

УДК 681.5:62-83

**ВИЗНАЧЕННЯ АКТИВНОГО ОПОРУ СТАТОРА АСИНХРОННОГО ДВИГУНА
ЗА ПУСКОВИМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ****О. А. Позігун, В. К. Титюк**Державний вищий навчальний заклад «Криворізький національний університет»
вул. Віталія Матусевича, 11, м. Кривий Ріг, 50027, Україна. E-mail: pozigunalexander@gmail.com**О. П. Чорний**Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського
вул. Першотравнева, 20, м. Кременчук, 39600, Україна. E-mail: ochornyi@ukr.net

Визначення крутного моменту, що розвивається асинхронним двигуном, має важливе значення для покращення показників використання електроенергії. Це завдання може бути вирішене за умови надійної ідентифікації величини активного опору статора асинхронного двигуна. Для визначення активного опору статора найбільш прийнятним є метод, заснований на вимірюванні й подальшій обробці фазних напруг і струмів у процесі запуску асинхронного двигуна. Доведено працездатність запропонованого методу на математичній моделі. Точність активного опору статора за результатами математичного моделювання склала 0,26 %. Досліджено можливість заміни ідеальної інтегруючої ланки еквівалентною аперіодичною ланкою з елементом транспортного запізнювання при інтегруванні синусоїдальних сигналів. Показано, що активний опір статора може бути обчислено як відношення постійної складової інтегральної функції напруги до постійної складової інтегральної функції тока. Визначення постійної складової інтегрального сигналу напруги живлення зводиться до відшукування амплітуди й початкової фази інтегрування сигналу напруги, а визначення постійної складової інтегрального сигналу струму статора – до відшукування параметрів аперіодичної складової пускового струму статора. Виконано експериментальні дослідження запропонованого методу визначення активного опору статора в лабораторних умовах. Точність активного опору статора за результатами математичного моделювання склала 7,8 %. Точність активного опору може бути підвищена шляхом попередньої фільтрації вимірних сигналів струму та напруги, уточнення теоретичних уявлень про форму аперіодичної складової струму статора, підвищення точності визначення параметрів аперіодичної складової струму статора за експериментальними даними.

Ключові слова: активний опір статора, пусковий режим.**ОПРЕДЕЛЕНИЕ АКТИВНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ СТАТОРА АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ
ПО ПУСКОВЫМ ХАРАКТЕРИСТИКАМ****А. А. Позигун, В. К. Тытюк**Государственное высшее учебное заведение «Криворожский национальный университет»
ул. Виталия Матусевича, 11, г. Кривой Рог, 50027, Украина. E-mail: pozigunalexander@gmail.com**А. П. Черный**Кременчугский национальный университет имени Михаила Остроградского
ул. Первомайская, 20, г. Кременчуг, 39600, Украина. E-mail: ochornyi@ukr.net

Определение вращающего момента, развиваемого асинхронным двигателем, имеет важное значение для повышения показателей использования электроэнергии. Эта задача может быть решена при условии надежной идентификации величины активного сопротивления статора асинхронного двигателя. Для определения активного сопротивления статора наиболее приемлемым является метод, основанный на измерении и последующей обработке фазных напряжений и токов в процессе запуска асинхронного двигателя. Доказана работоспособность предложенного метода на математической модели. Точность определения активного сопротивления статора по результатам математического моделирования составила 0,26 %. Исследована возможность замены идеального интегрирующего звена эквивалентным аперіодическим звеном с элементом транспортного запаздывания при интегрировании синусоидальных сигналов. Показано, что активное сопротивление статора может быть вычислено как отношение постоянной составляющей интегральной функции напряжения к постоянной составляющей интегральной функции тока. Определение постоянной составляющей интегрального сигнала питающего напряжения сводится к отысканию амплитуды и начальной фазы интегрирования сигнала напряжения, а определение постоянной составляющей интегрального сигнала тока статора – к отысканию параметров аперіодической составляющей пускового тока статора. Выполнены экспериментальные исследования предложенного метода определения активного сопротивления статора в лабораторных условиях. Точность определения активного сопротивления статора по результатам математического моделирования составила 7,8 %. Точность определения активного сопротивления может быть повышена путем предварительной фильтрации измеренных сигналов тока и напряжения, уточнения теоретических представлений о форме аперіодической составляющей тока статора, повышения точности определения параметров аперіодической составляющей тока статора по экспериментальным данным.

Ключевые слова: активное сопротивление статора, пусковой режим.

