



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **79969** (13) **U**
(51) МПК (2013.01)
H02P 21/00

ДЕРЖАВНА СЛУЖБА
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ
УКРАЇНИ

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

(21) Номер заявки:	u 2012 12569	(72) Винахідник(и):	Огарь Віта Олександрівна (UA), Лиходій Ігор Олегович (UA)
(22) Дата подання заявки:	05.11.2012	(73) Власник(и):	КРЕМЕНЧУЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ МИХАЙЛА ОСТРОГРАДСЬКОГО, вул. Першотравнева, 20, м. Кременчук, Полтавська обл., 39600 (UA)
(24) Дата, з якої є чинними права на корисну модель:	13.05.2013		
(46) Публікація відомостей про видачу патенту:	13.05.2013, Бюл.№ 9		

(54) СИСТЕМА ВЕКТОРНОГО КЕРУВАННЯ АСИНХРОННИМ ДВИГУНОМ

(57) Реферат:

Система векторного керування асинхронним двигуном, яка синтезована в координатній системі $d, q, 0$, використовує прямий та квадратурний канали регулювання, значення потокозчеплення та швидкості визначаються за допомогою відповідних блоків із значень струмів та напруг статора, причому враховуються втрати у сталі шляхом введення в систему спостерігача стану за індуктивністю контуру намагнічування L_μ , спостерігач визначає L_μ з залежності $L_\mu = f(I_{\mu\Sigma})$, де за струм намагнічування $I_{\mu\Sigma}$ приймається струм прямого каналу I_d , уточнене значення L_μ використовується в адаптивних регуляторах та для уточнення розрахунку кутової швидкості двигуна, додатково застосовується фільтр сигналу кутової швидкості, який встановлений після блока розрахунку кутової швидкості.

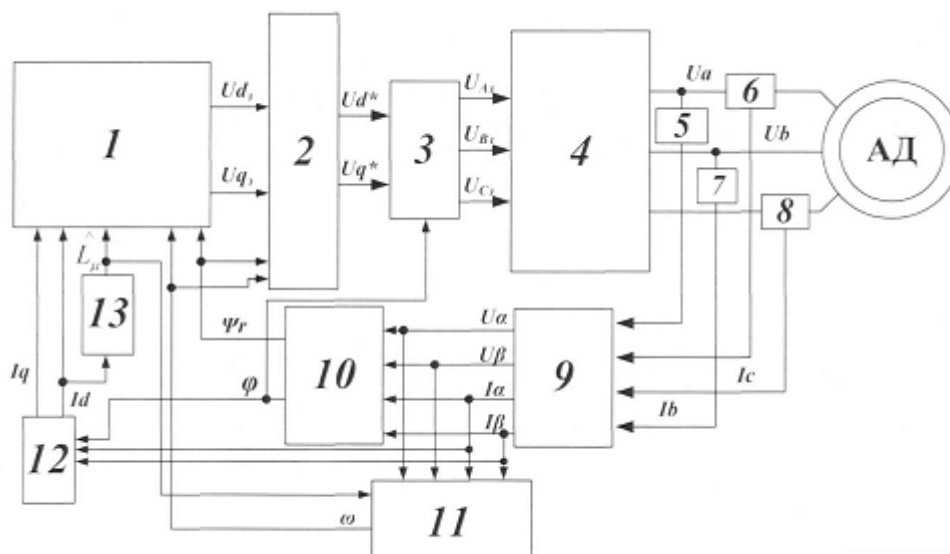


Fig. 1

UA 79969 U

Корисна модель належить до галузі систем автоматичного управління електроприводами змінного струму і може бути використана для частотного регулювання швидкості асинхронного двигуна (АД).

Аналогом заявленої системи є система підпорядкованого керування [Системы подчиненного регулирования электроприводов переменного тока с вентильными преобразователями. О.В. Слежановский, Л.И. Дацковский. И.С. Кузнецов и др. - М.: Энергоатомиздат.], яка містить два основні контури: контур регулювання потокозчеплення ротора і контур регулювання швидкості. Перший контур підтримує постійність потокозчеплення ротора, другий постійність швидкості обертання. Кожен контур складається із двох регуляторів швидкості (поток) та підлеглих їм регуляторів струму.

Для визначення потокозчеплення використовується датчик потоку, вбудований в АД та датчик швидкості, що під'єднується до валу двигуна.

Даний підхід підвищує точність регулювання, але є досить незручним, так як технологія монтажу датчиків потоку в АД є досить складною. Також збільшує кількість частин, що об'єднуються (датчик швидкості), а це в свою чергу зменшує надійність всієї системи.

