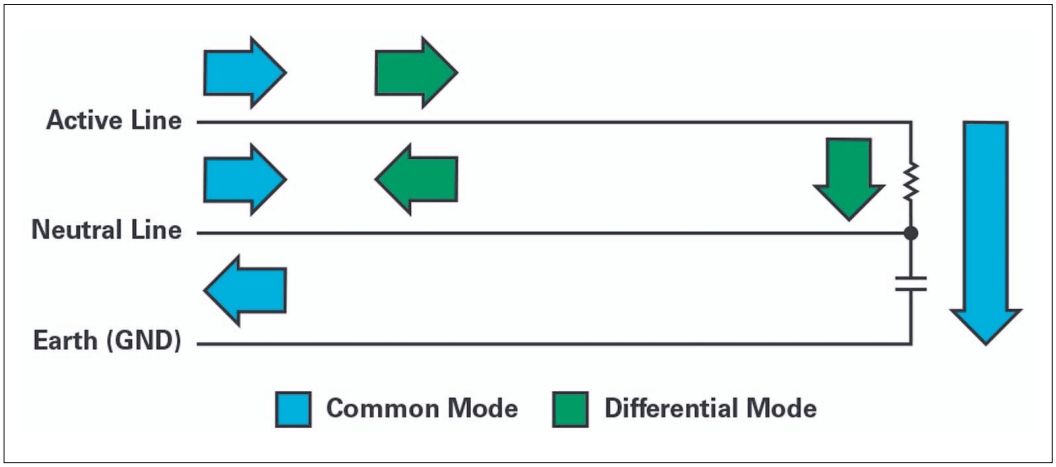
Achtung, Interferenzen!

Stromversorgung auf dicht gepackten Boards



Dieser Artikel widmet sich einem wichtigen Thema, das sich durch Stromversorgungen in komplexen elektronischen Systemen stellt: elektromagnetische Interferenzen (EMI).

Begrenzter und kleiner werdender Platz auf den Boards, enge Design-Zyklen und strenge Spezifikationen bezüglich elektromagnetischer Interferenzen (EMI), wie CISPR 32 und CISPR 25, sind Einschränkungen, die es schwierig machen, Stromversorgungen mit hohem Wirkungsgrad und guter thermischen Leistung zu fertigen.

Voraussschauend handeln

Die Entwicklung der passenden Stromversorgung wird oft ans Ende des Design-Prozesses geschoben – das ist erschwerend und besonders frustrierend für den Designer, der dann versuchen muss, eine komplexe Stromversorgung auf dem geringen verbleibenden Platz unterzubringen. Damit das Design rechtzeitig fertiggestellt wird, kommt es zu Kompromissen bei der Performance, um schnell zu Test und Validierung zu gelangen. Einfachheit, Leistung und Volumen der Lösung stehen traditionell im Widerspruch: Priorisieren Sie deshalb ein oder zwei der gewünschten Merkmale und leben Sie damit, dass Sie nicht auch noch das dritte Merkmal erreichen – vor allem, wenn der Abgabetermin naht. Manche Kompromisse werden als normal akzeptiert; sie sollten es aber nicht sein.

Dieser Artikel beginnt mit einem Überblick über ein wichtiges Thema, das sich durch Stromversorgungen in komplexen elektronischen Systemen stellt: EMI, oft einfach nur Rauschen genannt. Stromversorgungen produzieren es, und es muss berücksichtigt werden. Was sind die Störquellen und was sind typische Strategien zur Reduzierung? Dieser Artikel befasst sich mit Strategien zur Reduzierung von EMI und stellt eine Lösung dafür vor, bei Erhaltung der Effizienz und zur Anpassung der Stromversorgungen an den begrenzten Platz.

Was ist EMI?

Die Elektromagnetische Interferenz (EMI) beschreibt Störungen, welche die Performance eines Systems beeinflussen. Diese Störungen beeinträchtigen Schaltkreise durch elektromagnetische Induktion, elektrostatische Kopplung oder leitungsgeführt. Sie ist eine große Herausforderung für die Hersteller von Automobilen, von Medizin-, Prüf- und Messgeräten. Viele der oben genannten Einschränkungen und die zunehmenden Anforderungen an Stromversorgungen – steigende Leistungsdichte, höhere Schaltfrequenzen und höhere Ströme – erfordern die Auswirkungen der EMI ernst zu nehmen und erzwingen Lösungen zu ihrer Reduzierung. In vielen Branchen müssen EMV-Normen erfüllt werden, was sich erheblich auf die Markteinführungszeit auswirkt, wenn sie nicht frühzeitig im Designzyklus berücksichtigt werden.

EMI-Kopplungsmechanismen

EMI in elektronischen Systemen ist das Problem, dass eine Störquelle auf eine Störsenke koppelt – einer Komponente in einem elektronischen System. Die EMV wird nach ihrem Kopplungsmedium klassifiziert: leitungsgekoppelt oder strahlungsgekoppelt.

