

# Auswahl des bestgeeigneten PWM-Controllers für eine enge On-Time-Abwärtswandlung

---

## Einleitung

Die Auswahl eines PWM-Controllers ist komplizierter geworden, seitdem moderne DSPs, FPGAs und CPUs mit immer niedrigeren Versorgungsspannungen arbeiten und einen zunehmend mehr Strom verbrauchen. Spannungen unter 1 V sind bereits weit verbreitet, während die Zwischenbusspannungen, je nach Anwendung, entweder gleich geblieben oder gar gestiegen sind. Auch die Systemfrequenzen haben ständig zugenommen, um kleinere Spulen- und Kondensator-(L&C)Filter zu unterstützen. Aus 500 kHz im Vorjahr sind heute 1 MHz geworden.

In Hochspannungsapplikationen, bei denen eine geringere Ausgangsspannung benötigt wird, haben sich die Entwickler von Stromversorgungen klassischerweise auf Module verlassen, welche die Systemkosten in die Höhe treiben, oder auf zweistufige DC/DC-Lösungen, welche sowohl den Platzbedarf der Lösung als auch die Komplexität erhöhen. Dieser Beitrag beschäftigt sich mit den Trends, welche die enge Einschalt-POL-(Point-of-Load-)Umwandlung beeinflussen, und er vergleicht die normalerweise verwendeten Current-Mode-Control-Architekturen. Eine hybride Talstrom-(Valley Current Mode- oder VCM-) Architektur mit adaptiver Flankenkompensation wird untersucht, einschließlich deren Verwendung in einem neuen synchronen 60-V-Aufwärtswandler, der zum einen den stabilen Betrieb über einen weiten Bereich von  $V_{in}$ - und  $V_{out}$ -Kombinationen zu gewährleisten vermag und sich zum anderen durch ein geringes Tastverhältnis auszeichnet, das eine direkte Umwandlung von 48 V auf 1 V POL ermöglicht.

## Die Notwendigkeit einer engen POL-Wandlung

Der Buck-Schaltregler stellt die meistverwendete Stromversorgungs-Topologie dar, und jüngste Trends deuten darauf hin, dass Schaltregler der nächsten Generation in der Lage sein müssen, einen stabilen und effizienten Betrieb bei sehr kleinem Tastverhältnis bereitzustellen. Zwar bietet der Lösungsansatz einer Current-Mode-Regelung im Vergleich zur Voltage-Mode-Regelung zahlreiche Vorteile, doch weist er – abhängig von den Anforderungen der Anwendungen – ebenfalls seine eigenen Einschränkungen auf, besonders hinsichtlich der Grenzwerte des Tastverhältnisses.

Generell basieren Energieversorgungssysteme in der Telekommunikation sowie im industriellen Einsatz auf einer Mehrstufen-Wandlung. Dabei fand eine kontinuierliche Verschiebung bei Stromversorgungssystemen statt, in deren Verlauf die POL-Eingangsspannungen nach und nach von 3,3 V über 5 V bis 12 V angestiegen sind. Angesichts der zunehmenden Leistungsanforderungen ist der Einsatz von 12-V-Schienen mittlerweile häufig anzutreffen, wohingegen 3,3-V-Schienen seltener sind. Dieser Trend zu höheren Eingangsspannungen ist zum Teil auf I<sup>2</sup>R-(Strom-zu-Widerstands) Verluste zurückzuführen, aber auch auf damit verbundene Probleme in Niederspannungsverlauf infolge des höheren Stroms.

In letzter Zeit bewegen sich die Werte auf sehr viel höhere Spannungen zu, beispielsweise 24 V ~ 42 V für industrielle Anwendungen und 48 V für die Telekommunikation. Beständige Technologieverbesserungen machten die Regelung enger Impulse möglich. Gleichzeitig zeigen neue Untersuchungen, dass eine höhere Eingangsspannung Voraussetzung für einen höheren Gesamtwirkungsgrad ist, gleichzeitig die Systemkosten senkt und durch die Temperaturabsenkung im Verteilungsweg zur Systemzuverlässigkeit beiträgt.

