

Hochsetzsteller für LED-Hinterleuchtungen in mobilen Elektronikgeräten auslegen:

Die richtige Schottky-Diode finden

In tragbaren Elektronikgeräten mit Display wird ein Aufwärtswandler zur Spannungsversorgung der LED-Hinterleuchtung benötigt. Sein Wirkungsgrad hat spürbaren Einfluss auf die Batterielaufzeit des Geräts. Das sollte bei der Auswahl der passenden Schottky-Diode im Hochsetzsteller beachtet werden.

Von Steven Shackell



In tragbaren Elektronikgeräten (beispielsweise Smartphones) erhöht sich unablässig der Funktionsumfang. Parallel dazu wird von den Systementwicklern erwartet, längere Batterielaufzeit zu ermöglichen, im Idealfall in Gerätemodellen, die sich durch immer elegantere Formfaktoren von Konkurrenzprodukten abheben. Dazu sind kleinere Bauelemente notwendig sowie Maßnahmen zur Reduzierung der Systemverlustleistung. Eine Hauptursache für das Entstehen von Leistungsverlusten ist der Einsatz von Hochsetzstellern (auch Aufwärtswandler oder engl. Boost Converter) zur Ansteuerung zum Beispiel der Hinterleuchtung des Smartphone-Display. Der prinzipielle Aufbau

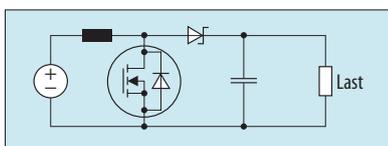


Bild 1. Der Wirkungsgrad eines Hochsetzstellers hängt von der Auswahl der Schottky-Diode ab.

eines Aufwärtswandlers ist in Bild 1 gezeigt. Um die Verlustleistung im Aufwärtswandler möglichst klein zu halten, muss die Auswahl der verwendeten Schottky-Diode mit Sorgfalt erfolgen.

In heutigen tragbaren Elektronikgeräten mit LED-Display benötigen häufig die Aufwärtswandler, die für die LED-Hinterleuchtung verwendet werden, einen beträchtlichen Teil der Batterie-

leistung des Geräts. Daher müssen die Aufwärtswandler für einen möglichst effizienten Betrieb ausgelegt werden. Bei ihrer Implementierung ist die Schottky-Diode ein integraler Bestandteil. Sie korrekt zu spezifizieren ist relevant, um den hohen Wirkungsgrad des Aufwärtswandlers nicht gleich wieder einzubüßen. Eine sorgfältige Auswahl der Schottky-Diode bedeutet für tragbare Elektronikgeräte eine längere Batterielaufzeit und eventuell auch die Möglichkeit, in der Systementwicklung einen erweiterten Funktionsumfang vorzusehen.

Für die Spezifizierung der Schottky-Diode ist es nötig, den Mechanismus des Aufwärtswandlers selbst gut zu verstehen. Im Allgemeinen verwenden Hinterleuchtungen weiße LEDs. Sie sind durch eine Vorwärtsspannung gekennzeichnet, die typischerweise zwischen 3,0 V und 3,6 V liegt. Üblicherweise arbeiten tragbare Elektronikgeräte mit Li-Ion-Einzellen-Batterien mit einer Betriebsspannung zwischen 2,5 V und 4,2 V. Wenn die Spannung einer Li-Batterie in Richtung 2,5 V absinkt, steht nicht mehr genügend Spannung zur direkten Ansteuerung der LEDs zur Verfügung. Wenn das der Fall ist, kommt der Aufwärtswandler ins Spiel. Die Spannung der Li-Batterie dient als die Eingangsspannung für den Boost Converter. Der Wert der Ausgangsspannung wird aus der Vorwärtsspannung der LEDs abgeleitet und aus der Konfiguration, in der die LEDs angeordnet worden sind. Manche Schaltungen verwenden

eine einreihige Anordnung, während andere zwei Reihen (Strings) benötigen. Bei den üblichen LED-Vorwärtsspannungen von ungefähr 3,0 V bis 3,6 V wird eine Ausgangsspannung von 18 V bis 36 V benötigt.