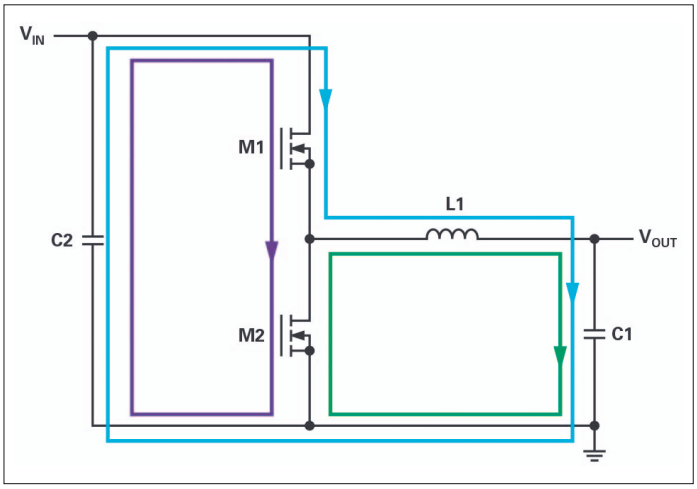


Bild 1: Geschaltete Stromschleifen im Abwärtswandler

Analog Devices
www.analog.com

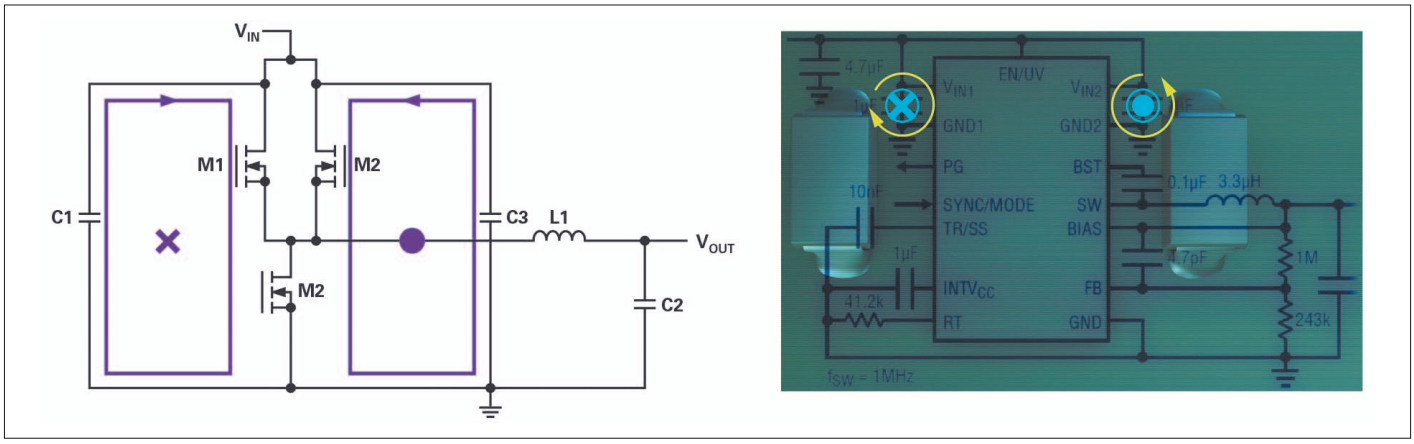


Bild 2: Aufhebung des magnetischen Felds im Silent-Switcher-Regler

- leitungsgeführt Störungen (Frequenzen von 450 kHz bis 30 MHz)

Leitungsgeführte Störungen zu Komponenten erfolgen durch Leitungskopplung über parasitäre Impedanzen sowie Power- und Masse-Verbindungen. Die Störungen werden dabei zu einem anderen Gerät oder Schaltungsteil übertragen. Leitungsgeführte Störungen kann man weiter unterteilen in Gleichtakt- oder Gegentaktstörungen. Gleichtaktstörungen werden über parasitäre Kapazitäten und eine hohe dV/dt (C × dV/dt) gekoppelt. Jedes Signal (positiv oder negativ) folgt einem Pfad nach GND über parasitäre Kopplung, wie im Aufmacherbild dargestellt. Gegentaktstörungen werden über parasitäre Induktivitäten (magnetische Kopplung) und eine hohe di/dt (L × di/dt) gekoppelt.

- abgestrahlte Störungen (Frequenzen von 30 MHz bis 1 GHz)

Abgestrahlte Störungen richten elektromagnetische Energie auf das zu prüfende Gerät. In einem Schaltnetzteil ist das Rauschen die Folge von hohem di/dt, gepaart mit parasitärer Induktivität. Diese abgestrahlten Störungen können sich auf benachbarte Schaltungsteile auswirken.

EMI in den Griff bekommen

Was ist nun der typische Ansatz zur Lösung von EMI-Problemen in einer Stromversorgung? Erstens muss man feststellen, ob überhaupt ein EMI-Problem vorliegt. Gibt es eines, muss man wissen, dass die Aneignung des erforderlichen Wissens darüber sehr zeitaufwändig sein kann, da es den Einsatz einer EMV-Messkabine erfordert (die nicht an jeder Ecke verfügbar ist), um zu quantifizieren, wie viel elektromagnetische Störung von einer Stromversorgung erzeugt wird und ob die Werte innerhalb der vom System vorgegebenen Standards liegen.

