

Es werde Licht

LED-Treiber für die Ansteuerung von Hochleistungs-Leuchtdioden im Fahrzeug

Von Ahmed Masood und Rudolf Hauser

Leuchtdioden finden eine immer größere Verbreitung in Fahrzeugbeleuchtungen, doch ihre Ansteuerung ist keineswegs trivial. Wie sich LEDs zuverlässig mit Konstantstrom ansteuern lassen und welche möglichen Topologien sich für den Einsatz im Fahrzeug eignen, erklärt dieser Artikel am Beispiel der LED-Treiber-Bausteine des Herstellers Supertex.

Anzeige

Entwicklungen mit Differenzverstärkern. Berechnungen in Minuten statt Stunden!

Berechnen Sie optimale Werte für Verstärkung, Abschlusswiderstände, Eingangs-Gleichaktspannungsbereich, Ausgangsrauschen und vieles mehr.



ANALOG DEVICES

DiffAmpCalc™ jetzt herunterladen.

Leuchtdioden (LEDs) sind seit Jahren die erste Wahl für Fahrzeug-Innenbeleuchtungen, speziell für Signal-Anzeigen. Durch die Fortschritte in der LED-Technologie werden diese nun auch in Außenanwendungen eingesetzt. Obwohl hauptsächlich in Zusatzbremsleuchten und kombinierten Rücklichtern eingesetzt, gewinnen sie für die meisten Fahrzeuginnen- und -außenbeleuchtungen mehr und mehr an Bedeutung.

Halbleiter-Lichtquellen erfreuen sich durch Eigenschaften wie geringe Größe, Robustheit, lange Lebensdauer und hohen Wirkungsgrad einer wachsenden Akzeptanz und sind wegen der Möglichkeit der Energieeinsparung und des verringerten Platzbedarfs besonders interessant für Automobilhersteller. Die Gestaltungsmöglichkeiten mit LEDs sind ebenfalls ein großer Vorteil, weil attraktivere und exklusivere Designs möglich sind. Die Anwender profitieren von den Sicherheitsaspekten der LED-Beleuchtung, z.B. kann ein schnelleres Einschalten der Bremsleuchten das Risiko von Auffahruntfällen reduzieren. Der vielleicht bedeutendste Grund für den Einsatz von LEDs ist jedoch die zu erwartende Zuverlässigkeit und Lebensdauer. Dies ist ein Vorteil sowohl für Hersteller und Verbraucher, da die Kosten für Ersatz und Wartung von Fahrzeugbeleuchtungen deutlich reduziert werden können.

Externe LED-Beleuchtungen werden wegen ihrer geringen Größe und Stoßfestigkeit immer populärer bei LKWs und Bussen, ihre Vorteile vereinfachen die Erfüllung verschiedener Sicherheitsbestimmungen. Die Außenanwendungen umfassen Rücklicht, Bremslicht, Markierung- und Kennzeichenbeleuchtung. Mit LEDs sind z.B. äußerst platzsparende und kompakte Markierungsleuchten möglich.

Obwohl die Frontbeleuchtung mit LEDs wohl noch in der Zukunft liegt, haben die meisten Automobilhersteller bereits mit LED-Frontscheinwerfern in ihren Konzeptfahrzeugen experimentiert. Ein solches Modell der Hyundai Motor Corp. zeigt Bild 1. Alle seine Anzeige- und Beleuchtungseinrichtungen, einschließlich Frontscheinwerfer, setzen auf Leuchtdioden von Osram Optoelectronics, die mit LED-Treibern von Supertex angesteuert werden. Serienreife Fahrzeuge mit LED-Frontscheinwerfern werden jedoch nicht vor 2007 erwartet. Bis dahin sind LED-Anwendungen für die Frontbeleuchtung auf das Tagfahrlicht (DRL) beschränkt: eine Signallampe, die anzeigt, dass ein Fahrzeug in Betrieb ist. Der Trend zum Einsatz von LEDs in der Frontbeleuchtung wird hauptsächlich durch die Gestaltungsmöglichkeiten beeinflusst, jedoch ergeben sich durch LED-Lampen auch Platzersparnisse unter der Motorhaube sowie eine mögliche Reduktion des Front-Überstandes, der wesentlich durch die Lampenkonstruktion bestimmt wird.



