

# **Regelung auf der Primärseite ermöglicht höheren Wirkungsgrad bei Beleuchtungsanwendungen**

Peter Hsieh, Leon Lee und Kevin Hsueh  
Fairchild Semiconductor

## **Abstract**

Weltweit wird nach Methoden gesucht, um einen niedrigeren Stromverbrauch und einen höheren Wirkungsgrad zu erreichen. Auf die Beleuchtung entfallen fast 20 % des weltweiten Verbrauchs elektrischer Energie, weshalb Fortschritte in diesem Bereich mit enormen Auswirkungen verbunden sind. Halbleiter-basierende Beleuchtungsanwendungen auf der Basis von LEDs (SSL – Solid State Lighting) sind besonders umweltfreundlich. Sie zeichnen sich durch kleine Bauformen, eine lange Lebensdauer und einen hohen Wirkungsgrad aus und reduzieren den Stromverbrauch gegenüber konventionellen Glühlampen um 80 bis 90 Prozent. In derartigen LED SSLs spielen die LED-Treiber eine wichtige Rolle, da diese Treiber zur Gewährleistung einer stabilen Helligkeit einen genauen Strom liefern müssen. Beim konventionellen Ansatz eines LED-Treibers kommt meist eine sekundäre Rückkopplungsschaltung als Spannungs- und Strom-Treiber für die LED zum Einsatz. Diese sekundäre Feedback-Schaltung hat allerdings hohe Kosten und eine große Baugröße zur Folge. Dieser Artikel stellt die patentierte Technologie der Regelung auf der Primärseite (PSR – Primary Side Regulation) vor. Ein derartiger PSR-Controller kann die Spannung und den Strom des LED-Treibers auf der Primärseite des Transformators genau regeln, ohne dass eine Feedback-Schaltung auf der Sekundärseite benötigt wird. Er nutzt zudem ein Frequenzsprungverfahren, um die EMI-Störungen zu reduzieren, und verfügt über eine umweltfreundliche Betriebsart, welche die Standby-Verlustleistung reduziert. Mit diesem Ansatz lässt sich ein PSR-Ladegerät realisieren, das gegenüber konventionellen Designs, wie RCC-Wandlern (Ringing Choke Converter) oder den gängigen PWMs, eine kleinere Bauform, einen niedrigeren Stromverbrauch im Standby-Modus und einen höheren Wirkungsgrad aufweist.

## **Übersicht über LED-Beleuchtungsanwendungen**

Auf Grund der stetig steigenden Energiekosten und des zunehmenden Umweltbewusstseins werden Technologien, die Energie sparen und umweltfreundlich sind, immer wichtiger. Bei Beleuchtungsanwendungen gehen rund 20 Prozent der Energie verloren, so dass die Vermeidung dieser Verluste mittels innovativer Verfahren eine deutliche Energieeinsparung ermöglicht. Dementsprechend werden immer mehr Regelungen zur Energieeinsparung in Kraft gesetzt. In den USA gibt es beispielsweise die ENERGY STAR® Verordnung, während Australien, die Europäische Union und Kalifornien ebenfalls angekündigt haben, konventionelle Beleuchtungslösungen allmählich aus dem Verkehr zu ziehen.

Die LED (Light Emitting Diode) ist mit einer Gleichrichterdiode vergleichbar, da sie den Strom nur in einer Richtung durchlässt. Im Gegensatz zu konventionellen Beleuchtungstechnologien wandelt bei Halbleiter-basierenden Beleuchtungslösungen (SSL) wie einer LED der Halbleiter die elektrische Energie direkt in Licht um. Die Vorteile einer LED-Beleuchtung im Vergleich zu konventionellen Beleuchtungstechnologien sind nachfolgend zusammengefasst:

