

Current-Mode-Schaltregler-IC für isolierte Sperrwandler

Ganz ohne Optokoppler

Um bei Sperrwandlern die galvanische Trennung zwischen Primär- und Sekundärseite zu gewährleisten, kamen bisher meist Optokoppler zum Einsatz. Bei Nutzung des isolierten Sperrwandler-ICs LT3825 kann der Optokoppler jetzt entfallen. Dennoch ist für die notwendige Rückkopplung gesorgt.

Obwohl einfaches Design und hoher Wirkungsgrad bei isolierten Sperrwandlern inzwischen Standard sind, kann jetzt auch auf den Einsatz von Optokopplern verzichtet werden, was die Performance noch einmal steigert. Normalerweise schließt ein Optokoppler die Rückkopplungsschleife bei isolierten Sperrwandlern niedriger Leistung (10 – 60 W). Diese Technik nutzt eine Referenzspannung auf der Sekundärseite sowie einen Fehlerverstärker, der einen Optokoppler treibt, welcher ein Steuersignal zur Primärseite zurückliefert, das zur Regelung und zur Reaktion auf Transienten dient. Dieser Ansatz benötigt nicht nur viele Bauteile, sondern platziert auch einen Optokoppler in die Rückkopplungsschleife, was zu vielen Konstruktionsproblemen führt.

Der Betrieb von Optokopplern in der Rückkopplungsschleife erfordert die Einhaltung einer relativ geringen Toleranz beim Stromübertragungsverhältnis (CTR), das auch als Verstärkung bezeichnet wird. Das übliche CTR eines Optokopplers variiert um 100 % in einem Temperaturbereich von 0 bis 70 °C, so dass die angemessenen Verstärkungs- und Phasengrenzwerte nur schwer beibehalten werden können.

Optokoppler nutzen sich mit der Zeit ab. Es ist sehr wichtig, keine übermäßigen Ströme durch die Sendediode zu leiten, da dies zu vorzeitiger Alterung führt, was wiederum Änderungen des CTR und damit Oszillation oder Ausfall der Stromversorgung zur Folge haben kann.

Darüber hinaus hängt die Reaktionszeit des geregelten Spannungswandlersystems stark von der Ansprechzeit des Optokopplers ab. Im besten Fall weist der Optokoppler nur eine Ausbreitungsverzögerung

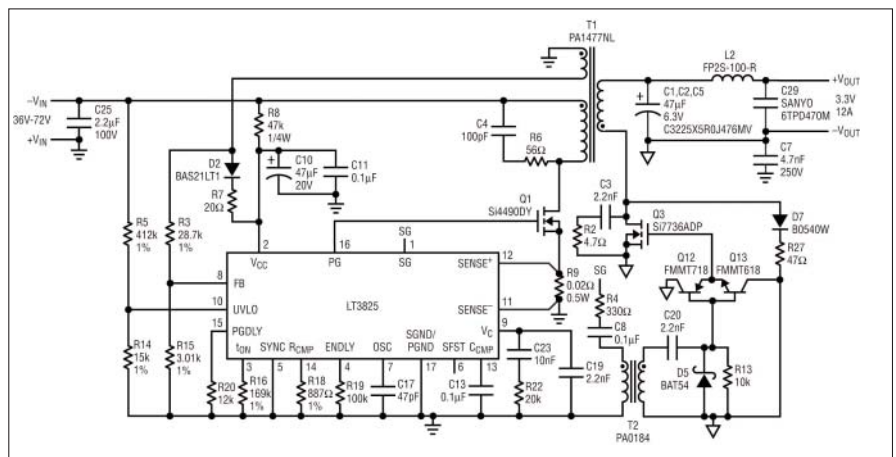


Bild 1: Typische Sperrwandler-Schaltung mit dem LT3825 – ohne Optokoppler

von einigen Mikrosekunden auf. Bei üblichen Betriebsfrequenzen von weit über 100 kHz kann dadurch der Optokoppler zum reaktionsträgsten Teil des Regelsystems werden. Ein langsamer Regelkreis ist gleichbedeutend mit übermäßiger Abweichung der Ausgangsspannung vom Nennwert während eines Transienten, wie z. B. einem Lastsprung.

Anders sieht es bei der Schaltung in Bild 1 aus. Dieser Sperrwandler basiert auf dem LT3825 von Linear Technology, einem isolierten synchronen Sperrwandler. Es kommen nur sehr wenige Bauteile zum Einsatz, und doch verfügt das IC über einen Schutz vor Unterspannung am Eingang bzw. Kurzschluss am Ausgang. Die Kurven zum Wirkungsgrad und zur Regelung aus Abbildung 2 zeigen die Performance der Schaltung.