Einschaltdauer

Das Tastverhältnis D (engl. Duty Cycle) eines Aufwärtswandlers lässt sich mit Hilfe der (idealisierten) Gleichung 1 bestimmen. Im Allgemeinen liegt das Tastverhältnis eines Aufwärtswandlers im Bereich von 80 bis 90 %. Das heißt, dass der MOSFET zu ungefähr 90 % des Zyklus eingeschaltet ist, um das Magnetfeld der Spule zu laden.

$$D = \frac{U_{\text{out}} - U_{\text{in}}}{U_{\text{out}}} \quad (1)$$

U_{out} = Ausgangsspannung des Aufwärtswandlers.

U_{in} = Eingangsspannung des Aufwärtswandlers.

Während der MOSFET eingeschaltet ist, wird die Schottky-Diode in Sperrrichtung betrieben. Ist der MOSFET abgeschaltet, wird die Energie, die sich in der Spule aufgebaut hat, nachfolgend über die Schottky-Diode in den Ausgangskondensator entladen, die sie wiederum an die LEDs abgibt. Die vom Ausgangskondensator während dieser Zyklusphase empfangene Ladung reicht aus, um die

LEDs so lange mit einem konstanten Strom zu versorgen, bis sich der MOSFET wieder einschaltet und der nächste Zyklus beginnt. Dem System kann ein Präzisionswiderstand hinzugefügt werden, der zum LED-Streifen in Reihe geschaltet wird. Die am Präzisionswiderstand abfallende Spannung kann als Signal an einen Controller geleitet werden.

Auftretende Ströme im Aufwärtswandler

Für die Spezifikation einer Schottky-Diode ist es notwendig, die verschiedenen Ströme zu kennen, die im Aufwärtswandler auftreten. Der zeitliche Verlauf der Ströme ist in **Bild 2** dargestellt. Es handelt sich dabei um folgende Größen:

- Der durchschnittliche Eingangsstrom ($I_{in(avg)}$): Er ist gleichzeitig der Strom, der im zeitlichen Mittel durch die Schottky-Diode fließt, wenn sie in Durchlassrichtung betrieben wird.
- Der maximale Spulenstrom (I_{pk}): Dieser Strom fließt durch die Schottky-Diode, wenn der MOSFET ausgeschaltet wird. Sein Wert klingt linear ab, wenn das Magnetfeld der Spule in seiner Stärke nachlässt, bis der MOSFET wieder einschaltet, um den nächsten Zyklus zu beginnen.

→ Der Ausgangsstrom (I_{out}): Dieser wird von dem ins System eingebauten Controller geregelt. Bei LED-Hinterleuchtungen liegt der Ausgangsstrom normalerweise zwischen 15 mA und 25 mA pro LED-Streifen. Der maximale Spulenstrom I_{pk} des Aufwärtswandlers lässt sich durch Verwendung von **Gleichung 2** berechnen. **Gleichung 3** gibt den Wert von $I_{in(avg)}$.

$$I_{pk} = \frac{I_{out} \cdot U_{out}}{U_{in} \cdot \text{efficiency}} + \frac{U_{in} \cdot (1 - \frac{U_{in} \cdot \text{efficiency}}{U_{out}})}{2 \cdot f \cdot L} \quad (2)$$

$$I_{in(avg)} = \frac{2 \cdot I_{pk} - \frac{U_{in}}{L} \cdot D \cdot \frac{1}{f}}{2} \quad (3)$$

Efficiency = Wirkungsgrad des Hochsetzstellers.
L = Drosselinduktivität.
f = Schaltfrequenz des MOSFET.

Relevante Kenngrößen für die Wahl der Schottky-Diode

Es gibt zahlreiche Parameter, die bei der Auswahl einer Schottky-Diode für eine LED-Hinterleuchtung berücksichtigt werden müssen. Zu den wichtigsten zählen:

- maximaler Durchlassstrom (Forward Current, I_F): der maximale Gleichstrom, den das Gerät aufnehmen kann. Er steht in unmittelbarem Zusammenhang mit den Werten von I_{pk} und $I_{in(avg)}$.
- maximale Sperrspannung (Peak Reverse Voltage, U_R): Sie wird definiert als die maximale Spannung, die über der Diode in Sperrrichtung angelegt werden kann. Für die Implementierung eines Hochsetzstellers ist diese Spannung gleich der Ausgangsspannung des Aufwärtswandlers. Das Controller-Element des Aufwärtswandlers sollte in jedem Fall einen inte-

grierten Überspannungsschutz beinhalten. Die Sperrspannung der Schottky-Diode sollte dann so nahe wie möglich am Schwellenwert des Überspannungsschutzes liegen, um den Wirkungsgrad des Hochsetzstellers nicht unnötig zu senken.

