

ЗАСТОСУВАННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ

УДК: 62-83::621.313.3

І. В. Сметана, асп.

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА УСТАНОВКА ДЛЯ РЕАЛІЗАЦІЇ СКЛАДНИХ ВИСОКОТОЧНИХ АЛГОРИТМІВ КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДОМ ЗМІННОГО СТРУМУ

Розглянуто основні модулі та принципи побудови експериментальної установки для апробації наявних та реалізації нових алгоритмів керування електроприводом змінного струму. Для усунення недоліків пов'язаних із різного роду збоями в системі, запропоновано компактний варіант конструкції установки. За допомогою прикладного програмного забезпечення реалізовано відомі алгоритми систем керування АД з к.з. ротором.

Вступ та постановка проблеми

З розвитком напівпровідникової та мікропроцесорної техніки наприкінці минулого століття, відбулося значне вдосконалення систем керування електроприводами. Сучасні системи керування повинні мати високу швидкодію, малі габарити, зручне програмування, обмінюватися великими обсягами даних, що висуває високі вимоги до мікропроцесорної техніки. В свою чергу, введення МОН технологій у виробництві силових напівпровідникових пристроїв, а саме біполярних транзисторів з ізольованим затвором (IGBT), ґрунтовно вплинуло на підходи до побудови силових електронних автономних інверторів напруги. Сьогодні на ринку присутні відомі світові виробники електропривідної техніки ABB, Schneider Electric, Siemens, які пропонують швидкі та комплексні вирішення задач електроприводу та автоматизації [7, 8]. Перетворювачі частоти цих виробників побудовані на принципі векторного керування, що значно покращує характеристики електроприводу як в статичній так і в динамічній у порівнянні з класичним частотним керуванням [9]. В свою чергу, враховуючи підвищення вимог до систем з векторним керуванням, на сьогоднішній день існує велика кількість алгоритмів їх реалізації з використанням різноманітних способів ідентифікації, регулювання координат та формування впливів керування. Проте, жодна з фірм-виробників не дає достатньої інформації, який саме алгоритм векторного керування використовується, вважаючи це своїм ноу-хау.

Поряд з цим, для проведення досліджень та реалізації бездатчикових високоточних алгоритмів керування двигунами змінного струму необхідним є створення експериментальної установки. Така установка повинна передбачати можливість реалізації як наявних алгоритмів керування електроприводами змінного струму, так і апробації нових підходів для поліпшення характеристик електроприводу. Для розв'язання цих задач, нами пропонується експериментальна установка на базі інтегрованого інтелектуального силового модуля фірми Mitsubishi Electric – IPM PS11015. З точки зору малих енергозатрат та спрощення конфігурації електричної схеми, потужність силового модуля складає 1,5 кВт. Для реалізації системи керування застосовано один з найсучасніших мікроконтролерів на базі ЦПОС фірми Texas Instruments – TMS320F2812 (рис. 2). Використання цього мікроконтролера пов'язане з тим, що він містить спеціальні периферійні пристрої для реалізації алгоритмів керування двигунами та механізмами, а зручне програмне середовище з C/C++ компілятором дозволяє швидко, ефективно та наочно впроваджувати і відлагоджувати програми.

Виклад основного матеріалу

Короткий опис основних блоків перетворювача частоти.

Експериментальна установка, принципова схема якої зображена на рис. 1, складається з таких основних частин: блок живлення постійною напругою на основі однофазного мостового випрямляча; силовий інтелектуальний модуль на основі IGBT-транзисторів; датчики струму фаз статора двигуна змінного струму; модуль гальванічної розв'язки на оптопарах; мікроконтролер на базі ЦПОС TMS320F2812; ПК з програмним забезпеченням.

Силовий інтелектуальний модуль IPM (intelligent power module) — це електронний модуль із силових напівпровідникових ключів, керованих затвором, за допомогою якого реалізовано автономний інвертор напруги. Застосування такого модуля забезпечує значне спрощення електричної схеми, оскільки в ньому інтегровано велику кількість необхідних схем та функцій, зокрема: реалізація схем приводу ключів — так званих «драйверів»; схеми захисту від к. з. в навантаженні, від одночасного спрацювання обох ключів однієї фази з витримкою часу, від перевантаження за струмом, від відхилення параметрів джерела живлення для власних потреб, від перевищення температури (яка контролюється за допомогою датчика), що описано в [1, 2].