Bild 3: Draht-Bonds in einem geöffneten LT8610

Stellt eine Stromversorgung gemäß Test ein EMV-Problem dar, muss man versuchen, es durch eine Reihe von traditionellen Korrekturstrategien zu reduzieren:

- hohe Effizienz bei minimalem Platzbedarf
- gute thermische Eigenschaften
- Layout-Optimierung: Ein sorgfältiges Layout der Stromversorgung ist ebenso wichtig wie die Auswahl der richtigen Komponenten dafür. Ein erfolgreiches Layout hängt stark von dem Wissen des Stromversorgungs-Designers ab. Die Layout-Optimierung ist von Natur aus iterativ und ein erfahrener Stromversorgungskonstrukteur kann helfen, die Anzahl der Iterationen zu minimieren, um Zeitverzögerungen und zusätzliche Entwicklungskosten zu vermeiden. Das Problem: Solches Wissen ist oft nicht im Haus vorhanden.
- Snubbers: Einige Entwickler planen voraus und schaffen Platz für einfache Snubber-Schaltungen (einfacher RC-Filter vom Schaltknoten nach GND). Dies kann das Klingeln am Schaltknoten – auch ein EMV Problem – reduzieren, erhöht aber die Verluste, was sich negativ auf die Effizienz auswirkt.
- reduzierte Anstiegsraten: Die Reduzierung des Klingelns von Schaltknoten kann auch durch eine Reduzierung der Anstiegsrate des Einschaltens des Schalttransistors erreicht werden. Leider wirkt sich dies negativ auf die Leistungseffizienz des Gesamtsystems aus.
- Spreizspektrum-Frequenzmodulation (SSFM): Diese Funktion, die als Option in bestimmten Schaltreglern von Analog Devices implementiert ist, hilft dem Design, strenge EMV-Prüfnormen zu erfüllen. Bei der SSFM wird der Takt, der zur Steuerung der Schaltfrequenz verwendet wird, über einen bekannten Bereich moduliert (z.B. ±10% Abweichung um die programmierte f_{SW}). Dies trägt dazu bei, die Spitzenrauschenergie über einen größeren Frequenzbereich zu verteilen.
- Filter und Abschirmung: Filter und Abschirmungen sind in der Regel kostenintensiv und brauchen Raum. Sie erschweren auch die Produktion.
- Alle oben genannten Möglichkeiten können das Rauschen reduzieren, sie haben aber alle Nachteile. Die Minimierung von Rauschen beim Design der Stromversorgung ist oft der sauberste Weg, aber schwierig zu erreichen. ADI-Silent-Switcher- und Silent-Switcher-2-Regler erreichen

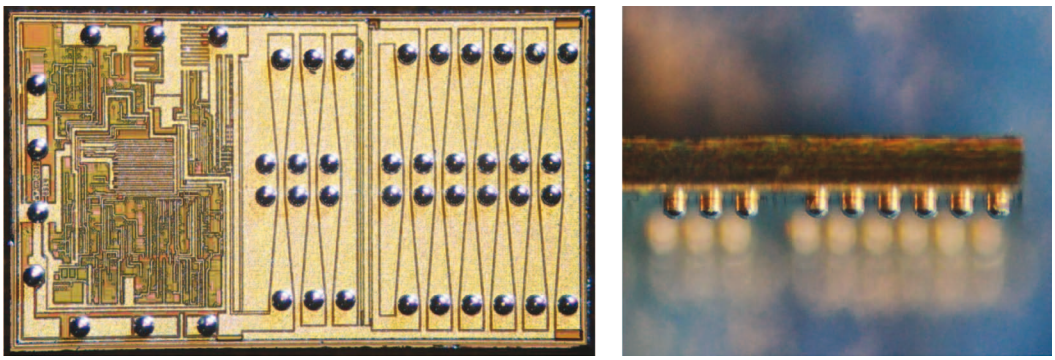


Bild 4: Flipchip mit Kupfersäulen

ein geringes Rauschen am Regler und ersparen zusätzliche Filterung, Abschirmung und signifikante Layout-Iterationen. Die Vermeidung kostspieliger Gegenmaßnahmen verkürzt die Produkteinführungszeit und kann erheblich Kosten einsparen.

Minimierung von Stromschleifen

Um die EMI-Probleme zu reduzieren, muss man die geschaltete Schleife (schnelle di/dT-Schleife) im Stromversorgungskreis bestimmen und deren Auswirkungen begrenzen. Die geschaltete Schleife ist in Bild 1 dargestellt. In einem Zyklus eines Standard-Buck-Konverters fließt Strom durch den blauen Regelkreis mit M1 geschlossen und M2 offen. Während des Aus-Zyklus bei geöffnetem M1 und geschlossenem M2 fließt der Strom durch die grüne Schleife. Es ist häufig nicht intuitiv verständlich, dass die Schleife, welche die höchste EMI erzeugt, weder die blaue noch die grüne ist – nur die violette Schleife besteht vollständig aus geschalteten Strömen, die von null auf I_{PEAK} und zurück auf null geschaltet werden. Diese Schleife wird als „geschaltete Schleife“ bezeichnet, da sie die höchste Wechselstrom- und EMI-Energie aufweist (Bild 1).

