

Mikrocontroller XC16x

Infineon Technologies stellt eine neue Mikrocontroller Familie vor die aufbaut auf der Basis des als Industriestandard etablierten C166-Cores. Derzeit sind der XC161CJ, der XC164CS und der XC167CI verfügbar. Neben einer Reihe von besonderen Architekturmerkmalen, die unter anderem die Befehlsausführung innerhalb eines Taktzyklus erlauben, verfügt der XC16x über eine reichhaltige Auswahl modular erweiterbarer Peripherie-Blocks. Das Capture-Compare-Modul CAPCOM6 beispielsweise wurde speziell zur CPU-unabhängigen Steuerung von bürstenlosen AC/DC-Motoren entwickelt, die im Automobilanwendungen ein immer breiteres Einsatzfeld vorfinden.

Robert Weiß

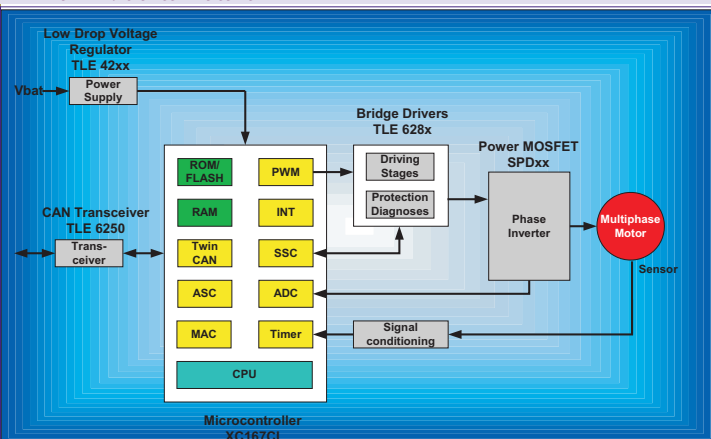
Im Bereich der Automobilelektronik kommen immer mehr bürstenlose Gleichstrom-Motoren (BLDC) zum Einsatz. Ihre steigende Attraktivität hat mehrere Gründe. Zum einen sind die Herstellungskosten für synchrone permanentmagneterregte Motoren in den letzten Jahren stets gesunken. Zum anderen ist eine steigende Nachfrage an Komfortelektronik im Auto zu verzeichnen, verbunden mit der Forderung nach geringem Platzbedarf und einer generellen Reduzierung des Automobil-Gesamtgewichtes, um damit unter anderem den Kraftstoffverbrauch und die Schadstoffemission zu minimieren.

Mit dem Wegfall der Bürsten erhöht sich auch die Zuverlässigkeit und Lebensdauer dieser Motoren. Gleichzeitig vereinfacht sich dadurch der Aufbau des Antriebs. Durch den Einsatz von Elektronik werden kritische Überlastsituationen erkannt und vermieden. Folglich können die mechanischen Komponenten des Antriebs exakt auf die Lastverhältnisse abgestimmt werden. Aufgrund ihres System- und Kostenvorteils werden viele Millionen von BLDC-Motoren als Antriebe, Pumpen, Lüfter und Kompressoren im Automobil- und Industriebereich eingesetzt. Zu den Anwendungsbeispielen im Automobil zählen Klimaanlage, elektronisch angetriebene Wasserpumpen, elektronischer Frontlüfter, Getriebesteuerungen und elektronisch unterstützte Lenksysteme. In der Vorentwicklungsstufe sind außerdem bereits elektronische Brems- und Lenksysteme. In **Bild 1** ist dargestellt, aus welchen Komponenten solch ein System besteht. Die wichtigsten Funktionsgruppen werden nachfolgend beschrieben.

Regelschleifen unterschiedlicher Komplexität

Aufgrund der kompakten Bauart und ihrem Einsatz im mittleren Leistungsbereich werden für den Einsatz in der Automobilelektronik hauptsächlich synchrone bürstenlose Motoren mit Perma-