Суттєві ознаки, що збігаються з заявленою системою: синтезована в обертовій координатній системі $d, q, 0$, що орієнтована за вектором потокозчеплення ротора; використання прямого та квадратурного каналів регулювання, що підтримують постійність вектору потокозчеплення ротора та кутової швидкості двигуна.

Відома система векторного керування електроприводом змінного струму [Соколовский Г.Г. Электроприводы переменного тока с частотным регулированием: учебник для студ. высш. учебн. зав. Г.Г. Соколовский. - М.: Академия, 2006. - 272 с], яка базується на взаємодії наступних функціональних складових: перетворювача частоти (ПЧ), з ланкою постійного струму; швидкодіючих струмових контурів, виконаних в нерухомій координатній системі (α, β) , блоку струмів та напруг з нерухомої координатної системи (α, β) в обертвову систему (d, q) , яка передбачає застосування контурів струмів за осями d та q каналів регулювання потокозчеплення та швидкості (i_{1d} та i_{1q}); перетворювачів координат прямого та зворотного каналів (ПКП і ПКЗ), які визначаються перетворенням Парка. Для отримання в перетворенні координат кута Θ - кута між віссю " α " нерухомої системи координат і віссю " d " системи, що обертається, у систему вводиться блок визначення модуля потокозчеплення ротора $|\Psi_r|$. Для визначення кутової швидкості використовується блок, який визначає величину кутової швидкості за різницею частоти обертання поля статора та частоти роторної ЕРС. Для того, щоб забезпечити незалежне керування потокозчепленням і швидкістю ротора, та виключити взаємний вплив проєкцій струмів статора, вводиться блок компенсації (БК) перехресних зв'язків.

Недоліком такої системи є те, що вона не враховує зміну індуктивності контуру намагнічування та підвищення струму намагнічування за рахунок негативного впливу втрат в сталі. Останні чинять суттєвий вплив на динамічні характеристики бездатчикової системи векторного керування АД.

Суттєві ознаки, що збігаються з заявленою системою: синтезована в обертовій координатній системі $d, q, 0$, що орієнтована за вектором потокозчеплення ротора; використання прямого та квадратурного каналів регулювання, що підтримують постійність вектору потокозчеплення ротора та кутової швидкості двигуна; використання блоків визначення потокозчеплення ротора та кутової швидкості.

Дана система вибрана за прототип корисної моделі, що заявляється.

Задачею даної корисної моделі є підвищення якості регулювання системи векторного керування АД за рахунок урахування негативного впливу втрат у сталі.

Поставлена задача вирішується шляхом введення у систему векторного керування АД адаптивних регуляторів потоку та швидкості, які адаптуються за уточненим значенням індуктивності контуру намагнічування, що визначається за допомогою спостерігача стану цієї величини. Також значення цієї індуктивності використовується при визначенні швидкості обертання ротора.

Корисна модель дозволяє покращити характеристики струмів, моменту на валу та кутової швидкості двигуна при пуску, суттєво знизити коливання моменту в усталеному режимі, зменшити статичну похибку регулювання швидкості на 0,6 % при номінальній швидкості обертання та на 6,6 % при низькій швидкості обертання (10 рад/с).

Корисна модель пояснюється кресленнями, де на фігурі 1 зображена блок-схема системи, на якій прийняті такі позначення: 1 - блок регуляторів; 2 - блок компенсації перехресних зв'язків;

3 - блок перетворення координат із $d, q, 0$ у A, B, C ; 4 - автономний інвертор напруги; 5, 6 - датчики напруги; 7, 8 - датчики струму; 9 - блок перетворення координат із A, B, C у $\alpha, \beta, 0$; 10 - блок визначення вектора потокозчеплення ротора та кута його повороту; 11 - блок визначення кутової швидкості двигуна; 12 - блок перетворення координат з $\alpha, \beta, 0$ в $d, q, 0$; 13 - спостерігач

стану за індуктивністю контуру намагнічування. На фігурі 2 зображена схема заміщення АД, на якій прийняті такі позначення: r_1, r'_2, r_b - активний опір статора, приведений активний опір ротора та активний опір контуру вихрових струмів відповідно; L_1, L_2, L_b, L_μ - індуктивності статора, ротора, контуру вихрових струмів та контуру намагнічування відповідно. На фігурі 3 зображено залежність індуктивності контуру намагнічування L_μ від струму намагнічування I_μ .