- Stoßstromgrenzwert (Surge Non-Repetitive Forward Current, I_{FSM}): der maximale Strom, den die Diode während einer Überspannungsbedingung schadensfrei leiten kann, wenn dieser in Form eines einzelnen Impulses auftritt.
- Höchster periodischer Durchlassstrom (Repetitive Peak Forward Current, I_{FRM}): der maximale Stromwert, den die Schottky-Diode leiten kann, ohne Schaden zu nehmen, wenn der Strom in Form von kontinuierlichen Impulsen auftritt. Er ist für eine Schottky-Diode immer geringer als der Stoßstromgrenzwert.
- Sperrstrom (Reverse Current, I_R) und Durchlassspannung (Forward Voltage, U_F): Diese beiden Parameter sollten gemeinsam betrachtet werden. Halbleiterbausteine, die eine geringe Durchlassspannung aufweisen, haben heute meist einen vergleichsweise hohen Sperrstrom. Da die Schottky-Diode die meiste Zeit über in Sperrichtung betrieben wird, hat der Sperrstrom eine beträchtliche Auswirkung auf die Verlustleistung der Diode. Es reicht deshalb nicht aus, allein auf eine möglichst geringe Durchlassspannung bei der Schottky-Diode zu achten. Ratsamer ist der Ansatz, die Parameter I_R und U_F gemeinsam zu kombinieren und dann zu bewerten, wie beide zur Gesamtverlustleistung der Diode beitragen. Zur Betrachtung der Verlustleistung können die beiden Gleichungen 4 und 5 herangezogen werden.

$$D = \frac{U_{out} + U_F - U_{in}}{U_{out} + U_F} \quad (4)$$

$$P_D = D \cdot U_{out} \cdot I_R + (1 - D) \cdot U_F \cdot I_F \quad (5)$$

P_D = Verlustleistung der Diode.

Bauform des Chipgehäuses

Um zu beurteilen, welches das passende Gehäuse für eine Schottky-Diode ist, die im Hochsetzsteller eines tragbaren Elektronikgeräts eingesetzt wird, sollten die Gehäusegröße und der Gehäusotyp

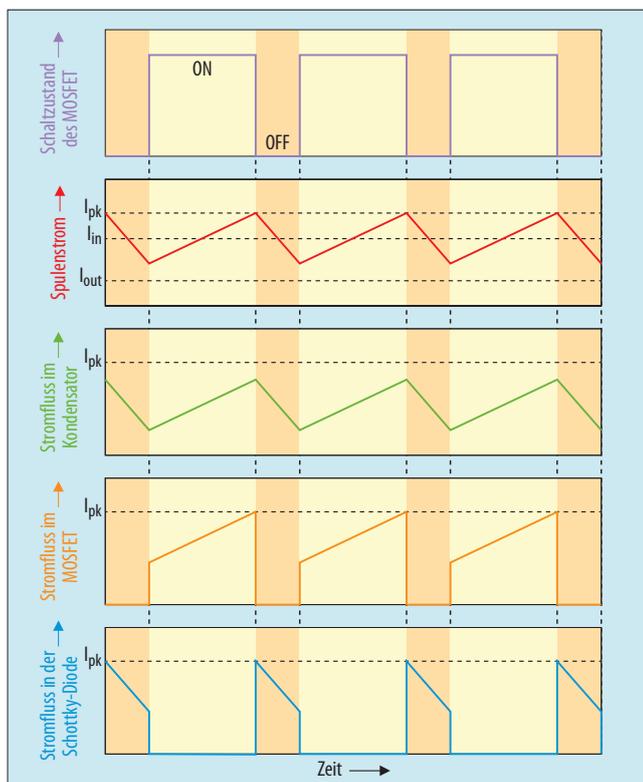


Bild 2. Übersicht zum zeitlichen Verlauf der verschiedenen Ströme im Hochsetzsteller. (alle Bilder: ON Semiconductor)