Bild 1: Blockdiagramm einer Motorsteuerung für elektronisch kommutierte Motoren



nentmagneten verwendet. Um diese Motoren optimal zu betreiben muss die Lage des Rotors bekannt sein. Mit dieser Information wird ein entsprechendes Magnetfeld am Stator erzeugt, das den Rotor antreibt. Einfache Regelkreise verwenden Hallensoren zur Ermittlung der Position und Geschwindigkeit des Rotors (**Bild 1, rechts**). Um Systemkosten zu senken wird bei manchen Anwendungen auf Hallensoren verzichtet und die Rotorposition über die Gegen-EMK bestimmt. Bei höheren Anforderungen an Motordynamik und konstanten Drehmoment werden Encoder oder Resolver eingesetzt die in der Lage sind, Rotorposition bis auf $0,1^\circ$ und genauer aufzulösen. Des Weiteren wird der Stromverlauf zweier Phasen gemessen und geregelt. Für hohe dynamische Anforderungen, wie man sie z.B. bei Starter/Generator antrifft, wird feldorientierte Regelung angewendet. Hier wird, im Gegensatz zur konventionellen Regelung die das Statorfeld kontrolliert, direkt das Rotorfeld beeinflusst. Diese Art von Regelung benötigt eine entsprechend hohe Rechnerleistung, die von leistungsfähigen 16-Bit-Mikrocontrollern oder DSPs zur Verfügung gestellt werden muss.

Die Anforderungen an die Kommunikationsschnittstelle zum Hostrechner (**Bild 1, links**) wird durch die jeweilige Applikation bestimmt. Bei Anwendungen die als Sollwert nur die Motordrehzahl benötigen wird dies mittels PWM-Signal realisiert. Sind größere Datenmengen zu übertragen wird je nach Übertragungsgeschwindigkeit das LIN- oder CAN-Protokoll verwendet.

Elektronische Kommutation, PWM-Erzeugung

Wird ein mehrphasiger Motor mit Gleichspannung betrieben, muss das Drehfeld elektronisch erzeugt werden. Bei kostenkritischen Systemen stellen BLDC-Motoren in Zusammenhang mit Blockkommutierung die günstigste Alternative dar. Die Phasenströme werden blockförmig eingepreßt. Die Geschwindigkeit und der Drehmoment werden durch ein PWM-moduliertes Signal beeinflusst, wobei die Frequenz des PWM-Signals im Bereich von 20 kHz liegt. Da bei diesem Verfahren nur jeweils zwei von drei Phasen gleichzeitig aktiv sind, erfolgt keine Totzeit-Generierung. Darüber hinaus bietet diese Kommutierungsart die Möglichkeit, den Elektromotor als sensorlosen Antrieb auszulegen. Hierzu wird der Nulldurchgang der Gegen-EMK in der unbestromten Phase zur Positionsbestimmung herangezogen. Bei höheren Anforderungen an ein konstantes Drehmoment, an das dynamische Verhalten und die Effizienz wird sogenannte „Space-Vector-Modulation“ eingesetzt. Dieses Modulationsverfahren erzeugt eine Stromverlauf, der sich aus einem Sinusfunktion und der dazugehörigen dritten harmonischen Oberwelle zusammensetzt. Die Totzeit-Generierung wird entweder bei der PWM-Generierung vom Mikrocontroller bereitgestellt oder vom nachgeschalteten Treiberbaustein (**Bild 1 mitte**, Bridge Driver TLE 628x).

Sensoren und ihre Schnittstellen

Wie bereits erwähnt werden zur Rotorlageerkennung Hallensoren, optische Encoder, Resolver oder gelegentlich GMR (*Giant Magnetic Resistor*) eingesetzt. Die beiden erstgenannten liefern digitale Informationen und lassen sich problemlos auswerten. Resolver und GMR-Sensoren dagegen liefern analoge Signale und benötigen entsprechende Signalaufbereitung. Das gleiche gilt bei der Erfassung der Phasenströme. Je nach der Größe des zu erfassenden Stromes wird entweder ein Shunt verwendet oder ein Hallensensor. In beiden Fällen muss das Signal zur Weiterverarbeitung verstärkt werden. Je nach Auswahl der Sensoren sind Teile der Auswertelogik im Sensor integriert.

Treiberfunktionalität für Leistungstransistoren und Diagnose

Werden mehrphasige Motoren mit Halbbrücken betrieben sind die Ausgänge des Mikrocontrollers nicht in der Lage die Highside-MOSFETs direkt zu steuern. In diesem Fall wird ein Treiberbaustein eingesetzt. Er erzeugt die entsprechenden Gatespannungen und die zugehörigen Ströme, die zum schnellen Schalten der Transistoren benötigt werden. Intelligente Treiber besitzen zusätzlich Diagnoseschnittstellen, die beispielsweise den Kurzschluss einer Halbbrücke, eine zu niedrige Phasenspannung oder eine zu hohe Bauteintemperatur erfassen können. Eine mehrs-

tufte Totzeit-Generierung und die Beeinflussung der Schaltflanken steigern noch die Attraktivität solch eines Bausteines.