Система синтезована за принципом підпорядкованого регулювання (фіг. 1). Система має 2 канали регулювання прямий та квадратурний з регуляторами синтезованими в координатній системі $d, q, 0$. Прямий канал складається з регулятора потокозчеплення та підпорядкованого йому регулятора прямого струму I_d . Вхідним сигналом керування є різниця сигналів завдання та реального значення потокозчеплення що визначається в блоці 10 за наступними залежностями:

$$\Psi_r = \sqrt{\Psi_{r\alpha}^2 + \Psi_{r\beta}^2};$$

$$\Psi_{r\alpha} = \frac{1}{P} \frac{L_r}{\hat{L}_\mu} \left(u_{s\alpha} - R_s i_{s\alpha} - \sigma L_r \frac{di_{s\alpha}}{dt} \right);$$

$$\Psi_{r\beta} = \frac{1}{P} \frac{L_r}{\hat{L}_\mu} \left(u_{s\beta} - R_s i_{s\beta} - \sigma L_r \frac{di_{s\beta}}{dt} \right);$$

де $\Psi_{r\alpha}$ - проекція вектора потокозчеплення на вісь нерухомої системи координат α , $\Psi_{r\beta}$ - проекція вектора потокозчеплення на вісь нерухомої системи координат, $u_{s\alpha}$ та $u_{s\beta}$ - проекції векторів напруг на відповідні осі, $i_{s\alpha}$ та $i_{s\beta}$ - проекції векторів струмів на відповідні осі, R_s - активний опір статора, L_r - індуктивність ротора, \hat{L}_μ - уточнене значення індуктивності контуру намагнічування, σ - коефіцієнт розсіювання.

Різниця вихідною сигналу регулятора потокозчеплення та реальне значення струму I_d (отриманого за допомогою датчиків струму та блока перетворення координат) є вхідним сигналом для регулятора струму прямого каналу.

Квадратурний канал складається з двох регуляторів: швидкості та підпорядкованого йому регулятора прямого струму I_d . Працює за тим же принципом, що і прямий канал. Значення кутової швидкості визначається за допомогою відповідного блоку 11 структура якого така ж як і в прототипі, єдиною відмінністю є використання уточненого значення індуктивності контуру намагнічування, що вираховується за допомогою блока 13. Також в блоці 11 встановлений фільтр з передаточною функцією: $W_f = \frac{1}{T_f p + 1}$, що зменшує реагування системи на

високочастотні стрибки швидкості та збільшує її стійкість. Всі регулятори розташовані в блоці 1, мають пропорційно-інтегральну структуру та такі передаточні функції:

$$W_{PC}(p) = k_p + \frac{k_i}{p}; k_p = \frac{\sigma L_s}{2T_{KC}k_{\Gamma}k_{\partial c}}; k_i = \frac{R_s}{2T_{KC}k_{\Gamma}k_{\partial c}};$$

$$W_{P\omega}(p) = k_{p\omega} + \frac{k_{\omega i}}{p}; k_{p\omega} = \frac{JL_r k_{\partial c}}{3Z_p \hat{L}_\mu k_{\partial \omega} T_{K\omega}}; k_{\omega i} = \frac{JL_r k_{\partial c}}{12Z_p \hat{L}_\mu k_{\partial \omega} T_{K\omega}^2};$$

$$W_{P\psi}(p) = k_{ep} + \frac{k_{ei}}{p}; k_{ep} = \frac{k_{\partial c} T_r}{2T_{KE} \hat{L}_\mu \omega_{\Psi_{max}}}; k_{ei} = \frac{k_{\partial c}}{2T_{KE} \hat{L}_\mu \omega_{\Psi_{max}}}.$$

Виходи з регуляторів струму подаються до блока компенсації перехресних зв'язків 2, який запобігає впливу одного каналу на інший. Далі сигнали подаються до блока перетворення координат із $d, q, 0$ у A, B, C 3. З блоку 3 виходять сигнали завдання фазних напруг, що керують трифазним інвертором напруги 4, від якого живиться АД. Значення струмів та напруг знімаються за допомогою відповідних датчиків 5, 6, 7, 8. За допомогою блока перетворення координат 9 ці

сигнали проектується в координатну систему $\alpha, \beta, 0$. Перетворені значення струмів та напруг використовуються для визначення кутової швидкості двигуна (блок 11), потокозчеплення та кута повороту між координатними системами (блок 10). Так як система синтезована в координатній системі $d, q, 0$, значення струмів, що подається на регулятори блока 1, повинно буде спроектоване в відповідну координатну систему. Це завдання виконує блок 12.