Для зручного програмування ЦПОС та відлагодження програм застосовано мікроконтролер фірми Spectrum Digital (модель eZdsp TMS320F2812) на базі сигнального мікропроцесора TMX320F2812, основні блоки та функції якого описано в [3, 4, 5, 6]. Він має такі технічні характеристики 150 МГц (час циклу 6,67 нс); 18 К слів вбудованої ОП; 128 К слів Flash; 64 К слів ПП; 30 МГц осцилятор з помножувачем; 2 комунікатори розширення; вбудований контролер JTAG (стандарт IEEE 1149.1). Для реалізації керування двигунами та механізмами використано менеджер завдань, який входить у ЦПОС та містить спеціальну апаратну логіку формування ШІМ (широкоімпульсна модуляція) сигналів, два програмовані таймери, три незалежних регістри порівняння, формування запиту на переривання за різними ознаками, логіка формування так званої «мертвої зони» тощо.

Запуск експериментальної установки

На початковому етапі, експериментальна установка була зібрана із модулів, що зображені на рис. 1а, які розміщувались на окремих платах. Плати були закріплені в спеціальному корпусі в послідовності за логікою з'єднань. Кожна з плат містила входи/виходи та входи для живлення. При цьому утворилися складні шинні з'єднання довжинами більше 8...10 см, що знаходились поблизу силових кабелів. Мікроконтролер був запрограмований на пуск двигуна по частоті, що лінійно наростає до 50 Гц із формуванням закону частотного керування $U/f = \text{const}$. Формування трифазної напруги статора на виході інвертора відбувалось за асиметричним синусоїдальним алгоритмом ШІМ.

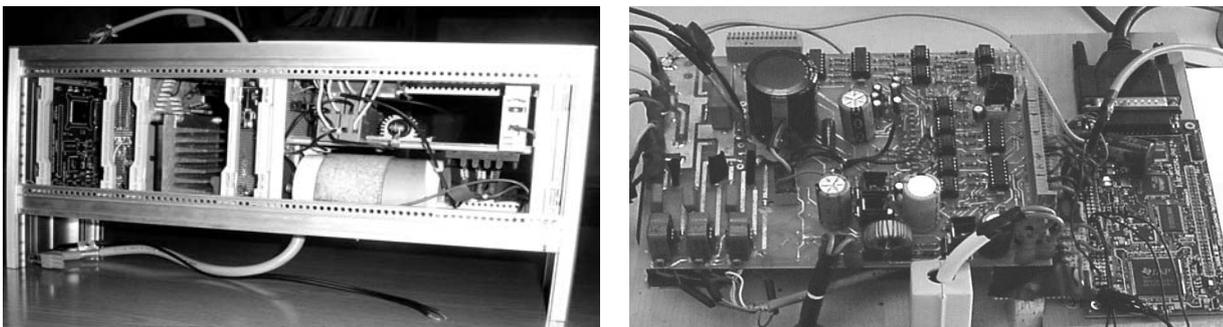


Рис. 1. Фото установки з перетворювачем частоти: а) початковий варіант; б) кінцевий варіант

Тестовий запуск відбувався з частотою ШІМ 10 кГц, пониженою напругою 70 В в колі постійного струму. Сигнал напруги на виході датчиків струму, прямопропорційний струму фази статора для з'єднання в зірку, перетворювався у цифровий за допомогою вбудованого АЦП. Проте, як показали дослідження сигналів керування вентилями інвертора, за рахунок наведень в шинних кабелях не вдалось досягнути бажаного часу спрацювання силових ключів, який задавався програмно, як показано на рис. 2а. Найкритичнішим, з точки зору між-

