

Teil 1: Entwurf einer funktionierenden Spannungsversorgung

DC/DC-Wandler: Aller Anfang ist schwer

Dieser Artikel ist das Ergebnis von Erfolgen und Fehlschlägen des Autors bei Dutzenden von Spannungsversorgungen. Gerade Entwickler, die an ihrer ersten Spannungsversorgung arbeiten, finden hier Detailinformationen von Beginn bis zum Schluss der Entwurfsphase. Jede Phase wird kurz angesprochen und soll als Startpunkt für weitere Nachforschungen gesehen werden.

Die richtige Auswahl des Regelbausteins hängt im wesentlichen von den Entwicklungszielen ab. Falls die Eingangsspannung immer größer ist als die Ausgangsspannung, ist eine Abwärtswandler-Topologie zu wählen. Im umgekehrten Fall, also bei immer größerer Ausgangsspannung, ist eine Aufwärtswandler-Topologie die richtige Wahl. Falls die Eingangsspannung sowohl unter als auch über der Ausgangsspannung zu liegen kommt, kann entweder die Aufwärts- oder die Abwärtswandlung eingesetzt werden. Allerdings muss die Topologie an die nicht standardisierten Eingangsspannungsverhältnisse angepasst werden.

Im Allgemeinen können Ausgangsströme bis unterhalb von etwa 2 A von Leistungshalbleitern bereitgestellt werden, die bereits in den Regelbausteinen integriert sind. Viele moderne Regelbausteine haben MOSFETs als interne Leistungsschalter, aber einige arbeiten mit bipolaren Transistoren. Interne Schalter in modernen Schaltregler-ICs können Ströme bis zu 5 A handhaben – mit steigender Tendenz. Ein Baustein mit internen Schaltern ist üblicherweise die bessere Wahl, da sich der Entwurf einfacher gestaltet und meist die Gesamtkosten niedriger sind.

Regelbausteine, die mit einem externen Leistungsschalter arbeiten, werden üblicherweise Controller-Bausteine genannt. Sie enthalten Treiber mit einer Stromfähigkeit von 2 A oder mehr, um die Gate-Kapazität von externen MOSFETs zu laden. Die Fähigkeit, das Gate eines MOSFETs schnell zu laden und wieder zu entladen, ist wichtig für einen hohen Wirkungsgrad.

AUTOR



John Guy, Maxim Integrated Products, Sunnyvale, Kalifornien/USA

	A	B	C	D	E
1	VINMAX	VINMIN	VOUT	IOUT	FREQ
2	5	5	3.3	0.5	300000
3					

Bild 1: Die Tabellenkalkulation erlaubt den Einsatz von Zellnamen.

Für die meisten Controller-Bausteine ist eine maximale Gate-Kapazität spezifiziert, die sie treiben können.

Das wohl gängigste Regelverfahren ist die Pulsweitenmodulation (PWM). PWM-Wandler arbeiten mit einer konstanten Schaltfrequenz über einen weiten Lastbereich. Dieses Verhalten ist wichtig, weil Schaltgeräusche eines Spannungswandlers andere Abläufe in einem System beeinflussen können. Werden die Schaltgeräusche auf ein bekanntes Frequenzband eingeschränkt, werden viele dieser Probleme von vornherein vermieden.

Ein ebenfalls bekanntes Regelverfahren ist die Pulsfrequenzmodulation (PFM). Die Einfachheit der Handhabung machte PFM in einigen sehr frühen Spannungswandlern populär. Dieses Regelverfahren wird auch heute noch in einigen Fällen eingesetzt, da PFM-Wandler gerade in solchen Anwendungen bestechen, die einen niedrigen Ruhestrom erfordern.