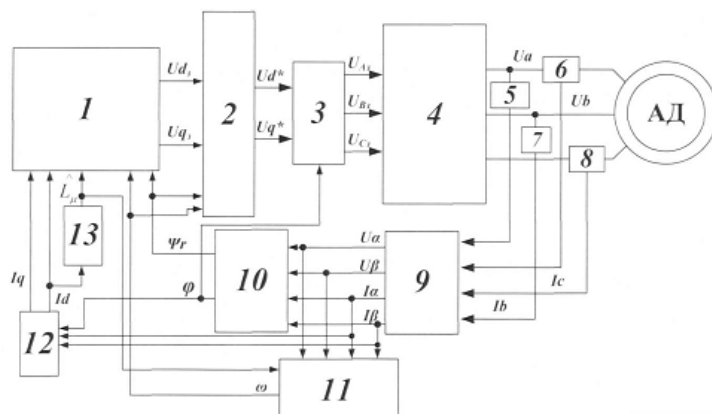
Врахування втрат у сталі пояснюється схемою заміщення представленою в фіг. 2.

В даній схемі контур намагнічування розділюється на дві частини. Контур вихрових струмів та основний нелінійний контур намагнічування, в якому враховане явище гістерезису виходячи з гістерезисної кривої намагнічування. Компенсація впливу втрат в сталі на динамічні характеристики системи виконана наступним чином. В лінійній моделі АД потокозчеплення контуру намагнічування Ψ_μ , лінійно залежить від струму намагнічування I_μ , тобто $\Psi_\mu = L_\mu I_\mu$.

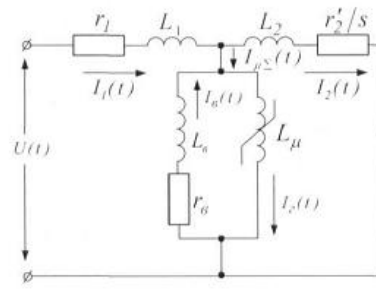
При врахуванні втрат в сталі ця залежність стає нелінійною $\Psi_\mu = f(I_{\mu\Sigma})$, має вигляд петлі гістерезису, крім того струм намагнічування стає менше від розрахункового за рахунок вихрових струмів. Отже для отримання потрібного значення потокозчеплення намагнічування Ψ_μ потрібний більший струм намагнічування, більш того, потокозчеплення досягне потрібного значення з деякою затримкою, що зумовлено явищем гістерезису. Для отримання потрібного значення потокозчеплення скористаємось залежністю $\Psi_\mu = \hat{L}_\mu I_{\mu\Sigma}$, де \hat{L}_μ - миттєве значення індуктивності контуру намагнічування, яке визначається за допомогою значення струму I_d при умові, що $I_d \approx I_{\mu\Sigma}$. Значення індуктивності намагнічування вираховується з залежності $L_\mu = f(I_{\mu\Sigma})$ представленої на фіг. 3, де $I_{\mu\Sigma}$ - результуючий струм намагнічування, що визначається з: $I_{\mu\Sigma} = I_\mu - I_v$, де I_μ - основний струм намагнічування; I_v - вихровий струм. Для компенсації впливу втрат в сталі на динамічні характеристики системи враховуємо миттєве значення індуктивності намагнічування \hat{L}_μ в регуляторах швидкості та потокозчеплення. Також в виразах для визначення потокозчеплення та швидкості обертання ротору двигуна.

ФОРМУЛА КОРИСНОЇ МОДЕЛІ

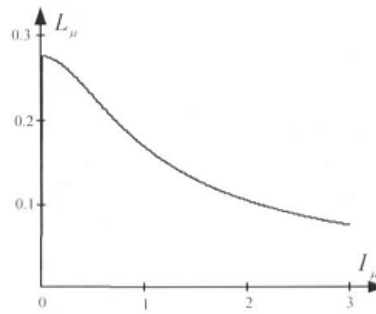
Система векторного керування асинхронним двигуном, яка синтезована в координатній системі $d, q, 0$, використовує прямий та квадратурний канали регулювання, значення потокозчеплення та швидкості визначаються за допомогою відповідних блоків із значень струмів та напруг статора, яка **відрізняється** тим, що враховуються втрати у сталі шляхом введення в систему спостерігача стану за індуктивністю контуру намагнічування L_μ , спостерігач визначає L_μ з залежності $L_\mu = f(I_{\mu\Sigma})$, де за струм намагнічування $I_{\mu\Sigma}$ приймається струм прямого каналу I_d , уточнене значення L_μ використовується в адаптивних регуляторах та для уточнення розрахунку кутової швидкості двигуна, додатково застосовується фільтр сигналу кутової швидкості, який встановлений після блока розрахунку кутової швидкості.



Фиг. 1



Фиг. 2



Фиг. 3

Комп'ютерна верстка В. Мацело

Державна служба інтелектуальної власності України, вул. Урицького, 45, м. Київ, МСП, 03680, Україна

ДП "Український інститут промислової власності", вул. Глазунова, 1, м. Київ – 42, 01601