

HOCHINTEGRIERTE VERSORGUNG FÜR SCHALTWERKE IN SENSOREN

Digital und analog strikt getrennt

Sensoren mit analogen und digitalen Schaltungsteilen brauchen zwei separate Versorgungsspannungen. Eine bewährte, aber verlustbehaftete Möglichkeit der Trennung bieten klassische Längsregler-Bausteine. Effizienter arbeitet ein hybrider Auf-/Abwärtswandler-IC, der neben einem Schalt- und zwei Längsreglern einige nützliche Überwachungsfunktionen enthält.

MAGNUS MEIER

Kompakte und dezentrale elektronische Schaltungen, wie Bedienelemente, Encoder, optische Sensoren oder auch Lasermodule, werden in industriellen Anwendungen hauptsächlich über lange Leitungen mit einer 24-V-Spannung versorgt. Diese kann um bis zu ± 50 Prozent schwanken und mit erheblichen hoch- und niederfrequenten Störungen aus dem industriellen Umfeld überlagert sein. In der Sensorik dagegen gilt es, hochgenaue Analogschaltungen mit einer möglichst präzisen und störungsarmen Spannung zu versorgen. Auch digitale Schaltungsteile und Mikrocontroller erfordern Versorgungsspannungstoleran-

zen von weniger als ± 5 Prozent mit einer Restwelligkeit von 50 mV und besser.

Sensoren mit analogen und digitalen Schaltungsteilen benötigen zwei verschiedene Versorgungsspannungen mit unterschiedlichen Anforderungen. In modernen Sensoren arbeiten beispielsweise hochpräzise Analogschaltungen zusammen mit Mikrocontrollern oder Schaltausgängen [1] mit einigen 100 mA Schaltleistung, wie IO-Link-Schnittstellentreiber [2] oder RS422-Leitungstreiber. Diese Kombination kann zu Übersprechen, Störungen auf der Versorgungsspannung und/oder Masseverschiebungen führen. Die Konsequenz aus diesen unterschiedlichen Anforderungen ist eine klare Trennung der Spannungsversorgungen im Gerät.

LITERATUR

- 1 David Lin, Uwe Malzahn, Álvaro Pineda Garcia: PNP/NPN/PP oder IO-Link?; EL-info 03 (2011) 44
- 2 Uwe Malzahn: Kompakte Sensor-IO-Lösung; EL-info 02 (2009) 24
- 3 David Lin: Energieeinsparung bei Übertragung auf Leitungen; Green Engineering 2009, 27

Ein klassischer Ansatz, die Versorgungsspannungen zu trennen, gelingt mit Längsregler-Bausteinen, die aber bei Eingangsspannungen von beispielsweise 12 bis 36 V eine unerwünscht hohe Verlustleistung aufweisen. Das Vorschalten eines DC/DC-Wandlers kann diese Verluste reduzieren, vergrößert allerdings den Platzbedarf der Spannungsversorgung auf

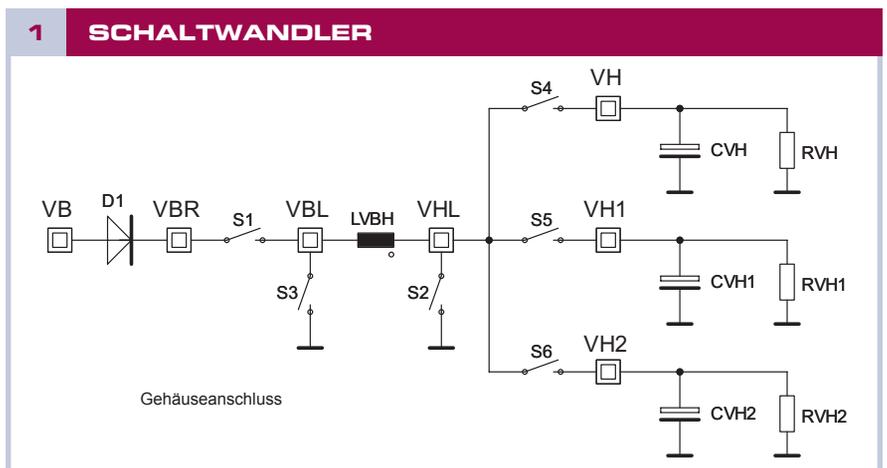


Bild 1. Der Baustein iC-DC enthält bis auf die passiven LRC-Bauteile alle aktiven Schalter, Dioden sowie den Oszillator

dem PCB. Werden zwei Längsregler mit unterschiedlichen Ausgangsspannungen nachgeschaltet, so erhöht sich die Verlustleistung des Längsreglers mit der niedrigeren Ausgangsspannung, da er nicht optimal angesteuert wird. Um die Nachteile dieser hybriden Architektur zu eliminieren, ist eine integrierte Lösung erforderlich. Ein integrierter Verpolungsschutz, möglichst wenig externe passive Bauteile, ein gutes EMV-Verhalten und die Überwachung der Ein- und Ausgangsspannung mit Pufferung bei Spannungsausfall sind nützliche Eigenschaften, die in modernen Geräten nachgefragt werden.