---

Ein weiterer Faktor, der die Forderung nach einem engen PWM-Impuls vorantreibt, ist die Notwendigkeit einer höheren Schaltfrequenz, die wiederum zu einer höheren Leistungsdichte führt. Betriebsstromversorgungen mit einer Schaltfrequenz von 1 MHz sind gängige Praxis geworden. In der Tat muss die Schaltfrequenz beim Infotainment-Einsatz im Automobil über 1,8 MHz liegen, um das AM-Frequenzband zu vermeiden. Eine Leistungsumwandlung von 12 V auf 1 V bei 1 MHz müsste nach wie vor einen 83-ns-Impuls generieren.

## Einschränkungen beim Betrieb mit niedrigem Tastverhältnis

Ein idealer Buck-Schaltregler kann jede beliebige Spannung, die unter der Eingangsspannung liegt, bis herunter auf Null erzeugen. Allerdings bestehen in der Praxis eine ganze Reihe von Einschränkungen, zum Beispiel die Referenzspannung, interne oder externe Schaltungsverluste sowie, von größter Bedeutung, die Art der Modulators, der zum Erzeugen des Regelsignals Verwendung findet. Bei einer bestimmten Eingangsspannung ist die Referenzspannung die offensichtlichste Einschränkung, weil sie es dem Controller unmöglich macht, den gesamten Bereich zwischen 0% und 100% abzudecken. Die Referenzspannung ergibt sich aus folgender Formel:

$$V_{out} = V_{ref} * (1 + R1/R2)$$

Dem ist zu entnehmen, dass der Ausgang nicht unter die  $V_{ref}$ -Spannung geregelt werden kann. Der zweite wesentliche Einschränkungsfaktor für ein maximales  $V_{out}$  ist die Mindest-Einschaltzeit des Controllers. Für eine gegebene Eingangsspannung ( $V_{in}$ ) kann  $V_{out}$  ausgedrückt werden als:

$$V_{out} = T_{on\ min} * V_{in} * F_s$$

Für die Schaltfrequenz ( $F_s$ ) ergibt sich die Einschaltzeit des oberen MOSFETs als:

$$T_{on} = D * (1/F_s)$$

Die von einem Controller verwendete Regelmethode bestimmt im Wesentlichen die Mindesteinschaltzeit, die dieser regeln kann. Außerdem beeinträchtigen auch einige absichtliche Verzögerungen in der Gate-Drive-Schaltung, zum Beispiel die Austastzeit, die Mindest-Einschaltzeit. In einem typischen Current-Mode-PWM-Controller wird die Größe des PWM-Impulses bestimmt durch den Ausgang des Fehlerverstärkers und das Stromsignal des Induktors, wie in Abbildung 1 dargestellt. Die Stromschleife erfasst das Stromsignal des Induktors und vergleicht es mit der VCOMP-Referenz, um die PWM-Impulsbreite zu modulieren. Da die Stromschleife den Spitzen- oder Talstrom des Induktors zwingt, dem Ausgang des Spannungs-Fehlerverstärkers zu folgen, erscheint der Induktor nicht in der Spannungs-Regelschleife. Das Doppelpol-LC-Filter wird zu einer kapazitiven Einzelpolstruktur für die Spannungsschleife. Eine einfache Kompensation vom Typ 2 reicht aus, um die Spannungsschleife zu stabilisieren.

