

Sichere und kompakte Motorsteuerungen

Integrationsmaßnahmen

Da der Automatisierungsgrad von Prozessen und Systemen ständig zunimmt, müssen auch die dort eingesetzten Komponenten dem Trend zu höherer Leistungsdichte und Effizienz folgen. Die richtige Kombination von hoch integrierten Leistungsstufen und »intelligenten« Controllern mit spezialisierten Hardware-Peripherien eröffnet neue Möglichkeiten in Aufbau und Funktion kompakter und leistungsstarker Motorsteuerungssysteme für industrielle Kleinantriebe.



Quelle: Paul Nylander

Andreas Reiter

W eil im Anlagenbau oder der Prozessautomatisierung immer mehr Gleichstrommotoren zum Einsatz kommen, stehen nun auch entsprechend spezialisierte Komponenten für die Antriebssteuerung zur Verfügung. Gerade bei industriellen Kleinantrieben bis zu einigen Hundert Watt ist die Bau-

größe des Gesamtsystems oft von entscheidender Bedeutung. Bei beengten Platzverhältnissen oder beim Betrieb mehrerer Motoren im Verbund vereinfachen Motoren, bei denen im selben Gehäuse Steuerung und Antrieb integriert sind, den Aufbau des Gesamtsystems. Diese Systemminiaturisierung stellt den Entwickler vor die Herausforderung, Leistungsschaltung und empfindliche Feedback-Signale auf eng-

tem Raum unterzubringen und dabei noch bestmögliches Wärmeverhalten und gute elektromagnetische Verträglichkeit sicherzustellen. Ein Systemansatz, der sich immer größerer Beliebtheit erfreut, beruht auf Single-Chip-Invertern (SCIs), mit denen sich viele dieser besonderen Designaufgaben auf einfache Weise lösen lassen. Je nach Anwendung fällt die Entscheidung oft für einphasige Motoren, wie zum Beispiel bürstenbehaftete Gleichstromantriebe (Brushed Direct Current Motor, BDC) oder Servomotoren. Diese Antriebe sind durch den einfachen mechanischen Aufbau und ihre große Verbreitung verhältnismäßig günstig und lassen sich bereits mit einfachsten Schaltungen ansteuern. Die Ansteuerung dieses Motortyps benötigt wegen der selbstkommutierenden Mechanik in Bezug auf die elementare Motorsteuerung nur einen geringen Regelaufwand, um Drehmoment oder Drehzahl konstant zu halten. In Fällen, bei denen die Gesamtlaufzeit des Motors über die gesamte Lebenszeit des Produkts gerechnet etwa 5000 Stunden

überschreitet, empfiehlt sich aufgrund des geringeren Verschleißes und der höheren Effizienz der Einsatz bürstenloser dreiphasiger Gleichstromantriebe (Brushless Direct Current Motor, BLDC). Diese elektrisch kommutierten Antriebe erfordern jedoch einen höheren Aufwand auf Seiten der Ansteuerlogik und eine zusätzliche Halbbrücke und Feedback-Punkte im Leistungsteil.

Aufbau der Single-Chip-Inverter

Für diese beiden gängigen Motortypen hat der Hersteller Apex Precision Power spezialisierte Single-Chip-Leistungstreiber im Leistungsbereich von bis zu 100 W entwickelt, die in Kombination mit einem Mikrocontroller kompakte und zuverlässige Motorsteuerungen mit hoher Leistungsdichte und geringen Verlustleistungen entstehen lassen sollen. Die Single-Chip-Inverter »SA57« für einphasige und »SA306« (Bilder 1 und 2) für dreiphasige Antriebe verfügen über alle Komponenten inklusive Leistungsstufe, um den jeweiligen Motortyp an-

