



Feldorientierte Regelung mit 8-bit-Mikrocontrollern

Vektor-Computer als Coprozessor

Infineon Technologies ist nach eigenen Angaben der erste Anbieter von Standard-8-bit-Mikrocontrollern für eine sensorlose feldorientierte Regelung zur Ansteuerung von synchronen permanentenregten Motoren (PMSM) bzw. bürstenlosen Gleichstrommotoren (BLDC). Der FOC-Algorithmus sorgt bei allen Drehzahlen für besonders ruhigen und effizienten Betrieb der Motoren. Bisher waren 16-bit-Mikrocontroller oder DSPs erforderlich, um die komplexen trigonometrischen Gleichungen des FOC-Algorithmus' auszurechnen. Im Unterschied zu FOC-Implementierungen auf Hardware-Basis ist die XC886/8-Lösung per Software reprogrammierbar.

Etwa ein Drittel des weltweiten Energieverbrauchs entfällt auf elektrische Energie. Laut der International Energy Agency (IEA) waren das im Jahr 2004 insgesamt etwa 15,4 Millionen GWh. Elektrische Motoren – zum großen Teil heute noch ungerichtet – verbrauchen rund 40 % dieser elektrischen Energie. Laut Schätzungen lässt sich durch die breite Nutzung von elektrisch gesteuerten Antrieben der weltweite Verbrauch elektrischer Energie um bis zu 20 % senken. Der Einsatz von Mikrocontrollern in elektrischen Antriebssystemen stellt unter anderem sicher, dass ein Motor mit der optimalen Drehzahl und dem optimalen Drehmoment läuft. Dadurch kann vermieden werden, dass ein Motor immer mit der Maximalleistung und damit mit maximalem Energieverbrauch betrieben wird.

Vektorsteuerung

Feldorientierte Regelung (Field Oriented Control, FOC, Vektorsteuerung) kommt aufgrund ihres höheren Wirkungsgrads, ihrer besseren Dynamik und ihrer geringeren Drehmoment-Schwankung zunehmend in Motorsteuerungen von industriellen und Consumer-Applikationen zur Anwendung. Nun steht FOC auch auf Standard-8-bit-Mikrocontrollern von Infineon zur Verfügung. Die feldorientierte Regelung auf den 8-bit-Mikrocontrollern XC886 und XC888 mit einer PWM-Frequenz von 15 kHz und einer Regelzeit von 133 µs für die Stromregelung benötigt nur 58 % der zur Verfügung stehenden CPU-Leistung. Damit bleibt noch genügend Freiraum für anwendungsspezifische Funktionen. Die effiziente Program-

mierung des FOC-Algorithmus mit 16-bit-Arithmetik wird nur über eine kombinierte und verschachtelte Nutzung des Vektor-Computers – bestehend aus den Coprozessoren MDU und CORDIC – und der 8051-CPU erreicht. Die 16-bit MDU (Multiply and Divide Unit) ist für das Multiplizieren und Dividieren ausgelegt und der CORDIC ist ein 16-bit-Coprozessor speziell für die Vektor-Rotation sowie für Winkelberechnungen.

Die verwendete sensorlose feldorientierte Regelung bietet die Vorteile einer sinusförmigen Kommutierung bei minimalen Systemkosten. Dabei ist nur ein Shunt (Messwiderstand in Serie) im Zwischenkreis für die Erfassung der Phasenströme notwendig.