Актуальність роботи. Конвеєрні установки є найпоширенішим засобом безперервного транспортування насипних вантажів у світі, завдяючи простоті обслуговування, малим витратам на експлуатацію тощо. Серед цього виду транспорту найчастіше використовується електропривод (ЕП) з короткозамкнутим асинхронним двигуном (АД), що зумовлено високою надійністю та низькою ціною порівняно з іншими видами ЕП. Для підвищення показників використання електроенергії у конвеєрних установках необхідно реалізувати керування швидкістю конвеєра у функції його вагового навантаження. Розробка системи непрямого визначення вагового навантаження конвеєра, яка пов'язана з визначенням миттєвого значення електромагнітного моменту АД, дозволить отримати найбільш прийнятний з точки зору енергетичної ефективності режим роботи конвеєрної установки.

У свою чергу, задача визначення електромагнітного моменту АД може бути з необхідною точністю вирішена лише за умови вирішення задачі параметричної ідентифікації АД. Хоча загалом АД характеризується значною кількістю різноманітних електромагнітних та механічних параметрів, для успішного визначення електромагнітного моменту АД, як показав аналіз сучасної науково-технічної літератури, достатньо визначити значення лише одного параметру – активного опору статора R_s . Значення активного опору статора АД при відомих фазних струмах та напругах дозволить обчислити значення потокозчеплень статорних обмоток і перейти до визначення електромагнітного моменту.

Оскільки в процесі експлуатації АД його параметри можуть змінюватися в широких межах, наприклад, під впливом умов експлуатації та температурного режиму двигуна, тому недоцільно використання каталожних даних для визначення його параметрів. Пряме вимірювання активного опору статорної обмотки в реальних експлуатаційних умовах також не завжди можна реалізувати, оскільки потребує зупинки технологічного процесу та відключення АД від живлячої мережі. Саме тому значної популярності набули методи ідентифікації параметрів АД за результатами реєстрації та наступної обробки вимірювань значень струмів та напруг у пускових та робочих режимах роботи АД безпосередньо під час виконання технологічного процесу.

У сучасній науково-технічній літературі питанню визначення активного опору статора АД присвячено чимало кількості робіт, у більшості з яких вирішення питання пропонується за допомогою синтезованого методу найменших квадратів [1], компонентів струму й напруги статорної обмотки та кутової швидкості ротора за умови персистентності збудження [2] та енергетичного методу визначення параметрів АД [3]. Розширений фільтр Калмана застосований у [4]. У [5] метод частотних характеристик використано для вирішення задачі ідентифікації. Теорію адаптивних систем із задаючою моделлю застосова-

но в [6]. Найбільш придатним, з нашого погляду, є метод визначення R_s , заснований на вимірюванні значень фазного струму й фазної напруги у процесі запуску АД, запропонований у [7] та розвинутий у [8, 9]. Запропонований у [9] метод потребує вимірювання струмів та напруг на статорі АД, що досить просто реалізується з технічного боку. Проте використання запропонованого у [9] методу в реальних умовах стикається з цілою низкою труднощів. Здебільшого вони пов'язані зі складністю реалізації чисельного інтегрування реальних сигналів напруги та струму, які містять високочастотні похибки вимірювань з одного боку, а також низькочастотні складові пускових струмів – з другого.

Метою роботи є дослідження методу визначення активного опору статора АД на основі аналізу пускових характеристик.

МАТЕРІАЛ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ. Із [9] похідна потокозчеплення статорних обмоток АД може бути обчислена як

$$\frac{d\psi_{s\alpha}}{dt} = u_{s\alpha} - i_{s\alpha} R_s. \quad (1)$$

Вважаючи, що машина розмагнічена до моменту пуску, при нульових початкових умовах отримуємо

$$\psi_{s\alpha} = \int_0^t (u_{s\alpha}(t) - i_{s\alpha}(t)R_s) dt. \quad (2)$$

Припустімо, що постійна складова потокозчеплення $\psi_{s\alpha 0}$ дорівнює нулю, і, визначивши зазначені моменти часу, які зміщені на 180° один відносно одного (t_1, t_2), R_s має вигляд:

$$R_s = \frac{\int_0^{t_1} u_{s\alpha}(t) dt + \int_0^{t_2} u_{s\alpha}(t) dt}{\int_0^{t_1} i_{s\alpha}(t) dt + \int_0^{t_2} i_{s\alpha}(t) dt}. \quad (3)$$

Реалізація даного методу за рівнянням (3) була продемонстрована на віртуальній моделі в програмному пакеті MATLAB [10]. Як експериментальний двигун було обрано АД типу АИР250М4 з потужністю 90 кВт та частотою обертання 1475 об/хв, з наступними параметрами Т-подібної схеми заміщення: індуктивність розсіювання обмотки статора 0,000459 Гн; індуктивність розсіювання обмотки ротора 0,000338 Гн; індуктивність кола намагнічування 0,0158 Гн; активний опір статора 0,0318 Ом; активний опір ротора 0,0241 Ом. На рис. 1 показано графіки перехідних процесів сигналу струму $I_a(t)$ і напруги $U_a(t)$ АД та їх інтегральних функцій $iU_a(t)$ та $iI_a(t)$, отримані на математичній моделі АД у фазних координатах, реалізованій у MATLAB/Simulink.