Das hohe di/dt und die parasitäre Induktivität in der geschalteten Schleife des Schalters verursachen die elektromagnetischen Störungen und das Schaltrauschen. Um das EMV-Problem zu reduzieren und die Funktionalität zu verbessern, muss man die Abstrahlwirkung der violetten Schleife soweit wie möglich reduzieren. Die Abstrahlung der geschaltete Schleife steigt mit ihrer Fläche, sodass die Reduzierung der Boardfläche auf null und die Verwendung eines idealen Kondensators mit Nullimpedanz das Problem lösen könnte, wenn dies nur möglich wäre.

Schaltungstricks

Wie werden geringe Störungen mit Silent-Switcher-Reglern erreicht? Duch folgende Maßnahmen:

• Magnetfeldkompensation

Es ist unmöglich, die Fläche der geschaltete Schleife auf null zu reduzieren, aber wir können sie in zwei Schleifen mit entgegengesetzten Polaritäten aufteilen. Dadurch wird das Magnetfeld lokal wirksam eingegrenzt, wobei sich die Felder in beliebiger Entfernung vom IC gegenseitig aufheben (Bild 2).

• Flipchip statt Wirebond

Eine weitere Möglichkeit besteht darin, die Länge der Schleife zu verkürzen. Statt der traditionellen Drahtbondtechnik zur Verbindung der Chips mit den Gehäuse-Pins wird der Chip umgedreht und mit Bumps versehen. Dadurch wird die Fläche der geschaltete Schleife weiter minimiert, indem der Abstand vom internen FET zu den Gehäusepins und den Eingangskondensatoren verkürzt wird (Bilder 3 und 4).

Silent Switcher vs. Silent Switcher 2

Bild 5 zeigt eine typische Applikation mit einem Silent-Switcher-Regler, ersichtlich an den symmetrischen Eingangskondensatoren an den beiden Eingangsspannungspins. Das Layout ist in diesem Falle wichtig, da die Silent-Switcher-Technologie erfordert, dass diese Eingangskondensatoren so symmetrisch wie möglich ausgelegt sind, um den Vorteil der gegenseitigen Feldunterdrückung zu nutzen. Andernfalls gehen die Vorteile der Technologie verloren. Das Problem besteht aber darin: Wie stellt man das richtige Layout im Design und in der Produktion sicher? Die Antwort lautet hier: Silent Switcher 2.