Ein guter Lösungsansatz ist die integrierte Kombination eines Schaltreglers mit zwei nachgeschalteten Längsreglern, jeweils getrennt für beispielsweise eine digitale und eine analoge Spannungsversorgung, die auch unabhängig voneinander einstellbar sind.

Hybride Wandlerarchitektur für getrennte Versorgung

Um die Verluste in den Längsreglern zu minimieren, sollte ein DC/DC-Wandler in der Lage sein, zwei Zwischenkreisspannungen zu erzeugen. Dies wurde im Baustein „iC-DC“ realisiert. **Bild 1** zeigt die prinzipielle Architektur des monolithischen Schaltwandlers. Bis auf die passiven LRC-Bauteile sind alle aktiven Schalter, Dioden sowie der Oszillator auf dem Chip integriert.

Die Eingangsspannung VB kann dem Schaltwandler wahlweise auch über eine Verpolungsschutzschaltung zugeführt werden. Der iC-DC erzeugt mit einer einzigen Induktivität drei Zwischenkreisspannungen VH, VH1 und VH2. Die Eingangsspannung der beiden Längsregler VH1 und VH2 liegt um jeweils 400 mV höher als die jeweilige Ausgangsspannung. Dank der eleganten Architektur des Wandlers gibt es keine explizite Umschaltung zwischen

2 AUFBAU

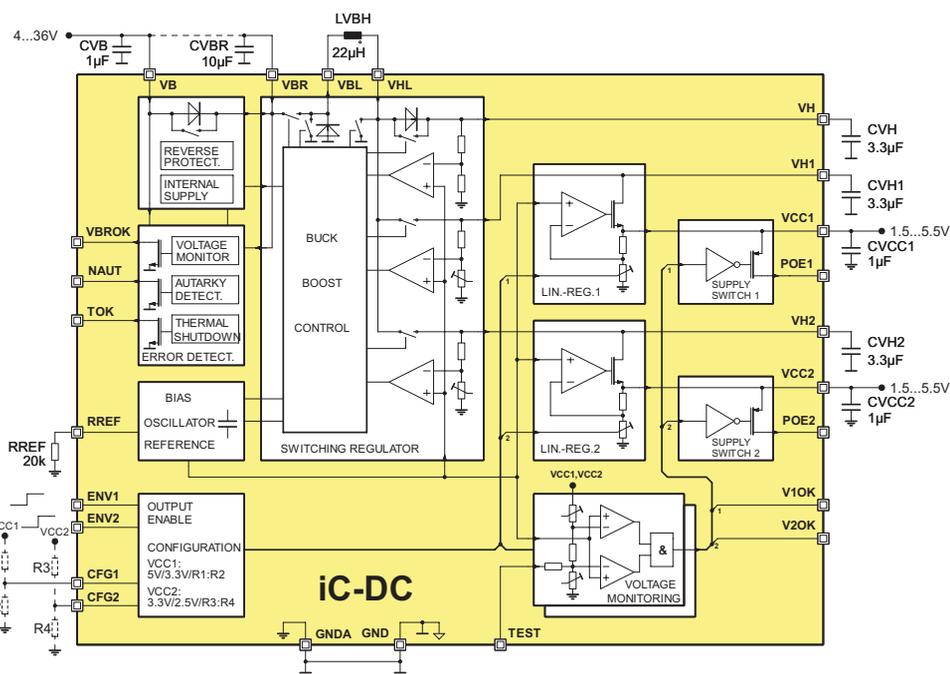


Bild 2. iC-DC: integrierte Spannungsversorgung für Sensoren

Auf- und Abwärtswandlerfunktion. Die Eingangsspannung darf dabei kleiner (mindestens 4 V) als die Ausgangsspannung an den Längsreglern (maximal 5,5 V) sein.