Згідно з [9], обираємо моменти часу $t_1 = 1,48$ с та $t_2 = t_1 + T/2 = 1,49$ с.

Використовуючи рівняння (3) до отриманих даних, отримуємо (рис. 2):

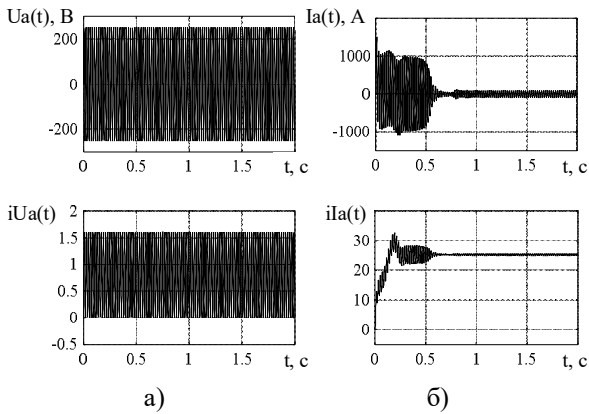


Рисунок 1 – Машинограми фазної напруги $U_a(t)$ та струму $I_a(t)$ АД та їх інтегральних функцій $iU_a(t)$ та $iI_a(t)$ відповідно

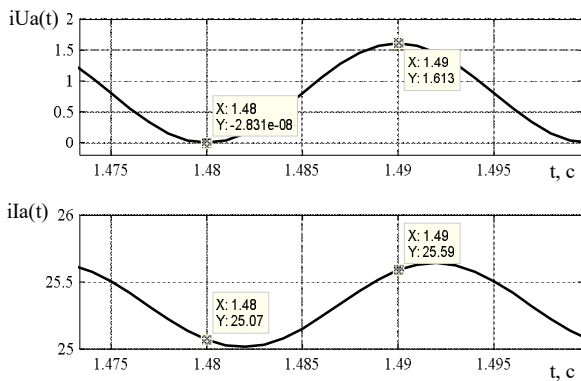


Рисунок 2 – До визначення активного опору статора АД за пусковими характеристиками

З наведених на рис. 2 часових діаграм отримуємо $iU_a(t_1)=0$; $iU_a(t_2)=1,613$; $iI_a(t_1)=25,07$; $iI_a(t_2)=25,59$. За рівнянням (3) отримуємо розрахункове значення активного опору статора $R_s = 0,0316$ Ом, яке відрізняється від наведеного вище у вихідних даних математичної моделі на 0,628 %. Слід звернути увагу на форму інтегральних сигналів струму $iI_a(t)$ та напруги $iU_a(t)$ в усталеному режимі. Ці сигнали є синусоїдальними та містять постійну складову. Оскільки інтегрування сигналів напруги та струму починається з нульових початкових умов, то постійна складова інтегрального сигналу напруги $iU_a(t)$ залежить від фази напруги в момент начала інтегрування. Постійна ж складова інтегрального сигналу струму $iI_a(t)$ має іншу фізичну природу й визначається дією аперіодичної складової струму статора [11]. Цей факт буде мати важливе значення при інтегруванні реальних сигналів на фізичному пристрої.

Отриманий результат підтверджує теоретичну роботоспроможність запропонованого в [9] методу визначення активного опору статора.

Застосування виразу (3) на практиці при використанні ідеальної інтегруючої ланки призводить до проблем, пов'язаних з наявністю похибок з випадковими складовими та зсув нуля, які завжди є у вимірюваних струмах і напругах у реальній системі вимірювання. Інтегрування в такому випадку призводить до постійно зростаючого в часі зміщення розрахованого поточкозчеплення щодо справжнього. У

даний час відомі методи корекції похибок, викликаних наявністю постійних складових, для широкого діапазону робочих частот [4] при роботі АД у сталому режимі. Крім того, сучасні системи вимірювання при правильному налаштуванні мають дуже малі величини постійних зсувів, що дозволяє використовувати навіть пряме інтегрування для невеликих інтервалів часу порядку одиниць секунд.

Для вирішення цієї проблеми звичай використовується заміна інтегруючої ланки на аперіодичну [9]. При роботі АД у сталому режимі, коли у фазних напругах і струмах присутня переважно основна гармоніка з деякою кутовою частотою ω , налаштування інтегруючої та еквівалентної аперіодичної ланок виконується з умови близькості амплітудно-частотних характеристик двох ланок при частоті ω . Для корекції фазочастотної характеристики еквівалентної аперіодичної ланки необхідно застосувати ланку транспортного спізнання.

