

Перспективи при управлението на двигатели с цифрови сигнални процесори - DSP

инж. Георги Найденов Величков - ИУСИ - БАН - секция ПИО Пловдив
доц. г-р инж. Румен Димитров Каров - ТУ - София - филиал Пловдив

Abstract

The motor control industry in general demands increasing levels of system integration from their silicon provider. The principle of vector control of electrical drives is based on the control of both the magnitude and the phase of each phase current and voltage. The most common of these accurate vector controls with DSP is presented in this paper: the Field Orientated Control, a digital implementation which demonstrates the capability of performing direct torque control, of handling system limitations and of achieving higher power conversion efficiency.

1. Въведение

През последните няколко години евшините ендочипови микрокомпютри и подобренията на разработките в областта на ключовите дискретни елементи за силовата електроника, увеличиха значително обхвата на електронно управляваните променливо скоростни приложения. DSP микроконтролерите имат предимствата на едночипова система комбинирана с мощността на високо-скоростното ядро на DSP. Това изпълнение позволява добавката на много допълнителни функции за подобряване управлението на двигателите и за намаляване на себестойността на продукта.

2. Архитектура на ядрото на DSP

Цифровите сигнални процесори се характеризират с висока скорост на изпълнение на математическите пресмятания реализирана с един цикъл за умножение и натрупване [1]. Ядрото на DSP съдържа три независими блока за математически операции АЛУ, блок за умножение и натрупване БУН, и преместващ блок ПБ. Това е модифицирана Харвардска архитектура с две шини за данни, две адресни шини и шина за резултатите. Когато се включат и два даннови адресни генератора - ДАГ1 и ДАГ2, DSP може да изпълнява едновременно една аритметична инструкция и две четения от паметта за един цикъл. По този начин е възможно реализирането на

цифров филтър и алгоритми за компенсация с няколко реда асемблерен код за минимален брой системни тактове.

Най-важната черта, която отличава DSP от микроконтролерите е инструкцията за умножение и натрупване, която се осъществява за един системен такт. Тази инструкция комбинира умножение 16x16 бита и събиране 32 бита, всички реализирани с една инструкция, която при 33MHz тактова честота отнема само 30ns. Освен това инструкцията може да се комбинира с четене от програмната или даннова памет за формиране на ядрото на алгоритъма за цифровия филтър.

Когато се сравнят скоростта на пресмятане с 8 или дори 16 битови микроконтролери е очевидно, че DSP има значително предимство пред тях по отношение на приложенията за управление на двигатели [2]. Това ще доведе до тяхното увеличено използване във високо надеждни приложения като роботиката и металообработващите машини.

3. Приложение на DSP микроконтролерите

Основното, което отличава DSP микроконтролера от другите устройства при управление на двигатели са ползваните периферни устройства. При серво приложения и приложения с променлива скорост използвания инвертор е един и същ, обаче при серво приложенията скоростта и точността на сигнала от обратната връзка са с една степен по-високи.

3.1. Роторно управление на променливотоково серво устройство

При аналогово-цифровата технология или микроконтролерно базирани системи с аналогова обратна връзка по ток, двигателя се задвижва от инвертор, който контролира тока в намотките му. Тази хардуерна конфигурация определя закон за регулиране по вектора на магнитния поток в статора на двигателя. Въпреки това, възможна е и реализация на закон за регулиране по вектора на потока в ротора. Предимството при управление по вектора на потока в ротора е, това че статорните токове са явяват квази постояннотови променливи с компоненти представляващи момента и полето в двигателя. Машинният модел в този случай е сходен с този на класическия

постояннотоков двигател, който изисква много по упростен закон на регулиране [3].

3.1.1. Архитектура на управлението

Философията на управлението при приложения използващи регулиране по вектора на потока в ротора се обяснява с дадената по-долу фигура 2. Обратната трансформация използва измерените статорни токове като входни данни, а изходните данни са токовете I_q и I_d . Алгоритъмът за управление изчислява необходимите напрежения V_d и V_q според машинния модел на двигателя. Следва право преобразуване и формиране на трите фази на напрежението за въздействие върху инвертора.