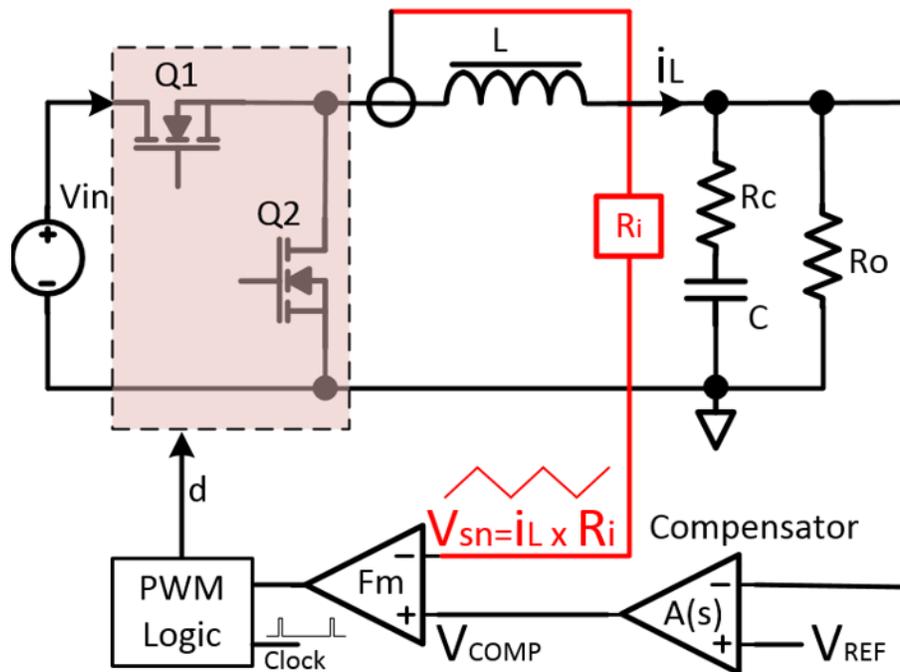


Abbildung 1: Einfache Current-Mode-Regelarchitektur

## Geeignete Modulatoren für einen engen On-Time-Betrieb

Die Spitzenstrom-(Peak Current Mode-)Regelung zählt zu den am häufigsten eingesetzten Architekturen. Sie ist zwar hinreichend gut zu verstehen und bietet zuverlässige Regeltechniken mit mehreren Vorteilen, sie weist indes beträchtliche Defizite auf, wenn ein Betrieb mit enger Einschaltzeit erforderlich ist. Im Peak-Current-Mode werden Informationen über den Induktorstrom über dem oberen MOSFET erfasst. Abbildung 2 zeigt die typischen Stromwellenformen im oberen und unteren MOSFET im Verhältnis zum PWM-Signal. Das Einschaltereignis des oberen MOSFETs generiert ein beträchtliches Überschwingen infolge der parasitären Elemente innerhalb und außerhalb der MOSFETs in der Einschalterschleife. Dieses Überschwingen kann fehlerhafte Signale an die Regelschaltung senden und fälschlicherweise das PWM-Signal beenden. Zur Lösung dieses Problems ignorieren Peak-Current-Mode-Schaltregler dieses anfängliche Überschwingen durch Verwendung einer Austastlücke, ehe der Induktorstrom erfasst wird. Im Allgemeinen liegt die Austastlücke im Zeitbereich von 150 ns bis 250 ns. Diese notwendige Verzögerungszeit erlaubt es den Peak-Current-Mode-Controllern nicht, eine sehr enge Einschalt-Leistungsumwandlung zu regeln. Selbst eine Umwandlung von 12 V auf 1 V wäre bei einer Frequenz von 600 kHz, die eine Mindest-Einschaltzeit von weniger als 140 ns ergibt, schwierig zu regeln.

## Talstromregelung

Eine Alternative ist die Talstrom- oder VCM-Regelung (Valley Current Mode Control), die das Defizit der Verzögerungszeit einer Peak Current Mode-Regelung mühelos bewältigt. Bei der Talstromregelung wird das Induktorstromsignal während der Ausschaltzeit des oberen MOSFETs erfasst und auf diese Weise das Überschwingen des oberen MOSFETs vermieden. Dadurch wird das Problem der Regelung sehr enger

Einschalt-PWM-Impulse gelöst. Jedoch sind auch mit dem Valley Current Mode wiederum einige spezifische Beschränkungen verbunden.