Остаточно отримуємо псевдоінтегруючу ланку з передатною функцією [9]:

$$W(p) = \frac{1}{p + \omega_c} \frac{\sqrt{\omega^2 + \omega_c^2}}{\omega} e^{-p \left(\frac{\pi}{2} - \arctg \left[\frac{\omega}{\omega_c} \right] \right) \frac{1}{\omega}}, \quad (4)$$

де ω_c – частота сполучення, яка має бути меншою за частоту сигналу ω .

Такий спосіб налаштування псевдоінтегруючої ланки забезпечує близькість значень її фазочастотної та амплітудно-частотної характеристик відповідним характеристикам ідеальної інтегруючої ланки в усталеному режимі для синусоїдальних сигналів з частотою, близькою до ω .

Для перевірки роботоспроможності псевдоінтегруючої ланки за виразом (4) виконаємо порівняльний аналіз ідеальної інтегруючої ланки та псевдоінтегруючої ланки при обробці напруг та струмів при запуску АД. На рис. 3 наведено порівняльні графіки інтегральних функцій $iU_a(t)$ та $iI_a(t)$, розраховані за допомогою ідеальної інтегруючої ланки та за допомогою псевдоінтегруючої ланки за (4). Налаштування псевдоінтегруючої ланки було виконано для таких параметрів: $\omega = 50$ Гц; $\omega_c = 40$ Гц.

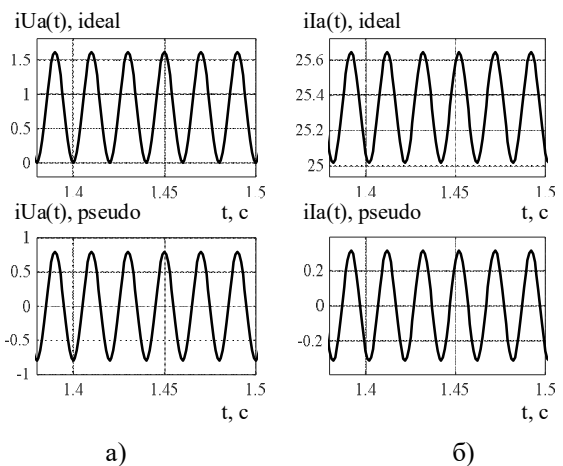


Рисунок 3 – Порівняльні графіки інтегральних функцій напруги $iU_a(t)$ (а) та інтегральних функцій струму $iI_a(t)$ (б) для ідеальної інтегруючої ланки (ideal) та псевдоінтегруючої (pseudo) ланки

З наведених вище графіків видно, що відхилення інтегрування синусоїдальних складових сигналів напруги та струму досить незначне, похибка визначення розмаху (подвійної амплітуди) сигналу складає 0,64 % для інтегрального сигналу напруги та 1,25 % для інтегрального сигналу струму. Але виникає суттєва проблема, пов'язана з постійною складовою інтегральних сигналів. Псевдоінтегруюча ланка формує інтегральний сигнал, який не містить постійної складової, хоча змінна складова визначається коректно.

Таким чином, слід зробити висновок, що запропонований у [9] метод інтегрування синусоїдальних сигналів за рівнянням (4), при його безпосередньому використанні, дає невірний результат і не може бути використаний при визначенні активного опору статора АД. В оригінальній роботі [9] на цю особливість використання псевдоінтегруючої ланки не вказано, а проблеми визначення постійних складових інтегральних функцій напруги та струму не розглянуто.

Для отримання задовільного результату при визначенні активного опору статора АД за його пускових характеристиках необхідно вирішити задачу визначення постійних складових інтегральних функцій напруги та струму АД.

Аналіз форми пускового струму АД (рис. 1,б) показує, що фазний струм у процесі запуску містить аперіодичну складову, при інтегруванні якої формується постійна складова інтегральної функції фазного струму $i_a(t)$. Згідно з моделлю пускових струмів АД, запропованою в [11], аперіодична складова пускового струму має вигляд:

$$i_a^*(t) = A_0 e^{-t/\tau}, \quad (5)$$

де A_0 , τ – параметри аперіодичної складової пускового струму.

Вважаючи ці параметри аперіодичної складової пускового струму відомими, нескладно обчислити постійну складову, яка виникне при інтегруванні цієї складової. Отримаємо

$$I_0 = \int_0^{\infty} A_0 e^{-t/\tau} dt = \tau A_0. \quad (6)$$

Ці параметри можуть бути визначені, наприклад, шляхом апроксимації сигналу пускового струму (рис. 1,б). Для виконання такої апроксимації було використано інструментальний засіб *cftool* програми MATLAB та для сигналу струму (рис. 1,б) отримано параметри моделі аперіодичного струму: $I_0 = 146,6 \text{ A}$; $\tau = 0,172 \text{ с}$.

