



URL: http://www.elektroniknet.de/bauelemente/technik-know-how/halbleiter/article/83417/0/Eingebettete_Echtzeit/

08. November 2011

0 |  Drucken |  CLEAR

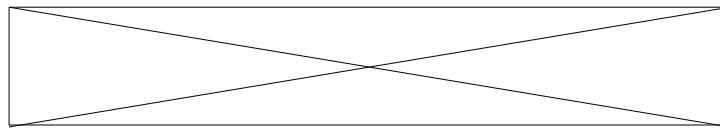
TriCore-Mikrocontroller für Motorsteuerungen

Eingebettete Echtzeit

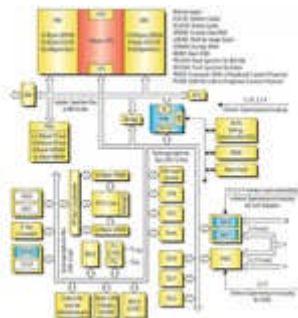
Für Anwendungen wie elektrische Antriebe, industrielle Maschinen, mobile Arbeitsgeräte und den Antriebsstrang vieler Kraftfahrzeuge besteht neben den technischen Forderungen wie harter Echtzeit und großer Auswahl an integrierten Funktionsmodulen der Wunsch nach langfristiger Verfügbarkeit, höchster Zuverlässigkeit und die Erfüllung von Anforderungen der funktionalen Sicherheit.

Von Martin Schrape

Anzeige



Moderne elektrische Antriebssysteme sind ohne intelligente und komplexe Frequenzumrichter nicht mehr denkbar. In Europa werden 4 Millionen dieser Umrichter jährlich gefertigt. Die steigenden Anforderungen an Geschwindigkeit, Präzision, Energieeffizienz und Kommunikation verlangen nach leistungsfähigen und flexiblen Mikrocontrollern. Kostensenkungen versprechen „Single-Chip“-Umrichter. Der in einem 90-nm-Prozess gefertigte 32-bit-TriCore wurde speziell für diese Klasse eingebetteter Echtzeitsysteme mit hoher Interrupt-Last bei gleichzeitig hoher Rechenleistung ausgelegt. Entscheidend für die Gesamtsystemleistung ist das gute Zusammenwirken des Rechenkerns mit den Peripherieeinheiten.



Infineon
Bild 1. Für die elektrische Motorsteuerung werden die TriCore-CPU, die Timereinheit (GPTA) und die A/D-Wandler (ADCO, ADC1) genutzt.

Das Blockdiagramm in **Bild 1** zeigt oben den Rechenkern und dessen Anbindung an den Programm- und Datenspeicher. Der interne Flash-Speicher ist über einen schnellen 64-bit-Bus angeschlossen. Der TriCore bietet eine Vielzahl von intelligenten Peripheriemodulen. Für die Umrichter-Funktionalität am wichtigsten sind dabei die Timer-Einheit GPTA und die A/D-Wandler. Weitere Module sind der System-Timer (STM), die I/O-Ports, die seriellen Schnittstellen - zum Beispiel für den Anschluss von Wickelgebern - und das MultiCAN-Kommunikationsmodul. Diese Einheiten sind durch einen 32-bit-System-Peripheriebus (SPB) verbunden. An diesem Bus hängt auch ein zweiter, kleiner 32-bit-RISC-Rechenkern, der sogenannte Peripheral Control Processor (PCP).

Der PCP ist speziell ausgelegt auf die Bearbeitung zeitkritischer, kurzer Interruptfunktionen und hat über den SPB einen schnellen Zugriff auf die Peripherie. Er kann die Ein- und Ausgangssignale vorverarbeiten, aufbereiten und dann an die

TriCore-CPU übergeben oder aber unabhängig von der TriCore-CPU arbeiten. Ein TriCore-Mikrocontroller ist also stets ein asymmetrischer Dual-Core-Prozessor, bei dem der PCP die TriCore-CPU entlastet.

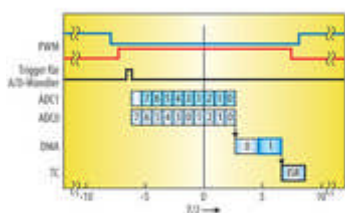
Im Prinzip besteht der Frequenzumrichter aus einem Gleichrichter, der einen Gleichstrom- oder Gleichspannungs-Zwischenkreis speist, und einem aus diesem Zwischenkreis gespeisten Wechselrichter. Der Wechselrichter besteht aus einer Schaltbrücke auf Basis von MOSFETs oder IGBTs, deren Ausgangsspannung durch eine Pulsweitenmodulation (PWM) geregelt wird. In mehreren Regelkreisen bestimmt der Mikrocontroller die Rotorlage des Motors über einen Resolver oder Encoder, misst die Phasenströme des Motors und errechnet das PWM-Signal entsprechend den Vorgaben von Drehmoment und Winkelgeschwindigkeit. Üblich sind PWM-Frequenzen von 4 und 20 kHz. Beim TriCore wird das PWM-Signal durch das GPTA erzeugt,

eine generische Timer-Einheit, die flexibel an die speziellen Anforderungen des Umrichters oder eines Betriebsmodus angepasst werden kann.