Beim LT3825 handelt es sich um ein Current-Mode-Schaltregler-IC, das speziell für den Einsatz in einem isolierten Sperrdesign ohne Optokoppler mit synchroner Gleichrichtung ausgelegt ist. Der Current-Mode-Betrieb bietet verbesserte Transienten-Unterdrückung in den Leitungen, einfache Regelschleifenkompensation sowie eine inhärente „innere“ schnelle Stromregelschleife und eine langsamere „äußere“

Spannungsregelschleife. Die innere Stromregelschleife verfügt auf der Primär- und der Sekundärseite über eine sofort reagierende Impuls-pro-Impuls-Regelung der Schalt-MOSFETs. Der Betrieb des Regler-ICs LTC3825 ähnelt dem eines herkömmlichen Current-Mode-Sperrwandlers – allerdings mit dem Unterschied, dass die Ausgangsspannungsrückkopplung durch Messungen an einer Wicklung des Leistungstrafos erfolgt. Dies verringert die Anzahl der Bauteile, welche die Isolationschicht zum Leistungstrafo und zum synchronen Antriebstrafo für den sekundären synchronen MOSFET überbrücken. Der Leistungstrafo unterliegt verschiedenen Kompromissen in puncto Wirkungsgrad, maximale Leistung, Größe, Kopplung, Induktions-Kriechstrom, Wicklungskapazität und letztendlich Kosten etc.. All dies hängt von den Eingangs- und Ausgangsspezifikationen ab, die für die jeweilige Konstruktion erforderlich sind. Der LT3825 verfügt über einen einzigartigen Rückkopplungsverstärker, der während der Sperrphase die Spannung an einer Trafowicklung abgreift und mit dieser Spannung die Rückkopplungsschleife regelt. Für die Rückkopplung kann am Leistungstrafo eine eigene Wicklung oder die Sperr-

AUTOR
Bruce Haug arbeitet bei Linear Technology.

wicklung auf der Primärseite verwendet werden. In beiden Fällen werden die gleiche Regelung und eine schnelle Transienten-Reaktion erreicht. Ein weiterer Transistor ist erforderlich, um die Messspannung zu verringern, wenn die Primärwicklung für die Rückkopplung verwendet wird.

Speziell entwickelte Rückkopplungsschaltungen im LT3825 lesen die reflektierte Ausgangsspannungsinformation an dieser Wicklung während der Sperrphase ein. Diese Spannung wird dann mit einer präzisen internen Referenzspannung verglichen und ein Fehlersignal daraus abgeleitet. Das Fehlersignal dient zur Modulation der Einschaltzeit von Q₁, wodurch die Ausgangsspannung geregelt wird. Ein wichtiger Vorteil dieser Technik liegt darin, dass die Informationen zur Ausgangsspannung umgehend den Controller erreichen, sobald der Schaltzyklus abgeschlossen ist. Bei einem herkömmlichen optokopplerbasierten Design treten Verzögerungen von mehreren Mikrosekunden schon allein im Optokoppler auf, so dass die Transienten-Reaktionszeit des Wandlers beschränkt wird.

Wenn der primäre MOSFET-Schalter Q₁ ausgeschaltet wird, steigt seine Drain-Spannung über den Wert V_{in}. Die Sperre tritt ein, wenn der primäre MOSFET ausgeschaltet und die synchrone Sekundärseite mit dem MOSFET Q₂ eingeschaltet ist. Während der Sperre wird die Spannung an den nicht betriebenen Transformatorpins durch die Sekundärspannung bestimmt. Die Amplitude dieses Sperrimpulses auf der dritten Wicklung wird angegeben als:

$$V_{FLBK} = \frac{V_{OUT} + I_{SEC} \cdot (ESR + R_{DS(ON)})}{N_{SF}}$$

- R_{DS(on)} = Einschaltwiderstand des synchronen MOSFETs
- I_{SEC} = Sekundärstrom des Transformators
- ESR = Ersatz-Reihenwiderstand ESR des sekundären Stromkreiskondensators
- N_{SF} = effektives Verhältnis der Sekundär-zur Rückkopplungswicklung des Transformators (N_S/N_{FLBK})

Die Sperrspannung wird dann über einen externen Spannungsteiler R₁/R₂ skaliert und am Rückkopplungspin angelegt (Bild 3). Der Feedbackverstärker vergleicht daraufhin die Spannung mit der internen Bandlückenreferenz. Der Feedbackverstärker ist eigentlich ein Steilheitsverstärker, dessen Ausgang nur während der Sperrzeit an V_c angeschlossen ist. Ein externer Kondensator am V_c-Pin integriert den Netto-Rückkopplungsverstärkerstrom, um die Regelspannung bereitzustellen, mit der der Current-Mode-Auslösepunkt festgelegt wird.

