# Fünf Schritte zum schnellen und effizienten Powerdesign

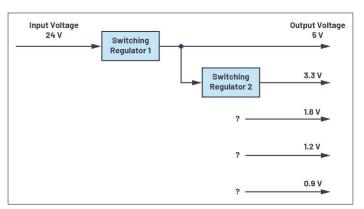


Bild 1: Erstellen einer Spannungsversorgungsarchitektur

Ein automatischer Entwurf einer Stromversorgungslösung ist ein seit langem angestrebtes Ziel. Im Digitalen Bereich kann eine Schaltung mit einer beschreibenden Sprache, wie beispielsweise VHDL (Very High Speed Integrated Circuit Hardware Description Language) beschrieben werden und dann durch eine Hardware-Synthese automatisiert erstellt werden. Im analogen Schaltungsentwurf und besonders bei Stromversorgungen ist dies auch heute nicht so einfach möglich. Trotz-

dem haben sich umfassende Werkzeuge entwickelt, welche den Entwurf einer Schaltung stark vereinfachen, damit die Entwicklungsgeschwindigkeit erhöhen und letztendlich Kosten sparen können.

Es gibt im Wesentlichen fünf Schritte, die zu durchlaufen sind um eine maßgeschneiderte, optimierte und vor allem zuverlässige Stromversorgung zu entwickeln.

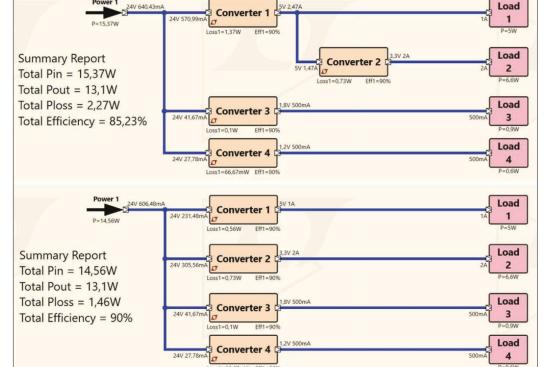
### Das Stiefkind Stromversorgung

Elektronik Entwickler kennen das Problem: Meistens ist die Spannungsversorgung nicht Hauptaufgabe oder Differenzierungsfaktor der Neuentwicklung. Die richtige Spannungsversorgung ist ein notwendiges "Übel". Die Zeiten sind lange vorbei, wo ein Netztransformator und dann ein einfacher Linearregler eine passende Spannung erzeugt haben.

Aber jede elektrische Schaltung benötigt eine Versorgungsspannung oder einen Versorgungsstrom. Beispiele für Anwendungen die besonders hohe Ansprüche an eine Spannungsversorgung stellen, sind die FPGA-Technik, wo mehrere Versorgungsspannungen zum Teil mit eng spezifizierter Spannungsgenauigkeit benötigt werden. Auch Systeme, die kleine Signale verarbeiten, wie beispielsweise in der Messtechnik, stellen hohe Ansprüche an eine Spannungsversorgung, damit sich verursachte Störungen nicht in die empfindlichen Signale des Systems einkoppeln.

### Herausforderungen

Die Anforderungen steigen mit den Kundenansprüchen. Um das Überhitzen eines Systems zu verhindern muss die Wandlungseffizienz groß sein, EMV-Anforderungen müssen erfüllt werden, häufig müssen mehrere Spannungen zur Versorgung erzeugt werden, die dann wieder mit der passenden Sequenzierung ansteigen und abfallen müssen. Die Entwicklung einer Stromversorgung macht leicht den Anschein, als würde man die Büchse der Pandora öffnen. Mit dem Beantworten von ersten Fragen, stellen sich etliche weitere Fragen.



Autor: Frederik Dostal Analog Devices www.analog.com

Bild 2: Zwei im Wettbewerb stehende Architekturen mit jeweiliger Effizienzberechnung

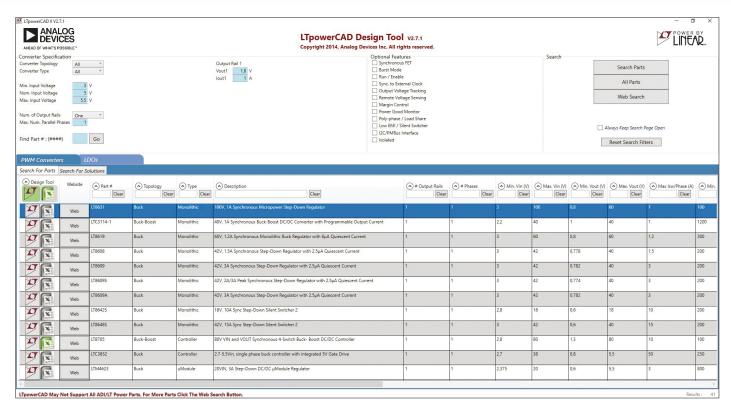


Bild 3: Suche nach passenden Schaltregler ICs mit LTpowerCAD

Üblicherweise sind die meisten Elektronikentwickler keine dedizierten Spannungsversorgungsentwickler, die den ganzen Tag nichts anderes machen als Wandlerschaltungen zu entwerfen. Somit wird seit vielen Jahren versucht den Entwicklungsprozess eines Spannungsversorgungssystems

zu automatisieren. Wie auch bei anderen Automatisierungsbestrebungen beim Entwurf von Analogtechnik ist es heute noch nicht möglich diesen Prozess komplett künstlich ablaufen zu lassen. Dennoch haben sich in den letzten Jahren Teilautomatisierungen entwickelt, die den Entwurf einer

optimierten Spannungsversorgung stark vereinfachen. Dadurch wird der Spannungsversorgungsentwurf beschleunigt, die Qualität der Spannungsversorgung nimmt zu und das notwendige Fachwissen und die notwendige Erfahrung im Bereich von Stromversorgungen nimmt ab.