Інтегрування аперіодичної складової можна виконати за допомогою довільного алгоритму інтегрування без ризику отримання значних похибок.

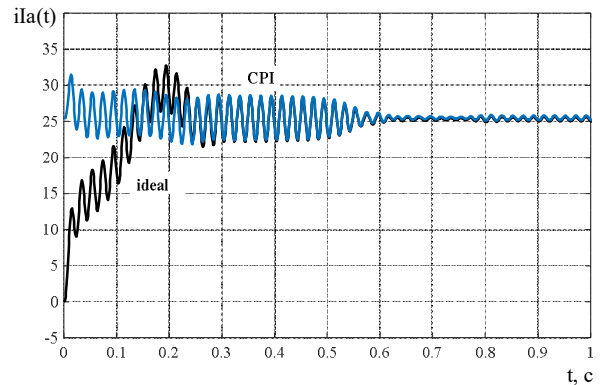
Як показує математичний аналіз, постійна складова інтегралу від синусоїдального сигналу при нульових початкових умовах інтегрування дорівнює

$$U_0 = \frac{A}{\omega} \cos(\varphi), \quad (7)$$

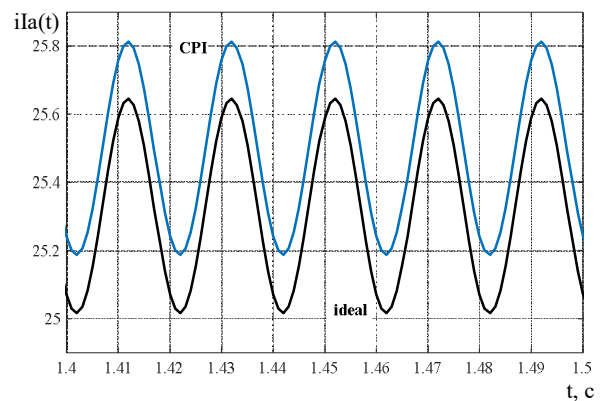
де A , ω , φ – відповідно амплітуда, кругова частота та початкова фаза синусоїдального сигналу, наприклад, сигналу напруги.

У ході дослідження було розроблено скоригований псевдоінтегратор струму (*corrected pseudo-integrator CPI*), який вирішує вищезгадані проблеми інтегрування пускового струму та напруги шляхом додавання постійної складової до інтегрального сигналу. Скоригований псевдоінтегратор струму складається з двох частин: 1) псевдоінтегруюча ланка, синтезована згідно з виразом (4) та налаштована за тими ж параметрами, що й псевдоінтегратор напруги; 2) модель аперіодичної складової пускового струму статора, виділена, наприклад, шляхом апроксимації із сигналу пускового струму статора, інтегрування якої може бути виконано ідеальною інтегруючою ланкою.

На рис. 4 наведено діаграми вихідних сигналів інтегрування пускового струму, отримані за допомогою ідеальної інтегруючої ланки та розробленого скоригованого псевдоінтегратора CPI.



а)



б)

Рисунок 4 – Машинограми інтегральних функцій струму $i_a(t)$ (а) ідеальної інтегруючої ланки (*ideal*) і розробленого інтегратора (CPI) та їх вигляд у збільшеному масштабі часу (б)

Отримані в ході математичного моделювання результати на прикладі інтегрування струму підтверджують роботоспроможність скоригованого

псевдоінтегратора CPI, відхилення від точних значень ідеальної інтегруючої ланки знаходиться на рівні 1–2 %. Ця похибка пов'язана з налаштуванням моделі аперіодичної складової пускового струму статора (5), налаштування цієї функції впливатиме на похибку визначення активного опору статора.

Як показує наочний аналіз результатів експериментальних досліджень на математичній моделі, інтегральні функції напруги $iU_a(t)$ та струму $iI_a(t)$ мають однакову структуру та складаються з постійної складової та періодичної складової з частотою вхідного сигналу:

$$iF(t) = F_0 + F_1 \sin(\omega t + \varphi). \quad (8)$$

Оскільки, згідно з виразом (3), інтегрування здійснюється в межах із зсувом на половину періода, то сума двох значень інтегральної функції за цих умов дорівнюватиме:

$$iF = iF(t) + iF(t + \pi) = F_0 + F_1 \sin(\omega t + \varphi) + F_0 + F_1 \sin(\omega t + \varphi + \pi) \equiv 2F_0. \quad (9)$$

Позначаючи постійну складову інтегральної функції напруги, яку можна обчислити за виразом (7) через U_0 , а постійну складову інтегральної функції струму – за виразом (6) через I_0 , активний опір асинхронного двигуна за рівнянням (3), з урахуванням тотожності (9), можна визначити за спрощеним виразом

$$R_a = \frac{U_0}{I_0}. \quad (10)$$

Таким чином, задача визначення активного опору статора не потребує жодного інтегрування сигналів струмів та напруг АД, а пов'язана з установленим постійних складових інтегральних функцій струмів та напруг асинхронного двигуна. Як показано вище, визначення постійної складової інтегрального сигналу напруги зводиться до відшукування амплітуди та початкової фази синусоїдального сигналу живлячої напруги. Визначення постійної складової інтегрального сигналу струму зводиться до відшукування параметрів аперіодичної складової пускового струму статора.