Die Regelspannung an Pin FB ist aufgrund der hohen Verstärkung in der Gesamtschleife fast gleich der Bandlückenreferenz V_{FB}. Die Beziehung zwischen V_{FLBK} und V_{FB} wird ausgedrückt als

$$V_{FLBK} = \frac{R_1 + R_2}{R_2} \cdot V_{FB}$$

Kombiniert man dies mit dem vorherigen Term für V_{FLBK}, ergibt sich für V_{OUT} folgender Term, der von der internen Referenz, den Programmierwiderständen und den Sekundärwiderständen abhängt: ▶

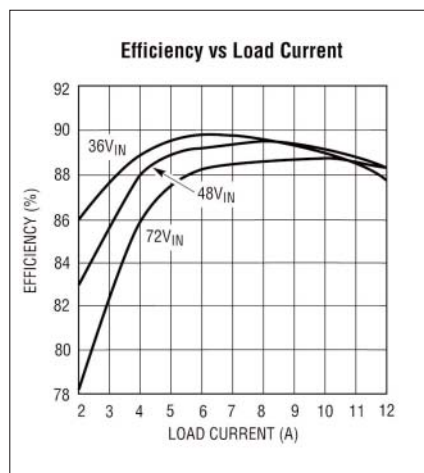
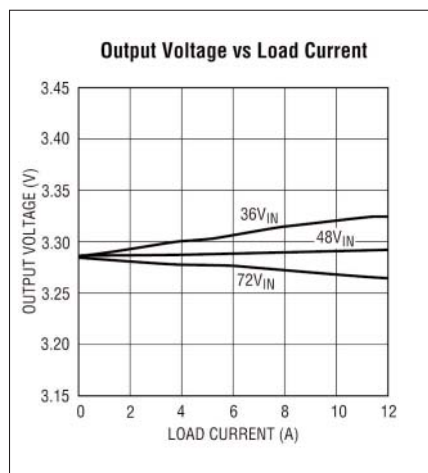


Bild 2: Wirkungsgrad- und Regelkurven zum Laststrom

$$V_{OUT} = \left(\frac{R1+R2}{R2} \cdot V_{FB} \cdot N_{SF} \right) - I_{SEC} \cdot (ESR + R_{DS(ON)})$$

Bislang wurde angenommen, dass der Sperrwandler-Feedbackverstärker gleichsam mit Gleichspannung betrieben würde. Das Sperrsignal ist jedoch ein Impuls, keine Gleichspannung. Es muss sichergestellt werden, dass der Sperrverstärker nur aktiviert ist, wenn auch ein Sperrimpuls vorliegt. Dies geschieht intern im Controller durch die „Enable“-Leitung. Timing-Signale müssen den Sperrverstärker aktivieren und deaktivieren, um sicherzustellen, dass das Feedbacksignal zum ordnungsgemäßen Zeitpunkt entnommen wird. Dies wird automatisch durch den LT3825 gesteuert. Der LT3825 beeinflusst die Ausgangsspannungsregelung über Sperrimpulse. Wenn der Ausgangsschalter nicht eingeschaltet ist, gibt es keinen Sperrimpuls und die Ausgangsinformationen sind nicht verfügbar. Dies führt zu irregulärem Regelschleifenverhalten und Anlaufproblemen. Die Lösung liegt darin, dass der Primärschalter in jedem Oszillationszyklus über einen Mindestzeitraum hinweg eingeschaltet sein muss. Der Sperrimpuls tritt auf, wenn der Schalter auf der Primärseite ausschaltet. Es dau-

spanne erforderlich. Um für eine Störfestigkeit gegenüber diesen Phänomenen zu sorgen, wird eine feste Verzögerung zwischen dem Ausschaltbefehl des Schalters und der Aktivierung des Feedbackverstärkers eingeführt. Diese wird als Aktivierungs-Verzögerungszeit bezeichnet. Sobald der Feedbackverstärker aktiviert ist, muss er über einen Mechanismus wieder deaktiviert werden können. Dies wird über einen Collapse-Detach-Comparator erreicht, der die Sperrspannung (kurz FB) mit einer festen Referenz vergleicht, nominal 80 % von V_{FB}. Wenn die Sperrwellenform unter diesen Wert fällt, wird der Rückkopplungsverstärker deaktiviert. Der einmal aktivierte Feedbackverstärker bleibt über einen festen Mindestzeitraum hinweg aktiviert. Dieser wird als „Mindestaktivierungszeit“ bezeichnet. Dadurch wird ein Verriegeln verhindert, insbesondere wenn die Ausgangsspannung unnatürlich niedrig ist, z. B. beim Anlaufen. Die Mindestaktivierungszeit stellt sicher, dass der Knoten V_C „hochpumpen“ und den Current-Mode-Auslösepunkt auf die Stufe erhöhen kann, an der das Zusammenbruch-Erkennungssystem ordnungsgemäßen Betrieb aufweist. Diese Zeitspanne wird intern über

einen einzelnen Widerstandswert festgelegt.