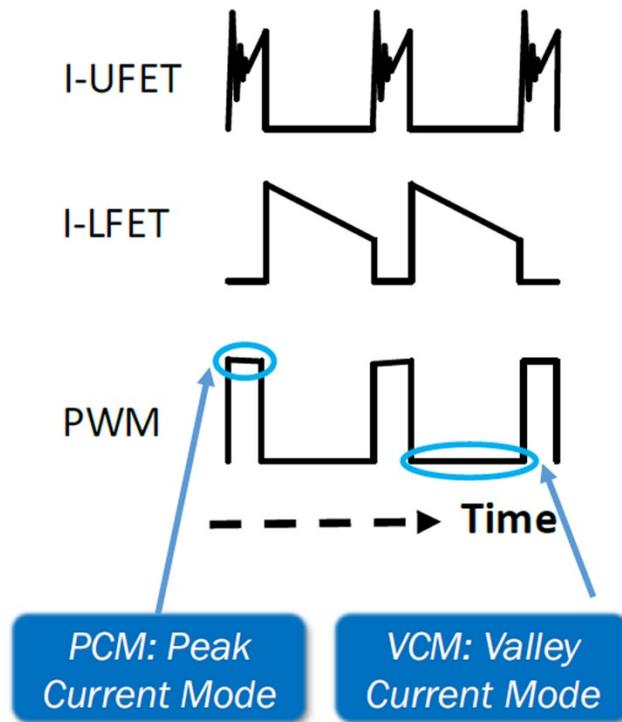


Abbildung 2: Wellenformen von Buck-Schaltreglern zeigen den Ort der Signalerfassung bei Current-Mode-Regelarchitekturen

Zwei Hauptprobleme bei der Talstromregelung sind subharmonische Schwingungen sowie eine schlechte Netzregelung. Die subharmonische Schwingung stellt ein verbreitetes Problem für jede Art von Current-Mode-Regelung dar. Sie entsteht ebenso in der Spitzenstromregelung, jedoch bei einer Einschaltdauer von mehr als 50%. Beim Valley Current Mode gilt das Gegenteil.

Die subharmonischen Schwingungen in Current-Mode-Reglern (sowohl Spitzen- als auch Talstrom) lassen sich durch den Einsatz einer Flankenkompensation unterbinden. Freilich kann eine feste Flankenkompensation nicht alle Tastverhältnisse und Induktoren verarbeiten. Das Problem der subharmonischen Schwingung tritt erneut auf, wenn das Tastverhältnis weit von dem angenommenen Wert entfernt liegt, der bei der Entwicklung der Flankenkompensation verwendet wurde.

## Spitzenstromregelung

Eine andere Option ist die emulierte Spitzenstromregelung (Peak Current Mode Control), eine Variante des Peak Current Mode, welche die Einschränkungen durch die Austastzeit vermeidet. Sie überwindet das Überschwingen des oberen MOSFETs durch Messung der Talstrominformation über dem unteren MOSFET. Diese Talstrominformation dient dann zu Emulation der ansteigenden Flanke des Induktors, um so die Spitzenstrominformation zu erhalten.

Wie die Spitzenstromregelung leidet auch der emulierte Spitzenstrombetrieb unter subharmonischen Schwingungen und benötigt eine Flankenkompensation. Diese wird aus dem emulierten Spitzenstromsignal

abgeleitet. Die emulierte Peak Current-Betriebsart vereint in ihrer Entwicklung zwar die Vorteile von sowohl Spitzenstrom- aus auch Talstromregelmethoden, doch hat sie auch ihre Schwächen, die überwiegend auf fehlende Induktivitäts-Informationen in der Regelschleife zurückzuführen sind.

## Das Beste aus beiden Betriebsarten

Die Talstromregelung mit adaptiver Flankenkompensation ist eine Möglichkeit, die Nachteile der herkömmlichen Valley Current Mode-Regelung zu umgehen. Eine optimierte adaptive Schaltung zur Flankenkompensation vermag die subharmonische Schwingung für alle Tastverhältnisse zu verhindern. Diese adaptive Kompensation versetzt in Verbindung mit der inhärenten Fähigkeit zum Betrieb mit niedrigem Tastverhältnis einen Controller mit dieser Architektur in die Lage, mit einer sehr hohen Schaltfrequenz zu arbeiten.

Intersil's Buck-Controller ISL8117 ist ein Beispiel für eine Talstromregelung mit einem geringen  $R_{dson}$  der Low-Side-MOSFETs, Talstromerfassung und adaptiver Flankenkompensation. Wie in Abbildung 3 dargestellt, passt sich das Rampensignal zur Verbesserung der Netzregelung an die angelegte Eingangsspannung an. Eine einzigartige Implementierung von Valley Current Mode und optimierter Flankenkompensation behebt die Schwächen von bisherigen Valley Current Mode-Reglern. Mithilfe ihrer besondere Regeltechnik kann sie ein breites Spektrum von Eingangs- und Ausgangsspannungen unterstützen. Im Wesentlichen handelt es sich um eine Hybridlösung zwischen Spannungs- und Stromregelung, welche die Vorteile beider Modulationsarchitekturen vereint.