Bild 1 zeigt das Blockschaltbild der feldorientierten Regelung mit Drehzahlregler für einen synchronen permanentenregten Motor (PMSM). Aus Sicht der Regelung ist die FOC vergleichbar mit der Regelung eines Gleichstrommotors. Das Grundkonzept entspricht der Kaskaden-Regelung, mit dem großen Unterschied, dass die elektrischen Variablen (V_d , I_d , V_q und I_q) nicht raumfest sind, sondern sich mit dem Rotor drehen. Damit müssen die am Stator gemessenen Ströme (I_α und I_β) in die Rotor-Koordinaten (I_d und I_q) transformiert werden. Der Stromregler in dem rotierenden System wird als PI-Regler realisiert. Dabei werden die feldbildende d-Komponente und die drehmomentbildende q-Komponente separat geregelt. Der Drehzahlregler beeinflusst – wie bei einem Gleichstrommotor – den Sollwert für den drehmomentbildenden Strom I_q . Aufgrund der Permanentmagnete am Rotor wird der Sollwert für den feldbildenden Strom I_d auf Null gesetzt.

Raumzeiger-PWM

Der Ausgang des Stromreglers repräsentiert die Referenzspannungen (V_d und V_q) in den Rotor-Koordinaten. Diese Werte wer-

XC886 UND XC888

- ▶ 16-bit-Vektor-Computer
 - Vektor-Rotation und Transformationen (u. a. Park-Transformation)
 - Normierung und Skalierung
 - Interrupt-basierter Betrieb mit minimaler CPU-Belastung
- ▶ PWM-Einheit zur Motor-Steuerung (CapCom6E), 16 bit
- ▶ Schneller 10-bit-AD-Wandler (Abtastzeit 0,25 µs)
 - Hardware-Synchronisation mit PWM-Einheit entlastet CPU
 - Verwendung von zwei der insgesamt vier Ergebnisregister
 - Der A/D-Wandler ermöglicht die Phasenstrom-Messung per Shunts im Zwischenkreis

den in die Stator-Koordinaten (V_α und V_β) transformiert, um die Polarkoordinaten (Betrag und Winkel) zu berechnen. Mit Hilfe einer Raumzeiger-PWM werden die Betrag- und Winkel-Werte in dreiphasige Ströme konvertiert, indem die High- und Low-Side-Schalter des Wechselrichters entsprechend moduliert werden.

Ein Raumzeiger stellt die Summe der drei Phasenspannungen dar, deren Zentrum im Raum „floaten“ kann. Die inaktiven Zustände werden als Off-Time während der Schaltperiode genutzt, wenn der Raumzeiger erzeugt wird. Ein dreiphasiger Raumzeiger kann als Sechseck dargestellt werden, das in sechs Sektoren unterteilt ist. Jeder gewünschte Spannungs-Raumzeiger besteht aus einer „reellen“ Spannung von einer der Phasen und einer „imaginären“ rechtwinkligen Spannung, die von den anderen zwei Phasen abgeleitet ist.

▶ AUTOR

Arno Rabenstein ist Senior Staff Engineer Application Engineering bei Infineon Technologies.

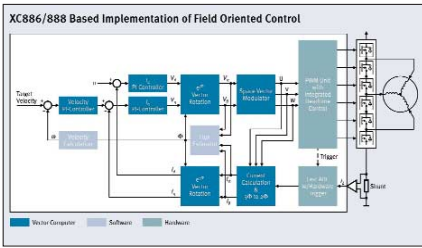


Bild 1: Feldorientierte Regelung (FOC) eines synchronen permanentenerregten Motors (PMSM)

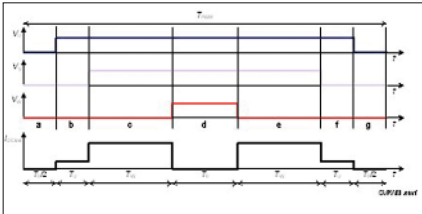


Bild 2: Raumzeiger PWM: Dreiphasiges Ausgangssignal (U, V, W) des Wechselrichters und zugehöriger Zwischenkreisstrom (I_DcLink)

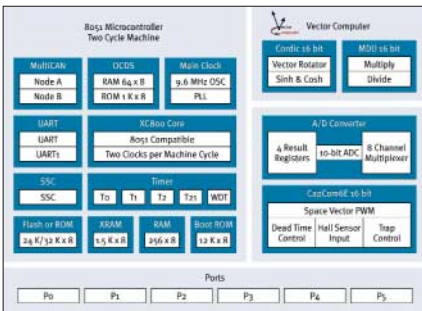


Bild 3: Blockschaubild des 8-bit-Mikrocontrollers XC886/888CM mit Vektor-Computer