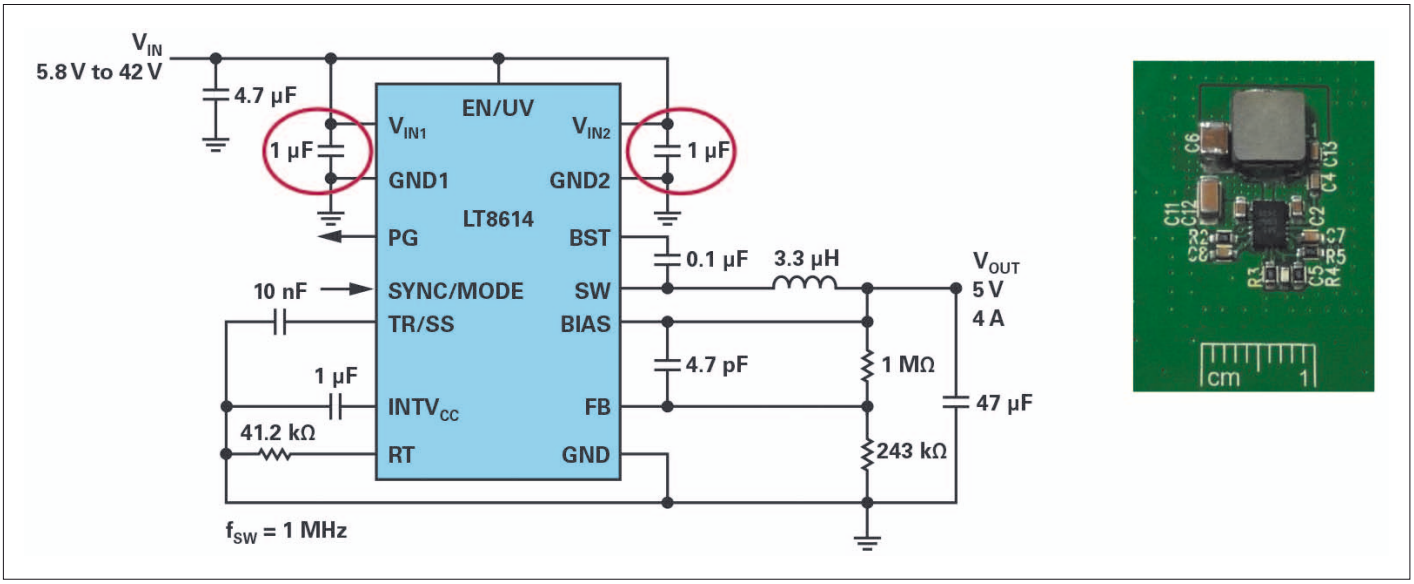


Bild 5: Typische Applikation mit Silent Switcher mit Bild der Leiterplatte

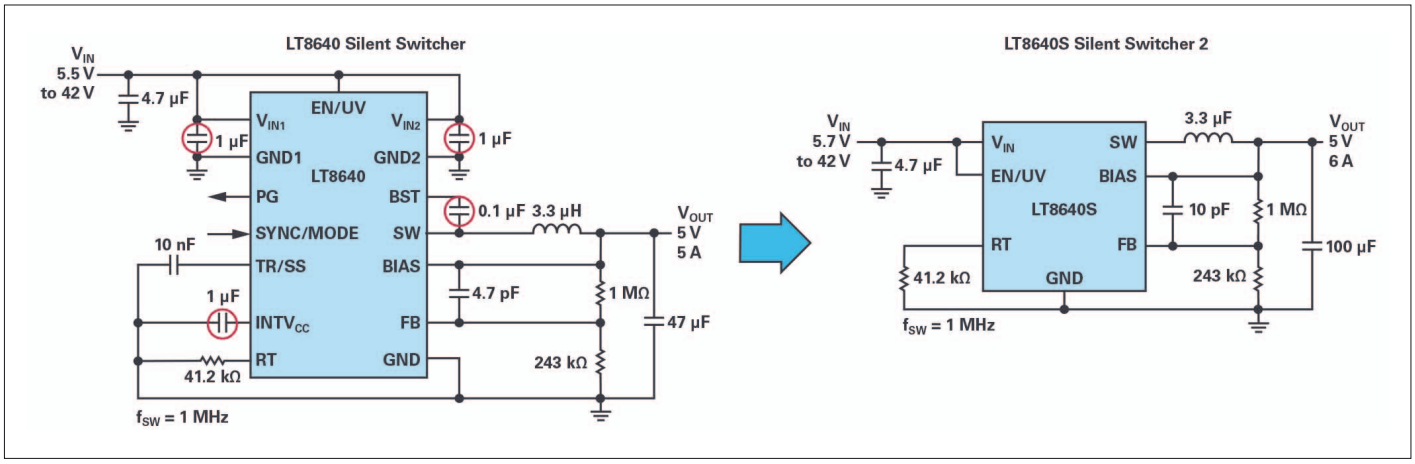


Bild 6: Silent-Switcher-Applikation vs. Silent-Switcher-2-Applikation

Silent-Switcher-2-Regler reduzieren die EMV-Problematik, indem sie einen Schritt weitergehen. Der Einfluss der Leiterplatte wird durch die Integration der Kondensatoren in die LQFN-Gehäuse – V_{IN}-Caps, $INTV_{CC}$ und Boost-Caps – eliminiert, da die Platzierung dieser Stützkondensatoren so nah wie möglich an den Pins erfolgt. Alle geschalteten Schleifen und Masseflächen sind intern, was die EMV-Problematik minimiert und zu einer insgesamt kleineren Lösung führt (Bilder 6 und 7).

Die Silent-Switcher-2-Technologie führt auch zu einem verbesserten thermischen Verhalten. Die großen, mehrfach freiliegenden Masse Pads des LQFN-Flipchip-Gehäuses ermöglichen Wärmeabfuhr aus dem Gehäuse in die Leiterplatte. Ein höherer Wandlerwirkungsgrad ergibt sich auch aus dem Wegfall von hochohmigen Bond-Drähten. Bei der EMV-Prüfung erfüllt der LT8640S mit hoher Sicherheit die CISPR-25-Klasse-5-Spitzenwerte.

µModule-Silent-Switcher-Regler

Die Kombination aus dem Wissen und der Erfahrung, die bei der Entwicklung des Silent-Switcher-Portfolios gewonnen wurden, in Verbindung mit einem bereits umfangreichen µModule-Portfolio, ermöglicht ein einfach zu entwerfendes Stromversorgungsprodukt, das gleichzeitig einige der wichtigsten Kennzeichen eines Netzteils erfüllt – Wärmemanagement, Zuverlässigkeit, Genauigkeit, Effizienz und hervorragende EMI-Performance.

Bild 8 zeigt den LTM8053 mit den beiden Eingangskondensatoren, die eine Magnetfeldkompensation ermöglichen, sowie eine Reihe anderer passiver Komponenten, die für den Betrieb dieser Stromversorgung erforderlich sind. All dies wird in einem 6,25 × 9 × 3,32 mm messenden BGA-Gehäuse erreicht, das es den Kunden ermöglicht, sich auf andere Bereiche ihres Board-Designs zu konzentrieren.

LDO-Regler nicht mehr nötig – Fallstudie

Ein typischer Hochgeschwindigkeits-ADC erfordert eine Reihe von Spannungs-Rails, wovon einige sehr rauscharm sein müssen, um die höchste Performance des ADCs laut Datenblatt zu erreichen. Die allgemein akzeptierte Lösung, um ein Gleichgewicht zwischen hohem Wirkungsgrad, kleiner Platinenfläche und geringem Rauschen zu erreichen, besteht darin, Schaltnetzteile mit LDO-Nachreglern zu kombinieren, wie in Bild 9 dargestellt. Schaltregler sind in der Lage, relativ hohe Abwärtsraten mit hohem