Bild 1. HCD-8 Konzeptfahrzeug mit LED-Frontscheinwerfern und Treibern von Supertex Inc. (Foto: Hyundai Motor Corp.)

Die Armaturenbeleuchtung ist die meistverbreitete Innenanwendung für Hochleistungs-Leuchtdioden. Fast jedes europäische Fahrzeug ist mit LED-Hintergrundbeleuchtung im Armaturenbrett ausgestattet. Sie vereinfacht das Design und macht die Instrumente besser lesbar und komfortabler für den Fahrer. Andere Innenanwendungen von LEDs sind Leseleuchten, Türschwellen- und Umgebungsbeleuchtung. LED-basierte Deckenbeleuchtungen werden wegen ihrer Kompaktheit, ihrem gleichmäßigen Licht und ihrer niedriger Erwärmung immer attraktiver.

Aufgrund der elektrischen Eigenschaften der Hochleistungs-LEDs können diese nicht direkt von

der Fahrzeugbatterie versorgt werden; sie benötigen spezielle Leistungswandler, die konstanten Ausgangstrom erzeugen. Die große Zahl von LED-Beleuchtungen im Fahrzeug erfordert jedoch unterschiedliche LED-Treiber-Technologien, die diversen Industrie-Spezifikationen entsprechen müssen. Im Folgenden werden Topologien für Leistungskonverter zur LED-Ansteuerung vorgestellt. Ein Schwerpunkt ist die Immunität der LED-Treiber gegenüber den im Fahrzeug existierenden elektrischen Störungen.

Anforderungen an die Spannungsregelung im Auto

Im Normalbetrieb des Fahrzeugs bewegt sich die Versorgungsspannung zwischen 9 und 16 V (beim 12-V-System) oder zwischen 18 V und 32 V (24-V-System), jedoch können auf den Leitungen wesentlich höhere Spannungen sowohl positiver als auch negativer Polarität durch leitungsgeführte Transienten auftreten

Elektrische Störungen, die durch Schalten induktiver Lasten, plötzliches Abschalten von Versorgungsspannungen oder Prellen von Schaltern hervorgerufen werden, bezeichnet man allgemein als „induktives Schalten“. Das Abschalten eines induktiven Elements verursacht eine hohe Überspannung entgegengesetzter Polarität. Positive transiente Überspannungen entstehen auf den Versorgungsleitungen, wenn der Zündschlüssel die Batterieversorgung abschaltet. In diesem Fall erzeugt die Zündung weitere Störungen, bis der Motor stoppt. Das Schalten elektrischer Motoren, die als Generator arbeiten (z.B. der Lüfter der Klimaanlage), erzeugt ebenfalls unerwünschte Überspannungsspitzen, deren Amplitude noch größer wird, wenn kein Filter vorgeschaltet ist. Diese Funktion übernimmt normalerweise die Batterie. Obwohl die induktiven Schaltspitzen Überspannungen von positiver und negativer Polarität bis zu ca. 600 V erzeugen würden, ist die maximale Energie dieser Transienten normalerweise nicht über 2 J pro Impuls. Die LED-Baugruppen können somit vor den induktiven Transienten geschützt werden, indem die Versorgungsspannung auf akzeptable Werte geklemmt wird.

Eine sehr energiereiche elektrische Störung tritt auf, wenn die Autobatterie plötzlich abgeklemmt wird, während sie von der Lichtmaschine geladen wird (Lastabwurf oder „Load Dump“). Während eines Load Dump steigt die Spannung an den Klemmen der Lichtmaschine schnell an. Die Dauer der Störung hängt von der Zeitkonstante der Generatorerregerschaltung ab und kann einige hundert Millisekunden betragen. Der Serienwiderstand der Lichtmaschine ist nur ein Bruchteil von einem Ohm, und die Energie eines Load Dump kann daher Werte von 50 J oder mehr erreichen. Positive Überspannungen von bis zu 87 V (im 12-V-System) oder 174 V (im 24-V-System) können an den Versorgungsleitungen auftreten, die die Schaltung des LED-Treibers zerstören könnten.