### Die wichtigsten Schritte zum Powerdesign

Es haben sich fünf Schritte herauskristallisiert, die notwendig sind, um ein optimiertes und robustes Spannungsversorgungssystem zu entwickeln. Diese sind nacheinander zu durchlaufen. Durch die in diesem Dokument vorgestellten Hilfswerk-

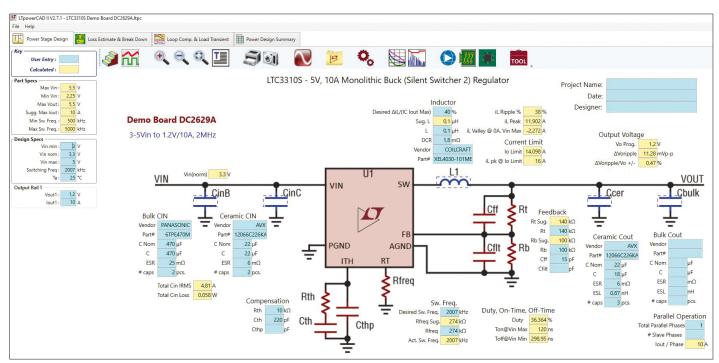


Bild 4: LTpowerCAD Berechnungswerkzeug für eine Stromversorgung

# Stromversorgung

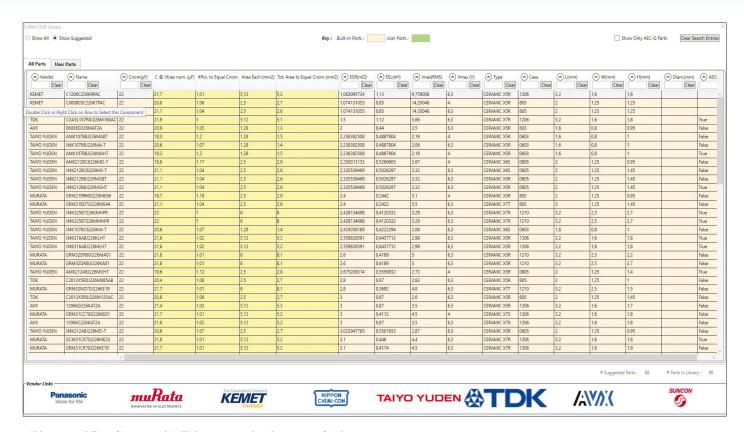


Bild 5: Auswahlliste für unterschiedliche Ausgangskondensatoren für den LTC3310S

zeuge vereinfachen sich die einzelnen Schritte enorm. Vor allem sinkt das vorausgesetzte Fachwissen und die notwendige Erfahrung im Bereich der Stromversorgungen.

#### Schritt 1: Erstellen der Stromversorgungsarchitektur

Das Erstellen einer passenden Stromversorgungsarchitektur ist ein sehr wichtiger Schritt. Besonders durch die Zunahme der Anzahl von benötigten Spannungsschienen wird dieser Schritt komplexer. In diesem Schritt wird entschieden, ob und wie viele Zwischenkreisspannungen erstellt werden müssen. Bild 1 zeigt eine durchaus typische Kartierung einer Spannungsversorgung. Links ist eine Versorgungsspannung von 24 V einer industriellen Anwendung gegeben. Diese muss nun in 5 V, 3,3 V, 1,8 V, 1,2 V sowie 0,9 V bei entsprechenden Strömen gewandelt werden.

### Step-Down-Schaltregler

Welches ist nun der beste Weg für die Erzeugung der einzelnen Spannungen. Ein klassischer Step-Down-Schaltregler (Buck) ist wohl die sinnvollste Wahl, um von 24 V auf 5 V zu wandeln. Aber wie werden die anderen Spannungen erzeugt?

Macht es Sinn die 3,3 V aus den bereits erzeugten 5 V zu generieren, oder wandeln wir direkt von 24 V auf 3,3 V? Da eine wesentliche Eigenschaft einer Spannungsversorgung die Wandlungseffizienz ist, muss bereits bei der Wahl der Architektur auf eine möglichst hohe Effizienz geachtet werden.