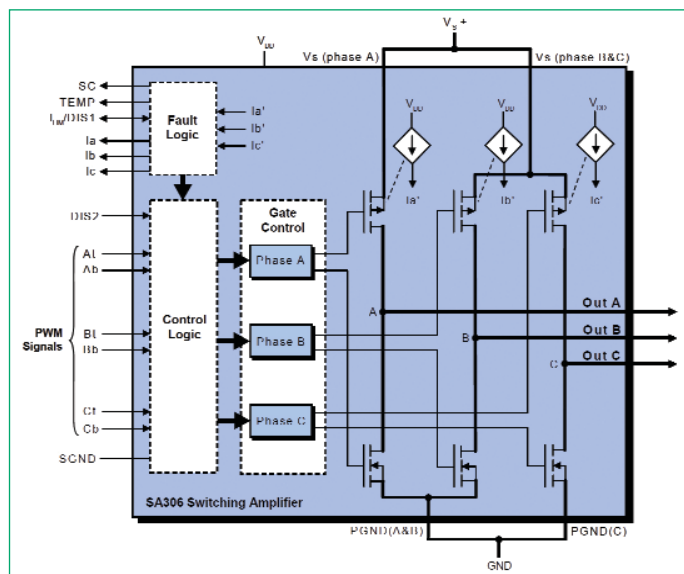


Bild 1: Blockschaltbild des dreiphasigen Single-Chip-Inverters »SA306« von APEX

zutreiben. Eine interne Kontrolllogik steuert die Halbbrückenschaltung an, wobei diese wiederum ihre Steuersignale über extern erzeugte, weitenmodulierte TTL-Pulssequenzen (3 V oder 5 V Spannungshub) erhält. Diese PWM-Signale kommen üblicherweise von einem Kommutierungs-Chip oder einem Mikrocontroller. Die internen MOSFET-Treiber verstärken diese Signale und geben sie an die Leistungsschalter weiter. Eine integrierte Totzeitkontrolle verhindert, dass High- und Low-Side-MOSFET gleichzeitig eingeschaltet sind, und schützt so die Leistungsstufe vor Kurzschlussbedingungen (Shoot-Through). Die High-Side-MOSFETs der Leistungsstufe sind mit einem internen Stromspiegel ausgestattet, der ein Stromsignal ausgibt, das dem Phasenstrom über den Pin I_x proportional ist. Dieses Signal lässt sich über einen externen Shunt-Widerstand in ein Spannungssignal wandeln und vom A/D-Wandler eines Controllers einlesen. Überschreitet diese Shunt-Spannung den internen Referenzwert von $U_{th} = 3,75 \text{ V}$, beendet der Controller den aktiven Arbeitszyklus (Duty Cycle) in weniger als 300 ns. Nach dem Öffnen des oberen Leistungsschalters sinkt der Stromwert am Stromspiegel auf Null, Komparator und Kontrolllogik werden automatisch zurückgesetzt. Bei der nächsten steigenden Flanke am PWM-Eingang wird der Schalter wieder geschlossen. So entsteht eine frei einstellbare Echtzeit-Strombegrenzung, die Zyklus für Zyklus zuverlässig arbeitet und keine Ressourcen auf Seiten des Controllers in Anspruch nimmt. Die an die Kontrolllogik angeschlossene Fehlerlogik (Fault Logic) überwacht alle Komponenten des ICs und gibt Statuspegel der Unterspannungs-, Übertemperatur- und

Kurzschlusserkennung als Logiksignal auf separaten Monitorpins aus. Verschaltet man die Statusausgänge extern mit dem Eingang »DIS2«, schaltet der Inverter die Leistungsstufe bei auftretendem Fehler automatisch ab. Die Leistungsstufe wird wieder freigegeben, wenn die Fehlerbedingung aufgehoben wurde (Non-latched Error Detection).

Besonderer Mikrocontroller nötig

Mit steigender Verbreitung von Motorsteuerungen steigt auch der Bedarf an effizienteren Systemen. Dies gilt vor allem für den Betrieb bürstenloser Gleichstrommoto-

zielle Echtzeit-Mikro- und -Signalcontroller mit deterministischem Verhalten und dedizierter Motion-Control-Peripherie.