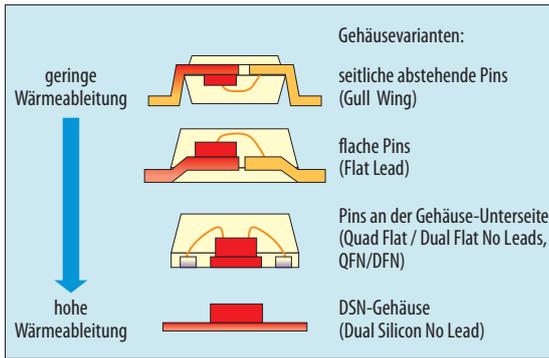


Bild 3. Übersicht zu den Gehäusebauformen. Durch Fortschritte in der Gehäusetechnik sind heute Varianten mit deutlich effizienterer Wärmeableitung erhältlich.

betrachtet werden. Für die Implementierung des Aufwärtswandlers ist das Wärmemanagement von großer Bedeutung für, da mehr und mehr Bauelemente in immer kleinere Geräte integriert werden müssen. Da nur wenig Platz für Kühlkörper verbleibt, sollte die Wahl auf ein Gehäuse mit einem geringen thermischen Widerstand und einem kurzen Wärmepfad vom Chip zur Leiterplatte fallen. Details der verschiedenen verfügbaren Gehäusetypen und ihrer Fähigkeit zur Wärmeableitung werden in **Bild 3** gezeigt.

Der schrittweise Übergang von Quad-Flat-No-Lead-Gehäusen (QFN) zu diskreten Flat-No-Lead-Gehäusen (DFN) und dann zu verschiedenen dualen Silizium-No-Lead- (DSN-)Gehäuseformen führte zu einer deutlich höheren Wärmeableitung der Gehäuse. In dieser Hinsicht bieten aktuell die DSN-Gehäuse eine sehr hohe Effizienz, die durch einen deutlich

verkürzten Wärmepfad zwischen dem Chip und der Leiterplatte und durch den Wegfall des Rahmens (Lead Frame) erreicht wird.

Was die Gehäusegröße betrifft, so haben die Platzbeschränkungen auf der Leiterplatte zur Folge, dass Entwickler Bauteile mit kleineren Gehäuse bevorzugen. Dies wiederum bedingt kleinere Chips.

Bei Schottky-Dioden gilt: Je kleiner der Chip, desto höher wird die Vorwärtsspannung, weil sie in direktem Verhältnis zur Schottky-Kontaktfläche steht. Ein kleinerer Chip bedeutet aber auch einen kleineren Sperrstrom. Die Verlustleistungsberechnung mit Hilfe der **Gleichungen 4 und 5** liefert einen ersten Einblick in die zahlreichen Kompromisse, die der Übergang auf kleinere Gehäuse mit sich bringt. Es ist nicht ratsam, eine Schottky-Diode in erster Linie wegen ihrer Gehäusegröße zu wählen. Die maximal akzeptable Gehäusegröße sollte bekannt sein, doch alle Gehäuseformate, die kleiner sind als diese, sollten idealerweise ebenfalls auf ihre Eignung überprüft werden.

Eine geeignete Schottky-Diode für die Konstruktion von Aufwärtswandlern für LED-Hinterleuchtungen zu finden ist mit der Betrachtung von vielen Parametern und deren Abhängigkeit voneinander verbunden. Der Aufwand

lohnt sich aber, denn wenn dieses Bauelement sorgfältig spezifiziert wird, wirkt es sich positiv auf die Batterielaufzeit und -Lebensdauer eines tragbaren Elektronikgeräts aus. *mha*



Steven Shackell

ist seit dem Jahr 2010 für ON Semiconductor im Bereich Kleinsignalverhalten tätig. Parallel dazu studierte er an der Arizona State University Elektrotechnik und erhielt dort

2012 den Abschluss Bachelor of Science. Er ist Produktentwickler in ON Semiconductors Small Signal Division.