Darüber hinaus vereinfacht der synchrone Gleichrichterausgang (SG-Pin) des LT3825 das Ansteuern des synchronen sekundären Gleichrichter-MOSFETs und ermöglicht so eine niedrige Bauteilanzahl. Zum Einstellen der Totzeit von Q₂ in Bezug auf Q₁ wird nur ein Widerstand benötigt. Durch das Vermeiden herkömmlicher komplizierter, diskreter Timingschaltungen kann der Entwickler die optimalen Totzeiten einstellen, da dieses Timing im LT3825 gut geregelt wird. Das IC macht auch ein sekundärseitiges synchrones Controller-IC sowie die zugehörigen Schaltelemente überflüssig.

Der Einsatz der Current-Mode-Steuerung des LT3825 bietet schnellere Reaktionszeiten sowie einfache Regelschleifenkompensation, deren Funktion im Folgenden beschrieben (Bild 4) wird.

Der Schaltstrom, der durch Q₁ fließt, wird durch den externen Messwiderstand umgewandelt, gemittelt und durchläuft den internen Tiefpass, der von dem 50-kΩ-Widerstand R_{COMPF} und dem externen Kondensator C_{COMP} gebildet wird. Diese Spannung wird dann über den externen Widerstand R_{COMP} durch einen Operationsverstärker A1 und Transistor Q₃ angelegt. Dadurch entsteht ein Strom am Kollektor von Q₃, der vom FB-Knoten abgezogen wird. Dieser Vorgang erhöht effizient die erforderliche Spannung an der Spitze des Feedbackteilers R1/R2, so dass ein Gleichgewicht entsteht. Der durchschnittliche Primärseiten-Schaltstrom wird erhöht, um die Ausgangsspannungsregelung bei steigender Ausgangslast beizubehalten. Mit dem isolierten synchronen Sperrwandler LT3825, der ganz ohne Optokoppler auskommt, können Entwickler die Reaktionszeit sowie den Wirkungsgrad verbessern und dabei hervorragende Last- und Leitungsregelungen mit einem isolierten Sperrwandler beibehalten. Dies ermöglicht weniger Bauteile und einfachere Umsetzung und macht Optokoppler überflüssig.

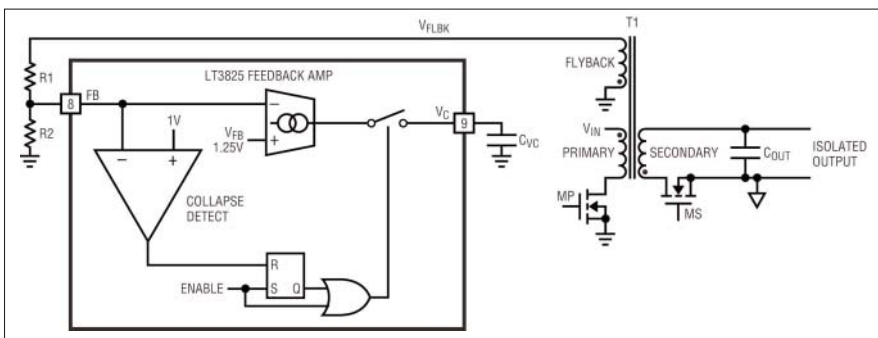


Bild 3: Sperrwandler – Feedbackverstärker

ert jedoch eine bestimmte Zeit, bis die Spannungswellenform auf der Primärseite des Transformators die Ausgangsspannung repräsentiert. Dies liegt zum Teil an der Anstiegszeit des Primärseiten-MOSFET-Drainknotens, doch wichtiger ist die Kriechinduktion des Transformators. Letztere bewirkt eine Spannungsspitze auf der Primärseite, die nicht direkt mit der Ausgangsspannung in Verbindung steht. Für das interne Setzen des Rückkopplungsverstärkerkreises ist eine gewisse Zeit-

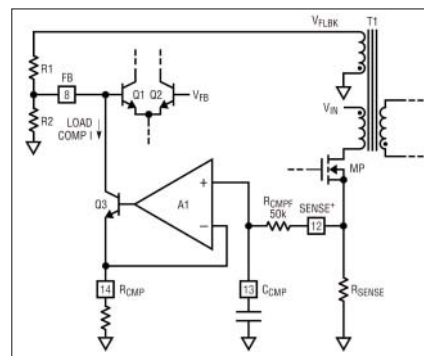


Bild 4: Schaltbild des Current-Mode-Regelkreises


infoDIRECT 306e1206
www.elektronik-industrie.de
 ▶ Link zu **Linear Technology**