Ein solcher Controllertyp findet sich in den Motor-Control-Bausteinen der Serie »dsPIC33F« aus dem Hause Microchip Technology. Diese DSCs (Digital Signal Controller) bieten alle erforderlichen Schnittstellen und Peripheriefunktionen, um Single-Chip-Leistungstreiber mit minimalem Schaltungsaufwand einzubinden. Der »dsPIC33FJ128MC802« beispielsweise ist ein leistungsstarker 16-Bit-Controller mit 40 MIPS (Millionen Instruktionen pro Sekunde) Rechenleistung und integrier-

Diese Funktion ist vor allem bei der Abarbeitung größerer Kommunikationsprotokolle (z.B. CANOpen, Profibus oder LIN) über die integrierten Schnittstellen oder zum schnellen Abtasten analoger Signale für digitale Filter erforderlich.

In dieser Architektur sind also alle zur Anbindung an die Außenwelt benötigten Peripheriemodule wie Motion-Control-Peripherie, A/D-Wandler (ADC), Capture/Compare, ECAN, UART, SPI oder I²C als eigenständige Einheiten ausgeführt, die keine oder nur geringe Beteiligung des Prozessorkerns erfordern. Fast die gesamte verfügbare Rechenleistung des Prozessors steht also zur Ausführung der Regelung des Motorlaufs zur Verfügung.

Herzstück des DSCs ist jedoch der interne Interrupt-Controller. Er verknüpft Funktion und Status der einzelnen Peripherieeinheiten mit dem Rechenkern, in dem das Programm ausgeführt wird. Mithilfe von 126 Interrupt-Vektoren aus 118 Quellen mit acht flexibel einstellbaren Prioritätsstufen kann der Programmierer fein gestaffelte, laufzeitabhängige Zeitabläufe der einzelnen Aufgaben und Ereignisbehandlungen erstellen. Die festgelegte Interrupt-Latenzzeit von fünf Zyklen bis zum Ausführen der Interrupt-Service-Routine (ISR) und von drei Zyklen bis zur Fortsetzung des vorhergehenden Prozesses bleibt stets gewährleistet. Des gilt selbst, wenn mehrere Interrupt-Service-Routinen gleichzeitig eintreten und sich gegenseitig entsprechend ihrer voreingestellten Priorität unterbrechen (so genanntes »Interrupt Nesting«).

Die modifizierte Harvard-Architektur des dsPIC-Bausteins verkürzt durch simultanen Zugriff auf Programm- und Datenspeicher die Verarbeitungszeiten. Der redu-