1. Ansteuerung mit Gleichspannung und Gewährleistung einer hohen Helligkeit auch bei kleinen Spannungen und Strömen. Diese Lösung ermöglicht im Vergleich zu anderen Beleuchtungsquellen eine Energieeinsparung von bis zu 80 %. Die Lebensdauer von HB-LEDs (High Brightness) liegt bei 60.000 bis 100.000 Stunden, während eine Glühbirne nur rund 1000 Stunden hält. Zudem zeichnen sich LEDs durch eine sehr hohe Reaktionsgeschwindigkeit (100ns bis 1ns) aus.
2. Die gängigen monochromatischen Farben sind rot, grün, gelb und orange. Die Farbe lässt sich über den Strom verändern. Zudem enthält das optische Spektrum von LEDs im Gegensatz zu Leuchtstofflampen (CCFL) keine Ultraviolett- und Infrarot-Strahlung. Außerdem enthalten sie weniger schädliches Quecksilber, mehr wieder verwertbare Reststoffe und sind umweltfreundlicher.
3. LEDs sind sehr klein, unempfindlich gegenüber Vibrationen und sehr schlagfest, zudem lassen sich damit Lampen in verschiedensten Formen herstellen.

Im Vergleich von LEDs, Energiesparlampen und Leuchtstoffröhren erreichen die Glühlampen eine Lichtausbeute von nur 12 lm/W und eine Lebensdauer von weniger als 2000 Stunden. Energiesparlampen weisen dagegen eine Lichtausbeute von 60 lm/W und eine Lebensdauer von ungefähr 8000 Stunden auf. Bei Leuchtstoffröhren liegt die Lichtausbeute schon bei 96 lm/W und die Lebensdauer bei ungefähr 10.000 Stunden. Eine weiße 5 mm LED erreicht eine Lichtausbeute von 20 bis 28 lm/W und eine Lebensdauer von ungefähr 100.000 Stunden. LEDs zeichnen sich damit durch eine deutlich längere Lebensdauer aus und bieten gegenüber konventionellen Beleuchtungsanwendungen noch weitere attraktive Vorteile. HB-LEDs (High-Brightness LED) sind leistungsfähige LEDs mit großer Helligkeit. Durch ihre längere Lebensdauer, kleine Baugröße und flexiblen Design-Möglichkeiten werden HB-LEDs bereits in einigen Bereichen als eine Alternative zu konventionellen Glühlampen und Halogenlampen betrachtet. HB-LED-Anwendungen kommen bereits in den folgenden Anwendungen zum Einsatz:

1. Bildschirmanzeigen und Ampeln: Verschiedene Werbeanzeigen, Anzeigetafeln in Sportanlagen und Verkehrssignale.
2. Fahrzeugbeleuchtung: Armaturenbrett-Anzeigen, Autoradio und externe LED-Bremslichter, Rücklichter, Seitenlichter etc.
3. Hintergrundbeleuchtung: Mobiltelefone, Digitalkameras und Notebook-Hintergrundbeleuchtungen.

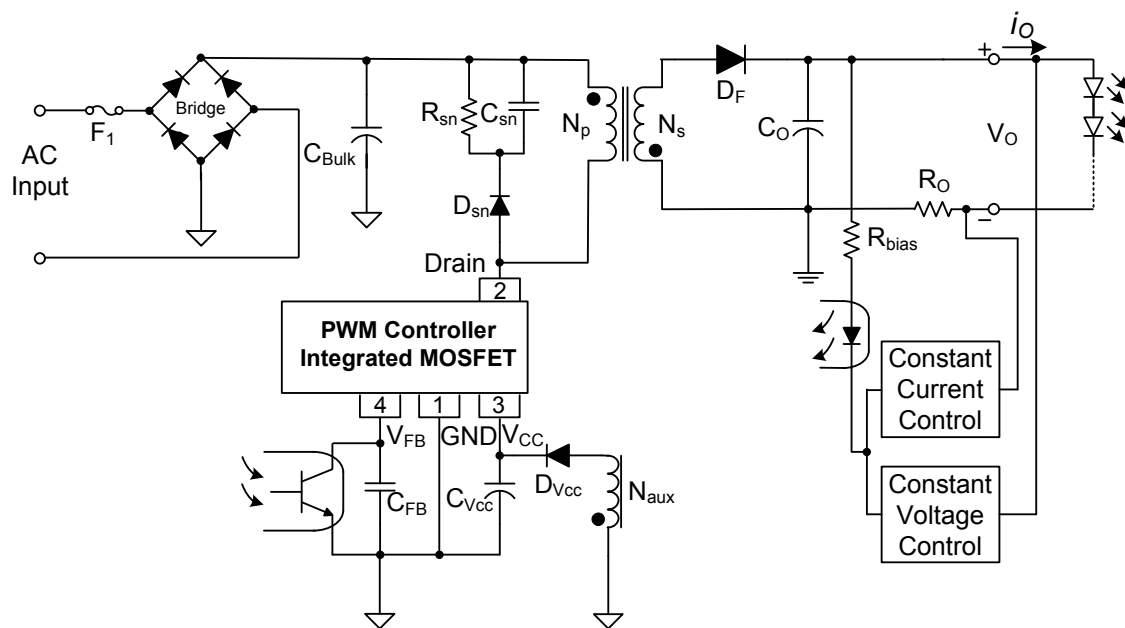
4. Außenbeleuchtung, externe Beleuchtung von Gebäuden, dekorative Beleuchtung, Straßenbeleuchtung und Wohnungsbeleuchtung.

