

16-bit-Mikrocontroller mit optimiertem Echtzeit-Verhalten

Höhere Rechenleistung, mehr Flash-Speicher und erweiterte Peripherie

Seit mehr als 15 Jahren hat sich die C166-Architektur in vielfältigen Industrie- und Automobil-Applikationen etabliert. Nachdem mit der Einführung der XC166-Familie die Entwicklung in Richtung höhere Integration und mehr Rechenleistung fortgeführt wurde, konnte diese mit den neuen XE166-Mikrocontrollern nochmals signifikant gesteigert werden. Außerdem bietet die neueste 16-bit-Generation auf Basis des C166-Cores deutlich mehr Flash-Speicher und erweiterte Peripheriefunktionen.

Von Manfred Choutka



Die C166-Architektur war von Anfang an auf hohe Echtzeit-Rechenleistung, schnelle Befehlsausführung, geringe Antwort-Zeiten und umfangreiche Peripheriefunktionen ausgelegt. Die neuen Real-Time-Signal-Controller (RTSC) der XE166-Familie bieten gegenüber den XC166-Vorgängern nochmals einen deutlichen Leistungssprung (Bild 1) und führen die 16-bit-Mikrocontroller in die 32-bit-Klasse.

Für den Betrieb unter Echtzeit-Bedingungen unabdingbar sind schnelle Interrupt-Antwortzeiten und Kontext-Wechsel, wozu zwei zusätzliche lokale Registerbänke integriert wurden. Alle RTSC der XE166-Familie setzen auf dem C166S-V2-Core auf. Die RTSC-Produkte enthalten eine MCU, die die Funktionen des 16-bit-C166-Cores für die Peripherie-Steuerung mit denen eines digitalen Signalprozessors kombiniert. Mit 80 MHz Taktfrequenz

und nur einem Taktzyklus pro Befehlsausführung erreichen die XE166-Bausteine 80 MIPS, was dem doppelten der Vorgängerfamilie XC166 entspricht. Im Vergleich zu dieser steht der XE166-Familie mit bis zu 768 Kbyte Flash-Speicher die dreifache Speicherkapazität zur Verfügung. Des Weiteren wurde eine Fehlerkorrektur (ECC) imple-

Architekturmerkmale

mentiert, die Einzelbit-Fehler korrigiert und Doppelbit-Fehler erfasst. Die Speicherausstattung umfasst 2 Kbyte Dual-Port-RAM, bis zu 16 Kbyte Daten-SRAM und bis zu 64 Kbyte Programm-/Daten-SRAM (Bild 2). Die jetzt eingeführten Serien XE167 und XE164 nutzen einen erweiterten C166S-V2-Core mit fünfstufiger Pipeline. Die meisten Befehle lassen sich bei 12,5 ns Ausführungszeit in einem Taktzyklus ausführen. Durch die DSP-Unterstützung können 16x16-MAC-Kalkulationen ebenfalls in nur einem Taktzyklus ausgeführt werden, während eine 32x32-Multiplikation 15 Zyklen erfordert.

Integrierte Funktionen wie Spannungsregler, EEPROM-Emulation mit zusätzlichen Flash-Modulen, Oszillator, Watchdog und Brown-out-Erfassung reduzieren die Anzahl der externen Komponenten und damit die Systemkosten (BOM). Embedded-De-

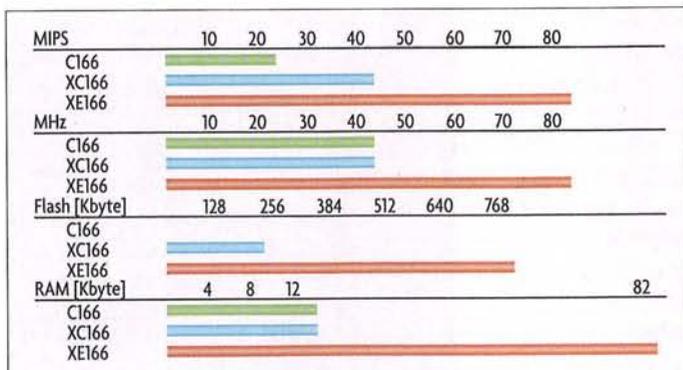


Bild 1. Der Rechenleistungs-Vergleich der Mikrocontroller-Familien C166/XC166/XE166 zeigt die Überlegenheit des XE166.