Dieser Lösungsansatz verringert die Verluste in den Längsreglern, und der hohe Wirkungsgrad des Auf-/Abwärtswandlers bedeutet bei Eingangsspannungen von 4 bis 36 V insgesamt eine geringe Wärmeentwicklung. Alle Zwischenkreisspannungen (VH, VH1 und VH2) sind als getrennte Ausgänge verfügbar, um die benötigten Stützkondensatoren von jeweils typisch 3,3 µF anzuschließen. Der erzielte Wirkungsgrad liegt je nach Arbeitspunkt zwischen 70 und 80 Prozent. Die typische Schaltfrequenz des Wandlers beträgt 3 MHz und erlaubt den Einsatz

kleiner Spulen von zirka 5 mm x 6 mm ($L_{VBH} = 22 \mu\text{H}$ mit $R_i < 1,1 \Omega$ und $I_{\text{max}} > 1 \text{ A}$). Der iC-DC ist für eine Gesamtstromabgabe von bis zu 300 mA ausgelegt. Der Laststrom kann auf beide Ausgänge beliebig verteilt werden.

Gemeinsam wandeln und getrennt versorgen

Die gewünschte Reduktion des Platzbedarfs in kompakten Sensoren erfordert eine komplette Integration der Spannungsversorgung. Neben dem Auf-/Abwärtswandler und den zwei Längsreglern besitzt der iC-DC noch weitere Funktionen (**Bild 2**). So wurde die komplette Überwachung der Ein- und Ausgangsspannungen mit integriert. Sie prüft die Eingangsspannung an VBR und gibt eine Fehlermeldung an VBROK aus, wenn VBR unter 2,8 V fällt oder über 42 V ansteigt.

Ein Abfall der Versorgungsspannung kann mithilfe einer Autarkie-Funktion erkannt werden: Fällt die Spannung an VB unter die Spannung VBR, so wird diese Differenz (typisch 12 mV) erkannt und ein Low-Signal am Meldeausgang NAUT ausgegeben. Eine ausreichend große Pufferkapazität kann einem Mikrocontroller noch genügend Zeit geben, eine bestimmte Aktion auszuführen.



WISSENSWERT

Was ist ein hybrider monolithischer DC/DC-Auf-/Abwärtswandler?

Ein hybrider Gleichspannungsschaltwandler zeichnet sich dadurch aus, dass dem normalen Schaltwandler ein Längsregler nachgeschaltet ist, um so die Vorteile beider Architekturen zu verbinden: der DC/DC-Wandler zum Minimieren der Verluste und der lineare Längsregler, um die Restwelligkeit zu reduzieren. Dies ist besonders bei dezentralen Elektroniksystemen mit empfindlichen, analogen Schaltungen interessant. Ist die Eingangsspannung größer als die Ausgangsspannung, wird ein Abwärtswandler (Buck Converter) benötigt. Umgekehrt ist ein Aufwärtswandler (Boost Converter) erforderlich. Sind alle Funktionen in einem IC integriert, so spricht man von einem monolithischen Baustein.

