

Abwärtsregler vor Überstromschäden schützen

Synchrone Abwärtsregler (Buck-Regler) kommen in zahlreichen Industrie- und Infrastruktur-Anwendungen zum Einsatz und wandeln 12V-Versorgungsschienen auf Point-of-Load-Eingänge (POL) bis auf 0,6 V für Mikrocontroller, FPGAs, Speicher und Peripherie-I/Os hinab. Überstromschutz (OCP; Overcurrent Protection) ist wichtig, um diese Schaltregler vor Überlast zu schützen. Aufgrund ihrer schnellen Reaktion kommt in der Regel eine zyklusweise Strombegrenzung zum Einsatz. Dieser Ansatz sorgt bei einem Schaltregler für einen kontinuierlichen maximalen Laststrom, kann aber übermäßige Wärme erzeugen und die Systemzuverlässigkeit verringern. Nachgelagerte Schutzvorkehrungen wie Hiccup- und Latch-Off-Modus, können verwendet werden, um die Zuverlässigkeit zu erhöhen und den mittleren Ausfallabstand (MTBF; Mean Time Between Failures) zu verlängern.

Dieser Beitrag beschreibt mehrere Lösungen, um einen Überstromschutz in Abwärtsregler zu implementieren. Auch praktische Überlegungen aus der Sicht von Entwicklern für Stromversorgungen werden näher untersucht, damit diese die richtige Entscheidung für ihre Anwendungen treffen können.

Überstromschutz mit zyklusweiser Strombegrenzung

Abwärtsregler mit Stromregelung (CMC; Current-Mode Control) sind aufgrund ihrer vielen Vorteile äußerst beliebt. Einer der Hauptvorteile ist die zyklusweise Strombegrenzung durch bloßes Klemmen der COMP-Spannung. Bild 1 zeigt das Blockschaltbild eines Abwärtswandlers mit Spitzenwert-Stromregelung, der als Beispiel zur Veranschaulichung der verschiedenen Überstromschutzlösungen verwendet wird.

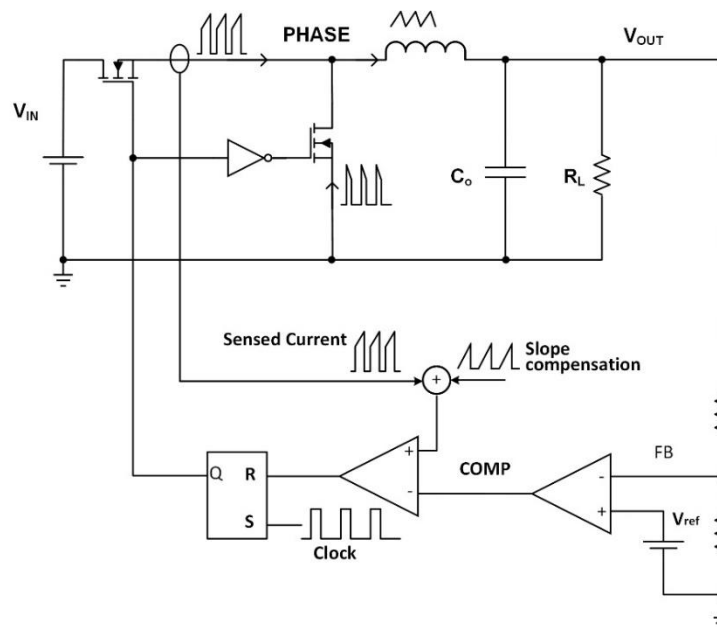


Bild 1: Blockschaltbild eines Abwärtswandlers mit Spitzenwert-Stromregelung

Um die Strombegrenzung zu ermöglichen, muss der Induktorstrom gemessen werden. Zu den am häufigsten verwendeten Methoden für die Stromerfassung zählen die Widerstands-, die Induktor-DCR-, die Leistungs-MOSFET-RD_{son} - und die SenseFET-Stromerfassung. Aufgrund der hohen Genauigkeit und der vernachlässigbaren Verlustleistung findet sich vor allem die SenseFET-Stromerfassung in Schaltreglern wie

Renesas synchronen Abwärtsreglern ISL85005 und ISL85014. Die Technik basiert auf dem Prinzip angepasster Bausteine, bei denen der Strom in den Leistungs-FET und den SenseFET umgekehrt in Bezug auf ihre Widerstände aufgeteilt wird. Ein sehr hohes Verhältnis des Leistungs-FET-Widerstands zum SenseFET wird oft gewählt, da der im SenseFET fließende Strom nur ein kleiner Bruchteil des Strom im Leistungs-FET ist. Für die Stromerfassung kann daher ein Signalpegelwiderstand verwendet werden, ohne dabei einen signifikanten Leistungsverlust einzufügen. Die erste OCP-Stufe mit zyklusweiser Strombegrenzung, die Entwickler von Stromversorgungen implementieren können ist a) die Spitzenstrombegrenzung, gefolgt von b) der Rückwärtsstrombegrenzung. Später besprechen wir nachgelagerte Schutzmaßnahmen, wenn anhaltende Fehlerereignisse auftreten.