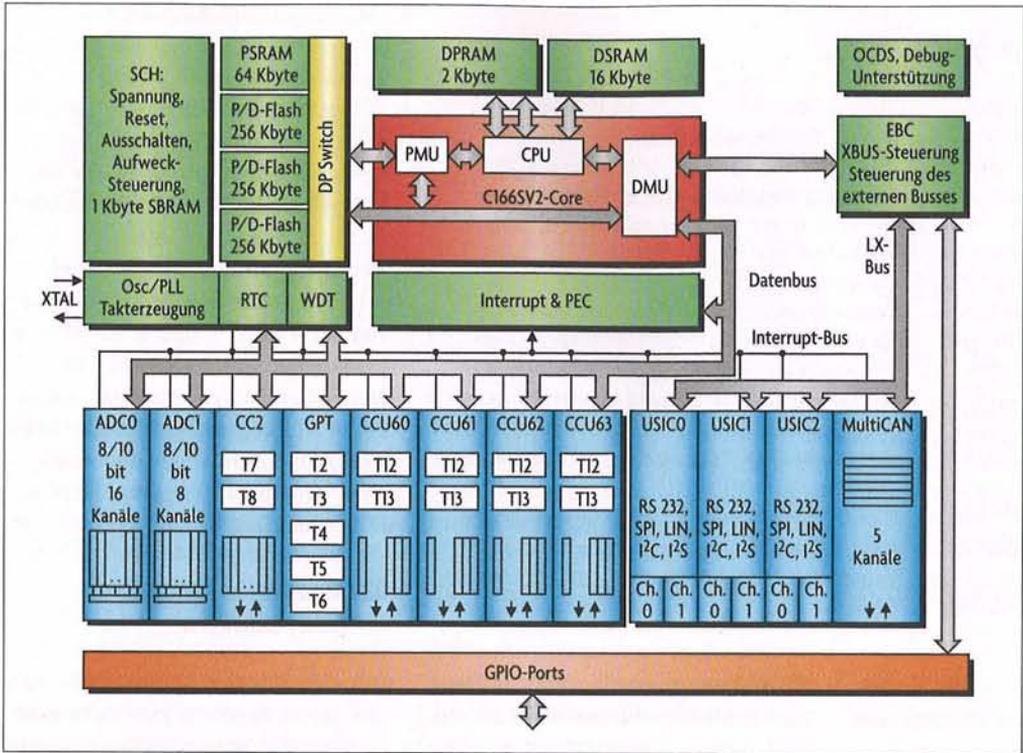


Bild 2. Das Blockdiagramm der XE166-Architektur.

signer profitieren auch von den zwei unabhängigen Spannungs-Domänen (3,0 V bis 5,5 V), da digitale Funktionen (Beispiel: externe Speicher) zu geringeren Spannungen tendieren, während einige analoge Funktionen wie Sensoren eine höhere Auflösung bei höheren Spannungen bieten.

Umfangreiche Peripheriefunktionen

Zur Peripherie zählen bis zu vier Capture-Compare-Einheiten (CCU6E) mit bis zu insgesamt acht Timern, um elektrische Motoren mit Sinus- oder Raumvektor-Algorithmen zu steuern (Bild 3). Jede CCU6E-Einheit besteht aus einem T12-Timerblock mit drei Capture/Compare-Kanälen sowie einem T13-Timerblock mit einem Capture/Compare-Kanal. Die T12-Kanäle können bis zu sechs PWM-Signale erzeugen bzw. sechs Trigger akzeptieren. Damit lassen sich bis zu drei Leistungs-Halbbrücken mit automatischer Totzeit-Generation ansteuern. Es können die entsprechenden Signalmuster generiert werden, um Wechselstrommotoren oder Inverter zu treiben. Mit speziellen Betriebsmodi lassen sich auch bürstenlose Gleichstrommotoren ansteuern.