провідної ємності та впливу високочастотних електромагнітних хвиль, виявився зв'язок між платою гальванічної розв'язки на оптопарах та платою з силовим модулем. Після цього були прийняті рішення про мінімізацію шинних з'єднань, їх екранування, використання фільтрів на входах, заземлення усіх корпусних частин, тощо. Проте навіть такі превентивні заходи, в разі максимальної напруги в колі постійного струму 310 В, не дали змоги досягнути бажаної точності у формуванні сигналів керування вентилями. Окрім цього, для даної конструкції за максимальної напруги характерні збої в TTL-логіці, що супроводжуються високочастотними піками в живленні ядра ЦПОС (1,8 В) і, як наслідок, його резетування. При цьому бета-версія TМХ320F2812 не стійка до таких збоїв, а також до електростатичних розрядів і після певного часу експлуатації сам ЦПОС виходить з ладу. Враховуючи вищесказане, нами було прийнято рішення про виготовлення нової конструкції, на базі однієї інтегрованої плати, яка б містила силовий модуль, гальванічну розв'язку на оптопарах та додаткові живлення — рис. 16. Це дозволило досягнути 2–3 см відстані безпосередньо між виходами з оптопар та входами силового модуля. Така конструкція показала себе як задовільна, коли при повній напрузі живлення в колі постійного струму момент спрацювання силового ключа співпадав з моментом формування сигналу керування мікроконтролером — рис. 26. Окрім цього, для підвищення надійності установки, ЦПОС плати мікроконтролера було замінено з TМХ версії на версію TMS (TMS320F2812), яка є так званою «білою» версією і повністю протестована на надійність в умовах електростатичних розрядів та збоїв живлення. Новий варіант конструкції забезпечив безперебійну роботу перетворювача частоти в усіх режимах роботи електроприводу та з частотами ШІМ від 5 кГц до 20 кГц.

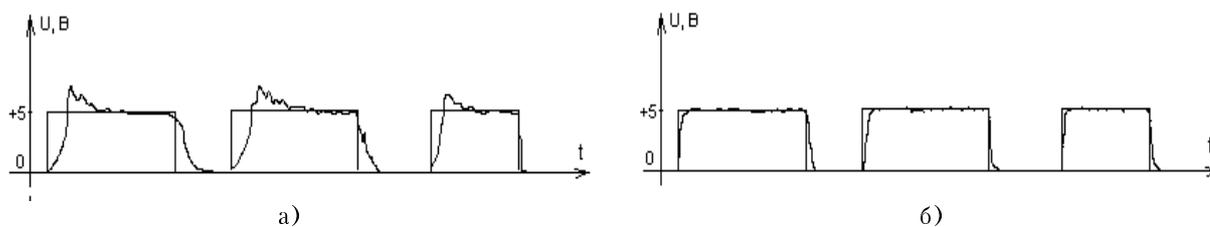


Рис. 2. Керувальний сигнал мікроконтролера та сигнал на вході силового модуля для: а) початкового варіанту конструкції; б) кінцевого варіанту

На сьогоднішній день в даній установці нами реалізовано два класичних алгоритми керування АД з к.з. ротором, які широко застосовуються в промислових перетворювачах частоти, а саме: частотне керування з застосуванням синусоїдальної ШІМ; класичне векторне керування з використанням ШІМПВ (широкоімпульсна модуляція просторового вектора) закону формування напруги статора. Зв'язок експериментальної установки з ПК забезпечує достатню простоту в обробці інформації. Зокрема, на рис. 3 зображено струми фаз А, В (U, V) для обох методів керування. Внаслідок застосування векторного керування гармонічний склад струмів статора є дещо кращим ніж у випадку частотного керування. Цей результат підтверджується наведеними в літературі даними, зокрема в технічних документаціях промислових виробів про переваги застосування алгоритму векторного керування [7, 8, 9].