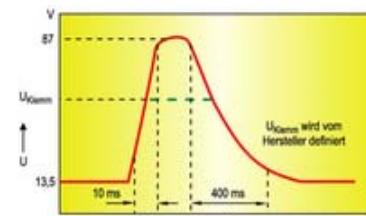


Bild 2. Typische Kurvenform bei einem Load-Dump-Test eines 12-V-Systems.

Die meisten modernen Lichtmaschinen haben daher eine spezielle zentrale Load-Dump-Schutzschaltung, die die Überspannung auf typischerweise weniger als 40 V begrenzt. Verschiedene Fahrzeugnormen definieren einen etwas unterschiedlichen Load-Dump-Test. Ein typischer Testpuls ist in Bild 2 gezeigt, wie in [1] definiert. Die gestrichelte waagerechte Linie (UKlemm) kennzeichnet den zentral geklemmten Load-Dump-Impuls. Einige Innen- und Außenbeleuchtungen sind jedoch für den Einsatz in bestehenden Fahrzeugen gedacht, die somit einen Schutz vor nicht geklemmten Load Dumps erfordern könnten.

Schnelle Transienten am Eingang können ein ernsthaftes Problem für die LED-Treiberschaltung darstellen, da die LEDs selbst einen sehr niedrigen dynamischen Widerstand aufweisen. Die Treiberschaltung muss daher eine sehr schnelle Unterdrückung von Versorgungsspannungsänderungen aufweisen, um die LEDs vor gefährlichen Spitzenströmen zu schützen. Sowohl die Topologie als auch der Regelkreis des LED-Treibers müssen daher sorgfältig ausgewählt werden, um einen zuverlässigen Betrieb der LED-Beleuchtung sicherzustellen.

Manche sicherheitsrelevanten externen Signalleuchten könnten erfordern, dass sie bis zu Spannungen von nur 6 oder 7 V funktionieren, manchmal sogar bis zu zwei Minuten. Dies könnte bei Rücklicht und Markierungsleuchten der Fall sein, die eine potentielle Gefahr für Auffahrunfälle darstellen, wenn sie nicht leuchten. Ein solcher Spannungseinbruch tritt beispielsweise an der Spannungsquelle auf, wenn der Starter aktiviert wird. Niedrige Umgebungstemperaturen verstärken diesen Effekt noch, ein typischer Spannungsverlauf bei Kaltstart ist in Bild 3 gezeigt. Da einem jeden Anlassvorgang ein Betrieb mit normalen Spannungsverhältnissen vorausgeht, muss eine sicherheitsrelevante Signalleuchte nicht bei 6 V starten, sie darf jedoch nicht bei dieser niedrigen Versorgungsspannung abschalten. Im folgenden Abschnitt wird gezeigt, wie diese Überlegung das Design des LED-Treibers vereinfacht.

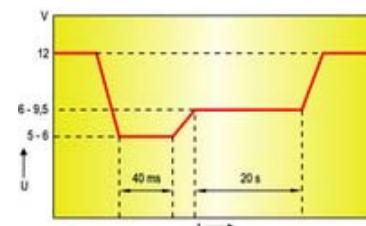


Bild 3. Typische Kurvenform für einen Anlasser-Test bei einem 12-V-System.

Außerdem wird erwartet, dass LED-Beleuchtungen das Anlegen von +24/-12 V (12-V-Systeme) oder +48/-24 V (24-V-Systeme) während einem so genannten „Jump Start“ (Fremdstarten) überstehen. Werkstätten und Pannenservice nutzen gelegentlich 24-V-Versorgungen für Notstarts. Hohe Spannungen wie diese werden bis zu 5 Minuten angelegt, manchmal auch mit inverser Polarität.

Somit erfordern LED-Treiber für den Automobil-Einsatz

- einen Betrieb mit weitem Versorgungsspannungsbereich;
- Immunität gegen Transienten auf der Eingangsspannung;
- Schutz vor Betrieb mit Über- und Unterspannung;
- Verpolschutz gegen negative Spannungen.