Die XE166-Produkte verfügen über zwei synchronisierbare A/D-Wandler mit bis zu 24 Kanälen und 10 bit Auflösung (± 2 LSB) sowie einer Wandlungszeit von weniger als 1,2 μ s. Eng gekoppelt mit den PWM-Einheiten (CCU6E) lassen sich damit bis zu vier Motoren ansteuern (Bild 4).

Eine MultiCAN-Schnittstelle unterstützt gleichzeitig bis zu fünf unabhängige CAN-Knoten und bis zu 128 Message-Objekte. Damit können z.B. ein FIFO oder auch ein CAN-Gateway einfach implementiert werden – da

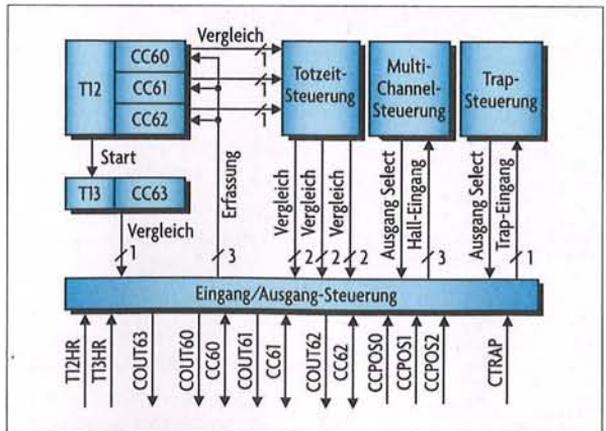


Bild 3. Zu den Peripheriefunktionen der XE166 zählen bis zu vier Capture-Compare-Einheiten (CCU6E) mit insgesamt bis zu acht Timern, um elektrische Motoren mit Sinus- oder Raumvektor-Algorithmen zu steuern.

Umfassende Design-Unterstützung

Die XE166-Familie wird durch umfassende Entwicklungswerkzeuge einschließlich Evaluierungsboards, Debugger, Compiler und entsprechender Dokumentation unterstützt. Für Initialisierung, Konfiguration und Code-Erzeugung steht DAVE zur Verfügung. Alle Compiler für die XE166-Familie bieten auch einen OCDS-Debugger, während manche Compiler zudem über einen Echtzeit-Kernel und einen Simulator verfügen.

Außerdem bietet Altium in Kooperation mit Infineon einen kostenlosen Tasking-XE166-C-Compiler mit einer Lizenz für ein Jahr an. Die speziell für die XE166-Familie entwickelte Version dieses Tool-Sets bietet leistungsfähige Funktionen: Die integrierte Entwicklungsumgebung vereinfacht den Zugang zum Source-Level-Debugger CrossViewPro, der die Verbin-

dung zu jedem XE166-EasyKit-Evaluation-Board vereinfacht. Vorinstallierte und funktionsfähige Design-Beispiele, die schrittweise Anleitung und zusätzliche, erweiterte Tools wie ein automatisch erzeugter Start-up-Code erleichtern den Design-Einstieg.

Die kostenlose Jahreslizenz für den XE166-Compiler umfasst eine komplette Toolchain für die Entwicklung einer XE166-Applikation. Entwickler können sich später beim Upgrade für das vollständige und unbegrenzte Tasking C166 Software Development Toolset oder das neue Tasking VX Toolset für den C166 entscheiden.