Die Schaltfrequenzen heute erhältlicher Spannungswandlern reichen von 20 kHz bis über 1 MHz. Bausteine, die unterhalb von 100 kHz arbeiten, sollten vermieden werden. Solche Frequenzen sind typisch für ältere Bausteine mit schlechtem Wirkungsgrad. Im Allgemeinen ermöglichen höhere Schaltfrequenzen kleinere externe Komponenten; klein sowohl in Bezug auf Baugröße als auch auf den Nominalwert. Falls kleinstmögliche Bauformen in einer

Anwendung benötigt werden, sind Spannungswandler mit Schaltfrequenzen von 1 MHz oder mehr zu empfehlen. Anderenfalls ist ein Baustein zu wählen, der die erforderlichen wesentlichen Kriterien erfüllt. Dabei ist sicherzustellen, dass dessen Schaltfrequenz nicht andere Systemfrequenzen

beeinflusst.

Nachdem ein bestimmter Wandlertyp bestimmt wurde, ist eine endgültige Auswahl zu treffen. Datenblätter aus Datenbüchern, die älter als zwei Jahre sind, sollten nicht zu Rate gezogen werden. Ein Durchsuchen der Internetseite des Herstellers nach den aktuellsten Datenblättern sollte immer durchgeführt werden. Und wenn man schon mal dort ist, finden sich meist noch eine Vielzahl von Applikationsschriften, die auf das gewählte Bauelement zutreffen. Diese Aufsätze können als Richtlinie herangezogen werden; und meist findet sich ein Schaltungsvorschlag, der mit nur geringen Abänderungen eingesetzt werden kann. In Applikationsschriften und Datenblättern erhält man Gleichungen und Berechnungshinweise, die einen durch die Entwicklung für den ausgewählten Wandler führen.

Entwurfsgleichungen

Datenblätter zu Spannungswandlern sollten Gleichungen enthalten, die helfen, die entsprechende Schaltung zu entwickeln. Falls dem nicht so ist, helfen meistens ein ähnliches Datenblatt oder die technische Literatur weiter. Manche Datenblätter führen verschiedene Gleichungen für unterschiedliche Betriebsarten auf. Daher ist sorgfältig zu prüfen, ob man die gültigen Gleichungen für die gewünschte Leistung und die gewünschte Betriebsart

ausgewählt hat. Sobald dann die wesentlichen Entwurfsparameter feststehen und die entsprechend gültigen Gleichungen bestimmt sind, ist sicherlich eine Tabellenkalkulation wie Excel oder ein Mathematik-Programm wie MathCAD ein hilfreiches Werkzeug für individuelle Berechnungen.

Berechnungen mit einem Tabellenprogramm

Die Zeit von handskizzierten Grafiken ist sicherlich längst vorüber. Tabellenkalkulationen sind heute das Arbeitspferd für den Elektronikentwickler. Sie dienen sogar als grobe Schaltungssimulatoren, und ihre „Lösungs“-Einrichtung kann einige Arbeitsstunden sparen, in denen man bisher versuchte, eine umfangreiche Gleichung nach einer einzelnen Variablen aufzulösen. Werden sie mit Gleichungen für Spannungswandler angewendet, dann ermöglicht die Tabelle eine schrittweise Annäherung, die bei der Komponentenauswahl hilft.

Beziehungen zwischen Ursache und Wirkung können schnell angezeigt werden.

Als Beispiel soll ein MAX1742 betrachtet werden; dies ist ein Abwärtswandler mit integrierten Leistungsschaltern. Der Abschnitt „Design Procedure“ im Datenblatt enthält alle notwendigen Informationen und die Reihenfolge der Berechnungen. Im Beispiel soll eine konstante Eingangsspannung von +5 V, eine Ausgangsspannung von +3,3 V bei einem Maximalstrom von 500 mA angenommen werden; die Schaltfrequenz soll 500 kHz betragen.

Wann immer möglich, sollten die definierten Variablennamen benutzt werden. Sobald weitere Gleichungen eingegeben werden, werden die Ergebnisse dieser Berechnungen mit weiteren Namen gekennzeichnet. Die Namen werden sinnvoll gewählt, so dass man sich auch erinnert, was sie darstellen – besonders, wenn die Berechnungen später einmal überprüft werden.