3.1.2. Внедряване на управлението

Типично внедряване на управлението по вектора на потока в ротора е дадено на фиг.3. Позицията на ротора се измерва директно чрез отчитащо устройство и се преобразува в цифров формат. Контролера за позицията и честотата на въртене на ротора е от линейно-квадратичен Гаусов тип, който дава оценка на скоростта и смущенията във въртящия момент на ротора. Необходимо е този контролер да има добри динамични показатели и компенсация на грешките от квантуване, възникващи при ниски скорости на въртене на ротора [4]. Всички изчисления при управлението се правят по вектора на потока в ротора. Пропорционално интегралните регулатори за токовете I_d и I_q се проектират, за да се елиминират неточностите в машинния модел на двигателя.

Реализацията на така описаната схема става с помощта на DSP микрокомпютър, аналого-цифров преобразувател, отчитащо устройство за позицията на ротора, таймери за модулация на управляващите сигнали към инвертора, инвертор. Токовете подавани към статора на двигателя могат да се измерят с датчик на Хол. След това тези токове се преобразуват чрез аналого-цифров преобразувател, който се синхронизира с модулираната честота на таймерите. Това позволява алгоритъмът за управление лесно да се синхронизира с модулираната честота. Измерените токове от фазите на двигателя се подават към DSP след стартиране на всеки модулационен цикъл, а между началата на всеки такъв цикъл се пресмятат напреженията подавани към инвертора, респективно статора на двигателя.

4. Класически променливотоков двигател

В структурата на променливотоковия двигател се прилагат три пространствено разположени на 120 градуса едно спрямо друго, статорни синусоидални напрежения. Основно генерирането на тези три синусоидни напрежения се определя от електромеханичните характеристики на двигателя и от еквивалентния му модел в устойчиво състояние. Освен това, управлението прилича на три отделни еднофазни системи за управление или по-точно като управление на трифазна система. Някои от общите черти са:

- Машинният модел и използваните характеристики са валидни само при устойчиво състояние. Това позволява при управлението да се разрешава използването на високи пикови стойности на напреженията и токовете. Това от своя страна нанася вреди не само на динамичните характеристики, но и на ефективността на преобразователните характеристики на инвертора. Допълнително елементите на инвертора трябва да се оразмеряват за възникващите високи пикови стойности на тока и напрежението.

- Голямата трудност при управление на променливи синусоидални величини: Пропорционално-интегралните регулатори не могат да направят синусоидално регулиране без да внесат изкривявания в синусоидалните величини, а хистерезисните контролери внасят високочестотен шум в системата за управление, който трудно се отстранява в изхода.

- Няма управление на дисбаланса на трифазната система. Няма решения за взаимното влияние между фазите.

- Схемата за управление трябва да се отнася за асинхронен или синхронен тип двигател.

5. Дефиниране и проекция на векторите

Трифазните напрежения, токове и потоци на променливотоковите двигатели могат да се анализират като пространствени вектори. Предполагаме, че i_a , i_b , i_c са моментни токове в статорните фази, тогава комплексния вектор на статорния ток i_s се дефинира от:

$$\bar{i}_s = i_a + \alpha i_b + \alpha^2 i_c$$

където, $\alpha = e^{j\frac{2}{3}\pi}$ и $\alpha^2 = e^{j\frac{4}{3}\pi}$ представят пространствените оператори. На диаграмата се показани статорните вектори на тока и резултатния комплексен вектор, (a,b,c) са осите на трифазна система. Тези токови вектори обрисуват трифазна синусоидална система. Те ще трябва да се преобразуват в двуфазна координатна система. Трансформирането може да се раздели на два етапа:

- (a,b,c) > (α, β) (трансформация на Кларк), чиито изходи са в двукоординатна варираща система.