LED-Treiber-Topologien

Widerstände und lineare Stromregler

Der traditionelle Weg, LEDs in Fahrzeugapplikationen anzusteuern, ist ein Widerstand in Serie zur LED. Obwohl diese Lösung sehr einfach und kostengünstig ist, hat sie jedoch verschiedene Nachteile: Der LED-Strom variiert sogar im Normalbetrieb des Fahrzeugs stark mit der Batteriespannung, was die Helligkeit reduziert oder die Lebensdauer der Lichtquelle verringert. Zusätzlich ist ein Schutz gegen Überspannung und Verpolung erforderlich. Diese Nachteile werden normalerweise durch lineare Stromquellen vermieden. Neben dem Ansteuern der LEDs mit Konstantstrom schützen diese vor Verpolung und können transiente Überspannungen bis zu einigen 10 V ausregeln. Lineare Stromquellen benötigen keinen EMV-Filter und stellen eine sehr günstige Lösung für LED-Treiber dar.

Der größte Nachteil der Widerstands- und Linearregler-Schaltung ist jedoch der niedrige Wirkungsgrad, wodurch sie zur Ansteuerung von Hochleistungs-Leuchtdioden aufgrund der großen Wärmeentwicklung ungeeignet sind. Zur Ansteuerung vieler LEDs für Signal- und Beleuchtungszwecke im Auto sind Schaltregler daher die erste Wahl.

Tiefsetzsteller

Die Tiefsetzer-Topologie (Buck Converter) wird in Fahrzeugbeleuchtungen meistens wegen ihrer Einfachheit, niedriger Kosten und leichten Einstellbarkeit des LED-Stromes eingesetzt. Bild 4 zeigt einen Wandler für ein Brems-/Rücklicht als Tiefsetzsteller. Der HV9910 ist ein PWM-Controller mit Spitzenstromregelung und einem internen Hochspannungsregler, der eine Versorgung von 8 bis 450 V erlaubt. Die Regelung des HV9910 ermöglicht eine hohe Störfestigkeit gegenüber Transienten und Schwankungen der Eingangsspannung. Das Regler-IC ermöglicht den Betrieb mit konstanter Schaltfrequenz oder konstanter Aus-Zeit t_{OFF} . Der Regler in Bild 4 ist für eine konstante t_{OFF} konfiguriert, was einen stabilen Betrieb mit Tastverhältnissen größer 50 % erlaubt, d.h., es sind LED-Spannungen fast so hoch wie die Eingangsspannung möglich [3]. Auch wird der Einfluss von Eingangsspannungs-Änderungen auf den LED-Strom reduziert.

Bei Rücklichtern für Autos ist es eventuell nötig, die Funktion auch während des Anlassens sicherzustellen. Die Versorgungsspannung könnte in diesem Fall zu niedrig werden, um einen Standard-MOSFET durchzuschalten, die eine Schwellenspannung von ca. 4 bis 5 V aufweisen. Dies würde einen „Logic-Level“-MOSFET erfordern, dessen maximale Drain-Spannung durch den Load Dump festgelegt wird. Um den Betrieb des HV9910 mit 5 bis 6 V zu ermöglichen, kann eine einfache Ladungspumpe am VIN-Pin des Bausteins hinzugefügt werden (Bild 4). Sobald der HV9910 nach dem Anlegen der normalen Batteriespannung gestartet ist, verdoppelt die Ladungspumpe die Versorgungsspannung an VIN. Dies ermöglicht ein Arbeiten des HV9910 auch während des Anlassvorganges.

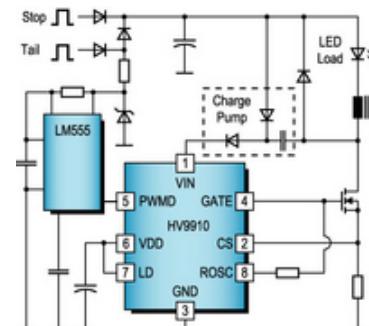


Bild 4. LED-Treiber für Brems-/Rücklicht mit Tiefsetzsteller.