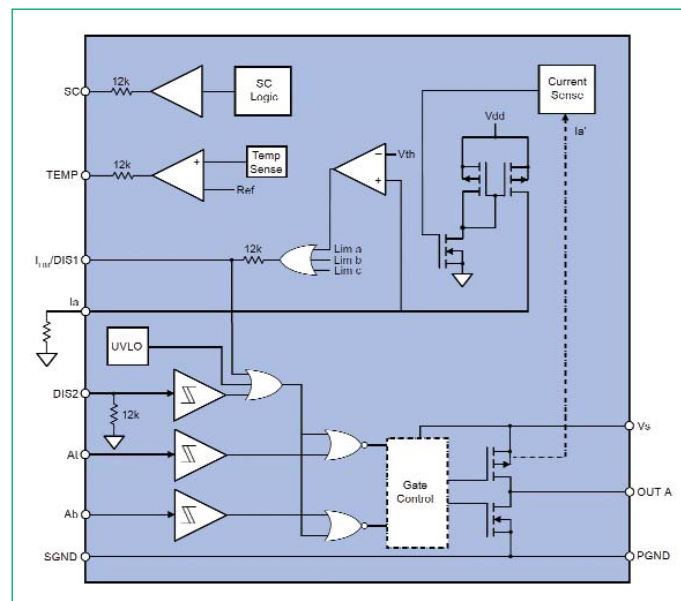


Bild 2: Blockschaubild einer Leistungsphase im »SA306«

ren. Die theoretisch höhere Effizienz dieser Motoren gegenüber ihren bürstenbehafteten Pendanten stellt sich aber nur dann ein, wenn der Anwender die Möglichkeiten der Funktionsoptimierung voll ausschöpfen kann. Hierzu muss er die Steuerung flexibel an die konstruktiven Besonderheiten des verwendeten Motortyps in Bezug auf die dynamischen Anforderungen der Zielanwendung anpassen können. Die Basis hierfür bieten spe-

zielle digitale Signalprozessor (DSP), der mathematische Berechnungen schnell abarbeiten kann. Zur weiteren Beschleunigung der internen Signalverarbeitung stehen acht DMA-Kanäle (Direct Memory Access) zur Verfügung, über die der direkte Zugriff auf den internen Dual-Port-RAM als Arbeitsspeicher möglich ist, ohne dass der zentrale Datenbus oder die arithmetisch-logische Einheit (ALU) daran beteiligt werden.

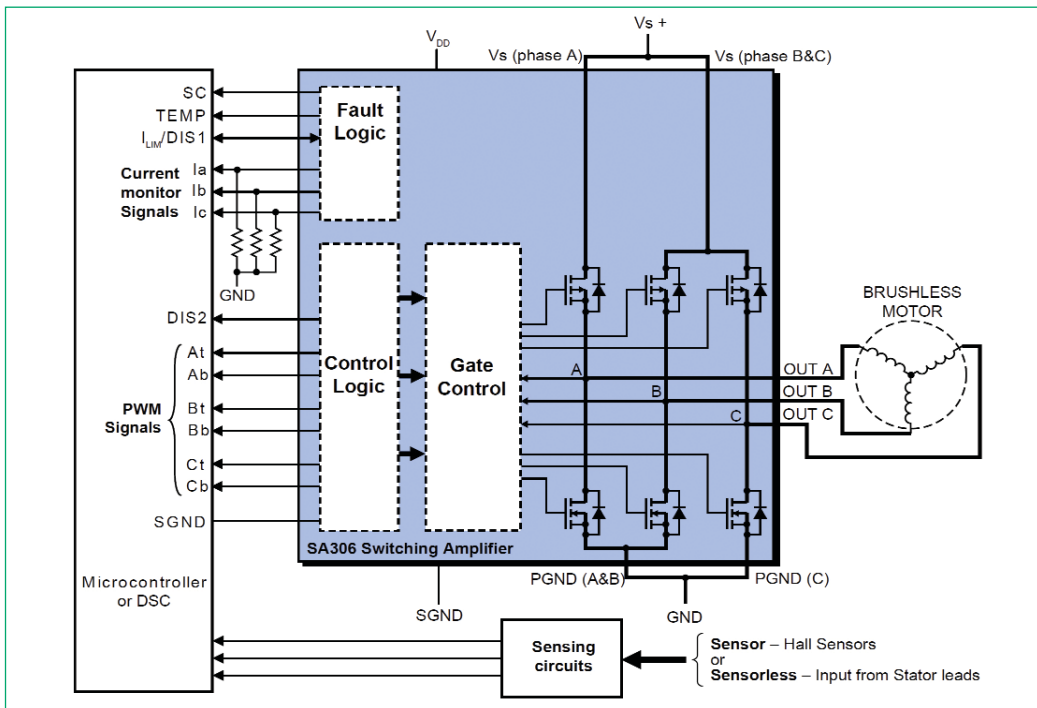


Bild 3: Prinzipschaltbild der kompletten Motorsteuerung

zierte Befehlssatz (Reduced Instruction Set, RISC) sorgt dafür, dass über 95% der Anweisungen in einem einzigen Zyklus abgearbeitet werden. Mithilfe dieser Architektur lassen sich die Arbeitsabläufe taktgenau erstellen, weswegen sie sich für Echtzeitanwendungen eignet.

