
& + 2l_{\mu b_3}l_{\mu a_5}) + R_2(2l_{2a_3}l_{2b_5} + 2l_{2b_3}l_{2a_5}) = U_3l_{1b_5} + U_5l_{1b_3}; \\
& \Omega \cdot [L_1(10l_{1a_5}l_{1b_5}) + L_\mu(10l_{\mu a_5}l_{\mu b_5}) + L_2(10l_{2a_5}l_{2b_5})] + R_1((l_{1a_5})^2 - \\
& - (l_{1b_5})^2 + R_\mu((l_{\mu a_5})^2 - (l_{\mu b_5})^2 + R_2((l_{2a_5})^2 - (l_{2b_5})^2) = U_5l_{1a_5}; \\
& \Omega \cdot [L_1(-5(l_{1a_5})^2 + 5(l_{1b_5})^2) + L_\mu(-5(l_{\mu a_5})^2 + 5(l_{\mu b_5})^2 + L_2(-5(l_{2a_5})^2 + \\
& + 5(l_{2b_5})^2)] + R_1(2l_{1a_5}l_{1b_5}) + R_\mu(2l_{\mu a_5}l_{\mu b_5}) + R_2(2l_{2a_5}l_{2b_5}) = U_5l_{1b_5}; \\
& l_{2a_1} + l_{\mu a_1} = l_{1a_1} \quad l_{2b_1} + l_{\mu b_1} = l_{1b_1} \\
& l_{2a_3} + l_{\mu a_3} = l_{1a_3} \quad l_{2b_3} + l_{\mu b_3} = l_{1b_3} \\
& l_{2a_5} + l_{\mu a_5} = l_{1a_5} \quad l_{2b_5} + l_{\mu b_5} = l_{1b_5}
\end{aligned}$$

де U_1 , U_3 , U_5 - гармонійні складові напру-
ги статорного кола;

l_1 , l_3 , l_5 - гармонійні складові струму ста-
торного кола;

l_{μ_1} , l_{μ_3} , l_{μ_5} - гармонійні складові струму кола
намагнічування;

l_2 , l_3 , l_5 - гармонійні складові струму ро-
торного 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.

Визначають значення струмів ланцюгів схеми заміщення та електромагнітних параметрів асинхронного двигуна для діапазонів від 0,75T до 0,95T та від 1,05T до 1,25T з використанням системи рівнянь енергетичного балансу складових гармонік миттєвої потужності. Будують залежності визначених електромагнітних параметрів асинхронного двигуна від періоду розкладу T: $L_1(T)$, $L_\mu(T)$, $L_2(T)$, $R_2(T)$ проводять до них дотичні у точках

$T' = T - \Delta T$ та $T'' = T + \Delta T$, де ΔT лежить в діапазоні від 0,05 до 0,25 (фіг. 3).

Рівняння дотичних мають вигляд:

$$\begin{aligned} f'(L_1) &= L_1(T) \left|_{T=T'} + \frac{dL_1(T)}{dT} \right|_{T=T'} \cdot (T - T'); \\ f''(L_1) &= L_1(T) \left|_{T=T''} + \frac{dL_1(T)}{dT} \right|_{T=T''} \cdot (T - T''); \\ f'(L_\mu) &= L_\mu(T) \left|_{T=T'} + \frac{dL_\mu(T)}{dT} \right|_{T=T'} \cdot (T - T'); \\ f''(L_\mu) &= L_\mu(T) \left|_{T=T''} + \frac{dL_\mu(T)}{dT} \right|_{T=T''} \cdot (T - T''); \\ f'(L_2) &= L_2(T) \left|_{T=T'} + \frac{dL_2(T)}{dT} \right|_{T=T'} \cdot (T - T'); \\ f''(L_2) &= L_2(T) \left|_{T=T''} + \frac{dL_2(T)}{dT} \right|_{T=T''} \cdot (T - T''); \end{aligned}$$

$$f'(R_2) = R_2(T) \left|_{T=T'} + \frac{dR_2(T)}{dT} \right|_{T=T'} \cdot (T - T');$$

$$f''(R_2) = R_2(T) \left|_{T=T''} + \frac{dR_2(T)}{dT} \right|_{T=T''} \cdot (T - T'');$$