Das Timer-IC LM555 ist als astabiler Multivibrator konfiguriert, um das Tastverhältnis beim Betrieb als Rücklicht zu verringern. Sein niederfrequentes PWM-Signal moduliert das Schalten des HV9910 über den PWMD-Eingang. Ein entsprechend großer Puffer-Kondensator ist in diesem Fall am VDD-Pin vorzusehen, um einen kontinuierlichen Betrieb des HV9910 auch bei Eingangsspannungen unter 8 V sicherzustellen.

Hochsetzsteller

Hochsetzsteller (Boost Converter) werden normalerweise im Fahrzeug verwendet, um längere LED-Ketten für die Armaturenbrett-Beleuchtung oder ähnliche Beleuchtungsquellen anzusteuern, die die Serienschaltung mehrerer LEDs erfordern. Einen typischen Hochsetzsteller zeigt Bild 5; er kann LED-Ketten mit Fluss-Spannungen über 100 V betreiben. Die Fortschritte in der Technologie von Hochleistungs-Leuchtdioden führten jedoch zu wesentlich höheren Leistungen der einzelnen LED. Ströme von 350 mA, 700 mA oder sogar 1 A sind hier üblich, wodurch die Anzahl der in Reihe geschalteten LEDs abnahm.

Trotz seiner Einfachheit hat der Hochsetzsteller aus Bild 5 jedoch einen wesentlichen Nachteil in Fahrzeugapplikationen, bei denen die Versorgungsspannung leicht die Fluss-Spannung der LED-Kette überschreiten kann: Ein Abschalten des Schaltransistors schützt in dieser Wandler-Topologie die LED nicht vor potentieller Zerstörung durch Überstrom. Das Problem verschärft sich noch bei niedrigeren LED-Spannungen. Bei diesem Wandlertyp wird dann ein Vorregeln, Klemmen oder Abschalten der Eingangsspannung bei Überspannung unvermeidbar. Weiterhin ist die Bandbreite der Regelung begrenzt, wenn Hochsetzsteller in kontinuierlicher Betriebsart arbeiten, da es sonst Stabilitätsprobleme gibt. Eine Regelung auf den Spitzenstrom, wie bei vielen PWM-Controllern der Fall, unterdrückt auch Transienten auf der Eingangsspannung nicht besonders gut, daher können an der LED erhebliche Überströme auftreten.

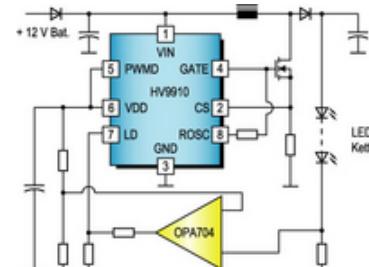


Bild 5. LED-Treiber für eine Armaturenbrett-Hintergrundbeleuchtung mit Hochsetzsteller

Manche Beleuchtungseinrichtungen erfordern für die LED-Spannung sowohl eine Aufwärts- als auch Abwärtsregelung innerhalb des normalen Eingangsspannungsbereichs. Solche Anwendungen schließen sowohl den Tief- als auch den Hochsetzsteller aus; es ist eine geeignete Schaltnetzteil-Topologie erforderlich, die nicht auf eine Aufwärts- oder Abwärtswandlung beschränkt ist.

Hoch-Tiefsetzsteller

Der Hoch-Tiefsetzsteller (Boost Buck oder Cuk Converter) bietet sich als Lösung für die meisten Beleuchtungsanwendungen im Fahrzeug an, einschließlich interner und externer Beleuchtung. Er besteht aus zwei Stufen, einem Aufwärtswandler am Eingang und einem Tiefsetzsteller am Ausgang, wodurch die Ausgangsspannung sowohl höher als auch niedriger als die Eingangsspannung sein kann.