Zunächst sind am oberen Ende einer neuen Tabelle Namen für alle Werte einzutragen, die zu Beginn einer Entwicklung benötigt werden (**Bild 1**). Solche Namen können z.B. VINMIN, VINMAX, VOUT, IOUT, FREQUENCY und andere Bezeichnungen sein, die mit dem ausgewählten Wandlerbaustein zusammenhängen. In der Zelle direkt unter der Zelle, die den Namen enthält, ist ein Name zu definieren, der dem darüber eingetippten Namen entspricht.

Um einen Zellennamen zu definieren, geht man folgendermassen vor: Die zu benennende Zelle ist auszuwählen, das „Insert“-Pull-downmenü ist zu öffnen und „Name“ zu wählen, dann ist „Define“ im Submenü auszuwählen. In Excel öffnet sich eine Dialogbox und schlägt bereit den Namen vor, der in der Zelle direkt über der ausgewählten Zelle steht.

Um der Zelle diesen Namen zu geben, ist „OK“ in der Dialogbox anzuklicken. So geht man dann die ganze Reihe durch, bis alle Felder benannt sind. Mit dieser doch ►

V _{INMAX}	V _{INMIN}	V _{OUT}	I _{OUT}	Frequenz
5	5	3,3	0,5	500 kHz
Erste Berechnung				
V _{RIPPLE}	V _{RIPPLE}	R _{TOFF}	t _{OFF}	R _{TOFF}
45 mV	35 mV	673 nS	66,3kΩ	
Auswahl des Wertes für LIR, danach Berechnung von L und I _{PEAK}				
LIR_INIT	L	I _{PEAK}		
30%	14,8 μH	575 mA		
Als nächstes Berechnung der Parameter des Ausgangskondensators				
I _{TRIPPLE}	ESR_MIN	C _{OUT_MIN}		
529,6 mA	0,22 Ω	6,73 μF		
Soft-start Berechnung				
t _{SS}	C _{SS}			
100 ms	0,22 μF			

Bild 2: Zu Beginn sind die Bauteilewerte für die externen Komponenten zu berechnen. Hilfreich ist hier eine Excel-Tabelle, in der die Entwurfsgleichungen eingegeben werden. Für den MAX1742 werden die gezeigten Werte geliefert.

etwas eintönigen Prozedur kann man sich nun in der nachfolgenden Berechnung immer auf beispielsweise VINMAX beziehen (anstatt auf die Zelle A2), was die Eingabe der Entwurfsgleichungen wesentlich vereinfacht.

Die ausgewählte Zelle in Bild 1 ist A2 mit einem Wert von 5. Der Name der Zelle wird direkt über der mit „A“ bezeichneten Reihe angezeigt. Als nächstes geht man durch die Entwurfsprozedur und wählt alle benötigten Bauteilewerte aus (Bild 2). Die in der Tabelle angezeigten Werte sind hier zur besseren Verständlichkeit bereits in SI-Einheiten umgerechnet.

Bauteileauswahl

Mit den Werten aus Bild 2 können die peripheren Komponenten zum Spannungswandler ausgewählt werden. Anhand der Empfehlungen im Datenblatt ist sicherzustellen, ob jedes Bauteil für die Anwendung brauchbar ist. Falls der berechnete Induktivitätswert nicht verfügbar ist, sollte der nächstkleinere, erhältliche Standardwert gewählt werden. Falls ein berechne-

Berechne t _{OFF} und Frequenz mit ausgewähltem R _{TOFF} Wert		
R _{TOFF}	t _{OFF}	Frequenz
68 kΩ	688 ns	48,88 kHz
Berechne LIR und I _{PEAK} mit ausgewähltem L Wert		
L	LIR	I _{PEAK}
15 μH	30,3%	576 mA

Bild 3: Nach Auswahl aller Komponenten sollte die Schaltung nochmals mit den tatsächlich gewählten Werten überprüft werden.

ter Kondensatorwert nicht verfügbar ist, wird entsprechend der nächsthöhere Wert eingesetzt.

Der Spulenwert wird primär durch die Induktivität und den Spitzenstrom bestimmt. Außerdem sollte die Spule bei der gewünschten Schaltfrequenz betreibbar sein. Falls hierzu die Information fehlt, sollte sicherheitshalber eine andere Spule gewählt werden, für die eine Betriebsfrequenz angegeben ist.