- (α, β) > (d,q) (трансформация на Парк), чиито изходи са в двукоординатна неварираща система.

6. Пропорционално-интегрален регулатор

Всяка електрическа машина, която е векторно управлявана се нуждае от две константи: компонент на момента I_{sqref} и компонент на потока I_{sdref} . Класическият пропорционално-интегрален регулатор, реализиран по цифров начин е подходящ за регулиране на компонентите на момента и потока, получени по обратната връзка. Тези компоненти се коригират до желани стойности чрез въздействие върху пропорционалната и интегрална части по отношение на константно зададени такива. Численото изражение на пропорционално-интегралния регулатор е както следва:

$$U_k = K_{pi} e_k + K_i e_k + \sum_{n=0}^{k-1} e_n$$

което може да се представи с фигурата 4.

6. Трифазен инвертор

Структурата на типичен трифазен инвертор е показана на фигура 5, където V_a, V_b, V_c са напрежения приложени към свързаните в звезда статорни намотки, а V_{dc} е входното напрежение за инвертора, което е с постоянна стойност.

Шесте ключа могат да бъдат мощни биполярни, MOS или IGB транзистори, както и GTO тиристоры. Последователността на включване/изключване на всички ключове трябва да отговаря на следните условия:

- три от ключовете винаги трябва да са изключени и три да са винаги включени.

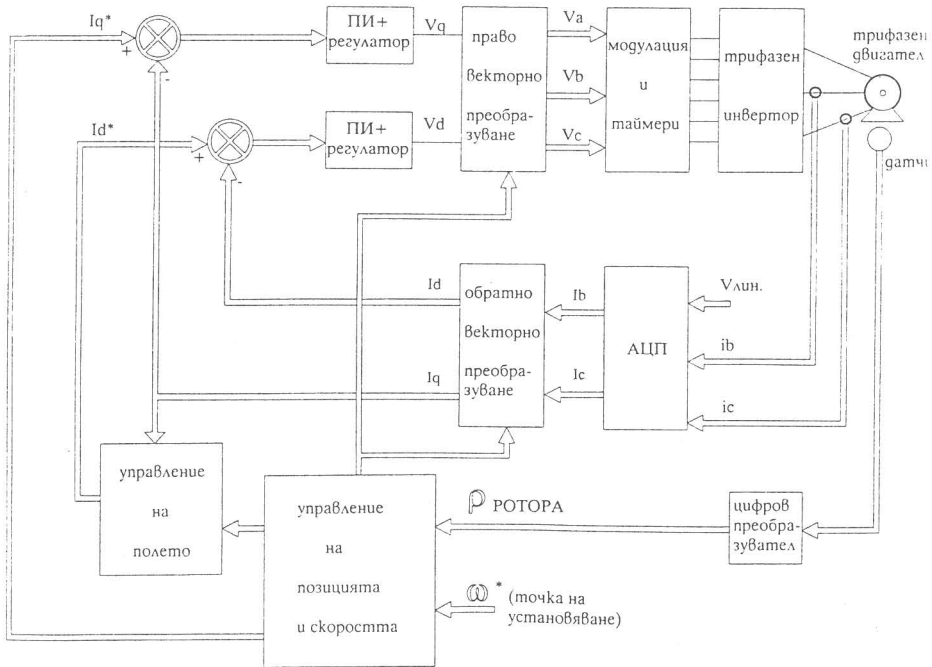
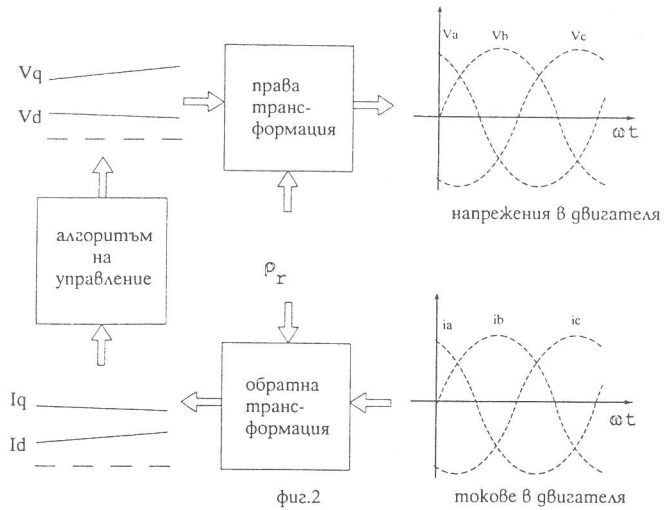
- ключовете в горното и долното рамо на инвертора от една и съща двойка се управляват с два комплементарни импулса. По този начин се елиминира възможността от вертикално провеждане на ток в съответната двойка ключове.