3 RESTWELIGKEIT

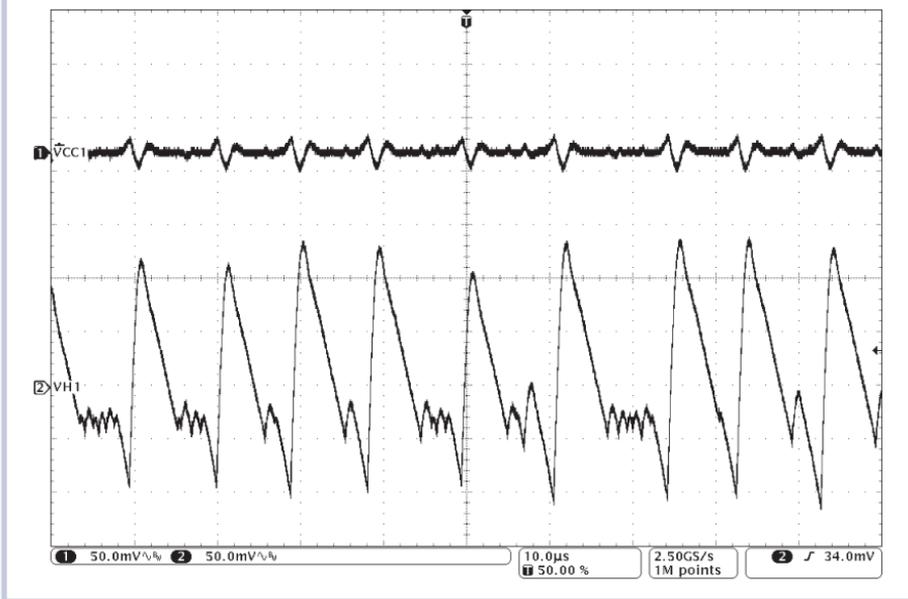


Bild 3. Reduzierung der Restwelligkeit mithilfe der integrierten Linearregler

Die Ausgangsspannungen VCC1 und VCC2 der Längsregler werden ebenfalls überwacht. Tritt eine Über- oder Unterspannung auf, so erfolgt eine Low-Meldung an V1OK beziehungsweise V2OK. Der High-Zustand stellt für einen Mikrocontroller eine OK-Meldung dar. Zur Versorgung von Schaltkreisen, die einen definierten schnellen Anstieg oder Abfall der Versorgungsspannung benötigen (wie EEPROMs), gibt es zwei geschaltete Versorgungsspannungen POE1 und POE2.

KONTAKT

iC-Haus GmbH,
55294 Bodenheim,
Tel. 06135 9292-0,
Fax 06135 9292-192,
www.ichaus.de

Erst wenn die Freigabespannungen an VCC1/VCC2 erreicht sind, werden die Ausgänge POE1 und POE2 eingeschaltet. Die beiden Längsregler VCC1 und VCC2 sind über separate Eingänge (ENV1 und ENV2) ein- und ausschaltbar. Mit einer Standby-Funktion für den gesamten iC-DC kann die Stromaufnahme reduziert werden. Dies erlaubt einen gepulsten Betrieb von Sensoren mittels eines Mikrocontrollers mit Wake-up Timer.

Die Chip-Temperatur des iC-DC wird ebenfalls überwacht. Die Schalter S1-S6 werden bei Überschreiten einer Chip-

Temperatur von 150 °C deaktiviert, und am TOK-Ausgang wird ein Low-Signal ausgegeben.

Zur Versorgung der analogen Schaltungsteile kann entweder VCC1 oder VCC2 verwendet werden. Dies erlaubt eine generelle Trennung von digitaler und analoger Spannungsversorgung. **Bild 3** vergleicht die Restwelligkeit der Ausgangsspannung des Linearreglers VCC1 (5 V) mit seiner Eingangsspannung VH1 (Ausgangsspannung des Schaltwandlers). Die Restwelligkeit wurde bei einem Laststrom von 50 mA und einer Bandbreite von 20 MHz gemessen. Selbst bei Verwendung eines verhältnismäßig kleinen Glättungskondensators von 2 µF (ESR < 1 Ω) reduziert sich die Restwelligkeit nach dem Längsregler um den Faktor 10. Im Frequenzbereich bis 1 kHz beträgt die PSRR typischerweise 50 dB.

Die Ausgangsspannung VCC1 beziehungsweise VCC2 kann über einen einfachen Spannungsteiler an CFG1 und CFG2 im Bereich von 1,5 bis 5,5 V oder über einen festen High- oder Low-Pegel auf 2,5, 3,3 oder 5 V eingestellt werden. Die Lastausregelung der Spannungen VCC1 und VCC2 ist besser als ±20 mV.

Versorgungsspannungen im PCB-Layout trennen

Ein optimales PCB-Layout für eine getrennte Analog- und Digitalversorgung sollte alle unerwünschten Störungen von