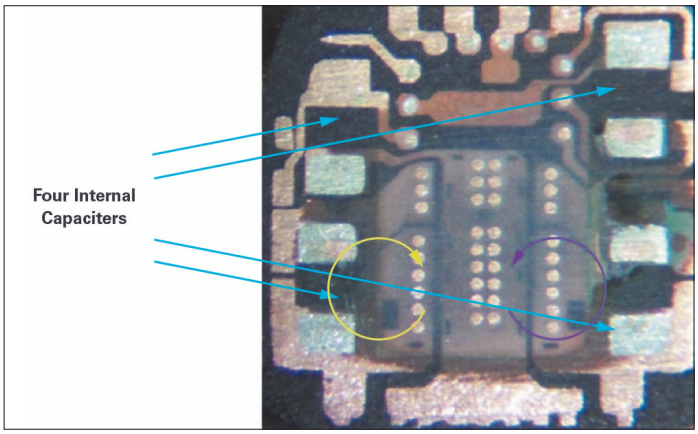
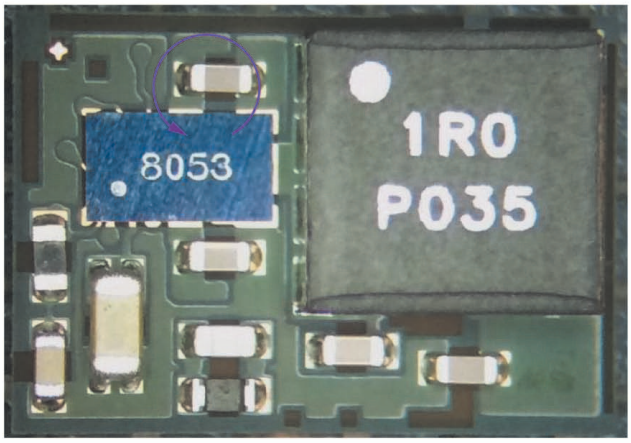


Bild 7: Geöffneter LT8640S (Silent Switcher 2)

Die Autoren

Bhakti Waghmare ist Produkt-Marketing-Ingenieurin für die Produktgruppe „Module Regulator Power by Linear“ mit Sitz in Santa Clara, Kalifornien. Sie unterstützt das Marketing für „Module Regulator Products“. Bhakti kam 2018 zu Analog Devices. Sie erwarb einen B.S. in Maschinenbau und einen M.S. in Wirtschaftsingenieurwesen von der Wayne State University, Detroit, MI. Sie ist unter bhakti.waghmare@analog.com zu erreichen.

Diarmuid Carey ist Applikationsingenieur beim European Centralized Applications Center mit Sitz in Limerick, Irland. Er arbeitet seit 2008 als Applikationsingenieur und kam 2017 zu Analog Devices, wo er für die Entwicklung des Power by Linear-Portfolios für Kunden aus dem europäischen Breitenmarkt zuständig war. Er hat einen Bachelor of Engineering in Computertechnik von der University of Limerick. Er ist unter diarmuid.carey@analog.com erreichbar.



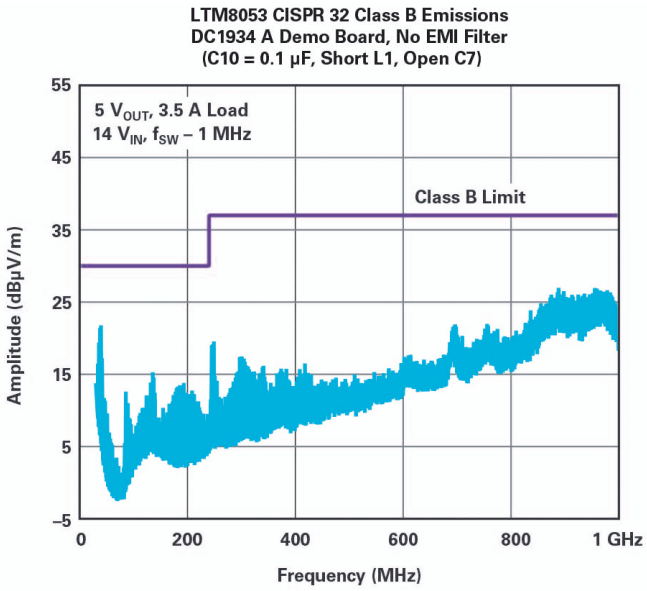


Bild 8: LTM8053 (Silent Switcher) mit LTM8053 und EMV-Messergebnis

Wirkungsgrad zu erreichen, verursachen aber Störungen. Ein rauscharmer LDO-Nachregler ist relativ ineffizient, kann aber einen Großteil des vom Schaltregler erzeugten leitungsgeführten Rauschens unterdrücken. Die Effizienz wird durch die Minimierung der Abwärtsrate des LDO-Nachreglers verbessert. Diese Kombination sorgt für eine rauscharme Versorgung, sodass der ADC auf höchstem Leistungsniveau arbeitet. Das Problem ist das komplexe Layout der zahlreichen Regler. Auch können LDO-Nachregler bei höheren Lasten thermisch problematisch werden.