LEDs werden auf Grund ihrer Umweltvorteile künftig in der Entwicklung von Beleuchtungsanwendungen der nächsten Generation zum Einsatz kommen.

### **HB-LED-Treiber mit einer Regelung auf der Primärseite**

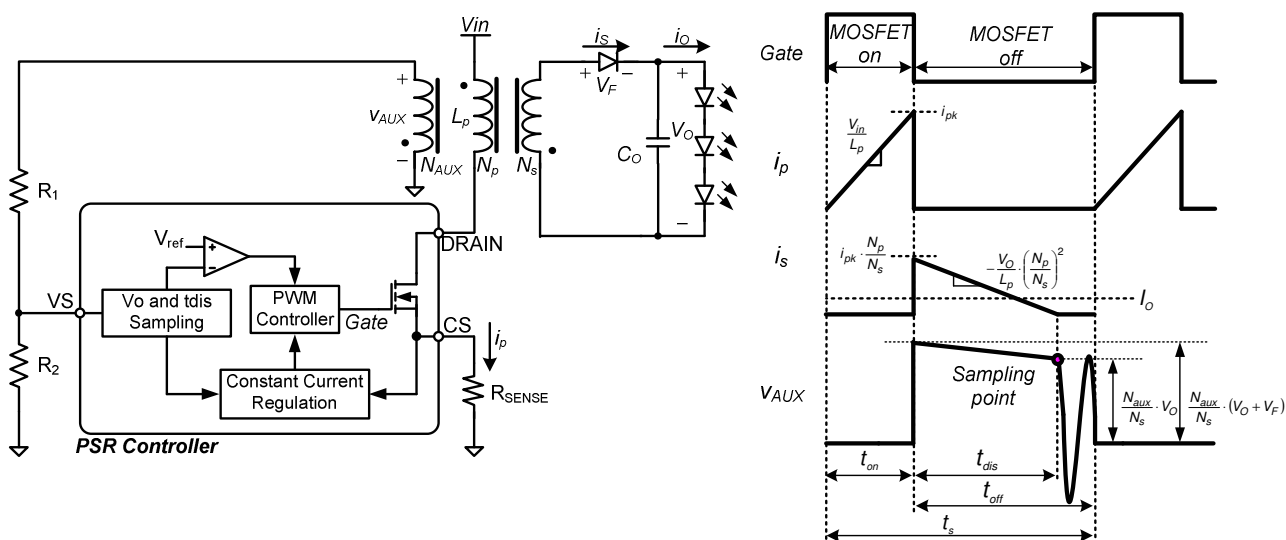
LED-Leuchten bieten wie bereits beschrieben viele Vorteile, aber sie benötigen die richtige Spannung und einen genauen Strom, da sonst nicht nur die Lebensdauer dieser Bauteile rapide sinkt, sondern auch die Verlustleistung und die Wärmeentwicklung zunimmt und dadurch irreparable Schäden an der LED auftreten. LEDs haben ähnliche physikalische Eigenschaften wie normale Dioden und verfügen über eine steile U-I-Kennlinie. Die LED-Betriebsspannung ist sehr stark vom Arbeitsstrom abhängig und große Änderungen haben einen starken Einfluss auf die Lebensdauer der HB-LED-Einheit. Deshalb ist der LED-Strom entscheidend für die Beleuchtungsstärke. Aus diesem Grund ist ein PSR mit seiner hervorragenden Konstantstrom-Technologie ideal geeignet und gewährleistet eine lange Lebensdauer der HB-LED-Einheit. Bislang werden in LED-Treibern aber hauptsächlich nicht isolierte Abwärtswandler oder isolierte Sperrwandler eingesetzt.