Je nach Einsatzgebiet können die Reduzierung der Drehmomentwelligkeit, die Minimierung der Verlustleistung, die Qualität des Ausgangsstroms, die Vermeidung von Strom- oder Spannungsoberwellen oder aber die Ge-räuschkentwicklung im Fokus stehen und andere Regelalgorithmen bedingen. Zusammen mit den 12-bit-A/D- Wandlern und dem DMA-Controller bildet das GPTA das Herzstück einer komplementären 3-Phasen-PWM-Signalgenerierung. Das GPTA beinhaltet dazu Bausteine aus Timer-Zellen, die durch Konfiguration miteinander verschaltet werden und zusammen die gewünschte Funktion ergeben. Die Konfiguration beachtet die notwendigen Verzögerungszeiten beim Aus- und Einschalten zum Schutz der Halbbrücken.

Diese Totzeiten lassen sich getrennt einstellen und auch gegebenenfalls dynamisch zur Laufzeit regeln. Während ein einfaches PWM-Signal nur zwei Timer-Zellen benötigt, erfordert ein komplementäres Drei-Phasen-PWM-Signal 26 Zellen. Ein GPTA-Modul besitzt 64 Zellen, so dass ausreichend Ressourcen verbleiben, um weitere Signale für die Anwendung zu erzeugen.

Neben der PWM-Signalgenerierung ist die synchrone Messung der Phasenströme mit mindestens zwei A/D-Wandlern für die Anwendung wichtig. Dazu wird von der GPTA ein Trigger-Event erzeugt, welches eine Wandlung auf beiden A/D-Wandler-Modulen exakt in der Mitte der Periode auslöst. Statt jedoch nur die zwei Phasenströme zu bestimmen, können auch gleich alle für die Steuerung notwendigen analogen Eingangssignale in einer äquidistanten Abtastfolge über mehrere Kanäle gemessen werden.



Eine solche Abtastfolge mit bis zu 16 Kanälen wird von den A/D-Wandler-Modulen des TriCore unterstützt. Eine taktgenaue Synchronisierung mehrerer A/D-Wandler-Module ist parametrierbar. Wenn die Anzahl der A/D-Wandler-Module jedoch kleiner ist als die Anzahl der gewünschten, synchron zu messenden Eingangsgrößen, so kann durch Interpolation zweier Messungen rechnerisch der Wert bestimmt werden.


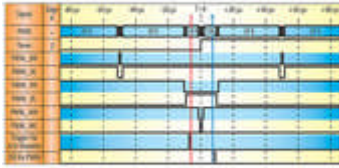
Infineon 
Bild 2. Innerhalb einer PWM-Periode werden in einer Abtastfolge zehn analoge Kanäle synchron mit zwei A/D-Wandler gemessen, die Werte mit dem DMA-Controller übertragen und im TriCore verarbeitet.

Bild 2 illustriert das Zeitverhalten innerhalb einer PWM-Periode. Oben dargestellt ist aus Platzgründen nur das High-Side- und Low-Side-Signal einer PWM-Phase. Der A/D-Wandler-Trigger löst in diesem Beispiel eine Abtastfolge mit zehn Kanälen auf acht (0-7) Eingangssignalen aus. Der Trigger-Event ist zeitlich so gewählt, dass die Abtastung für die Phasenströme auf Kanal 2 der Module ADC0 und ADC1 exakt in der Periodenmitte erfolgt. Das Eingangssignal 1 wird - wie beschrieben - vor und nach Kanal 2 gemessen und summiert. Auch das Signal auf ADC0 Kanal 0 wird zweimal gemessen und summiert. Diese Summenbildung ist Bestandteil eines hardware-basierten, konfigurierbaren Datenreduktionsfilters innerhalb des A/D-Wandler-Moduls, welches eine Summierung von bis zu vier Werten eines Kanals ermöglicht.