#### Zwischenspannungen

Wenn Zwischenspannungen, wie im Beispiel in Bild 1 die 5 V genutzt werden, um weitere Spannungen zu erzeugen, muss die Energie, die bei den 3,3 V verbraucht wird, bereits zwei Wandlerstufen durchlaufen. Jede Wandlerstufe hat nur eine begrenzte Effizienz. Wenn beispielsweise eine Wandlungseffizienz von 90 % pro Wandlerstufe angenommen wird, hat die Energie, an den 3,3 V, bereits zwei Wandlerstufen passiert und bietet somit nur eine Effizienz von 81 %  $(0.9 \times 0.9 = 0.81)$ . Ist diese recht niedrige Effizienz in einem System nun tollerierbar, oder eher nicht? Das ist wiederrum abhängig vom Strombedarf an dieser 3,3-V-Schiene. Bei nur wenigen mA Strombedarf ist die niedrige Effizienz eventuell kein Problem. Bei höheren Strömen hingegen könnte sich diese Teileffizienz stärker auf die Gesamteffizienz des Systems auswirken und somit in der Tat einen großen Nachteil darstellen.

## Architekturwerkzeug

Aus den soeben angestellten Überlegungen kann man aber nicht pauschal schlussfolgern, dass es nun immer besser ist, direkt von einer hohen Versorgungsspannung direkt in einem Schritt auf die niedrige Ausgangsspannung zu wandeln. Spannungswandler, die eine höhere Eingangsspannung vertragen, sind üblicherweise hochpreisiger und haben bei hohen Spannungsunterschieden zwischen den Eingangsund Ausgangsspannungen eine reduzierte Effizienz. Die Lösung bei der Beantwortung der Architekturfrage liegt in der Verwendung eines Architekturwerkzeuges.

### Festzurren der Spezifikation

Das "Festzurren" der Spezifikation ist außerordentlich wichtig. Alle weiteren Entwicklungsschritte hängen von der Spezifikation ab. Häufig ist die genaue Anforderung an die Stromversorgung erst bekannt, wenn der Rest des elektronischen Systems bereits fertig entworfen ist. Das bedeutet, dass für die Entwick-

lung der passenden Stromversorgung nur sehr wenig Zeit vorhanden ist. Auch Änderungen sind ein Thema. Beispielsweise braucht das FPGA in seiner finalen Programmierung etwas mehr Strom als angenommen, die Spannung für den DSP muss herabgesetzt werden, um noch etwas Energie zu sparen und durch Einkopplungen im Signalpfad sollte die ursprünglich angedachte Schaltfrequenz von 1 MHz gemieden werden. Solche Veränderungen können tiefgreifende Auswirkungen auf die Architektur und besonders auch auf den Schaltungsentwurf der Stromversorgung haben.

### Spezifikation flexibel halten

Es wird versucht schon frühzeitig eine Spezifikation anzunehmen. Diese ist dann möglichst flexibel zu gestalten, damit etwaige Änderungen relativ einfach umgesetzt werden können. Hierbei ist die Auswahl von Bausteinen mit einer hohen Flexibilität hilfreich. Besonders wertvoll ist das Arbeiten mit Entwicklungswerkzeugen. Diese ermöglichen ein "Neuberechnen" der Spannungsversorgung in einer kurzen Zeit. Somit können Spezifikationsänderungen leichter und vor allem schneller implementiert werden.

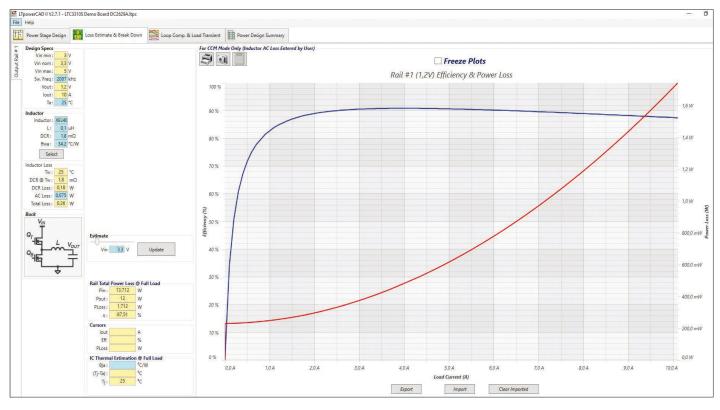


Bild 6: Effizienzberechnung und Thermisches Verhalten der Schaltung

#### Notwendige Größen

Zur Spezifikation zählen besonders die verfügbare Energie, Eingangsspannung und maximaler Eingangsstrom, sowie die zu erzeugenden Spannungen und Ströme. Weiterführend sind Eigenschaften wie mögliche Baugröße, finanzielles Budget, Möglichkeiten der Wärmeabfuhr, Anforderungen an das EMV-Verhalten, sowohl leitungsgebunden als auch abgestrahlt sowie etliche weitere Eigenschaften wie zu erwartende Lasttransienten, Versorgungsspannungsveränderungen sowie Sicherheitsaspekte, wichtig.

# Entwicklungswerkzeug als Optimierungshilfe

Der LTpowerPlanner bietet alles Nötige zum Erstellen der Stromversorgungssystemarchitektur. Er lässt sich sehr intuitiv bedienen sodass in Kürze ein passendes Stromversorgungskonzept erstellt werden kann. Hierfür wird eine Eingangsenergiequelle definiert, dann werden einzelne Lasten, also elektrische Verbraucher eingefügt. Darauffolgend werden einzelne DC/DC-Wandlerblöcke hinzugefügt. Diese können Schaltregler oder auch Linearregler, also LDOs, sein. Alle Komponenten werden wahlweise mit eige-

nen Namen bezeichnet und eine zu erwartende Wandlungseffizienz wird hinterlegt, was Effizienzberechnungen ermöglicht.