Anbindung von DSC an SCI

Hauptschnittstelle zwischen Digital-Signal-Controller (DSC) und Single-Chip-Inverter ist die Dreiphasen-PWM mit sechs Steuersignalen für High- und Low-Side der drei Halbbrücken des BLDC-Treibers »SA306« (Bild 3). Diese Schnittstelle ist zentraler Punkt der dsPIC33FJ-Serie. Das PWM-Modul dieser Controller verfügt über eine Vielzahl an Konfigurationsmöglichkeiten. Zur Ansteuerung des SCIs beispielsweise können die einzelnen PWM-Kanäle an einer gemeinsamen Zeitbasis betrieben werden. Dadurch kann ein globaler Registerblock sowohl Frequenz als auch Tastverhältnis ohne Jitter-Sprünge zur Laufzeit verändern. Die beiden High- und Low-Side-Ausgän-

ge eines PWM-Kanals lassen sich im Komplementärmodus zum Betrieb einer Halbbrücke konfigurieren und die erforderliche Totzeit und Polarität frei einstellen. Das PWM-Modul des DSCs verfügt zusätzlich über so genannte »Fault«-Eingänge. Diese sind in der Lage die PWM-Ausgänge direkt abzuschalten, sobald ein entsprechender TTL-Pegelübergang detektiert wird. Diese Eingänge können zur Anbindung der Statuspegel der Unterspannungs-, Überstrom- und Übertemperaturerkennung dienen, um die Leistungsstufe im Fehlerfall binnen weniger Hundert Nanosekunden abzuschalten. Dies kann entweder dauerhaft (latched) oder bis zur Rücksetzung der Fehlerbedingung (cyclic) erfolgen. In Verbindung mit dem Stromsignal des SCIs lässt sich somit wahlweise auch controllerseitig eine zyklische Strombegrenzung des Phasenstroms realisieren. Zur vollständigen Integration aller SCI-Funktionen wird weiter nur noch ein einfacher digitaler I/O benötigt, um die Leistungsstufe an- und abzuschalten zu können.

Wie oben bereits beschrieben, bieten sowohl der Single-Chip-Inverter als auch der Controller die Möglichkeit der zyklischen Strombegrenzung. Diese doppelte Funktion kann nun gemeinsam zur umfassenden Strombegrenzung für verschiedene Betriebsfälle eingesetzt werden. Bei der elektrischen Kommutierung eines dreiphasigen BLDC-Motors gilt in der Regel während eines Sektordurchlaufs für alle drei Phasen der gleiche zulässige Maximalstrom. Damit lassen sich die strombegrenzenden Funktionen des SCIs und die des DSCs jeweils an einem einzigen, gemeinsamen Referenzwert, aber mit unterschiedlichen Niveaus, zusammenfassen. Auf Seiten des SCIs werden die drei Ausgänge der High-Side-Stromspiegel an einem flüchtigen, digitalen Potenziometer wie dem »MCP-4013« zusammengefasst, das der Controller in 64 Stufen verändern kann. Mithilfe dieses Potenziometers lässt sich ein absoluter Spitzenwert einstellen, der ein Durchbrennen des Motors verhindert, zum Beispiel im Fall einer mechanischen Blockade. Diese

Funktionszuweisung empfiehlt sich vor allem durch die schnelle Reaktionszeit des internen Komparators und der rein hardwareseitigen Nähe zur Leistungsstufe. Auf Seiten des Controllers stehen interne Komparatoren zur Verfügung, deren positive Eingänge sich mit der ebenfalls integrierten, 2x16-stufig veränderbaren Referenzquelle verknüpfen lassen. Die Shunt-Spannung der Stromspiegelausgänge des SCIs am digitalen Potenziometer wird mit dem negativen Eingang des Komparators des Controllers verbunden. Der Ausgang des Komparators des Controllers wird auf einen digitalen I/O gelegt und extern direkt mit einem der Fault-Eingänge des PWM-Moduls des DSCs verbunden. Zur zyklischen Begrenzung des Phasenstroms während des normalen Betriebs muss der Anwender nun noch die Fault-Funktion des PWM-Moduls im Cycle-Modus konfigurieren. Während des Betriebs lässt sich jetzt der Referenzwert des Komparators binnen Mikrosekunden neu justieren und so der maximal zulässige Phasenstrom auf den jeweiligen Betriebsfall anpassen.

