

Thermische Aspekte beim Design von Hochleistungs-LED-Systemen

By (Patrick Prendergast, PSoC Applications Engineer, Cypress Semiconductor Corp.)

Hochleistungs-LEDs strahlen im Gegensatz zu Glühlampen keine Wärme ab. Die anfallende Wärme wird hier stattdessen von der Sperrschicht über die metallenen Anschlüsse an die Leiterplatte und an die Umgebung abgeleitet, während der Wärmetransport bei einer Glühlampe direkt vom Glühfaden über den gläsernen Lampenkörper an die Umgebung erfolgt.

Dass LEDs in großem Umfang für Gebäudebeleuchtungen und im Unterhaltungsbereich eingesetzt werden, liegt an ihrer längeren Lebensdauer, ihrem höheren Wirkungsgrad und ihrer flexibleren Farberzeugung, denn mit einem System aus mehreren LEDs lassen sich unterschiedliche Farben generieren bzw. mischen. Dies geschieht beispielsweise bei Hintergrundbeleuchtungen für LCDs, wo weißes Licht mit einer Farbtemperatur von 6500 K benötigt wird.

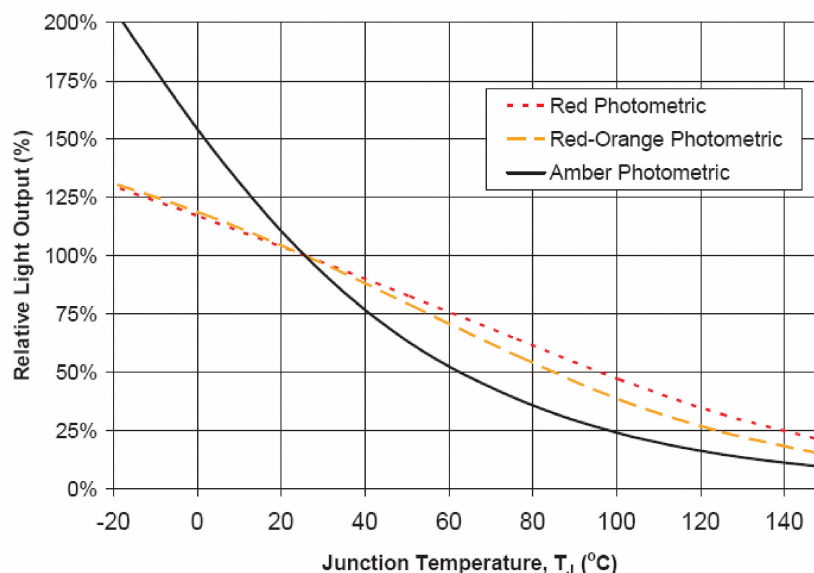
Bei anspruchsvollen Hintergrundbeleuchtungen ist eine präzise Farbanpassung über das gesamte Display hinweg erforderlich, was eine exakte Abstimmung der thermischen und optischen Konstruktion eines jeden Systems erfordert. Optimal ist die Verwendung eines Farbsensors, um Temperatur und Alterung der LED zu berücksichtigen.

Temperatureffekte an LEDs

Da die dominierende Wellenlänge, die Helligkeit und die Vorwärtsspannung einer LED von ihrer Sperrschichttemperatur abhängen, müssen die thermischen Eigenschaften eines LED-Beleuchtungssystem genauestens kontrolliert werden. Bild 1 zeigt, wie die Helligkeit der LED mit zunehmender Sperrschichttemperatur stetig abnimmt. Auch die dominierende Wellenlänge λ_D , d. h. die Farbe der LD verändert sich über die Temperatur. Diese Drift ist zwar nur geringfügig, doch bei großen Temperaturänderungen verändert sich die Farbtemperatur einer Hintergrundbeleuchtung spürbar.

Bild 1. Temperaturabhängigkeit der Leuchthelligkeit einer LED

Red, Red-Orange and Amber at Test Current



Die Temperaturabhängigkeit von Farbe und Helligkeit einer LED lässt sich auf verschiedene Weise kompensieren. Die einfachste Methode ist die Temperaturregelung, während die Verwendung eines Farbsensors das komplexeste Verfahren darstellt. Bei der Temperaturregelung wird die Sperrschichttemperatur der LED mit Hilfe der Leiterplattentemperatur sowie der Vorwärtsspannung und Stromstärke der LED unter Verwendung von Gleichung 1 bestimmt. Durch lineare Approximation der Temperaturkennlinien werden Farbe und Helligkeit der LED näherungsweise bestimmt und auf die jeweils herrschende Temperatur aktualisiert.