A. Spitzenstrombegrenzung

In einem Abwärtswandler mit Spitzenwert-Stromregelung leitet das Taktsignal den Schaltzyklus ein. Dann schaltet sich der High-Side-Schalter ein und der Induktorstrom wird hochgefahren. Dieser wird erfasst und mit dem Regelsignal (V_{COMP}) verglichen. Erreicht der Induktorstrom V_{COMP} , wird der High-Side-Schalter ausgeschaltet und der Induktorstrom sinkt, bis die nächste Schaltperiode beginnt. Durch das Klemmen von V_{COMP} kann der Spitzeninduktorstrom auf ein gewünschtes Niveau begrenzt werden. Bild 2 zeigt das Stromsignal im Normal- und Strombegrenzungsmodus.

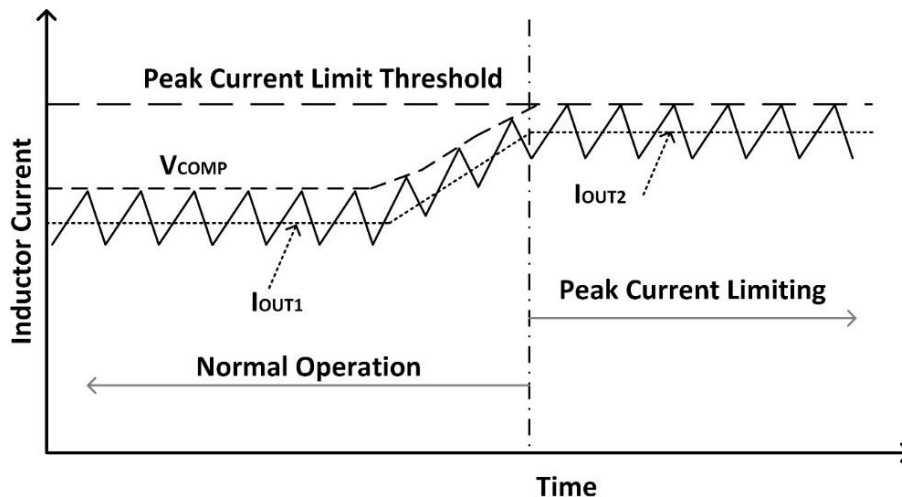


Bild 2: Normal- und Spitzenstrombegrenzungsmodus

Theoretisch wird, sobald der Induktorstrom die Spitzenstrombegrenzungsschwelle erreicht, der High-Side-Einschaltimpuls sofort beendet, um den Induktorstrom unterhalb der Spitzenstrombegrenzungsschwelle zu halten. Eine reelle PWM-Steuerung weist jedoch eine minimale Einschaltdauer auf. Nachdem der Takt einen neuen Schaltzyklus eingeleitet hat, muss der High-Side-Schalter mindestens für die minimale Einschaltdauer eingeschaltet bleiben, bevor er ausgeschaltet werden kann – auch wenn der Induktorstrom die Spitzenstromschwelle erreicht.

Bei einem Kurzschlussfehler führt die extrem niedrige Ausgangsspannung zu einem langsamen Absinken des Induktorstroms während der High-Side-Ausschaltzeit. Der Abwärtswandler muss mit einem sehr kleinen Tastgrad arbeiten, um den Induktorstrom unterhalb der Spitzenstromschwelle zu halten. Wenn die von der Regelschleife geforderte Einschaltzeit kleiner als die minimale Einschaltdauer ist, hält der Regler den High-Side-Schalter für den Zeitraum minimaler Einschaltdauer im eingeschalteten Zustand. Infolgedessen steigt der Induktorstrom bei jedem Schaltzyklus und überschreitet schließlich den eingestellten Spitzenstromschwellenwert. Ein solcher Strom-Runaway lässt sich durch zwei unterschiedliche Lösungen vermeiden, die durch eine minimale Einschaltdauer begrenzt sind: Implementierung einer

Talstrombegrenzung und/oder eine Schaltfrequenz-Foldback-Funktion als ergänzender Schutz für die Spitzenstrombegrenzung.