#### **Architekturen**

Die Arbeit mit LTpowerPlanner bietet zwei große Vorteile. Zum einen kann mit einer einfachen Architekturberechnung erkannt werden. welche Anordnung der einzelnen Wandlerstufen vorteilhaft ist, was die Gesamteffizienz betrifft. Zum anderen ergibt sich eine übersichtliche Dokumentation. In Bild 2 sind zwei unterschiedliche Architekturen für dieselben benötigten Spannungsschienen gezeigt. Die untere Architektur hat eine etwas höhere Gesamteffizienz als die Obere, Diese Eigenschaft ist ohne eine detaillierte Berechnung nicht erkennbar. Durch den Einsatz von LTpowerPlanner wird dieser Unterschied sofort ersichtlich.

Der zweite Vorteil ist die übersichtliche Dokumentation. Die graphische Benutzeroberfläche bietet eine ordentliche Skizze der Architektur, die mit Kollegen besprochen werden kann und bei der Dokumentation der Entwicklungsarbeit hilft. Entweder als Ausdruck in Papierform oder auch als abgespeicherte Datei.

# Schritt 2: Auswahl der integrierten Schaltungen

Beim Entwurf von Stromversorgungen wird heutzutage eine integrierte Schaltung verwendet anstelle von einem diskreten Aufbau mit vielen separaten Komponenten. Es gibt auf dem Markt sehr viele unterschiedliche Schaltregler ICs und Linearregler. Alle sind auf eine bestimmte Eigenschaft optimiert. Interessanterweise sind trotz einem so reichen Angebot, alle Integrierten Schaltungen verschieden und nur in den seltensten Fällen austauschbar. Somit ist die Auswahl der Integrierten Schaltung ein sehr wichtiger Schritt. Wenn man einen Baustein ausgewählt hat, legt man sich auf die jeweiligen Eigenschaften fest. Erkennt man zu einem späteren Zeitpunkt. dass ein anderer Baustein eigentlich besser passen würde, ist ein Umstieg möglich, das Einarbeiten in den neuen Baustein fängt aber wieder von vorne an. Dadurch wird bei der Entwicklungsarbeit viel Zeit verschwendet.

Zur effektiven Auswahl der integrierten Schaltung ist ein Werkzeug unabdingbar. Hierfür eignet sich die Parametersuche auf der Webseite von Analog Devices. Noch zielführender kann die Bauteilesuche inner-

halb von LTPowerCAD sein. Bild 3 zeigt das Suchfenster. Hier sind nur wenige Eingaben der Spezifikation, wie Eingangsspannung, Ausgangsspannung und der benötigte Laststrom erforderlich. Daraus erstellt LTpowerCAD dann eine Liste, in welcher viele unterschiedliche Lösungen vorgeschlagen werden. Eine verfeinerte Eingabe, mit möglichen "Features', wie beispielsweise der Wunsch eines enable Pins oder einer galvanischen Trennung, grenzt die erstellte Liste ein, sodass man recht schnell auf eine mögliche Lösung für den DC/DC-Wandler stößt.

#### Schritt 3: Schaltungsentwurf der einzelnen DC/DC-Wandler

Hier findet die eigentliche Schaltungsentwicklung statt. Für den ausgewählten Schaltregler IC müssen die externen, passiven Bauteile ausgewählt werden. Auch wird in diesem Schritt die Schaltung optimiert. Das erfordert üblicherweise das genaue Studieren des Datenblattes und die Durchführung aller notwendigen Berechnungen. Dieser Schritt kann durch das umfassende Stromversorgungsentwicklungswerkzeug "LTpowerCAD" wesentlich vereinfacht und das Ergebnis kann optimiert werden.

# Stromversorgung



Bild 7: Einstellen der Regelschleife mit LTpowerCAD

### Berechnungswerkzeug

LTpowerCAD wurde von Analog Devices entwickelt, um den Schaltungsentwurf wesentlich zu erleichtern. Es ist kein Simulationswerkzeug, sondern ein Berechnungswerkzeug. Hier werden in kürzester Zeit die optimierten externen Komponenten anhand der eingegebenen Spezifikation vorgeschlagen. Im Weiteren kann die Wandlungseffizienz optimiert werden. Auch wird die Übertragungsfunktion der Regelschleife berechnet. Es ist dadurch ein Leichtes, das Optimum aus Regelbandbreite und Stabilität umzusetzen.

Nach dem Öffnen eines Schaltregler ICs in LTpowerCAD erscheint der Hauptbildschirm, der die typische Schaltung mit allen notwendigen externen Komponenten zeigt. Bild 4 zeigt diesen Bildschirm für den LTC3310S. Dies ist ein abwärtswandelnder Schaltregler mit bis zu 10 A Ausgangsstrom und einer Schaltfrequenz bis zu 5 MHz.

Die gelben Felder auf dem Bildschirm zeigen berechnete oder vorgegebene Werte. Mit den blauen Feldern können vom Anwender Einstellungen gemacht werden.