Zusätzliche Temperaturüberwachung

Der Statusausgang der Temperaturüberwachung des SCIs schaltet bei einer Chip-Temperatur von +135 °C auf den Alarmzustand. Dieser bleibt bestehen, bis dieser Wert wieder auf unter +95 °C absinkt. Um diesen kritischen Zustand rechtzeitig zu erkennen und gegebenenfalls Gegenmaßnahmen ergreifen oder Benachrichtigungen über ein digitales Bussystem absetzen zu können, empfiehlt sich der Einsatz eines zusätzlichen Temperatursensors, um das Temperaturniveau direkt verfolgen zu kön-

nen. Eine einfache Möglichkeit zur Implementierung dieser Funktion ist die zusätzliche Bestückung eines Temperatursensors im SOT-23-Gehäuse wie dem »MCP-9700«. Dieser Sensortyp arbeitet im weiten Bereich von -40 °C bis +125 °C und liefert ein Temperatursignal im Bereich von 0 mV bis 2500 mV, das der ADC des Controllers ohne weitere Anpassung oder Verstärkung direkt einlesen kann. Die geringe Eigenmasse des kleinen SMD-Gehäuses gewährleistet darüber hinaus eine geringe thermische Trägheit und damit schnelle Reaktionszeiten. Ein weiterer Vorteil der geringen Baugröße ist die gute Platzierbarkeit in unmittelbarer Nähe des SCIs. Zentraler Ausgangspunkt bei der Entscheidung über Form und Struktur der Leistungsstufe ist die Art, in welcher der Motor anzusteuern beziehungsweise zu kommutieren ist. Verschiedene Kommutierungen eignen sich für unterschiedliche Anwendungsfälle, benötigen angepasste Schaltungen und haben daher Einfluss auf die Komplexität des Systems und die benötigte Entwicklungszeit. Die Art der Kommutierung ist damit auch maßgeblich für die Gesamtkosten des Endprodukts verantwortlich. Die Single-Chip-Inverter SA57 und SA306 bieten als Feedback die Signale interner Stromspiegel an den High-Side-MOSFETs der Leistungsstufe an. Da diese nur Signale liefern, wenn die oberen Schalter geschlossen

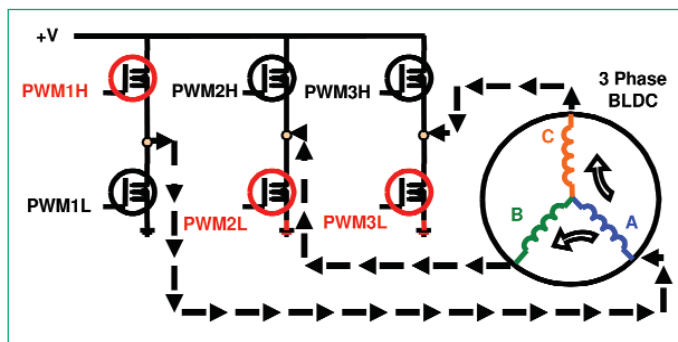


Bild 4: Halbbrückenschaltung zur Ansteuerung von dreiphasigen BLDC-Motoren und Aufteilung des Motorstroms auf die drei Phasen