Ein Konstantstrom-LED-Treiber lässt sich mit Hilfe eines isolierten Sperrwandlers mit einer zusätzlichen Schaltung auf der Sekundärseite zur Regelung des Ausgangstroms realisieren. Bild 1 zeigt eine derartige konventionelle LED-Steuerung. Der LED-Strom wird mittels des Strommesswiderstands  $R_o$  auf der Sekundärseite gemessen und liefert die notwendige Feedback-Information über einen Optokoppler. Der Optokoppler gewährleistet die Isolierung zwischen der Primär- und Sekundärseite und überträgt das Feedback-Signal zum PWM-Controller auf der Primärseite. Zur Regelung der Ausgangsspannung erhält der PWM-Controller über den Optokoppler ein Feedback-Signal von der Sekundärseite, mit dem dann das MOSFET-Tastverhältnis eingestellt wird. Dieser Ansatz gewährleistet eine genaue Stromsteuerung, allerdings werden hierfür eine Reihe zusätzlicher Bauteile sowie Leiterplattenfläche benötigt, was höhere Kosten und eine geringere Zuverlässigkeit zur Folge hat. Darüber hinaus erhöht der Strommesswiderstand  $R_o$  die Verlustleistung und reduziert damit den Wirkungsgrad der Stromversorgung. In letzter Zeit werden der Wirkungsgrad und die Energieeinsparung für LED-Treiber immer wichtiger. Besonders bei LED-Anwendungen wird außerdem eine kleine Baugröße gefordert. Diese Anforderungen können konventionelle Schaltungen nicht erfüllen. Nachfolgend wird eine Methode auf der Basis einer Regelung auf der Primärseite aufgezeigt, mit der sich die Anzahl der Bauteile reduzieren sowie ein höherer Wirkungsgrad erreichen lässt.



**Bild 1. Konventioneller Sperrwandler für LED-Treiber mit Regelung auf der Sekundärseite**

Eine optimale LED-Treiberlösung mit minimalen Kosten lässt sich mit einer Regelung auf der Primärseite (PSR) realisieren. Zudem erlaubt diese Schaltung eine genaue Stromregelung, ohne dass ein Optokoppler auf der Sekundärseite benötigt wird. Das Konzept der PSR nutzt eine innovative Methode, um die Ausgangsinformationen der Hilfswicklung ohne Feedback-Schaltung zu erfassen, und ersetzt damit den Optokoppler auf der Sekundärseite (Bild 2). Die grundlegende Schaltung eines Flyback-Wandlers mit einer Regelung auf der Primärseite und der zugehörige Signalverlauf sind in Bild 2 dargestellt.



**Bild 2. Prinzipschaltbild eines Sperrwandlers mit Regelung auf der Primärseite und zugehöriger Signalverlauf**

Wenn der PSR-Controller den MOSFET ansteuert, steigt entsprechend der Gleichung (1) der Transformatorstrom  $i_P$  linear von null auf  $i_{pk}$ . Während der Einschaltzeit wird Energie im Transformator gespeichert. Wird der MOSFET abgeschaltet ( $t_{off}$ ), dann wird die im Transformator gespeicherte Energie über den Ausgangsgleichrichter an den Ausgang des Stromrichters geliefert. Während dieses Zeitraumes wird die Ausgangsspannung  $V_O$  und die Dioden-Durchlassspannung  $V_F$  über die Hilfswicklung  $N_{AUX}$  übertragen. Die Spannung an der Hilfswicklung  $N_{AUX}$  ergibt sich aus der Gleichung (2). Mit Hilfe einer proprietären Abtasttechnologie wird diese Spannung abgefragt. Die entsprechende Ausgangsspannung lässt sich ermitteln, da die Durchlassspannung des Ausgangsgleichrichters konstant bleibt. Danach wird die erfasste Spannung mit einer genauen Referenzspannung verglichen und dient als Regelspannung zur Einstellung der Einschaltzeit des MOSFET und damit zur Regelung einer genauen konstanten Ausgangsspannung.