Експериментальні дослідження. Для перевірки запропонованих технічних рішень було виконано експериментальні дослідження асинхронного двигуна типу МТФ-111-6У2 з наступними паспортними даними: $P = 3,5$ кВт; $U_n = 380$ В; $n = 1000$ об/хв; $\cos(\varphi) = 0,73$; $\eta = 0,73$. Активний опір фази статора за результатами вимірювань методом амперметра і вольтметра на постійному струмі склав $R_1 = 2,67$ Ом. Під час експерименту було зареєстровано значення фазних струмів і напруг (у числовому та графічному вигляді). Вимірювання проводилось за допомогою пристрою цифрової системи реєстрації й візуалізації електричних сигналів «Визир 3». Обробка експериментальних даних проводилась у програмі MATLAB.

Для порівняння роботи інтеграторів різних типів виконано імпорт сигналів струму $i_a(t)$ і фазної напруги $u_a(t)$ у робочу область MATLAB та наступну обробку реального сигналу трьома різними способами: за допомогою ідеальної інтегруючої ланки (*ideal*), псевдоінтегруючої (*pseudo*) ланки, скоригованого псевдоінтегратора (*corrected pseudointegrator CPI*), відповідна модель у програмі MATLAB/Simulink зображена на рис. 5.

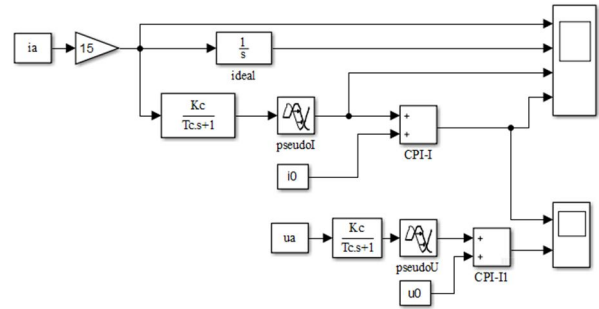


Рисунок 5 – Віртуальна модель, яка інтегрує реальний сигнал струму $i_a(t)$ трьома різними способами (за допомогою ідеальної інтегруючої ланки (*ideal*), псевдоінтегруючої (*pseudo*) ланки; скоригованого псевдоінтегратора (CPI))

Для визначення аперіодичної складової пускового струму використовуємо інструментальний засіб *cftool* програми MATLAB. У результаті отримаємо наступні параметри моделі аперіодичної складової пускового струму: $I_0 = -2,1$ А; $\tau = 0,072$ с.

Машинограми інтегральних функцій струмів, розрахованих різними методами на основі експериментальних даних фізичної моделі, показані на рис. 6.

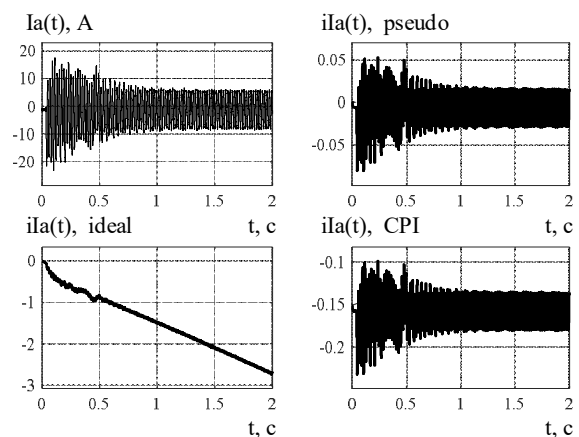


Рисунок 6 – Машинограми струму $I_a(t)$ АД та його інтегральних функцій $iI_a(t)$ при інтегруванні різними способами

За отриманими результатами обчислимо значення активного опору досліджуваного АД (рис. 7).

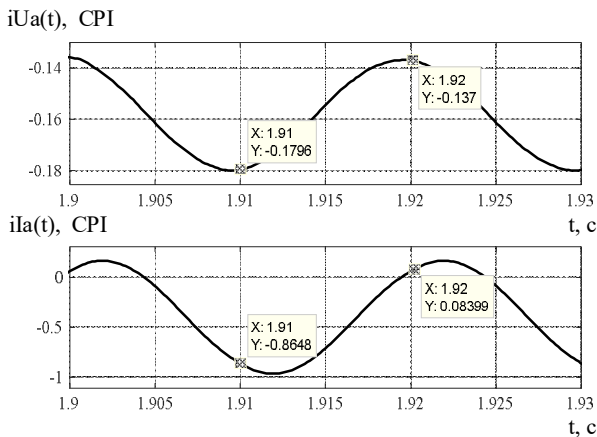


Рисунок 7 – До визначення активного опору АД за експериментальними даними

Згідно з [9], обираємо моменти часу $t_1 = 1,91$ с та $t_2 = t_1 + T/2 = 1,92$ с.