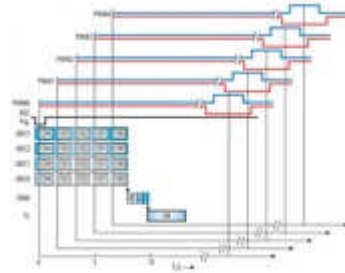
Durch die beschriebene Konfiguration werden somit fünf Eingangsgrößen quasi zum gleichen Zeitpunkt gemessen. Nach der Abtastung löst ein weiterer Event zwei DMA-Übertragungen aus, welche die A/D-Wandler-Werte in den lokalen Datenspeicher (LDRAM) transferieren. Ein Auslesen der Werte direkt vom TriCore wäre natürlich möglich. Der Zugriff über die Brücke zwischen LMB und SPB benötigt jedoch mehrere Taktzyklen und würde die Programmausführung auf der TriCore-CPU verzögern. Besser ist es, den DMA-Controller im Hintergrund die Werte vom A/D-Wandler in das LDRAM übertragen zu überlassen, von wo vier Werte mit einem Doppelwort-Ladebefehl in nur einem Taktzyklus in die CPU-Register eingelesen werden können.

Die nachfolgende Interrupt-Service-Routine (ISR) beinhaltet den Regelalgorithmus. Eine optimierte Implementierung der meist verwendeten Park- und Clarke-Transformationen sowie der Raumzeigermodulation benötigt auf einem TC1782 mit 180 MHz Taktfrequenz weniger als



Infineon
Bild 3. Optimierte
Regelalgorithmen ergeben
eine geringe CPU-Last.

2 μs . **Bild 3** zeigt das gemessene zeitliche Verhalten. Weniger als 9 μs nach der Phasenstrommessung ist die Regelung abgeschlossen und sind die PWM-Werte für die nächste Periode geschrieben. Mit weiteren anwendungsspezifischen Algorithmen wie der Verarbeitung der Gebersignale wird die CPU-Last wohl größer, bleibt aber insgesamt so gering, dass auf die sonst meist üblichen weiteren Mikrocontroller im Frequenzumrichter für die Kommunikation und die Benutzerschnittstelle verzichtet werden kann.



Infineon
Bild 4. Mehrachs-Antriebe
mit fünf Drei-Phasen-
Motoren können vom
TC1798 gesteuert werden.

Die hohe Rechenleistung und die zur Verfügung stehenden Hardware-Ressourcen erlauben sogar die Realisierung von Mehrachs-Frequenzumrichtersystemen für Robotikapplikationen oder Werkzeugmaschinen mit nur einem Mikrocontroller. Diese Lösung verspricht nicht nur Kostenvorteile, sondern ermöglicht eine verbesserte Leistung auf Grund der Kommunikation, die nun nur innerhalb eines Prozessors erfolgen muss. **Bild 4** illustriert

eine solche Konfiguration auf einem TC1798.

Die High-End-Serie TC179x verfügt über zwei GPTA-Module und einen zusätzlichen LTCA-Block. Damit können fünf komplementäre Drei-Phasen-PWM-Signale generiert werden. Der Periodenstart wird jeweils um die Zeit einer A/D-Wandlung verschoben. Die im TC1798 zur Verfügung stehenden vier A/D-Wandler-Module messen somit synchron und - durch den zeitlichen Versatz - jeweils in der Periodenmitte. Zwei Module verarbeiten die Phasenströme, weitere zwei Module können andere Signale zeitgleich abtasten. Die CPU-Last bleibt selbst bei fünf 20-kHz-Drei-Phasen-PWM-Signalen unter 10 %.

Notstopp für sicheres Abschalten

Eine weitere Eigenschaft des Mikrocontrollers TriCore, die in Frequenzumrichtern genutzt werden sollte, ist der Notstopp-Modus, der für jeden I/O-Port einzeln implementiert ist. Um das sichere Abschalten der Ausgänge im Notfall zu gewährleisten, sollten deshalb alle PWM-Signalausgänge im Notstopp-Modus betrieben werden. Bei einem aktiven Notstopp-Eingangssignal werden dann alle konfigurierten Ausgänge unmittelbar auf den gewünschten Wert gesetzt: ganz ohne Software und ohne CPU-Takt. Die Leistungsstufe wird sicher abgeschaltet.

Ein AUDO-MAX-basierter Frequenzumrichter kann zusätzliche SPS-Funktionalität integrieren. Diverse Tool-Hersteller liefern dazu schnelle Echtzeit-Betriebssysteme und Programmiersysteme nach IEC61131-3.

Anzumerken ist, dass weitere bürstenlose Gleichstrommotoren bei den TC179x- und TC172x-Derivaten auch durch die von den 16-bit-Mikrocontrollern bekannte Capture-Compare-Einheit (CCU6) angesteuert werden können.