Talstrombegrenzung: bietet eine zusätzliche Schutzebene. Die Talstrombegrenzung lässt sich durch Erfassen des Induktorstroms implementieren, wenn der Low-Side-Schalter eingeschaltet ist. Wenn der erfasste Strom am Ende des Schaltzyklus den Talstrombegrenzungswert überschreitet, überspringt der High-Side-Schalter den nächsten Zyklus und bleibt aus, bis der Strom unter die Talstrombegrenzungsschwelle abfällt. Somit kann die zuvor beschriebene Runaway-Situation (aufgrund der minimalen Einschaltzeit) vermieden werden. Bild 3 illustriert diesen Schutzmechanismus.

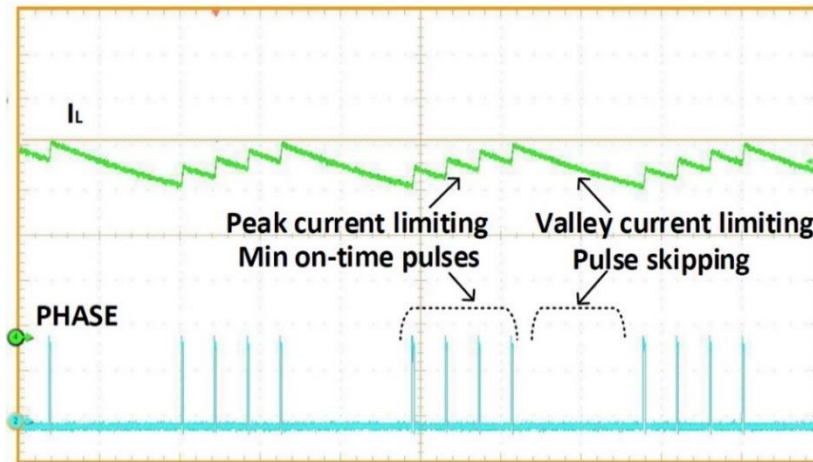


Bild 3: Spitzenstrombegrenzung und Talstrombegrenzung

Schaltfrequenz-Foldback: bietet eine weitere Möglichkeit, einen Strom-Runaway zu verhindern, der durch eine minimale Einschaltzeit bei einem Kurzschlussfehler auftritt. Wird ein Überstromereignis erkannt, begrenzt die Spitzenstrombegrenzungsschaltung den Tastgrad und verringert somit die Ausgangsspannung. Wenn die Rückkopplungsspannung und/oder Einschaltzeit kleiner als die programmierte Schwelle ist, verringert die Frequenz-Foldback-Funktion die Schaltfrequenz. Die niedrigere Frequenz für einen gewünschten Tastgrad wird eine längere Einschaltzeit verursachen. Bleibt die Frequenz niedrig genug (so dass die geforderte Einschaltzeit größer ist als die minimale Einschaltzeit) wird der Strom-Runaway vermieden. Die verringerte Frequenz führt auch zu einer größeren Induktorstromwelligkeit und einem niedrigeren Ausgangsstrom. Die Frequenz erholt sich automatisch nach dem Entfernen des Kurzschlussfehlers auf den Normalwert.

B. Rückstrombegrenzung

In einem nicht synchronen Abwärtswandler mit Diodengleichrichtung ist der Induktorstrom immer positiv. Im Gegensatz dazu kann der Induktorstrom in einem synchronen Abwärtswandler in beide Richtungen durch den Low-Side-MOSFET fließen, wenn er im FCCM (Forced-Continuous-Conduction-Modus) betrieben wird. Wenn die Ausgangsspannung zufällig über den Ausgangssollwert angehoben wird, fließt ein großer negativer Strom von V_{OUT} zum PHASE-Knoten und durch den Low-Side-MOSFET gegen Masse. Übermäßiger Rückstrom kann auch zu einem Ausfall des Reglers führen.

Wie erwähnt, können sowohl die Spitzenstrombegrenzung als auch die Talstrombegrenzung nur den Durchlassstrom begrenzen, nicht aber den Rückstrom. Ein zusätzlicher Rückstrombegrenzungskreis ist daher erforderlich. Er zwingt den Low-Side-MOSFET in den ausgeschalteten Zustand – als Reaktion auf den Rückstrom durch den MOSFET, wodurch eine vorgegebene Rückstrombegrenzungsschwelle überschritten wird.