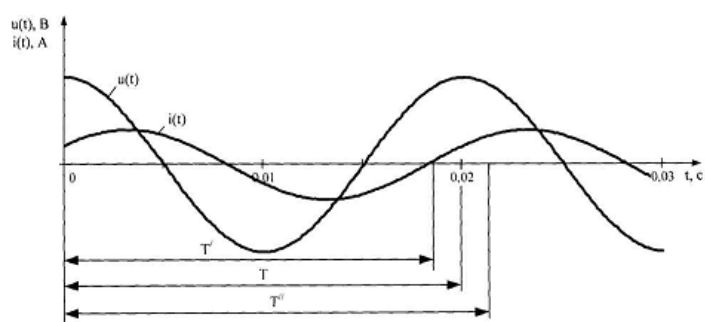
Визначають значення електромагнітних параметрів як точки перетину дотичних із прямою, яка проходить через значення T: для

$T' = T - \Delta T - L_1', L_\mu', L_2', R_2'$, а також для періоду $T'' = T + \Delta T - L_1'', L_\mu'', L_2'', R_2''$, визначають розрахункові значення параметрів двигуна:

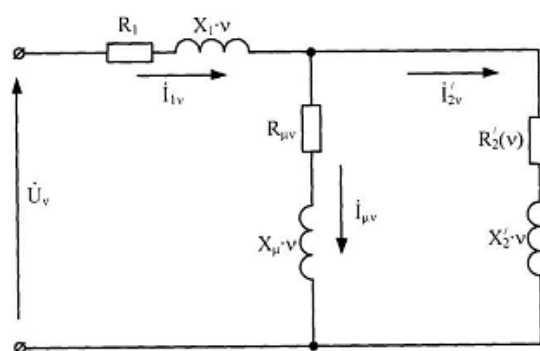
$$\begin{aligned} L_{1p} &= \frac{L_1' + L_1''}{2}; \\ L_{\mu p} &= \frac{L_\mu' + L_\mu''}{2}; \\ L_{2p} &= \frac{L_2' + L_2''}{2}; \\ L_{2p} &= \frac{L_2' + L_2''}{2}; \end{aligned} \quad (6)$$

Задають період розкладу кривих напруги та струму в ряд Фур'є, що дорівнює періоду вказаних сигналів в діапазоні від 0 до T, та виконують розклад напруг та струмів в ряд Фур'є для періоду розкладу, рівного періоду сигналів. Визначають електромагнітні параметри асинхронного двигуна шляхом формування та вирішення системи ідентифікаційних рівнянь для періоду розкладу, рівного періоду сигналів напруг та струмів.

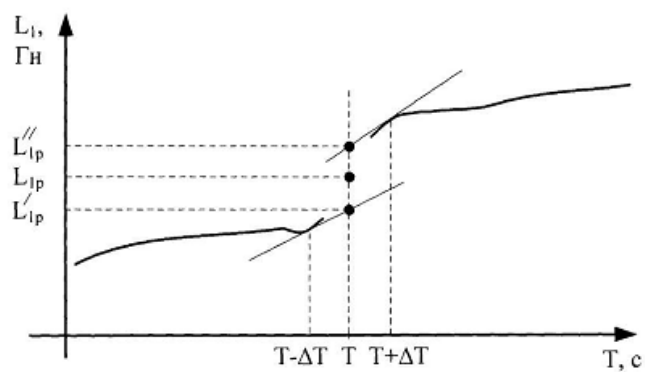
Корисна модель дозволяє підвищити надійність використання асинхронних двигунів за рахунок підвищення точності визначення електромагнітних параметрів.



Фиг. 1



Фиг. 2



Фиг. 3