Gleichung 1 zur Berechnung der LED-Sperrschichttemperatur

$$T_J = T_B + \theta_{JB} I_{LED} V_f$$

Mit einem Mixed-Signal-Mikrocontroller ist es möglich, die Ist-Parameter der LED zu messen, einen Farbmischpunkt zu berechnen und die dazu benötigten Treibersignale zu generieren. Ein solcher Baustein kann mehrere Ketten verschiedenfarbiger LEDs ansteuern, die Leiterplattentemperatur erfassen, Stromstärke und Vorwärtsspannung der LEDs messen und daraus die Ansteuerung der LEDs so berechnen, dass die angestrebte Farbe erzielt wird. Für diese Zwecke eignet sich neben der ADuC-Familie von Analog Devices auch die PSoC-Familie von Cypress.

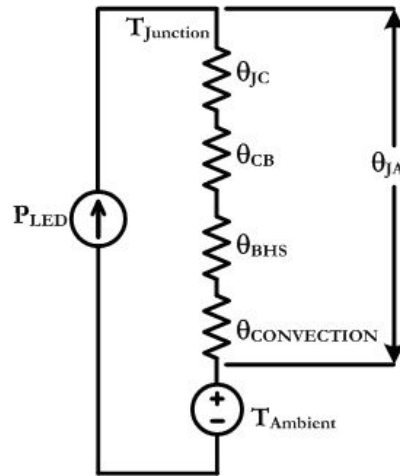
Eine genauere Farbregelung ist mit Farbsensoren möglich, die das von den LEDs abgegebene Licht direkt vermessen. Abweichungen der Farbtemperatur vom Sollwert lassen sich durch Variieren der Treibersignale für die einzelnen Farbkomponenten korrigieren. Nicht nur die Platzierung des Farbsensors ist entscheidend für eine gleichmäßige Farbe, sondern es kommt auch auf eine einheitliche Temperaturzunahme aller LEDs der Hintergrundbeleuchtung an.

Ein Problem stellt die Tatsache dar, dass die Helligkeit einer LED mit zunehmender Temperatur abnimmt. Meldet der Farbsensor nämlich eine zu geringe Helligkeit, wird der Mikrocontroller naturgemäß den Ansteuerstrom erhöhen, was jedoch die Temperatur nur noch stärker ansteigen und die Helligkeit weiter abnehmen lässt. Wenn der Mikrocontroller hierauf das Treibersignal noch weiter verstärkt, was die LED ihrerseits mit noch geringerer Helligkeit quittiert, kommt es schließlich zu einem vorzeitigen Ausfall der Leuchtdiode.

Eine einfache Gegenmaßnahme ist es, mit einem Temperatursensor in der Nähe der LEDs die Sperrschichttemperatur nach Gleichung 1 näherungsweise zu bestimmen und die LEDs bei zu starker Erwärmung abzuschalten. Verlässlicher ist aber die Verwendung eines sorgfältig konzipierten elektromechanischen Systems, das bei einer bestimmten Verlustleistung einen definierten Temperaturanstieg an den Tag legt. Gut wärmeleitende Materialien wie Metallkern-Leiterplatten oder Wärmeverteiler aus natürlichem Graphit [1] können den Temperaturanstieg kontrollieren und überdies für eine einheitliche Temperatur sorgen.

Zum Modellieren der thermischen Verhältnisse wird zunächst die Wärmequelle ermittelt – in diesem Fall das LED-Gehäuse. Anschließend werden die Materialien zwischen der Wärmequelle und der Umgebung sowie die Umgebungstemperatur ins Kalkül gezogen. In thermischen Modellen wird die Verlustleistung der LED als Stromquelle nachgebildet, der Wärmewiderstand als elektrischer Widerstand und die Umgebungstemperatur als Spannungsquelle (siehe Bild 2). Man erkennt rein intuitiv, dass die LED-Sperrschichttemperatur umso geringer ist, je niedriger der Wärmewiderstand und je geringer die Umgebungstemperatur ist. Damit bei gegebener Verlustleistung der Umgebungstemperaturbereich möglichst groß ist, ist der Gesamt-Wärmewiderstand zwischen Sperrschicht und Umgebung (Θ_{JA}) zu minimieren.

Bild 2. Nachbildung der Wärmewiderstände



(Bilder 3 und 4 entfallen)