Die Kombination von RISC-Harvard-Architektur mit schnellem Interrupt-Handling, hardware-unterstütztem Kontextwechsel, Multiply-Accumulate-Funktionalität (MAC) und integrierter FPU zeichnet den TriCore aus. Der Core hat einen superskalaren Aufbau, der es erlaubt, bis zu drei Prozessorbefehle gleichzeitig auszuführen. So kann zum Beispiel ein Algorithmus gleichzeitig eine arithmetische Operation durchführen und ein Datenwort vom Speicher laden. Durch die

Zur Einsparung von Systemkosten beinhaltet die Low-End-Serie TC172x einen internen Spannungsregler, um mit nur einer Versorgungsspannung auszukommen. Bei der High-End-Serie TC179x hat man einen verbesserten Core mit 6-stufiger Pipeline eingeführt, um die CPU-Frequenz bis auf 300 MHz steigern zu können, jedoch gleichzeitig die Nachteile der höheren Reaktionslatenz bei einer längeren Pipeline durch eine verbesserte Sprungvorhersage ausgeglichen. Weitere Neuerungen des TC1.6-Kerns im TC179x betreffen Verbesserungen bei Divisions- und Multiplikations-Operationen und der Fließkomma-Arithmetik, die nun direkt im Kern integriert wurde und bis zu zwei FLOPS pro CPU-Taktzyklus leistet. Um eine optimale Rechenleistung auch beim Zugriff auf den prinzipiell langsameren Flash-Speicher zu erzielen, implementiert die AUDO-MAX-Familie sowohl einen Programm-Cache als auch einen Daten-Cache.

Die AUDO-MAX-Familie erweitert die Palette der Sicherheitsmerkmale, um Anforderungen der funktionalen Sicherheit zu genügen. Mit dem verwendeten Fehlerkorrekturcode für SRAM und Flash werden 1-bit-Fehler in einem Wort bzw. Doppelwort ohne Zugriffsverzögerung korrigiert und 2-bit-Fehler erkannt, aber nicht korrigiert. Eine flexible CRC-Einheit steht dem Anwendungsentwickler zur Fehlererkennung in Datenpaketen zu Verfügung. Die Speicherschutzunit (MPU), die den Zugriff auf Speicherbereiche einschränkt und somit Rückwirkungsfreiheit mehrerer Tasks ermöglicht, wurde beim TC1.6 um einen zeitlichen Schutzmechanismus ergänzt, der Laufzeitproblemen vorzubeugen hilft.

Die QFP-Gehäuse der AUDO-MAX-Familie mit einem Exposed-Pad von 8 × 8 mm und einem thermischen Widerstand von unter 1 K/W unterstützt wirkungsvoll die Wärmeabfuhr. In der abschließenden **Tabelle** sind die Derivate der AUDO-MAX-Familie zusammengefasst. Durch ihre Rechenleistung und flexible Timereinheit GPTA eignen sie sich sowohl für anspruchsvolle Frequenzumrichter in der Antriebstechnik als auch für Umrichter von Windkraftanlagen und Solarwechselrichter.

	TC1798/1793/1791	TC1784/1782	TC1728/1724
Core	TC1.6	TC1.3.1	TC1.3.1
Pipeline-Stufen	6	4	4
Maximale Taktfrequenz Core	300/270/240 MHz	180 MHz	133/80 MHz
Maximale Taktfrequenz PCP	200/180/200 MHz	180 MHz	133/80 MHz
Flash-Speicher	4 Mbyte	2,5 Mbyte	1,5 Mbyte
SRAM	288 Kbyte	176 Kbyte	152 Kbyte
Cache Befehle	16 Kbyte	16 Kbyte	8 Kbyte
Cache Daten	16 Kbyte	4 Kbyte	4 Kbyte
DMA-Kanäle	16	16	16
Kanäle A/D-Wandler	4x16/3x16/3x16	2x16	2x16/2x12
Kanäle schneller A/D-Wandler (FADC)	4	4	2
Timer	2xGPTA, 1xLTCA	1xGPTA, 1xLTCA	1xGPTA
Capture-Compare-Einheit	4	Keine	1
CAN (Knoten/Objekte)	4/128	3/128	3/64
Serielle Schnittstellen	4xSSC, 2xASC	3xSSC, 2xASC	4xSSC, 2xASC
Externe Bus-Einheit	Ja/Ja/Nein	Ja/Nein	Nein
Interner Spannungsregler	Nein	Nein	Ja

Tabelle. Die drei SERien der AUDO-MAX-Familie adressieren sowohl hochperformante als auch kostensensitive Anwendungen.

Literatur & Autor

Herstellerseite für AUDDO-MAX-MCUs:

www.infineon.com/audomax

Dipl.-Phys. Martin Schrape

ist Applikationsingenieur für Mikrocontroller bei Infineon Technologies in Neubiberg bei München.

martin.schrape@infineon.com