$$i_{pk} = \frac{V_{IN}}{L_P} \times t_{on} \quad (1)$$

$$v_{AUX} = \frac{N_{AUX}}{N_S} \times (V_O + V_F) \quad (2)$$

wobei  $L_P$  für die Induktivität der Primärwicklung des Transformators;  $V_{IN}$  für die Eingangsspannung des Transformators;  $T_{on}$  für die Einschaltzeit des MOSFET;  $N_{AUX}/N_S$  für das Windungsverhältnis von Hilfswicklung zur Sekundär-Ausgangswicklung;  $V_O$  für die Ausgangsspannung; und  $V_F$  für die Durchlassspannung des Ausgangsgleichrichters steht.

Dieser Abtastansatz verlängert auch die Entladezeit ( $t_{dis}$ ) des Transformators, wie in Bild 2 gezeigt, wobei der Ausgangsstrom  $I_O$  vom Strom auf der Sekundärseite des Transformators abhängig ist. Er lässt sich aus den Signalen  $i_{pk}$  und  $t_{dis}$  mit Gleichung (3) berechnen. Der PSR-Controller nutzt dieses Ergebnis, um die Einschaltzeit des MOSFET zu bestimmen und einen konstanten Ausgangsstrom einzustellen. Über den Strommesswiderstand  $R_{SENSE}$  lässt sich der Wert des Ausgangsstroms regulieren.

$$I_O = \frac{1}{2t_s} \left( i_{pk} \times \frac{N_P}{N_S} \times t_{dis} \right) = \frac{1}{2t_s} \left[ \frac{V_{CS}}{R_{SENSE}} \times \frac{N_P}{N_S} \times t_{dis} \right] \quad (3)$$

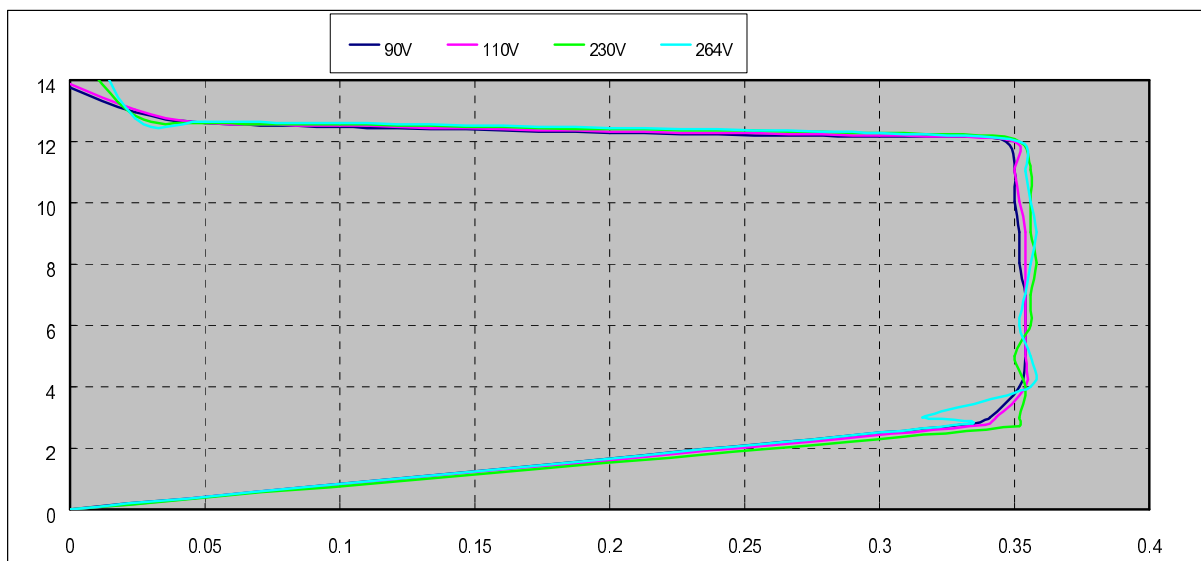
wobei  $t_s$  für die Schaltzeit des PSR-Controllers;  $N_P/N_S$  für das Windungsverhältnis von Primärwicklung und Sekundär-Ausgangswicklung;  $R_{SENSE}$  für den Messwiderstand zur Umwandlung des Schaltstromes des Transformators in die Spannung  $V_{CS}$  steht.