# Auswahl der externen Komponenten

Damit die Berechnungen von LTpowerCAD zuverlässig mit dem

Verhalten einer echten Schaltung übereinstimmen, werden nicht nur die idealen Werte der externen Komponenten einbezogen, sondern detaillierte Modelle dieser Komponenten verwendet. Hierfür ist bei LTPower-CAD eine große Datenbank enthalten, mit Modellen von Bausteinen von vielen Herstellern. Es werden beispielsweise das ESR (Parasitärer Serienwiderstand) eines Kondensators, und auch die Kernverluste einer Spule berücksichtigt. Um eine Auswahl an Bauteilen zu treffen, muss man einfach auf einen blauen externen Baustein klicken. Daraufhin öffnet sich ein neues Fenster mit einer großen Liste an möglichen Bauteilen. Bild 5 zeigt die Liste von empfohlenen Ausgangskondensatoren. Hier werden 88 unterschiedliche Bausteine von unterschiedlichen Herstellern vorgeschlagen.

LTpowerCAD lässt es auch zu, die Liste der empfohlenen Bausteine zu verlassen und durch die Auswahl von "Show All" alle 4669 unterschiedlichen Kondensatoren, die in LTpowerCAD hinterlegt sind, für die Auswahl zuzulassen. Die Liste der hinterlegten Bausteine wird ständig erweitert und aktualisiert.

LTpowerCAD ist ein offline Werkzeug. Es wird lokal auf dem Rechner installiert und benötigt für den Betrieb keinen Zugang zum Internet. Jedoch

sollte die Software von Zeit zu Zeit durch die Updatefunktion aktualisiert werden. Dadurch sind die integrierten Schaltregler ICs und die Listen von externen Komponenten immer auf dem neuesten Stand.

### Überprüfen der Wandlungseffizienz

Wurden die optimalen externen Komponenten ausgewählt, geht es über die Schaltfläche,Loss Estimate & Break Down' weiter zum Überprüfen der Wandlungseffizienz des Schaltreglers. Hierbei wird ein sehr genaues Diagramm zu Effizienz und den Verlusten angezeigt. Auch kann, anhand des Wärmewiderstandes des Gehäuses, berechnet werden, wie warm die Siliziumtemperatur im IC wird. Bild 6 zeigt die Seite der Berechnungen von Wandlungseffizienz und thermischem Verhalten.

Ist man mit dem Verhalten der Schaltung zufrieden, kann man zu den nächsten Berechnungen fortschreiten. Ist die Effizienz nicht zufriedenstellend, kann auf der Seite in Bild 6 die Schaltfrequenz des Schaltreglers verändert, oder auch die Auswahl der externen Spule angepasst werden. Die Effizienz wird dann neu berechnet bis ein zufriedenstellendes Ergebnis erreicht ist.

### Optimieren der Regelbandbreite und Überprüfen der Stabilität

Nach der Auswahl der externen Komponenten und der Effizienzberechnung wird die Regelschleife optimiert. Sie muss so eingestellt werden, dass die Schaltung einerseits zuverlässig stabilisiert ist, nicht zu Schwingungen oder gar Instabilität neigt, und andererseits eine möglichst hohe Bandbreite, also Reaktionsfähigkeit auf Veränderungen der Eingangsspannung und besonders auf Lasttransienten aufweist. Die Stabilitätsbetrachtungen findet man innerhalb von LTpowerCAD unter dem Reiter ,Loop Comp. & Load Transient'.

Neben einem Bode-Diagramm und Kurven zum Verhalten der Ausgangsspannung nach Lasttransienten, gibt es viele Einstellmöglichkeiten. Am wichtigsten ist der Auswahlknopf "Use Suggested Compensation". Hier wird die optimierte Kompensation verwendet und der Nutzer muss nicht tief in die Regelungstechnik einsteigen, um etwaige Parameter sinnvoll anzupassen. Bild 7 zeigt den Bildschirm von LTpowerCAD zum Einstellen der Regelschleife.

Die Stabilitätsberechnungen in LTpowerCAD sind ein Highlight der LTpowerCAD Architektur. Es finden

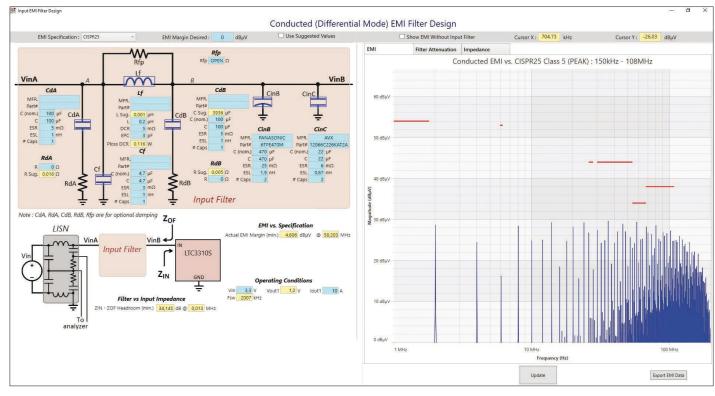


Bild 8: Der Filter Designer in LTpowerCAD um leitungsgebundene Störungen am Eingang eines Schaltreglers zu minimieren

Berechnungen im Frequenzbereich statt, die sehr schnell ablaufen. Viel schneller als Simulationen im Zeitbereich. Somit können Parameter versuchsweise verändert werden und innerhalb von wenigen Sekunden liegt ein aktualisiertes Bode Diagramm vor. Bei einer Simulation im Zeitbereich würde eine solche Simulation viele Minuten, oder gar Stunden dauern.