In dem in Bild 9 dargestellten Design sind mehrere Kompromisse zu erkennen. Hier sind geringe Störungen die Priorität, weshalb Effizienz und Platzbedarf darunter leiden. Oder, vielleicht auch nicht. Die neueste Generation der Silent Switcher µModule kombiniert rauscharmes Design der Schaltregler mit dem µModule-Gehäuse – eine bisher unerreichte Kombination aus einfachem Design, hohem Wirkungsgrad, kompakter Größe und geringen EMI-Störungen. Diese Regler minimieren den Platzbedarf auf der Platine, ermöglichen aber auch die Skalierbarkeit – mehrere Spannungs-Rails können aus einem µModul-Regler gespeist werden, was weitere Flächen- und Zeiteinsparungen ermöglicht. Bild 10 zeigt eine alternative Spannungserzeugung mit dem LTM8065 Silent Switcher µModule zur Versorgung des ADCs.

Die ADC-Performance unter Verwendung der Stromversorgungs-Designs in Bild 9 und 10

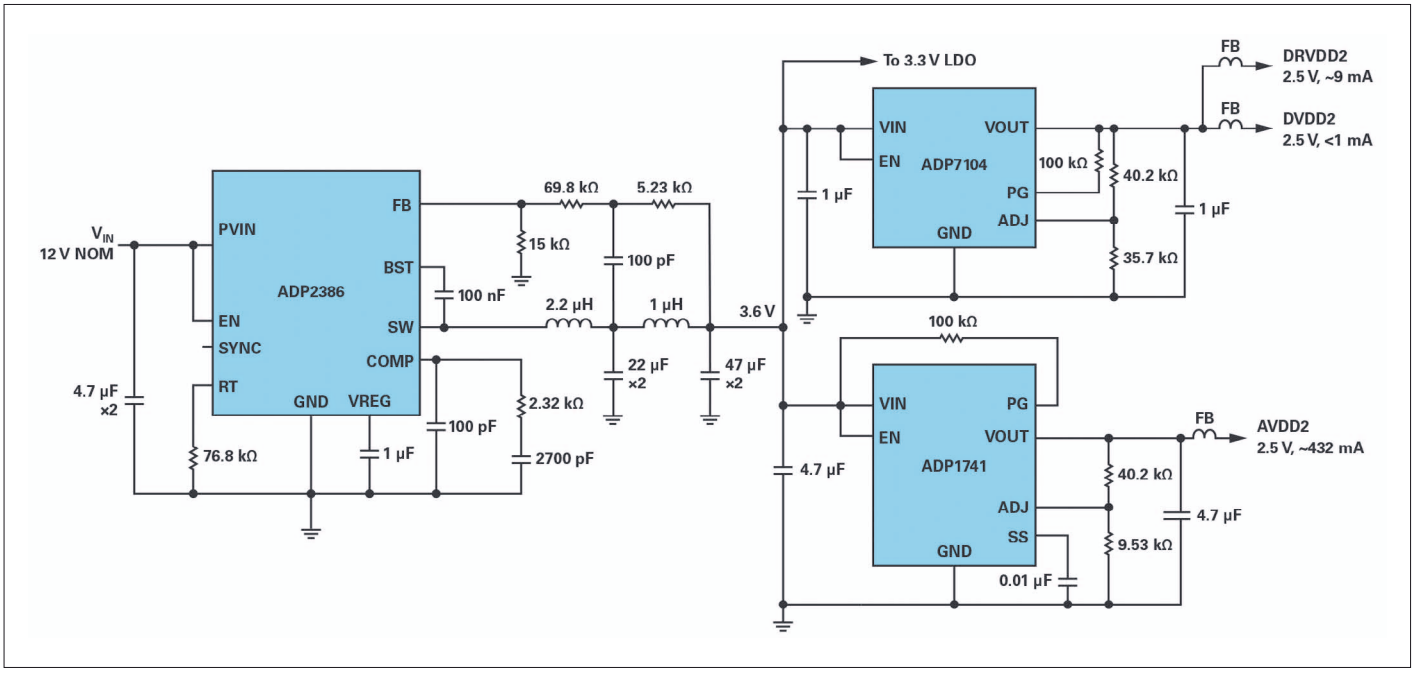


Bild 9: Typisches Stromversorgungs-Design für die Versorgung eines AD9625 (ADC)