### **Implementierung eines HB-LED-Treibers mittels eines PSR-Controllers**

Als Beispiel wird nachfolgend ein HB-LED-Treiber betrachtet, der drei HB LEDs in Serienschaltung mit einer Spannung von 12V und einem Strom von 0,35A versorgt. Durch den Einsatz des PSR-Controllers FSEZ1016A von Fairchild, der einen PSR-Controller und einen 600V/1A MOSFET enthält, lässt sich die Anzahl der externen Komponenten, die Leiterplattengröße, die Verlustleistung und die Signalstörungen der MOSFET-Treiberschaltung sowie die Interferenzen reduzieren. Um die Standby-Verluste zu minimieren nutzt die proprietäre Funktion eine Off-Time-Modulation, wobei die PWM-Frequenz bei geringer Last und ohne Last linear reduziert wird, so dass die meisten Umweltaforderungen problemlos erfüllt werden können. Das eingebaute

Frequenzsprungverfahren verbessert zudem das EMI-Verhalten.

Die Schaltung ermöglicht eine Konstantstrom-Regelung (CC) von 1,8 % mit einer Fold-Back-Spannung von 4V (Bild 3). Die Schaltung ist für einen weiten VDD-Bereich geeignet, wobei der Konstantstrom von der Ausgangsspannung abhängig ist. Der Wirkungsgrad liegt bei 77,66 % bei einer Eingangsspannung von 115Vac und bei 77,40 % bei 230Vac, wobei eine maximale Energieeinsparung ohne Last von 0,115W erreicht wird. Durch den Einsatz des FSEZ1016A kann eine Beleuchtungslösung mit der geringsten möglichen Anzahl externer Komponenten und mit minimalen Kosten implementiert werden.



**Bild 3. U-I-Kurve beim Einsatz eines PSR-Controllers**

### Fazit

Da die Bedeutung energieeffizienter Elektronik stetig zunimmt, werden innovative Verfahren für die Beleuchtungsanwendungen benötigt, um die konventionellen Glühlampen und Halogenprodukte ersetzen zu können. Zu den entscheidenden Vorteilen von HB-LEDs gehören die kleinere Größe, hohe Beleuchtungsstärke, längere Lebensdauer und die Umweltfreundlichkeit. Auf Grund dieser Vorteile werden diese Produkte die konventionellen Beleuchtungsprodukte allmählich ersetzen. Damit sich die Vorteile der HB-LEDs auch nutzen lassen, sind Konstantstrom-Regelungen in den LED-Treibern notwendig. Dieser Artikel hat eine patentierte PSR-Technologie für eine primärseitige Regelung gezeigt. Der PSR-Controller ermöglicht eine genaue Regelung der Spannung und des Stroms für den LED-Treiber auf der Primärseite des Transformators, ohne dass eine Feedback-Schaltung auf der Sekundärseite benötigt wird. Dies ermöglicht kleinere und umweltfreundlichere Produkte mit längerer Lebensdauer. Die hier gezeigte Schaltung ermöglicht eine Konstantstrom-Regelung (CC) mit 1,8 %, einen Wirkungsgrad von 77,66 % bei einer Eingangsspannung von 115Vac und von 77,4 % bei 230Vac, sowie eine maximale Energieeinsparung ohne Last von 0,115W. Eine derartige primärseitige Regelung (PSR) ermöglicht eine optimale LED-Treiberlösung mit minimalen Kosten.