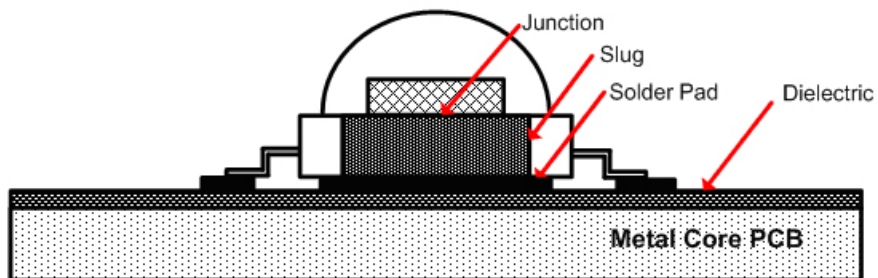
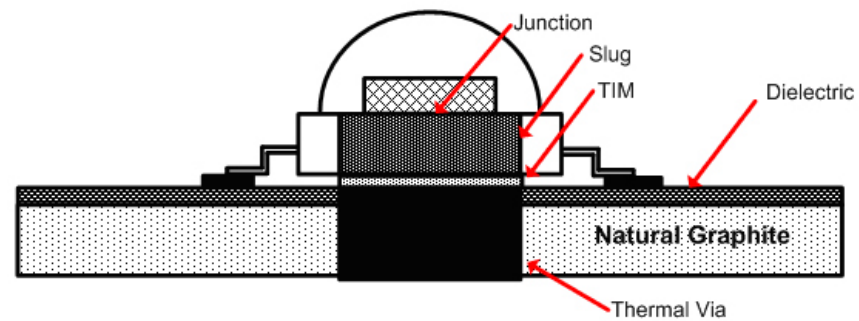


Tabelle 1. Erklärung der Symbole in Bild 2

Symbol	Beschreibung
Θ_{JA}	Gesamt-Wärmewiderstand zwischen Sperrschicht und Umgebung
Θ_{JC}	Wärmewiderstand zwischen Sperrschicht und Gehäuse
Θ_{CB}	Wärmewiderstand zwischen Gehäuse und Leiterplatte
Θ_{BHS}	Wärmewiderstand zwischen Leiterplatte und Wärmeverteiler
$\Theta_{Convection}$	Wärmewiderstand durch Konvektion vom Wärmeverteiler bzw. Kühlkörper

Abgesehen von $\Theta_{Convection}$ sind alle Werte sehr vom Material \square bzw. Bauteilzulieferer abhängig. So kann Θ_{JC} je nach LED-Hersteller zwischen 2,6 und 18 K/W betragen. $\Theta_{Convection}$ wiederum wird von der Lage und der Größe der Oberfläche bestimmt. Zusätzlich geht hier der jeweilige Wärmeübergangs-Koeffizient mit ein.

Thermisches Design am Beispiel eines Drei-LED-Moduls

Um ein praktisches Beispiel durchzurechnen, soll ein Modul aus drei Mehrfarb-LEDs vom Typ Luxeon K2 betrachtet werden. Jedes Modul enthält je eine rote, grüne und blaue LED. Die LEDs sind auf einen horizontal ausgerichteten Wärmeverteiler aus Naturgraphit montiert. Als Wärmeleitmaterial (Thermal Interface Material; TIM) fungiert Lot. Bild 2 gibt eine Übersicht über die Wärmewiderstände:

Tabelle 2. Wärmewiderstände für das 3-LED-Modul

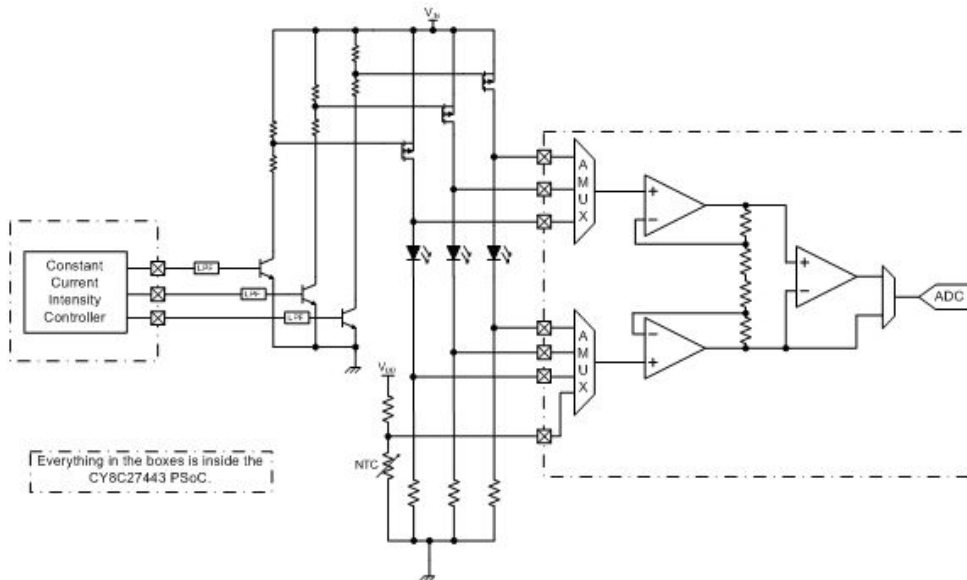
P_{LED}	3,85 W
Θ_{JC}	9 K/W
Θ_{CB} (Lot)	0,08 K/W
$\Theta_{Convection}$	1,9 K/W [2]
Θ_{JA}	10,98 K/W
$T_{A,MAX}$	50 °C