Nachgelagerte Überstrombegrenzung

Die zyklusweise Strombegrenzung ermöglicht einen schnellen Schutz auf erster Ebene, indem der maximale Strom auf einem voreingestellten Pegel begrenzt wird. Ein Schaltregler, der mit kontinuierlichem Maximalstrom arbeitet, weist einen hohen Temperaturanstieg auf und kann in einigen Anwendungen die thermische Abschaltung aktivieren. Ist dies der Fall, schaltet eine thermische Schutzschaltung den Regler ab, um Schäden zu vermeiden. Ist der Regler ausgeschaltet, kühlt er ab. Sobald er ausreichend abgekühlt ist, erholt er sich automatisch aus diesem thermischen Abschaltzustand. Bei einem anhaltenden Fehlerereignis schaltet der Regler zwischen Spitzenstrombegrenzung und thermischer Abschaltung hin und her, was die langfristige Zuverlässigkeit des Reglers beeinträchtigt. Zwei nachgelagerte Schutzmechanismen (Hiccup- oder Latch-Off-Modus) sollten berücksichtigt werden, um dieses Problem zu adressieren und die MTBF zu verbessern.

Hiccup-Modus-Schutz: dieser Schutz wird meist zusammen mit zyklusweiser Spitzenstrombegrenzung und einem Zykluszähler implementiert. Der Hiccup-Betrieb wird eingeleitet, wenn ein Überstromereignis erkannt wird. Die zyklusweise Begrenzungsschaltung begrenzt den Spitzenstrom. Dann zählt der Zykluszähler die Schaltzyklen. Nach einer gewissen Anzahl aufeinanderfolgender Zyklen wird der Schaltregler für eine vorgegebene Zeit ausgeschaltet und versucht dann, erneut zu starten. Wurde der Überstromzustand beseitigt, startet der Schaltregler und kehrt in den Normalbetrieb zurück. Andernfalls wird ein weiteres Überstromereignis angezeigt und der Regler wieder abgeschaltet, wobei der vorherige Zyklus wiederholt wird.

In einem anhaltenden Fehlerzustand arbeitet der Regler nur für eine kurze Dauer im Hiccup-Zyklus (Bild 4). Während des Hiccup-Modus ist die Verlustleistung und Temperatur viel niedriger. Infolgedessen verbessert sich die Zuverlässigkeit der Stromversorgung gegenüber Reglern, die nur eine zyklusweise Strombegrenzung bieten.

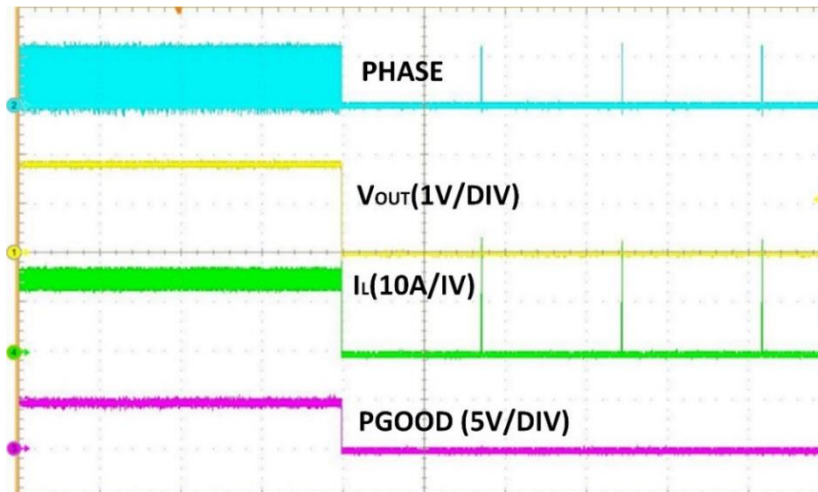


Bild 4: Hiccup-Modus-Überstrombegrenzung bei anhaltendem Fehlerzustand

Latch-off-Modus-Schutz: Wie bei der zyklusweisen Strombegrenzung ermöglicht auch die Hiccup-Modus-Überstrombegrenzung, den Regler neu zu starten, nachdem der Fehler beseitigt wurde. Während die Auto-Recovery-Funktion in vielen Anwendungen beliebt ist, kann der Latch-Off-Modus-Schutz in anderen Anwendungen bevorzugt werden, wie z.B. in batteriebetriebenen Systemen, um unnötige Batteriebelastungen bei anhaltenden Fehlerzuständen zu vermeiden. Bild 5 beschreibt, wie der Latch-Off-Modus-Schutz den Regler abschaltet und ihn schützt, wenn ein Überstrom erkannt wird. Für den Neustart des Reglers ist ein Ausschalten von ENABLE oder V_{IN} erforderlich.