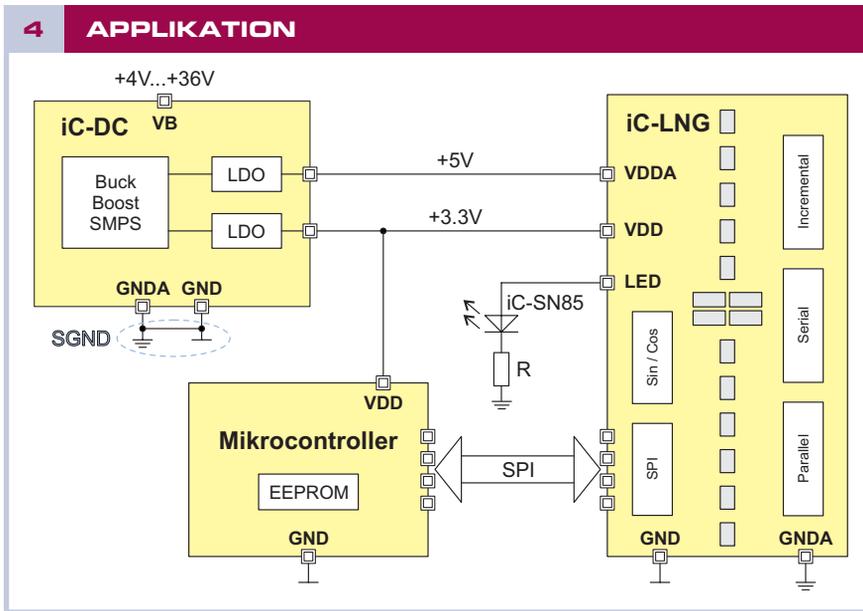


Bild 4. 16-Bit-Encoder mit getrennter Spannungsversorgung für den Analog- und Digitalteil

den Sensorsignalen fernhalten. Einige wichtige anwendbare Faustregeln für das Layout sind:

- digitale Massesignale (GND) von analogen Massesignalen (GNDA) getrennt führen,
- sternförmige Zusammenführung von GND und GNDA am Einspeisepunkt (Systemmasse SGND),
- möglichst kurze Zuleitungen für HF-Stützkondensatoren mit kleinem ESR (Parallelschalten von Kondensatoren verringert ESR),
- möglichst kurze Zuleitung zur Schaltinduktivität des Wandlers,
- Abblockkondensatoren möglichst über Durchkontaktierungen zur Massefläche führen und Plusseite direkt an die IC-Versorgung anschließen.

Das **Titelbild** zeigt ein typisches Layout für den iC-DC mit zwei Versorgungsspannungen. Die weißen Punkte im Bild stel-

len Durchkontaktierungen zur darunter liegenden Massefläche dar. Die metallene Unterseite des QFN24-Gehäuses (U1) ist gleichzeitig der Sternpunkt (SGND) für GND und GNDA. Die Abblockkondensatoren CVH, CVH1 und CVH2 der Zwischenkreisspannungen VH, VH1 und VH2 sind nahe am Gehäuse platziert. Zum Abblocken der einstellbaren Ausgangsspannungen VCC1 und VCC2 sind CVCC1 und CVCC2 vorgesehen. Mit dem Keramik Kondensator CVBR1 werden HF-Störungen

nach außen und innen abgeblockt. Der integrierte Oszillator des iC-DC besitzt eine aktive Frequenzspreizung, welche die Störabstrahlung zusätzlich reduziert. Alle Kondensatoren sind per Durchkontaktierung an die Massefläche angeschlossen. Für L_{VBH} sollte eine geschirmte Spule eingesetzt werden, da diese eine geringere Störabstrahlung besitzt als eine einfach gewickelte Spule.



Beispiel: hoch auflösender optischer Encoder

Die Anforderungen an eine typische Spannungsversorgung für Sensoren werden am Beispiel eines hoch auflösenden optischen Encoders mit 16 Bit Auflösung deutlich. **Bild 4** zeigt das Blockdiagramm des Sensorsystems mit dem Kodier-IC „iC-LNG“, dem Mikrocontroller und dem Schaltwandler iC-DC. Der optische Encoder iC-LNG arbeitet mit einer analogen Versorgungsspannung von 4 bis

FAZIT

Die kombinierte Spannungsversorgung von analogen und digitalen ICs in hochgenauen, meist auch kompakten Sensoren erfordert neue Konzepte für die Spannungswandler-Architektur. Komplette integrierte Lösungen, wie der hybride Auf-/Abwärtswandler iC-DC, unterstützen die konsequente Trennung der analogen und digitalen Spannungsversorgung und übernehmen das komplette Power-Management in typischen Sensoranwendungen.

5,5 V (Fotodioden mit Verstärker, Interpolator, LED-Regelung und Sinus/Kosinus-Ausgangsstufe) und einer digitalen Versorgungsspannung von 3,3 bis 5,5 V (serielles Schieberegister, ABZ-, SPI- und parallele Schnittstelle). Die Stromaufnahme

me des iC-LNG mit angeschlossener LED und Mikrocontroller liegt typischerweise unter 50 mA. Dank des iC-DC reduziert sich die Stromaufnahme aus dem Netzteil bei einer Versorgungsspannung von 24 V auf 20 mA. Die Aufteilung in zwei Versor-

gungsspannungen beugt einer möglichen Störung der analogen Schaltungsteile vor, welche beispielsweise das Schalten der digitalen IO-Ports verursachen kann. (m)

www.EL-info.de