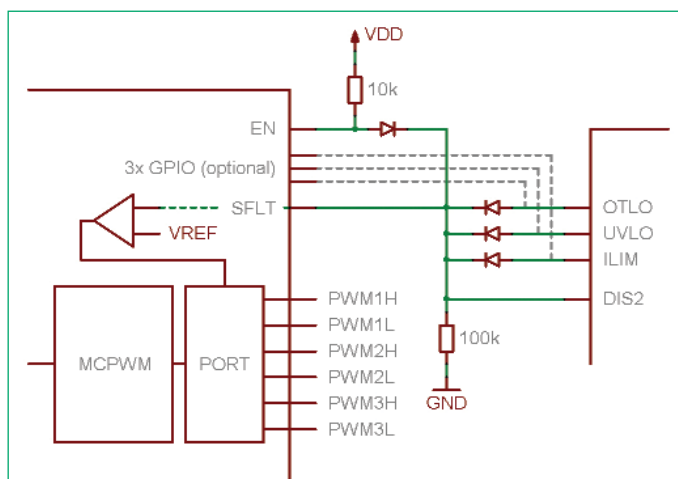


Bild 5: Sicherheitsschaltung für Notabschaltung

sind, eignen sich diese Leistungstreiber vor allem für sensorgestützte Kommutierungen (Bild 4). Um ein optimales Laufverhalten bei hoher Effizienz des Motors zu erreichen, empfiehlt sich zum Beispiel die am Spitzenstrom orientierte sinusförmige Kommutierung des Motors.

Sicherung der Funktion

Beim Einsatz in sicherheitsrelevanten Systemen werden verschiedene Sicherheitseinrichtungen benötigt – so

wohl vonseiten der Hard- als auch der Software. Die Kombination von SA306/SA57 und dsPIC33FJ128MC802 bietet hier verschiedene Möglichkeiten, auftretende Fehlfunktionen mehrfach abzusichern. Der hardwareorientierte Teil der System-sicherung lässt sich relativ einfach durch doppelte Auswertung der Fehlerindikatoren der SCIs für Überstrom, Unterspannung und Temperatur realisieren.

Die Schaltung aus Bild 5 zeigt eine Diodenanordnung, die es dem Controller ermöglicht, die Leistungsstufe zu

aktivieren beziehungsweise zu deaktivieren, wenn kein Fehlerfall vorliegt. Jeder auftretende Fehler überschreibt aktuelle Steuersignale des Controllers und verhindert so wirksam das Anlaufen unter Fehlerbedingungen. Gleichzeitig wird als zweites Sicherungssystem im Fehlerfall die Ansteuerung der Leistungsstufe unter Verwendung der Fault-Funktion des Controllers automatisch abgeschaltet.

Seit kurzem stellt Microchip für alle 16- und 32-Bit-Controller eine zertifizierte Software-Bibliothek für Class-B-Anwendungen gemäß IEC 60730 zur Verfügung. Diese Bibliothek erzeugt zur Laufzeit Tasks, die neben der eigentlichen Firmware den Chip und dessen Funktion selbst kontrollieren. Unter die überwachten Funktionen fallen Register und Programmzähler der CPU, flüchtiger und nichtflüchtiger Speicher, Systemtakt sowie Interrupt-Handling und -Ausführung. Elementare Sicherungssysteme wie automatische Reset-Funktionen bei Unterspannung, beim Hochfahren und bei unbehandelten Ausnahmefehlern sowie integrierte Watchdog-Timer mit eigenem, separatem Oszillator sind generell seit vielen Jahren fester Bestandteil der Controllerserien »PIC« und »dsPIC«. (rh)

Andreas Reiter
ist Applikationsingenieur für
controllergestützte Leistungs-
elektronik bei
Hy-Line Power Components
Telefon 089/61 45 03 18
www.hy-line.de/power

Ihr Vertriebspartner:
HY-LINE
POWER COMPONENTS

Inselkammerstraße 10
D-82008 Unterhaching
Tel.: +49 (0)89 614503 10
Fax: +49 (0)89 614503 20
E-Mail: power@hy-line.de
URL: www.hy-line.de