Leistungsfähige MOSFET-Transistoren zeichnen sich aus durch minimale statische und dynamische Verluste. Typische $R_{ds(on)}$ -Werte für Komponenten im TO220-Gehäuse sind 3,3 m Ω .

Architektur des Mikrocontrollers XC164CS

Infineons neue Mikrocontroller Familie XC166 (**Bild 2** Blockschaltbild) basiert auf einer Weiterentwicklung des inzwischen als Industriestandard etablierten C166-Cores und verfügt über eine außergewöhnlich hohe Kontroll- und DSP-Leistungsfähigkeit. Aufgrund der leistungsstarken Pipeline lassen sich Befehle im Gegensatz zur C166-Architektur innerhalb eines Taktzyklus ausführen. Bei gleicher Taktfrequenz erreicht jetzt der XC16x nahezu die doppelte Verarbeitungsleistung. Außerdem verfügt der XC16x über eine MAC-Einheit, mit der Matrizen-Operationen oder auch FIR- (*Finite Impulse Response*) Filter-Funktionen problemlos implementiert werden können. So lassen sich innerhalb eines einzigen Taktzyklus eine 16x16-Bit-Multiplikation mit kumulativer Addition bzw. Subtraktion ausführen. Die Multiplikationseinheit des C166-Core wurde optimiert und verarbeitet eine 16x16-Bit-Multiplikation in einem CPU-Zyklus. Der XC164CS unterstützt bis zu 128 Interruptquellen in 16 Interrupt-Ebenen. Zusätzlich zur klassischen Behandlung von Interrupts steht eine DMA-Transfer-Option in Form eines PEC (Peripheral Event Controller) zur Verfügung. Der Adressbereich beträgt 16 MByte, der Programmspeicher mit 64 Bit breiten Programmzugriff umfasst derzeit 128 KByte Embedded-Flash/ROM. Zur Datenverwaltung stehen bis zu 8 KByte Embedded-SRAM zur Verfügung. Eine effektive und kostengünstige System-Emulation mit Brakepoints, Speicher/Register-Zugriff und Single-Step-Ausführung ist mit dem On-Chip-Debug-Support (OCDS) Level 1 gewährleistet. On-Chip-Debugging unter Einschluss des Echtzeit-Tracing runden das Funktionsangebot ab.

Leistungsfähige Peripheriemodule

Zu den Peripheriemodulen der XC166-Familie gehören neben flexiblen Timereinheiten, synchronen und asynchronen seriellen Schnittstellen, Capture-Compare-Module (CAPCOM), Echtzeituhr und Watchdog-Funktionen, ein schneller 10-Bit-A/D-Wandler (Wandlungszeiten $\geq 2.85\mu s$), ein TwinCAN-Controller, ein I²C-Bus-Controller, Einheiten zur Pulsweitenmodulation (CAPCOM6), zur Ansteuerung von Elektromotoren und Stromsparfunktionen. Die Peripheriemodule sind durch einen leistungsstarken 16-Bit-Peripheriebus mit der CPU verbunden.

Die Capture-Compare-Einheit CAPCOM6, implementiert auf den Derivaten XC164CS und XC167CI (**Bild 3**), wurde speziell zur CPU-unabhängigen Steuerung von AC/DC-Motoren entwi-

ckelt. Sie verfügt über zwei unabhängige 16 Bit breite Timer, welche mit der CPU-Frequenz direkt getaktet werden. Das CAPCOM6-Modul erzeugt bis zu sieben individuelle PWM-Signale oder speichert *Duty cycle* und Periode von drei PWM-Signalen. Die Auflösung beträgt 25 ns bei einem Systemclock von 40 MHz. Die Totzeit-Generierung wird mit einem 6 Bit breiten Timer erzeugt. Das Signal kann individuell jedem Kanal zugeordnet werden. Durch synchrones Design unter Zuhilfenahme von Shadow-Registern sind Registerupdates exakt festgelegt. Die Erzeugung von „center aligned“ oder „edge aligned“ PWMs werden unterstützt. Die Multichannel-Control-Einheit erlaubt die Adaption von verschiedenen Motorentypen. Jeder der Ausgänge kann mit verschiedenen Taktquellen moduliert werden. Im Notfall kann jeder Ausgang unmittelbar in einen inaktiven Zustand versetzt werden.