# Überprüfen des EMV-Verhaltens

Je nach Spezifikation sind zusätzliche Filter an der Eingangsseite und an der Ausgangsseite des Schaltreglers nötig. Folgende Fragestellungen tauchen auf: Wie müssen die Filterkomponenten ausgewählt werden, um eine bestimmte Spannungswelligkeit am Ausgang sicherzustellen? Wird ein eingangsseitiges Filter benötigt und wenn ja. wie muss dieses ausgelegt sein, um bestimmte EMV-Grenzwerte nicht zu überschreiten? Dabei darf die Interaktion zwischen Filter und Schaltregler auf keinen Fall zu Instabilitäten führen.

#### **Filterdesigner**

Bild 8 zeigt den ,Input EMI Filter Designer' als Teil von LTpower-CAD. Er ist auf der ersten LTpower-CAD Seite aufrufbar, wo die externen, passiven Bauteile optimiert werden. Wenn der Filterdesigner gestartet wird, erscheint ein Filterentwurf mit passiven Bausteinen sowie ein EMV-Graph. Dieses Diagramm zeigt wahlweise die Leitungsgebundenen Störungen ohne einen Eingangsfilter, mit einem optimierten Eingangsfilter sowie die jeweiligen Grenzwerte von unterschiedlichen EMV Spezifikationen wie beispielsweise CISPR25, CISPR22 sowie MIL-STD-461G.

Neben der Darstellung des eingangsseitigen, leitungsgebundenen EMV-Verhaltens kann auch die Filtercharakteristik im Frequenzbereich und die Impedanz des Filters graphisch dargestellt werden. Dies ist wichtig, um sicherzustellen, dass ein Filter keinen zu hohem Klirrfaktor hat und dass die Impedanz des Filters zur Impedanz des Schaltreglers passt. Wenn es Probleme mit den Impedanzen gibt, kann es zu Instabilitäten zwischen Filter und Spannungswandler kommen.

All diese detaillierten Betrachtungen sind mit LTpowerCAD möglich, müssen von einem Nutzer jedoch nicht bis ins kleinste Detail verstanden werden. Durch die Schaltfläche "Use Suggested Values" wird der Filter so ausgelegt, wie er vom Programm als "optimiert" gesehen wird.

Selbstverständlich unterstützt LTpowerCAD auch den Einsatz eines Filters an der Ausgangsseite des Schaltreglers. Dieser wird gerne bei Anwendungen genutzt, in welchen die Ausgangsspannung nur eine sehr geringe Spannungswelligkeit haben darf. Um einen Nachfilter der Ausgangsspannung einzufügen, gibt es in der Schaltfläche "Loop Comp. & Load Transient" das Piktogramm eines LC-Filters. Wenn man dieses aktiviert, erscheint ein Filter in einem neuen Fenster.

Bild 9 zeigt dieses Filter. Hier können die Parameter des Filters einfach ausgewählt werden. Die Feedbackschleife kann entweder vor diesem zusätzlichen Filter angeschlossen werden oder auch danach. Hier kann man trotz sehr guter DC Genauigkeit der Ausgangsspannung ein stabiles Verhalten der Schaltung in allen Betriebsmodi sicherstellen.

# Schritt 4: Simulation der Schaltung im Zeitbereich

Hat man mit LTpowerCAD eine Schaltung entworfen, kann sie zum Abschluss noch simuliert werden. Simulationen finden in aller Regel im Zeitbereich statt. Einzelne Signale werden im Zeitverlauf überprüft. Auch kann das Zusammenspiel zwischen unterschiedlichen

Schaltungen auf einer Platine getestet werden. Es ist möglich auch parasitäre Einflüsse in die Simulation mit einzubinden. Dadurch wird das Ergebnis der Simulation sehr genau, führt jedoch zu längeren Simulationszeiten.

In aller Regel eignet sich eine Simulation zum Sammeln von weiteren Erkenntnissen bevor mit der echten Hardware gearbeitet wird. Zum generellen Schaltungsentwurf, besonders für Entwickler, die keine große Erfahrung mit dem Entwurf von Stromversorgungen haben, ist es durch eine Simulation nicht so einfach auf eine optimierte Schaltung zu kommen. Einzelne Parameter können variiert und das Ergebnis der Simulation kann überprüft werden. Ob das Ergebnis bereits das mögliche Optimum darstellt, ist nicht so einfach erkennbar. Hierfür eignet sich ein Berechnungswerkzeug wie LTpowerCAD besser.