З наведених на рис. 1 часових діаграм отримуємо $iU_a(t_1) = -0,8497$; $iU_a(t_2) = 0,06988$; $iI_a(t_1) = -0,1796$; $iI_a(t_2) = -0,1369$. За виразом (3) отримуємо розрахункове значення активного опору статора $R_{s*} = 2,463$ Ом, яке на 7,8 % відрізняється від вимірюваного значення.

ВИСНОВКИ. У роботі розглянуто існуючі методи визначення активного опору статора АД. За допомогою математичного моделювання обґрунтовано роботоспроможність методу визначення активного опору статора, заснованого на вимірюванні та інтегруванні сигналів фазної напруги та фазного струму. Обґрунтовано можливість використання аперіодичної ланки для інтегрування синусоїдальних сигналів. Уперше запропоновано визначати активний опір статора як відношення постійної складової інтегрального сигналу живлячої напруги до постійної складової інтегрального сигналу струму статора. Визначення постійної складової інтегрального сигналу живлячої напруги зводиться до відшукування амплітуди та початкової фази інтегрування сигналу напруги. Визначення постійної складової інтегрального сигналу струму статора зводиться до відшукування параметрів аперіодичної складової пускового струму статора.

Перспективою цього дослідження є розвиток запропонованого методу визначення активного опору для несиметричних за статором асинхронних двигунів.

DETERMINATION OF STATOR RESISTANCE OF INDUCTION MOTORS ON STARTING CHARACTERISTICS

O. Pozigun, V. Tytiuk

State Institution of Higher Education "Kryvyi Rih National University"
vul. Vitaliya Matusevycha, 11, Kryvyi Rih, 50027, Ukraine. E-mail: pozigunalexander@gmail.com

O. Chornyj

Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University
vul. Pershotravneva, 20, Kremenchuk, 39600, Ukraine. E-mail: ochornyj@ukr.net

Purpose. Determination of a torque of the asynchronous engine is important for increase in indices of use of the electric power. This task can be solved on condition of reliable identification of value of the active resistance of the

ЛІТЕРАТУРА

1. Однолько Д.С. Синтез и исследование алгоритма оценки активного статорного сопротивления асинхронного двигателя при заторможенном роторе // Энергетика. – 2013. – Вып. 1. – С. 33–39.
2. Peresada S., Lyshevsky S., Kovbasa S., Konoplinsky M. Identification of stator and rotor resistances of induction motor // Electrotechnic and computer systems. – Iss. 9/2013. – PP. 7–15.
3. Загирняк М.В., Родькин Д.И., Ромашин Ю.В., Черный А.П. Энергетический метод идентификации параметров асинхронных двигателей: монография. – Кременчуг: ЧП Щербатых А.В., 2013. – 164 с.
4. Stephan J., Bodson M. Real-time estimation of the parameters and fluxes of induction motors // IEEE Transactions on Industrial Applications. – Iss. 30/1994 (3). – PP. 746–759.
5. Marino R., Peresada S., Tomei P. On-line stator and rotor resistance estimation for induction motors // IEEE Transaction on control system technology. – 2000. – Iss. 8. – PP. 248–253.
6. Bilate A., Grotstollem H. Parameter identification of inverter fed induction motor at standstill with correlation method // Proc. of 5th European Conference on Power Electronics and Applications. – 1993. – Iss. 5. – PP. 97–102.
7. Hurst K.D., Habetler T.G., Griva G, Profumo F. Zero Speed tachless IM Torque Control: Simply a matter of Stator Voltage Integration // IEEE Transactions on Industry Applications. – Iss. 34/1998 (4). – PP. 790–795.
8. Каширских В.Г., Завьялов В.М. Идентификация параметров обмотки статора и цепи намагничивания асинхронного двигателя с помощью расширенного фильтра Калмана // Вестник КузГТУ. – 2002. – Вып. 3. – С. 17–21.
9. Каширских В.Г. Динамическая идентификация асинхронных электродвигателей: монография. – Кемерово: ГУ КузГТУ, 2005. – 139 с.
10. Чорний О.П., Титюк В.К. Особливості дослідження моделей систем електроприводу в *Simpowersystems* із ключовими елементами // Електромеханічні і енергозберігаючі системи. – Кременчуг: КрНУ, 2013. – Вып. 3/2013 (23). – С. 33–48.
11. Сипайлов Г.А. Кононенко Е.В., Хорьков К.А. Электрические машины (специальный курс): учебник для вузов по спец. «Электрические машины». – М.: Высшая школа, 1987. – 287 с.