Der ISL8117 kann mit jeder Spannung zwischen 4,5 V und 60 V gespeist werden, und sein Ausgang ist zwischen 0,6 V und 54 V einstellbar. Er ist durch einen einstellbaren Frequenzbereich zwischen 100 kHz und 2.000 kHz gekennzeichnet und kann eine Mindest-Einschaltzeit von 40 ns (typisch) erzeugen. Mit seiner minimalen Einschaltzeit von 40 ns kann der Regler einen 1-V-Ausgang von einem 12-V-Bus bei 1,5 MHz erzeugen. Darüber hinaus ist er in der Lage, eine 1-V-Versorgung aus einer 48-V-Quelle bei geringerer Frequenz zu generieren. Abbildung 4 zeigt den Transienten aus einer stabilen 48-V- zu 1,2-V-Umwandlung. In Systemen, die gegenüber einem bestimmten Schaltfrequenzrauschen empfindlich sind, lässt sich der ISL8117 mit jeder beliebigen externen Frequenzquelle synchronisieren, um auf diese Weise das abgestrahlte Systemrauschen zu reduzieren und die Minderung der Frequenzrauschens zu übertreffen.

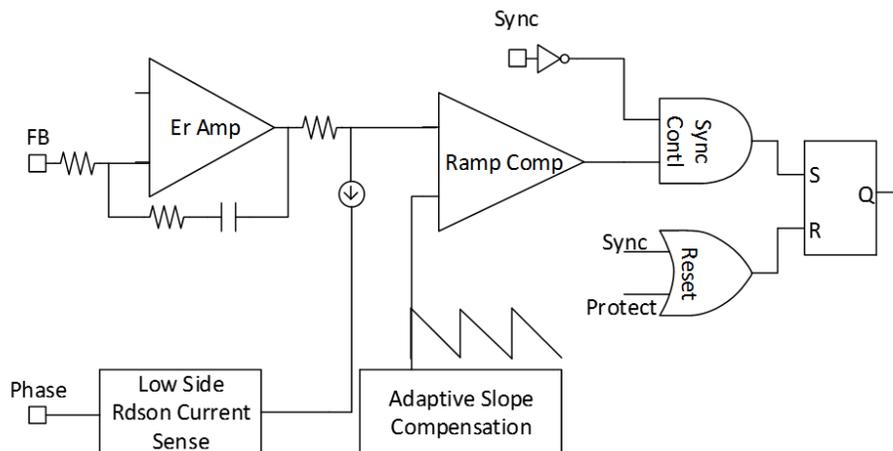


Abbildung 3: Internes Regel-Blockdiagramm des ISL8117

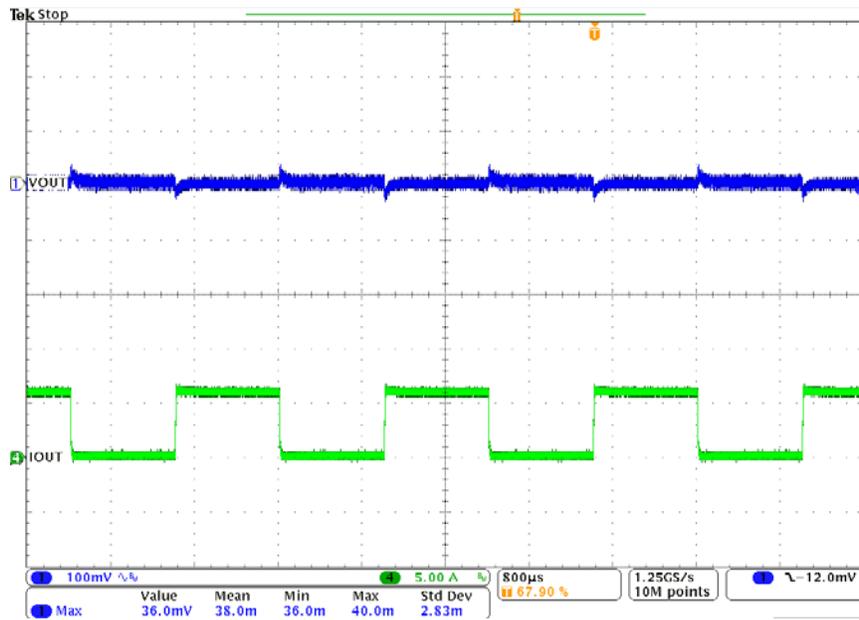


Abbildung 4: Einschwingverhalten von 0 A bis 6 A, 6 A zu 0 A eines stabilen 48-V- zu 1,2-V-Wandlers