Spulen sind oberflächenmontierbar und bedrahtet erhältlich, wobei oberflächenmontierbare Versionen meist besser geeignet sind. In unserem Beispiel eignet sich die Spule TP1-150 im „Thin-Pac“ von Coiltronics recht gut. Diese hat 15 μH Induktivität und einen Sättigungsstrom von 0,73 A.

Der Eingangskondensator reduziert die Spitzenstrombelastung auf der Eingangsspannung und vermindert Störstrahlung in andere Elemente des Systems. Die meisten Datenblätter schlagen bestimmte Werte vor oder bieten sogar Gleichungen zur Berechnung der Eingangskapazität.

Der gewählte Kondensator sollte im Bereich der gewählten Schaltfrequenz einen spezifizierten, zulässigen Ripple-Strom haben. In unserem Beispiel, also bei 500 kHz, eignen sich organische Elektrolyt- oder Polymerkondensatoren sowie Keramik- und Tantaltypen.

Tantalkondensatoren reagieren empfindlich auf schlagartige Spannungsänderungen. Daher sind diese Typen zu vermeiden, falls sie an einen mechanischen Schalter angeschlossen werden sollen. In unserem Schaltkreis aber wird die Eingangsspannung aus einer geregelten Spannungsversorgung geliefert, so dass nicht mit Problemen zu rechnen ist. Daher wird ein Kondensator gewählt, der die Strom- und Spannungsanforderungen erfüllt, wie z.B. die TPS-Serie von AVX. Der 100-μF-Typ in Gehäusegröße C ist mit 10 V und 742 mA Ripple-Strom angegeben.

Aus Stabilitätsgründen wird bei einigen Spannungswandlern gefordert, dass der Ausgangskondensator einen minimalen äquivalenten Serienwiderstand (ESR) aufweist (dies ist beim MAX1742 jedoch nicht der Fall). Gerne wird diese Spezifikation irrtümlicherweise als Obergrenze aufge-

fasst, obwohl in diesem Fall eine Untergrenze gemeint ist. Und meist wird viel Zeit aufgewendet, bis der Fehler erkannt bzw. der Irrtum aufgeklärt wird.

Die Beispielschaltung ist für eine geregelte Eingangsspannung von +5 V ausgelegt, daher ist ein Tantalkondensator am Eingang die beste Wahl. Als Startpunkt kann ein Kondensator mit dem empfohlenen Minimalwert von etwa 22 μF gewählt und überprüft werden, ob er die erforderlichen Spannungs- und Kapazitätswerte erfüllt. In unserem Beispiel ist der 33-μF-Kondensator aus der TPS-Serie von AVX für maximal 10 V Betriebsspannung ausgelegt. Der maximale ESR beträgt 0,375 Ω, was nahe des Zielwertes liegt.

An den Kondensator für den „Soft Start“-Anlauf und an den Widerstand für die t_{OFF}-Programmierung bestehen keine besonderen Anforderungen. Es werden die nächsten verfügbaren Standardwerte eingesetzt. Um die Auswahl der Komponenten abzuschließen, werden die verbleibenden Bauelemente gemäß der typischen Applikationsschaltung ausgewählt.

Nachüberprüfung der ursprünglichen Tabelle

Weil Kondensatoren und Spulen nur in einer endlichen Anzahl von Standardwerten verfügbar sind, kann der nächste verfügbare Wert vom errechneten Wert um mehr als 20 % abweichen.

In diesem Fall sollte in der ursprünglichen Tabelle die tatsächlich gewählten Werte eingesetzt werden, um zu überprüfen, ob die Schaltung noch die erwartete Leistung erbringt. Wie in Bild 3 gezeigt, sind im gewählten Beispiel keine weiteren Korrekturen notwendig, weil die gewählten Werte für R_{TOFF} und die Spule nur minimalen Einfluss auf den Arbeitspunkt der Schaltung haben. (jj)

(wird fortgesetzt)

KONTAKT

Maxim

Kennziffer 500

www.maxim-ic.com