7. Заключение

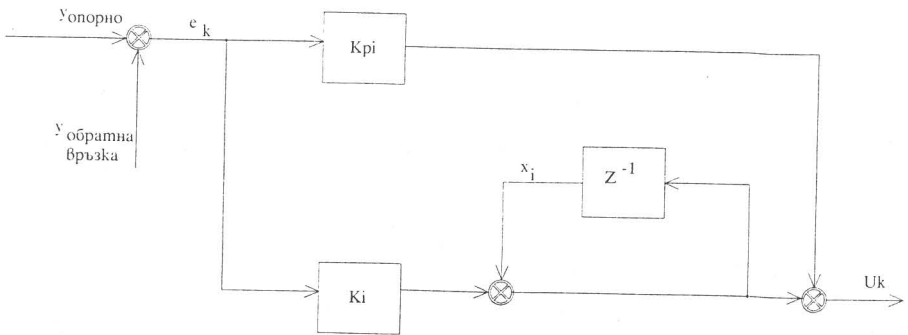
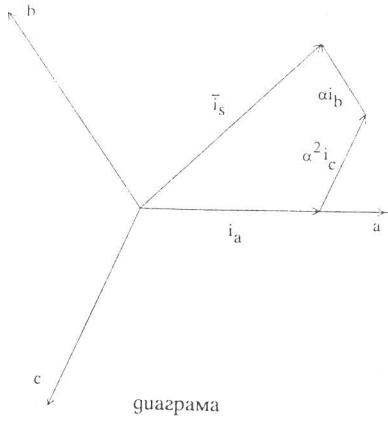
Статията описва възможността за реализация на векторно управление на трифазни променливотокови двигатели. При внедряване на алгоритъма на този вид управление се използва цифров сигнален процесор - DSP. Така се постига елиминиране на допълнителния хардуер между микроконтролера и инвертора и се подобряват динамичните характеристики на управлявания обект.

Библиография:

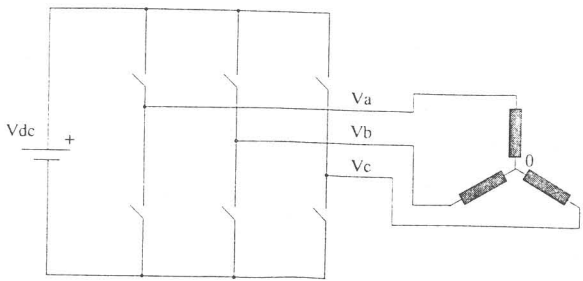
- [1] A. Murray and P.Kettle "Towards a single chip DSP based motor control solution" Nurenberg, May 1996;
- [2] Jouve, D. "Ripple Free Torque Control For Brushless Servo Drive Applications" Las Vegas, USA 1996;
- [3] F.Flett "Silicon Control Algorithms for brushless permanent magnet synchronous machines" Nurenberg, June 1991;
- [4] P.Kettle "Robust - Optimal Control for a Servo Motor" Dublin 1994



фиг.3



фиг.4



фиг.5