Sowohl der Eingangs- und Ausgangsstrom sind kontinuierlich, was zu guten EMV-Eigenschaften führt. Diese Wandler-Topologie schützt, im Gegensatz zum Hochsetzsteller, die LED vor Überspannungen wie z.B. bei einem Load Dump. Die Last ist vom Eingang durch einen Koppelkondensator entkoppelt, der sie sogar vor einem Ausfall des Schalttransistors schützt. Bild 6 zeigt einen Hoch-Tiefsetzsteller, der eine LED-Kette mit vier LEDs in einer Bremslicht-Applikation ansteuert. Der HV9930 arbeitet mit einer Regelung mit Hysteresen auf den Eingangs-/Ausgangsstrom und wurde speziell für die Hoch-Tiefsetzsteller-Topologie in Fahrzeugbeleuchtungen entwickelt. Er bietet optimalen Schutz gegen Transienten und einen stabilen Betrieb über einen weiten Eingangs- und Ausgangsspannungsbereich. Die Versorgungsspannung des HV9930 kann aus der Drain-Spannung des Schalttransistors gewonnen werden ($U_{DRAIN} = U_{IN} + U_{OUT}$), um auch einen Betrieb unter 8 V zu ermöglichen.

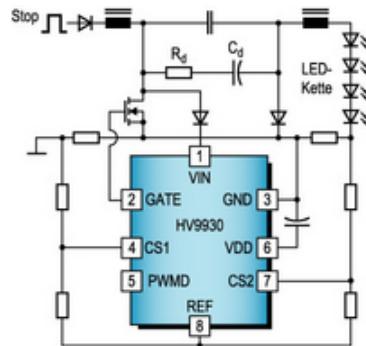


Bild 6. LED-Treiber für Bremslicht auf Basis eines Hoch-Tiefsetzstellers.

Obwohl die Ausgangsstromregelung an sich stabil ist, muss trotzdem die Stabilität des Wandlers betrachtet werden, wenn der Hoch-Tiefsetzsteller mit dem Controller HV9930 realisiert wurde. Zur Vermeidung einer unerwünschten Oszillation ist ein Dämpfungsglied (R_d und C_d) über dem Kopplungskondensator nötig (Resonanz des Koppelkondensators mit der Eingangsdrossel). In dem Dämpfungsnetzwerk fließt wenig Strom, wodurch der Wirkungsgrad des LED-Treibers kaum reduziert wird. Der Dämpfungskondensator C_d muss etwa den 5- bis 10-fachen Wert des Koppelkondensators aufweisen. Dennoch lässt sich die gesamte Schaltung mit keramischen Kondensatoren oder günstigen Aluminum-Elkos realisieren.

Literatur

- [1] Straßenfahrzeuge, elektrische Störungen durch Leitung und Kopplung. Teil 2: Elektrische, Leitungsgeführte Störungen auf Versorgungsleitungen. ISO 7637-2, 2. Ausgabe 2004.
- [2] Electromagnetic Compatibility – Component Test Procedure. Part 42 – Conducted Transient Emissions. SAE J1113-42, 2000.
- [3] Tirumala, R.: Constant Off-time, Buck-based LED Drivers Using HV9910. Application Note AN-H50, Supertex Inc., www.supertex.com

Autoren



Ahmed Masood studierte an den Universitäten von Columbia und Kalifornien (Los Angeles). Er arbeitete bei On Semiconductor, Temic/Siliconix und National Semiconductor und hat über 20 Jahre Erfahrung in der Halbleiterindustrie gesammelt. Heute ist er als Marketing Director bei Supertex am Hauptsitz in Sunnyvale/Kalifornien für das Produkt-Marketing und Applikation zuständig.
E-Mail: ahmedm@supertex.com



Rudi Hauser studierte Elektrotechnik an der Technischen Universität München und hat in der Industrie fast 15 Jahre Erfahrung im Bereich Leistungselektronik und Schaltnetzteile gesammelt. Nach einer mehrjährigen Tätigkeit bei STMicroelectronics im Bereich Power-Management wechselte er zu Supertex, wo er als Field Application Engineer für Zentraleuropa zuständig ist.
E-Mail: rudih@supertex.com

Gerhard Stelzer, Elektronik automotive

© 2009 WEKA FACHMEDIEN GmbH
Alle Rechte vorbehalten

Verwandte Webseiten:

computer-automation.de * funkschau.de * magnus.de * franzis.de * elo-web.de
batterien-entwicklerforum.de * wireless-congress.com * embedded-world.eu * electronic-displays.de * automotive-congress.de