Mit diesem synchronen Buck-Schaltregler können Ingenieure eine komplette DC/DC-Abwärtswandlerlösung mit lediglich 10 Bauelementen entwickeln, darunter MOSFETs und Passive, sowie einen Wandlungswirkungsgrad von bis zu 98% mit einer Ausgangsspannungsgenauigkeit von 1,5% erzielen. Der geringe Pin-Count des ISL8117 sowie die Layout-freundliche Pin-Architektur, wie in Abbildung 5 zu sehen, minimiert zudem die Anzahl sich überlappender Leiterbahnen, wodurch die Performance der Stromversorgung zusätzlich verbessert wird.

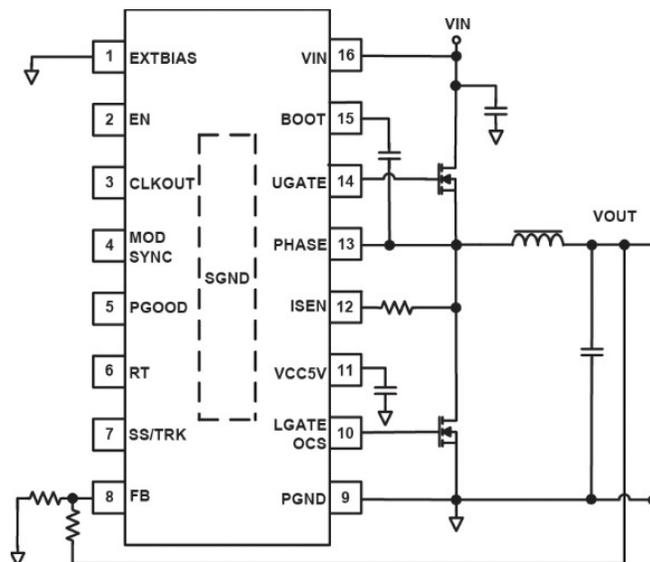


Abbildung 5: Typische Anwendung des ISL8117

---

## Schlussbetrachtung

Alle Betriebsarten zur Modulationsregelung weisen ihre eigenen Satz von Einschränkungen auf, doch gewährleisten jüngste Innovationen, zum Beispiel der 60-V-Buck-Schaltregler ISL8117 mit seinem hybriden VCM und einer adaptiven Flankenkompensation, eine flexiblere und leichter zu entwickelnde Stromversorgungslösung. Der ISL8117 ermöglicht es den Systementwicklern, eine Zwischen-Wandlerstufe wegzulassen, um einen besseren Leistungswirkungsgrad auf einer kleineren Montagefläche zu erhalten sowie gleichzeitig die Systemkosten zu senken und die Zuverlässigkeit zu erhöhen.

## Referenzen

- Weitere Informationen über den [ISL8117](#).
- Fordern Sie das [ISL8117-Datenblatt](#) an.
- Schauen Sie sich das Video [Überblick über den ISL8117](#) an.
- Schauen Sie sich das Video [ISL8117. Evaluierungs- und Demo-Boards](#) an.

# # #

### Über die Renesas Electronics Corporation

Renesas Electronics Corporation bietet zuverlässige Embedded-Design-Innovationen mit kompletten Halbleiterlösungen, die Milliarden von vernetzten, intelligenten Geräten ermöglichen, die Art und Weise zu verbessern, wie Menschen arbeiten und leben - sicher und sicher. Als weltweit führender Anbieter von Mikrocontrollern, Analog-, Power- und SoC-Produkten bietet Renesas das Know-how, die Qualität und umfassende Lösungen für eine breite Palette von Anwendungen in den Bereichen Automotive, Industrie, Heimelektronik, Büroautomatisierung und Informationskommunikation, um eine grenzenlose Zukunft zu gestalten. Erfahren Sie mehr unter [renesas.com](#)

+1 408-432-8888 | © Renesas Elektronik Amerika. Alle Rechte vorbehalten. Renesas (und Design) sind Marken der Renesas Electronics Corporation oder einer ihrer Tochtergesellschaften. Alle anderen genannten Marken sind Eigentum ihrer jeweiligen Inhaber.