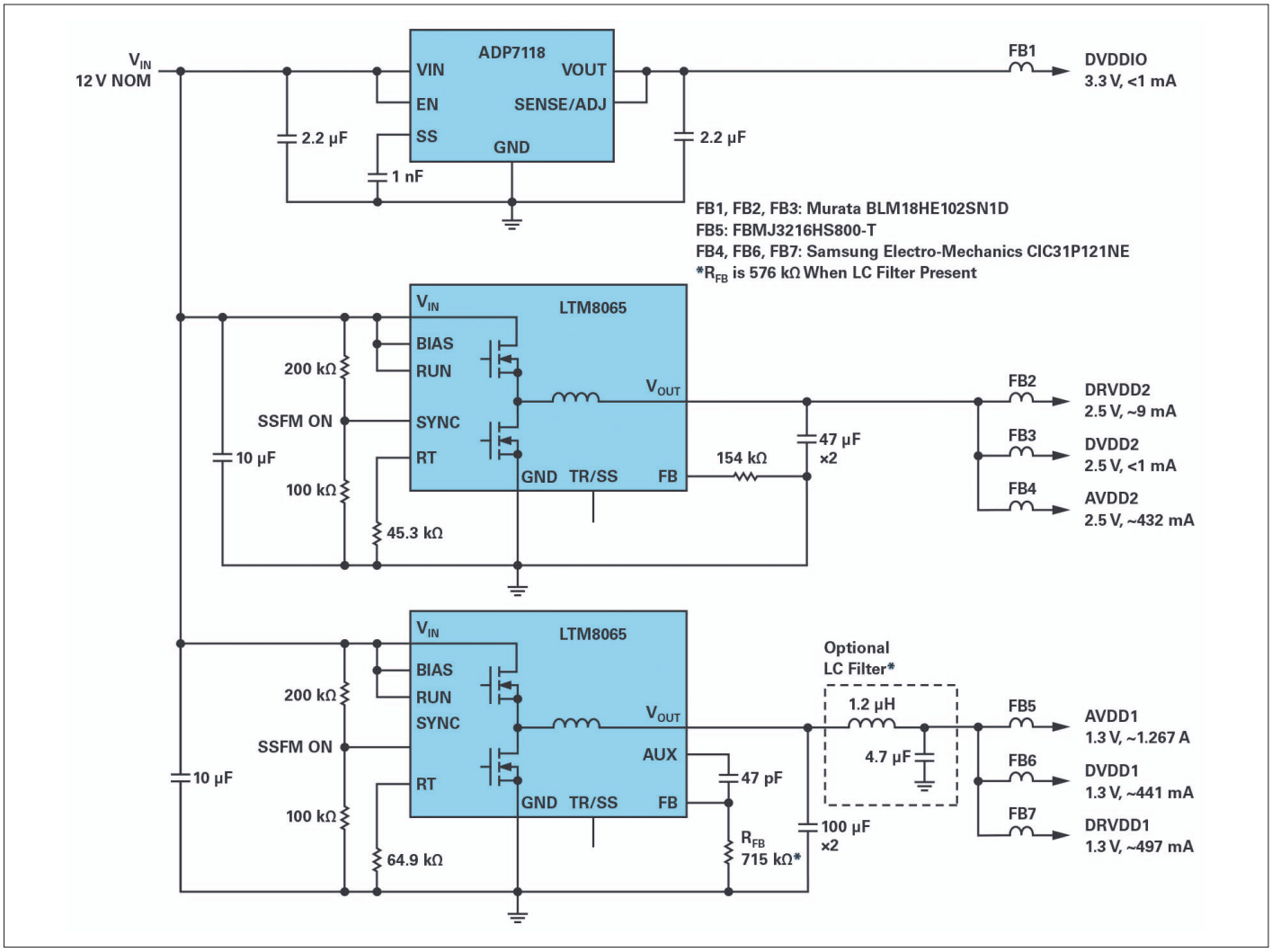


Bild 10: Platz sparende Lösung zur Versorgung des AD9625 mit Silent-Switcher-µModule-Regler

wurde getestet und verglichen [1]. Drei Konfigurationen wurden getestet:

- Standardkonfiguration mit einem Schaltregler und einem LDO-Regler zur Versorgung des ADCs
- Einsatz des LTM8065 zur direkten Stromversorgung des ADCs ohne weitere Filterung
- Einsatz des LTM8065 mit zusätzlichem Ausgangs-LC-Filter

Gemessene SFDR- und SNRFS-Ergebnisse zeigen, dass der LTM8065 verwendet werden kann, um den ADC direkt zu versorgen, ohne dessen Performance zu beeinträchtigen. Der Hauptvorteil dieser Implementierung ist eine deutliche Reduzierung der Anzahl der Komponenten, was zu einer höheren Effizienz, einer wesentlich einfacheren Produktion und einer geringeren Platinenfläche führt.

Vorteile der Silent Switcher µModule

- weniger Entwicklungszeit für das PCB-Layout (es ist nicht notwendig, die Platine nachzuarbeiten, um Rauschprobleme zu beheben)
- keine zusätzlichen EMV-Filter erforderlich (Einsparung bei Komponentenkosten und Platinenplatz)
- reduzierter Bedarf an einem Stromversorgungsexperten zur Fehlersuche beim Rauschen der Stromversorgung
- hoher Wirkungsgrad über großen Betriebsfrequenzbereich
- kann die Notwendigkeit eines LDO-Nachreglers bei der Stromversorgung von rauschempfindlichen Geräten überflüssig machen
- verkürzter Entwicklungszyklus
- hohe Effizienz bei minimalem Platzbedarf
- gutes thermisches Verhalten

Zusammenfassung

Schlussendlich lässt sich sagen, dass es angesichts des Trends zum System-Level-Design mit immer engeren Spezifikationen wichtig ist, nach Möglichkeit modulare Stromversorgungs-Designs zu verwenden, insbesondere wenn es hier wenig Fachwissen gibt. Da viele Marktsegmente erfordern, dass das Systemdesign die neuesten EMI-Spezifikationen erfüllen, ist die Silent-Switcher-Technologie auf kleinem Platz integriert, und der einfache Einsatz eines µModule-Reglers kann die Markteinführungszeit drastisch verbessern und gleichzeitig Platz auf der Platine sparen.

Referenz

[1] Aldrick Limjoco, Patrick Pasaquian und Jefferson Eco: "Silent Switcher µModule Regulators Quietly Power GSPS Sampling ADCs in Half the Space", Analog Devices, Inc., October 2018 ◄