Darüber hinaus steht auch die Unterstützung der μ Vision Tools von Keil zur Verfügung, mit denen eine einfache Migration von der früheren C166-Generation auf XE166 möglich ist.

komplexe Applikationen oftmals eine intelligente Netzwerk-Kommunikation erfordern, ein wichtiges Kriterium.

Die XE166 bieten bis zu drei USIC-Module (Universal Serial Interface Channel), wobei jedes Modul ein Cluster aus zwei identischen USIC-Kanälen ist. Insgesamt stehen also bis zu sechs

USIC-Kanäle zur Verfügung. Diese sind flexibel und können für die Anbindung von externer Peripherie über UART (Universal Asynchronous Receiver Transmitter), LIN (Local Interconnect Network), SPI (Serial Peripheral Interface), IIC (Inter-IC) und IIS (Inter-IC-Sound) genutzt werden.

Jeder Kanal (einschließlich Baudraten-Generierung) kann unabhängig konfiguriert werden.

Der XE164 ist in einem 100-poligen bleifreien LQFP (75 I/O-Pins) verfügbar, während der XE167 in einem 144-poligen LQFP (118 I/O-Pins), beide mit 0,5 mm Anschlussraster, zur Verfügung steht. Beide Bausteine arbeiten mit einer Spannungsversorgung von 3,3 V bis 5 V und in einem Temperaturbereich von -40 bis $+85$ °C. Die neuen Mikrocontroller werden durch umfangreiche Entwicklungswerkzeuge unterstützt und ermöglichen Onchip-Debugging über das JTAG-Interface.

■ Nutzung in Echtzeit-Anwendungen

In vielen Motoren-Applikationen müssen zur Ansteuerung zahlreiche externe Signale schnell verarbeitet werden. Für derartige Anwendungen ist die XE166-Familie mit ihren geringen Latenzzeiten für die Interrupt-Antwort und dem schnellen Kontext-Wechsel optimiert worden. CPU-Core, Peripheral Event Controller (PEC) und die Peripheriefunktionen sind entsprechend für eine schnelle Interrupt-Verarbeitung ausgelegt. Die XE166-Architektur bietet spezielle Mechanismen für eine schnelle Reaktion auf interne und externe Service-Anfragen an den Mikrocontroller. Dazu gehören:

- ▶ ein vom PEC ausgegebener DMA-Transfer,
- ▶ ein Interrupt-System mit bis zu 87 Quellen und auswählbaren externen Eingängen für die Interrupt-Generierung,
- ▶ 16 Interrupt-Prioritätsebenen, jede mit acht Gruppen für die Priorisierung,
- ▶ sehr kurze Interrupt-Antwortzeiten.

Der PEC ermöglicht den Datentransfer zwischen Speicher und Peripherie in einem Taktzyklus ohne Intervention einer Interrupt-Service-Routine. Dafür bietet er acht Service-Kanäle, über die ein einzelnes Byte oder Wort transferiert werden kann, wobei sich optional die Quell- und Ziel-Zeiger automatisch aktualisieren lassen. Jeder PEC-Transfer kann über eine interne Interrupt-Service-Anfrage getriggert werden.