Die Block-Kommutierung wird mit dem Hallsensor-Mode vollständig unterstützt, wobei der Totzeit-Timer dabei als digitales Filter für die Hallsensoren dient. Die Drehzahl wird direkt gemessen, für eine eventuell benötigte Phasenverzögerung und eine Drehzahlüberwachung stehen weitere Register zur Verfügung. Außerdem wird die logische Reihenfolge der zu erwartenden Hallmuster erfasst. Alle erwähnten Leistungsmerkmale werden fast ausschließlich ohne CPU-Belastung realisiert.

Entwicklungstools und Training

Ausgereifte und leistungsfähige Tools wie Emulatoren, Debugger, Compiler, Assembler und EVA-Boards sowie CASE-Tools für die Programmierung sind bei immer kürzer werdenden Entwicklungszyklen, insbesondere in der Automobilindustrie, von entscheidender Bedeutung. Dank der breiten Akzeptanz der C166-Architektur im Markt ist ein umfangreiches und etabliertes Portfolio von Entwicklungstools einer Vielzahl namhafter Hersteller verfügbar.

Weiterhin bietet Infineon Starterkits zur Entwicklungsunterstützung an. Dazu gibt es die komplette Dokumentation (verfügbar im Internet unter

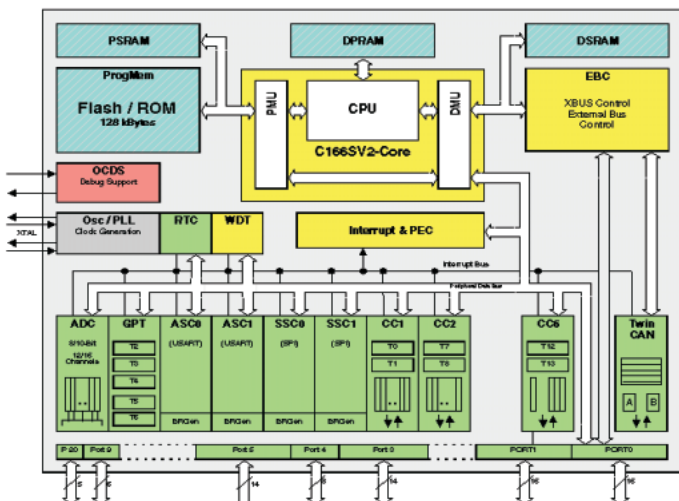
http://www.infineon.com/cgi/ecrm.dll/ecrm/scripts/prod_ov.jsp?oid=31260&cat_oid=-8137) und eine CD-ROM mit Applikations-Beispielen. Mit DAvE (*Digital Application virtual Engineer*) auf CD-ROM bietet Infineon interaktive Hilfestellung für die Programmierung.

Internet-Links

http://www.infineon.com/cgi/ecrm.dll/ecrm/scripts/prod_ov.jsp?oid=31260&cat_oid=-8137

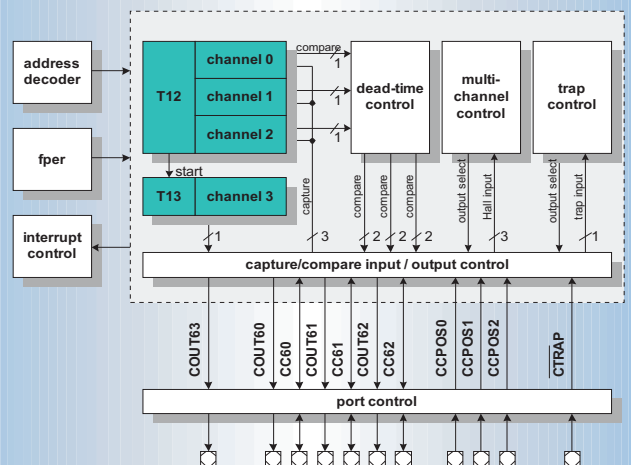
http://www.i_Hlt17019978n_Hlt17019978fineon.com/cmc_upload/documents/037138/xc164_po_v1.0_2002_02.pdf

Bild 2: Blockdiagramm des Mikrocontrollers XC164CS



robert.weiss@infineon.com

Bild 3: PWM-Einheit (Capture-Compare-Module) „CAPCOM6“ zur Steuerung von mehrphasigen Elektromotoren



Robert Weiß

http://www.infineon.com/cgi/ecrm.dll/ecrm/scripts/prod_ov.jsp?oid=31260&cat_oid=-8137