Mit den fett hervorgehobenen Werten aus der Tabelle lässt sich die maximale Sperrschichttemperatur wie folgt berechnen:

$$T_{J,MAX} = 50^{\circ}C + 3.85W \times 10.98^{\circ}C / W = 92.3^{\circ}C$$

Diese Sperrschichttemperatur ist zwar noch unkritisch, doch Bild 1 zeigte, dass die Helligkeit bei dieser Temperatur bereits spürbar abnimmt. Die rote LED leuchtet nur noch mit 55 % ihrer nominellen Helligkeit, während die grüne LED mit 90 % ihrer Nenn-Helligkeit leuchtet (nicht angegeben) und bei der blauen LED keine Veränderung eintritt. Die Farbe des Moduls insgesamt wird durch diese unterschiedlichen Charakteristika stark beeinflusst. Es geht deshalb nicht ohne ein System zur Regelung der Helligkeit.

Bild 5 zeigt eine Schaltung, mit der sich die LED-Sperrschichttemperatur näherungsweise bestimmen lässt.



Die analoge Eingangsschaltung in Bild 5 dient zugleich als Instrumentenverstärker (INSAMP; in der Abbildung gezeigt) zum Messen der LED-Vorwärtsspannung und als Single-Ended-Verstärker (PGA; nicht abgebildet), der die Spannung an den Stromabtastr-Widerständen und am NTC-Widerstand verstärkt. Die Umschaltung zwischen beiden Funktionen erfolgt durch Wechseln des Verbindungspunkts der internen Widerstandskette. Analog-Multiplexer ermöglichen außerdem die Messung von bis zu 8 Signalen mit denselben Verstärkern. Im vorliegenden Fall werden Vorwärtsspannung und Strom von drei LEDs und einem Thermistor gemessen.



Literaturhinweise

1. Getz, et al; GrafTech International, Ltd; Experimental Characterization of a MCPCB Replacement Using 500W/mK Natural Graphite for Cooling High Power LEDs
2. Sergent, Jerry E.; Thermal Management Handbook: for electronic assemblies, McGraw-Hill, 1998

text. Text text text text text text. Text text text text text text. Text text text text text text. Text text text text text text. Text text text

Cypress Semiconductor
198 Champion Court
San Jose, CA 95134-1709
Phone: 408-943-2600
Fax: 408-943-4730
<http://www.cypress.com>

© Cypress Semiconductor Corporation, 2007. The information contained herein is subject to change without notice. Cypress Semiconductor Corporation assumes no responsibility for the use of any circuitry other than circuitry embodied in a Cypress product. Nor does it convey or imply any license under patent or other rights. Cypress products are not warranted nor intended to be used for medical, life support, life saving, critical control or safety applications, unless pursuant to an express written agreement with Cypress. Furthermore, Cypress does not authorize its products for use as critical components in life-support systems where a malfunction or failure may reasonably be expected to result in significant injury to the user. The inclusion of Cypress products in life-support systems application implies that the manufacturer assumes all risk of such use and in doing so indemnifies Cypress against all charges.

PSoC Designer™, Programmable System-on-Chip™, and PSoC Express™ are trademarks and PSoC® is a registered trademark of Cypress Semiconductor Corp. All other trademarks or registered trademarks referenced herein are property of the respective corporations.

This Source Code (software and/or firmware) is owned by Cypress Semiconductor Corporation (Cypress) and is protected by and subject to worldwide patent protection (United States and foreign), United States copyright laws and international treaty provisions. Cypress hereby grants to licensee a personal, non-exclusive, non-transferable license to copy, use, modify, create derivative works of, and compile the Cypress Source Code and derivative works for the sole purpose of creating custom software and or firmware in support of licensee product to be used only in conjunction with a Cypress integrated circuit as specified in the applicable agreement. Any reproduction, modification, translation, compilation, or representation of this Source Code except as specified above is prohibited without the express written permission of Cypress.

Disclaimer: CYPRESS MAKES NO WARRANTY OF ANY KIND, EXPRESS OR IMPLIED, WITH REGARD TO THIS MATERIAL, INCLUDING, BUT NOT LIMITED TO, THE IMPLIED WARRANTIES OF MERCHANTABILITY AND FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE. Cypress reserves the right to make changes without further notice to the materials described herein. Cypress does not assume any liability arising out of the application or use of any product or circuit described herein. Cypress does not authorize its products for use as critical components in life-support systems where a malfunction or failure may reasonably be expected to result in significant injury to the user. The inclusion of Cypress' product in a life-support systems application implies that the manufacturer assumes all risk of such use and in doing so indemnifies Cypress against all charges.

Use may be limited by and subject to the applicable Cypress software license agreement.