Der Raumzeiger-Algorithmus ermittelt die erforderliche Zeit für den ersten aktiven Zustand, einen zweiten aktiven Zustand und einen inaktiven Zustand, um den erforderlichen Betrag und den Winkel des Raumzeigers abzubilden. Bild 2 zeigt dazu ein Beispiel. Der erste aktive Zustand (b&f) ist $T_{U,}$ der zweite (c&e) ist $T_{W,}$ und der inaktive ist $T_{0,}$ der zweimal auftritt: zuerst als (000)-Vektor (a&f) und nochmals als (111)-Vektor (d). Wenn wir die Spannungs-Wellenform in ein Zeigerbild überführen, so wird deutlich, dass die maximal vorhersagbare Spannung bei der Raumzeiger-Modulation einen Wert vom Produkt der Quadratwurzel aus 3 mit dem Wert der Zwischenkreisspannung hat. Das Zeigerzentrum bei der Raumzeiger-Modulation ist nicht ortsfest, was zu einer Erhöhung der verfügbaren Motorspannung von 15 Prozent führt. Für eine gleichmäßige Rotation ist aber die sinusförmige Regelung des Stromes verantwortlich und nicht die Form des Spannungs-Signals, denn der Strom liefert den magnetischen Fluss.

Istwert-Erfassung

Um die Rotorposition durch Messung an einem Shunt schätzen zu können, muss die Erzeugung der PWM-Muster und das Triggern des A/D-Wandlers für die Strommessung sehr schnell und präzise erfolgen. Jeder Jitter am Triggerpunkt beeinflusst die Bestimmung des aktuellen Rotorwinkels und die gesamte harmonische Verzerrung des sinusförmigen Stromsignals nimmt zu. Die erforderliche Funktionalität für eine präzise Strommessung wurde in die Mikrocontroller XC886C(L)M und XC888C(L)M implementiert, indem ein ereignisgesteuerter Hardware-Trigger der PWM-Einheit CapCom6E eine Messung des A/D-Wandlers auslöst. Dieser ereignisgesteuerte Trigger eliminiert jegliche Interrupt-Latenzzeiten und ermöglicht eine schnelle und genaue Strommessung. Der A/D-Wandler bietet insgesamt vier Ergebnis-Register, wobei zwei für das Halten der entsprechenden Zwischenkreisstromwerte I_{DcLink} genutzt werden. Die Abtastzeit beträgt 250 ns. Da der Strom in der Zeitspanne (b) und (e) (Bild 2) gemessen wird, bleibt stets Zeit zur Umwandlung des abgetasteten Signals.

Das Spannungsmodell ist ein einfaches Modell für Motoren mit rotierendem Feld, das auf entsprechenden Differentialgleichungen beruht. Um den aktuellen Winkel des Rotors zu bestimmen, kann der Flussvektor „Psi“ durch Integration der Spannungen berechnet werden.

Plattform auf der PCIM

Auf der PCIM Europe 2007 wird Infineon eine FOC-Evaluierungs-Plattform vorgestellt. Diese CANmotion-Plattform beinhaltet einen XC886CM (TQFP-48-Gehäuse), einen bürstenlosen 24-V-Gleichstrommotor, ein Steckernetzteil und eine CD-ROM. Die CD-ROM enthält den Source-Code für die sensorlose feldorientierte Regelung, eine kostenfreie Entwicklungsumgebung mit Compiler und Debugger sowie umfangreiche Dokumentation. Eine CAN-USB-Bridge auf Basis des XC886CM ist bis zum Hexcode herunter und für den Parameter-Abgleich verfügbar. (av)

 infoDIRECT 311ei0507
www.elektronik-industrie.de
 ► Link zu Infineon