# Simulation der Stromversorgung

Als Simulationsprogramm für elektrische Schaltungen eignet sich besonders LTspice von Analog Devices. Es lässt sich einfach handhaben und gibt eine sehr gute Unterstützung. Durch allerlei Optimierungen können komplexe Simulationen schnell abgearbeitet wer-

# Stromversorgung

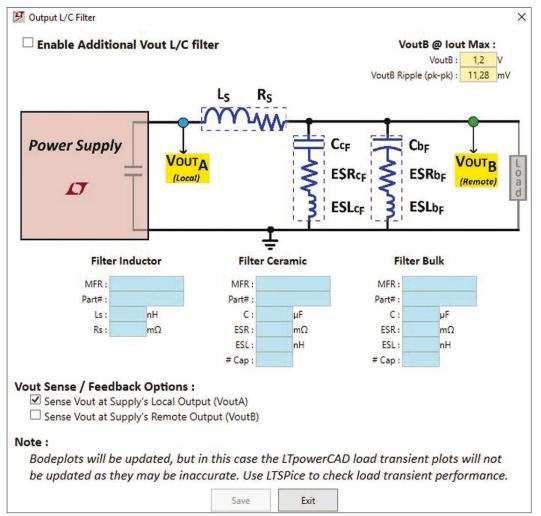


Bild 9: Schaltfläche zur Auswahl eines LC Filters am Ausgang eines Schaltreglers um die Spannungswelligkeit zu reduzieren

den und die Ergebnisse bieten eine hohe Qualität.

LTspice basiert auf dem frei verfügbaren Berkeley SPICE. SPICE steht übrigens für Simulation Program with Integrated Circuit Emphasis. Aus diesem Berkeley Spice haben sich viele kommerzielle Spice Varianten entwickelt. LTspice hat einige Anpassungen des Berkeley SPICE vorgenommen, um vor allem ein Konvergieren von Schaltungen wesentlich zu verbessern, und auch die Geschwindigkeit beim Simulieren von Schaltreglern massiv zu erhöhen.

Es wurde ein hervorragender Schaltplan Editor und ein Waveform Viewer hinzugefügt. Beide sind intuitiv zu bedienen was dem Anfänger hilft, bieten aber auch eine hohe Flexibilität, damit besonders erfahrene Nutzer auf ihre Kosten kommen. Im Vergleich zu anderen kostenfreien Simulationswerkzeugen von Halbleiterherstellern bietet LTspice den

Vorteil, dass es offline und lokal läuft und somit Nutzerdaten nicht "ausspioniert" werden.

#### Anwendung

Das Verwenden von LTspice ist einfach. Das Programm wird von

der Webseite von Analog Devices heruntergeladen und lokal installiert. Bei der Installation ist bereits eine sehr große Datenbank mit Simulationsmodellen von fast allen Analog Devices Power Bausteinen enthalten. Auch eine enorme Datenbank mit externen passiven Komponenten ist inkludiert. Wie bereits erwähnt ist eine online Verbindung nicht zwingend notwendig, es ist jedoch ratsam, alle paar Wochen ein Update der LTspice Installation zu machen, damit die neuesten Modelle der Schaltregler und externen Komponenten hinzugefügt werden.

Um eine erste Simulation zu machen, kann man im Produktordner eines Analog Devices Power Produktes, eine LTspice Schaltung auswählen. Diese sind üblicherweise die passenden Schaltungen der verfügbaren Evaluierungsboards. Ein Doppelklick auf den LTspice Link auf der Webseite und es öffnet sich lokal auf dem eigenen Rechner die komplette Schaltung. Inklusive aller externen Bauteile und den Angaben die für den Lauf einer Simulation notwendig sind. Es ist praktisch alles bereits voreingestellt, sodass der Nutzer nur noch den .rennenden Mann' klicken muss, um die Simulation zu starten.

Bild 10 zeigt die Oberfläche von LTspice mit einer aufgerufenen Schaltung vom LTC3310S. Der rote Pfeil zeigt auf den ,rennenden Mann' mit welchem eine Simulation gestartet wird. Nach einer Simulation sind alle

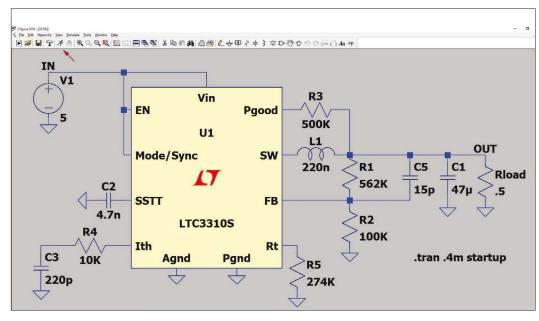


Bild 10: Simulationsschaltung eines LTC3310S mit LTspice

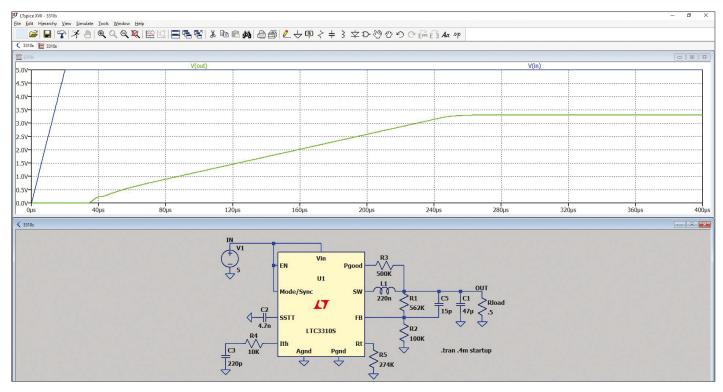


Bild 11: Simulationsergebnis einer LTC3310S Schaltung mit LTspice

Spannungen und Ströme einer Schaltung mit dem Waveform Viewer aufrufbar. Bild 11 zeigt eine typische Darstellung der Ausgangsspannung und der Eingangsspannung beim Hochlaufen der Schaltung.