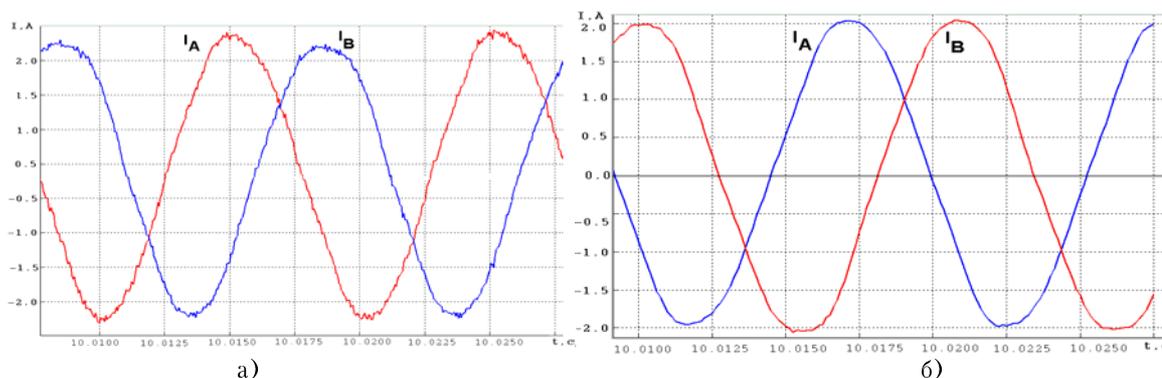


Рис. 3. Струми фаз А, В статора двигуна в режимі $0,8M_n, \omega_n$ у разі застосування: а) частотного керування (U/f закон); б) класичного векторного керування з ПІ-регуляторами струму з ШІМПВ

Висновки

За допомогою проведених досліджень проблем електромагнітної сумісності прийнято необхідні схемні та монтажні вирішення, що запобігають появі вищеописаних недоліків, які значно погіршують функціонування установки особливо при високих частотах перемикання ключів інвертора. Прийняті рішення можуть бути також застосовані для виготовлення потужніших зразків або для конфігурування інших типів перетворювачів на вищеописаній елементній базі.

Спроектвана та виготовлена експериментальна установка претворювача частоти є унікальним на сьогоднішній день лабораторним стендом, що дозволяє реалізовувати складні алгоритми керування, які вимагають високих затрат ресурсів пам'яті та швидкодії (150 мільйонів інструкцій за секунду). Вибраний мікроконтролер забезпечує також простоту переналадження системи керування та наглядність отриманої інформації. Це дозволяє легко порівняти відомі алгоритми керування та випробувати нові, а саме: системи векторного керування з інтелектуальними блоками керування та ідентифікації, замкнені естиматори та різноманітні пристрої спостереження координат, тестування двигуна з визначенням його параметрів тощо.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Новиков Г. А. Руководство по применению биполярных транзисторов с изолированным затвором (IGBT) и «разумных» силовых модулей (IPM) третьего поколения. Пер. с англ. — Киев, 1997. — 143 с.
2. MITSUBISHI SEMICONDUCTOR Inc. «Application Specific Intelligent Power Module PS11016». — 2000. — 5 с.
3. TMS320C28x 1-Day Workshop, student guide / Texas Instruments // Dallas, Texas, «ТТО». — 2003.
4. TMS320F28x DSP Peripheral Reference Guide / Texas Instruments // 2002. — 4 с. — <http://www.ti.com>
5. TMS320F28x Analog-to-Digital Converter (ADC) Peripheral Reference Guide / Texas Instruments. — 2002. — 39 с. — <http://www.ti.com>
6. TMS320F28x Event Manager (EV) Peripheral Reference Guide / Texas Instruments. — 2002. — 90 с.
7. <http://www.abb.com/global/abbzh/abbzh251>; <http://www.schneider-electric.ru/intl/ru/catalog/elecetric.shtm.nsf>;
<http://www.abb.com/global/seitp/seitp322.nsf>.
8. <http://www.schneider-electric.com.ua/news/> <http://www.schneider-electric.ru/intl/ru/catalog/elecetric.shtm>.
9. <http://www.siemens.com/index.jsp>; <http://www.ad.siemens.de/mc/simotion/en/ff92aa59>.

Рекомендована кафедрою електронних систем автоматизації

Надійшла до редакції 19.10.04.
Рекомендована до друку 10.11.04.

Сметана Ігор Володимирович — аспірант кафедри електричних машин.
Національний університет «Львівська політехніка»