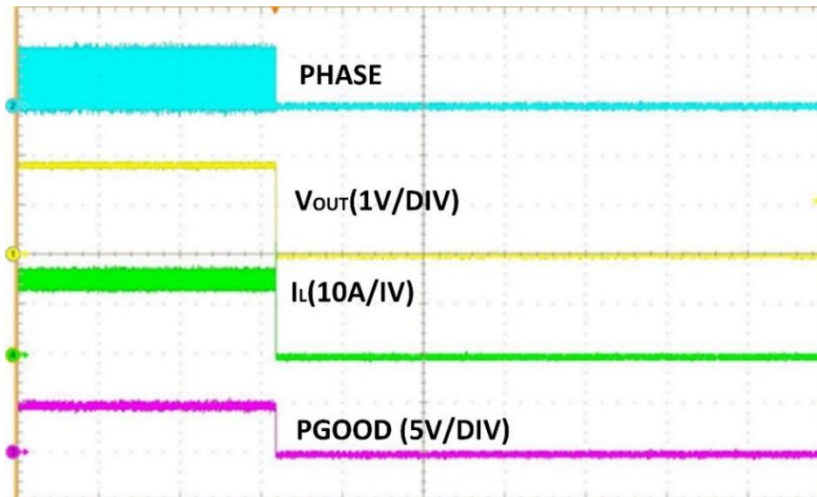


Bild 5: Überstrombegrenzung im Latch-off-Modus

Viele fortschrittliche integrierte Schaltregler verfügen über eine integrierte Überstrombegrenzung, um sich vor übermäßigem Strom und Verlustleistung zu schützen. Verschiedene Schaltregler bieten verschiedene Schutzsysteme. Die synchronen Abwärtsregler ISL85003, ISL85005 und ISL85005A von Renesas bieten eine integrierte Spitzenstrombegrenzung, Talstrombegrenzung und Rückstrombegrenzung, um umfassenden Schutz zu bieten. Die synchronen Schaltregler ISL85009, ISL85012 und ISL85014 bieten ebenfalls diese Strombegrenzungsfunktionen. Darüber hinaus bieten sie eine Frequenz-Foldback-Funktion und Hiccup-Modus- sowie Latch-off-Modus-Schutz, um die Schaltregler vollständig zu schützen und die Systemzuverlässigkeit zu erhöhen.

Fazit

Entwickler von Stromversorgungen sollten basierend auf den Anforderungen ihrer Anwendung entsprechende Entscheidungen treffen. Eine zyklusweise Strombegrenzung bietet Schaltreglern einen schnellen Schutz vor übermäßigem Strom, indem der Induktor-Spitzenstrom begrenzt wird. Um den Ausfall der Spitzenstrombegrenzung zu vermeiden, bedarf es aufgrund der Mindesteinschaltzeiten eine zusätzliche Talstrombegrenzung und/oder Frequenz-Foldback-Funktion. Denken Sie daran, dass die Rückstrombegrenzung vor einem hohen negativen Senkenstrom schützt. Als nachgelagerter Schutz erhöht der Hiccup-Mode-Schutz die Systemzuverlässigkeit, indem die Verlustleistung und der Temperaturanstieg verringert werden. Falls die automatische Wiederherstellungsfunktion bei anhaltenden Fehlerzuständen nicht erwünscht ist, sollte der Latch-Off-Modus-Schutz gewählt werden.

Referenzen

[Erfahren Sie mehr über die ISL8500xx-Regler](#) und [sehen Sie sich ein Video dazu an](#).

About Renesas Electronics Corporation

Renesas Electronics Corporation delivers trusted embedded design innovation with complete semiconductor solutions that enable billions of connected, intelligent devices to enhance the way people work and live—securely and safely. A global leader in microcontrollers, analog, power, and SoC products, Renesas provides the expertise, quality, and comprehensive solutions for a broad range of Automotive, Industrial, Home Electronics, Office Automation and Information Communication Technology applications to help shape a limitless future. Learn more at [renesas.com](https://www.renesas.com)

+1 408-432-8888 | © Renesas Electronics America. All rights reserved. Renesas & Intersil (and design) are trademarks owned by Renesas Electronics Corporation or one of its subsidiaries. All other trademarks mentioned are the property of their respective owners.