stator of the asynchronous engine. **Methodology.** The method based on measurement and processing of phase tension and currents in the course of start of the asynchronous engine is by the most acceptable method for determination of the active resistance of the stator. **Results.** Operability of the offered method on mathematical model is proved. Accuracy of determination of active resistance of the stator by results of mathematical modeling is equal to 0.26 %. The possibility of substitution of the ideal integrating link by the equivalent aperiodic link with an element of transport delay in case of integration of sine signals is probed. The possibility of substitution of the ideal integrating link by the equivalent aperiodic link with an element of transport delay in case of integration of sine signals was investigated. It is shown that the active resistance of the stator can be calculated as the relation of a constant component of integrated function of voltage to a constant component of integrated function of current. Determination of a constant component of an integral signal of power voltage comes down to searching of amplitude and initial phase of integration of a signal of voltage. Definition of a constant component of an integrated signal of current of the stator comes down to search of parameters of an aperiodic component of starting current of the stator. Experimental research of the offered method of determination of active resistance of the stator in laboratory conditions are executed. **Originality.** Accuracy of determination of active resistance of the stator by results of mathematical modeling is equal to 7.8 %. **Practical value.** Accuracy of determination of active resistance can be increased by a preliminary filtration of the measured signals of current and voltage, specification of theoretical ideas of a form of an aperiodic component of current of the stator, increase in accuracy of determination of parameters of an aperiodic component of current of the stator on experimental data.

Key words: stator resistance determination, starting characteristics.

REFERENCES

1. Odnolko, D.S. (2013), "Sintez i issledovanie algo-ritma otsenki aktivnogo statornogo soprotivleniya asinhronnogo dvigatelya pri zatormozhennom rotore", *Energetika*, Vol. 1, pp. 33–39. (in Russian)
2. Peresada, S., Lyshevsky, S., Kovbasa, S. and Konoplinisky, M. (2013), "Identification of stator and rotor resistances of induction motor", *Electrotechnic and computer systems*, Vol. 9, pp. 7–15.
3. Zagirnyak, M.V., Rodkin D.I., Romashihin, Yu.V. and Chorny, O.P. (2013), *Energeticheskiy metod identifikatsii parametrov asinhronnykh dvigateley: monografiya* [Energy method of identification of parameters of asynchronous motors: monograph], ChP Scherbatyih A.V., Kremenchug. (in Russian)
4. Stephan, J. and Bodson, M. (1994), "Real-time estimation of the parameters and fluxes of induction motors", *IEEE Transactions on Industrial Applications*, Vol. 30, no. 3, pp. 746–759.
5. Marino, R., Peresada, S. and Tomei, P. (2000), "On-line stator and rotor resistance estimation for induction motors", *Transaction on control system technology*, Vol. 8, pp. 248–253.
6. Bilate, A. and Grottstollem, H. (1993), "Parameter identification of inverter fed induction motor at standstill with correlation method" [Proc. of 5th European Conference on Power Electronics and Applications], Vol. 5, pp. 97–102.
7. Hurst, K.D., Habetler, T.G., Griva, G. and Profumo, F. (1998), "Zero Speed Tachless IM Torque Control: Simply a matter of Stator Voltage Integration", [IEEE Transactions on Industry Applications], Vol. 34, no. 4, July/August 1998, pp. 790–795.
8. Kashirskih, V.G. and Zavyalov, V.M. (2002), "Identification of the parameters of the stator winding and the magnetizing circuit of the induction motor by means of the extended Kalman filter", *Vestnik KuzTU*, Vol. 3, pp. 17–21. (in Russian)
9. Kashirskih, V.G. (2005), *Dinamicheskaya identifikatsiya asinkhronnykh elektrodvigateley: monografiya* [Dynamic identification of asynchronous electric motors, monograph], GU KuzGTU, Kemerovo. (in Russian)
10. Chorny, O. and Tytyuk, V. (2013), "Research features of models of electric drives system with switching elements in Simpowersystems", *Elektromekhanichni i energozberigayuchi systemy*, Vol. 3, no. 23, pp. 33–48. (in Ukrainian)
11. Sipaylov, G.A., Kononenko, E.V. and Horkov, K.A. (1987), *"Elektricheskie mashiny" (spetsialnyy kurs), Uchebnik dlya vuzov po spets. "Elektricheskie mashiny"* [Electric machines (special course), training for universities on the specialty "Electric machines", Vysshaya shkola, Moscow. (in Russian)

Стаття надійшла 11.03.2017.