### Detailwissen

Eine Spice Simulation eignet sich vor allem, um eine Spannungsversorgungsschaltung detailliert kennenzulernen, um dann nach dem Aufbau der Hardware keine bösen Überraschungen zu erleben. Auch kann eine Schaltung mit LTspice noch angepasst und optimiert werden. Besonders lässt sich das Zusammenspiel des Schaltreglers mit anderen Schaltungsteilen auf der Platine simulieren. Das ist besonders hilfreich, um gegenseitige Abhängigkeiten zu erkennen. Beispielsweise können mehrere Schaltregler in einer Anwendung gleichzeitig simuliert werden. Die Simulationszeit verlängert sich dadurch, jedoch können hier gewisse Interaktionen überprüft werden.

Zuletzt sei zum Thema 'Simulieren mit LTspice' noch folgendes anzumerken, was die Mächtigkeit des Simulationsprograms unterstreicht. Viele der LT und LTC Bausteine wurden von IC-Entwicklern mit dem Simulationswerkzeug LTspice von Analog Devices entwor-

fen. Was gibt es Überzeugenderes zu berichten als das tiefe Vertrauen, das die Entwickler der integrierten Schaltungen in das Werkzeug haben.

# Schritt 5: Überprüfen der Hardware in der Realität

Trotz der umfangreichen Werkzeuge, welche heute für den Schaltungsentwurf von Stromversorgungen zur Verfügung stehen, kann eine gründliche Evaluierung der Hardware nicht umgangen werden. Gerade Schaltregler arbeiten mit sehr schnell geschalteten Strömen. Diese verursachen durch parasitäre Einflüsse der Schaltung, besonders des Platinenlayouts, Spannungsversatz und dadurch Abstrahlung. Solche Effekte können mit LTspice simuliert werden, dadurch benötigt man jedoch genaue Informationen zu den parasitären Eigenschaften der Schaltung und besonders der Platine. Diese Informationen liegen häufig nicht vor. Man muss viele Annahmen machen, was dann den Wert des Simulationsergebnisses schmälert. Somit führt in aller Regel kein Weg an einer gründlichen Hardware Evaluation vorbei.

#### **Platinenlayout**

Es stehen Hilfen bereit, um ein optimales Platinenlayout zu erstel-

len. Die entsprechenden Datenblätter der Schaltregler ICs bieten üblicherweise Informationen zu einem Referenzplatinenlayout. Für die meisten Anwendungen kann dieser Layoutvorschlag einfach übernommen werden.

Das Platinenlayout wird gerne auch als "Bauteil' bezeichnet. Es ist so kritisch, dass es beispielsweise nicht möglich ist, zu testzwecken, einen Schaltregler mit Luftverdrahtung, wie mit einem Steckboard, zu betreiben. Hauptsächlich die parasitäre Induktivität bei den Pfaden, in welchen die Ströme geschaltet werden, führen zu einem Spannungsversatz, der den Betrieb unmöglich macht. Teilweise können Schaltungen dadurch auch wegen Überspannung zerstört werden.

# Überprüfung im zulässigen Temperaturbereich

Im Entwicklungsprozess wurde bereits durch die Effizienzbetrachtung ermittelt, ob der Schaltregler IC innerhalb des zulässigen Temperaturbereich betrieben wird oder nicht. Dennoch ist ein Test der Hardware bei den vorgesehenen Randtemperaturen wichtig. Der Schaltregler-IC und auch die externen Komponenten variieren ihre nominalen Werte über dem zulässigen Temperaturbereich. Diese Einflüsse

der Temperatur können bei der Simulation mit LTspice durchaus berücksichtigt werden. Jedoch ist eine solche Simulation nur so gut wie die zugrunde gelegten Parameter. Wenn diese Parameter realistisch vorhanden sind, kann eine Monte Carlo Analyse bei LTspice zum gewünschten Ergebnis führen. In vielen Fällen ist eine Evaluierung der Hardware dennoch praktikabler.

#### EMV-Messung/Zulassungen

Auch müssen Zulassungstests was die Elektro Magnetische Verträglichkeit betrifft absolviert werden

Jedoch sind die berechneten und simulierten EMV-Werte, was leitungsgebundene und abgestrahlte Aussendungen betrifft, sehr hilfreich, um bereits vor den EMV-Messungen bewerten zu können ob eine Schaltung die Messung bestehen wird oder nicht. Unterschiedliche Szenarien können mit einer Simulation ausprobiert werden, um für den Fall eines nicht bestandenen EMV-Tests schnell Abhilfe schaffen zu können. Da EMV-Messungen sehr kostenaufwändig und Zeitintensiv sind ist ein Beschäftigen mit der Thematik bereits während des Schaltungsentwurfs einer Stromversorgung essenziell.