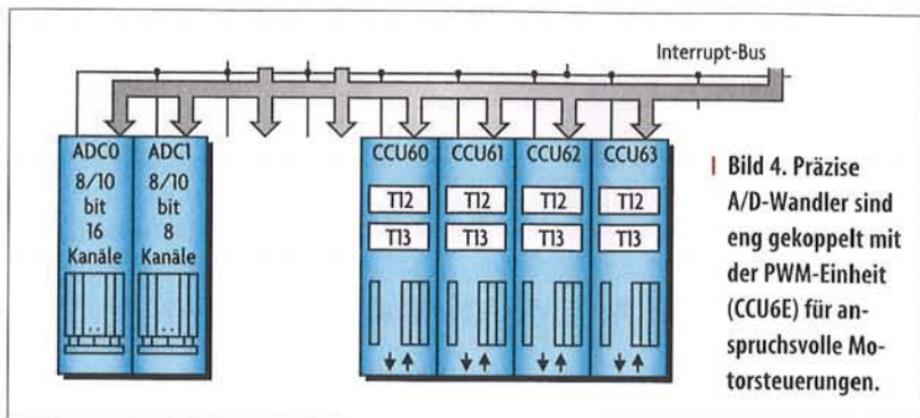


Bild 4. Präzise A/D-Wandler sind eng gekoppelt mit der PWM-Einheit (CCU6E) für anspruchsvolle Motorsteuerungen.

■ Anwendungen

Eine CPU mit 80 MIPS, kombiniert mit erweiterten I/O-Funktionen, einem flexiblen Power-Management und umfangreicher Peripherie lässt den Einsatz des XE167/XE164 in vielen industriellen Systemen zu. Das Spektrum reicht von relativ einfachen Steuerungsaufgaben in Pumpen, Lüftern, Kompressoren oder Klimatechnik bis hin zu komplexeren Lösungen für Servoantriebe, CNC-Maschinen, Prozesssteuerungen, Robotik, Stromversorgungen und Inverter.

Insbesondere in Applikationen mit mehreren Motoren kommen die Vorteile bezüglich einer einfachen, schnellen und energiesparenden Implementierung zum Tragen. Die CCU6E-Einheit mit zwei Timer-Einheiten für die Signalerzeugung ermöglicht Designs unabhängig von der Art des zu treibenden Motors bzw. des Steuerungs-Algorithmus.

DAvE (Digital Application virtual Engineer) von Infineon unterstützt die XE166-Mikrocontroller hinsichtlich Initialisierung, Konfiguration und Erstellung des Treiber-Codes und vereinfacht so die Programmierung.

Ein weiteres wichtiges Anwendungsspektrum für die XE166-Produkte ist die Ansteuerung von Invertern bzw. Spannungsumsetzern. Damit können besonders energiesparende Lösungen in den Bereichen Transport (z.B. Lokomotiven, Trambahnen, Busse und Landmaschinen), aber auch bei erneuerbaren Energien (z.B. Photovoltaik, Brennstoffzellen, Windenergie) realisiert werden. Mit dem schnellen Interrupt-Timing und der flexiblen PWM-Generierung lassen sich sowohl kleinere Maschinen als auch Hochspannungsmotoren ansteuern, wodurch

herkömmliche hydraulische Systeme ersetzt werden können.

Für die unterschiedlichsten Automobilelektronik-Anwendungen steht darüber hinaus die XC2000-Familie im Temperaturbereich von $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ bis $+125\text{ }^{\circ}\text{C}$ zur Verfügung, die ähnliche Basis-Spezifikationen wie die XE166-Familie bietet, allerdings mit für die Automobilelektronik optimierten Leistungsmerkmalen.

Das XE166-Portfolio umfasst derzeit mit den XE164/167-Serien 28 Produkte. Die Produkte unterscheiden sich hinsichtlich des Flash-Speichers (192, 384, 576 und 768 Kbyte), des RAM (24, 34, 50 und 82 Kbyte), der Betriebsfrequenz (66 bzw. 80 MHz), der skalierbaren Peripheriefunktionen und der Gehäusevarianten (bleifrei, LQFP mit 100 oder 144 Pins). Das Angebot wird im unteren (XE162, 64 Pins) und oberen Leistungs-Bereich (XE169, 176 Pins) weiter ausgebaut und damit eine komplette neue 16-bit-Generation zur Verfügung gestellt. *fr*



**Dipl.-Ing. (FH)
Manfred Choutka**

studierte Physikalische Technik an der Fachhochschule München und ist Product Marketing Manager bei Infineon Technologies. Seit 2005 ist er verantwortlich für das Produktmarketing im Bereich 16-bit-Mikrocontroller.
manfred.choutka@infineon.com