

MODERNE MESS- UND SIMULATIONSLSÖSUNGEN HELFEN BEI DER ENTWICKLUNG EFFIZIENTER LED-BELEUCHTUNGSANWENDUNGEN

Heiße Lumen von coolen LEDs

LEDs werden in absehbarer Zeit selbst die besten Gasentladungslampen aus Beleuchtungsanwendungen verdrängen. Mit modernen Mess- und Simulationmethoden können Designer die Lichtausbeute bei der Betriebstemperatur einer LED, das so genannte Hot Lumen, charakterisieren und damit nachweisen, dass ein LED-Licht im realen Temperaturbereich eine effiziente Beleuchtung liefert.

ANDRÁS POPPE

Im Gegensatz zu Glühlampen erzeugen LEDs ihr Licht nicht mit einem beheizten Glühfaden. Sie enthalten auch kein Plasma-ähnliches heißes Material, wie es

in Gasentladungslampen vorkommt. Ein LED-Chip ist einfach ein Verbindungshalbleiter mit PN-Übergang: Wird an diesen PN-Übergang eine Durchlassspannung gelegt, startet die Elektronen- und Löcherwanderung, und der Durchlassstrom beginnt zu

fließen. Elektronen sind negativ geladen, die Löcher (Quasiteilchen, die das Fehlen eines Elektrons im Halbleiter-Kristallgitter markieren) tragen die entsprechende positive Ladung. Trifft ein Elektron auf ein Loch, dann rekombinieren sie.

KONTAKT

Mentor Graphics (Deutschland) GmbH,
80634 München,
Tel. 089 57096-0,
Fax 089 57096-400,
www.mentor.com

1 MESSAUFBAU

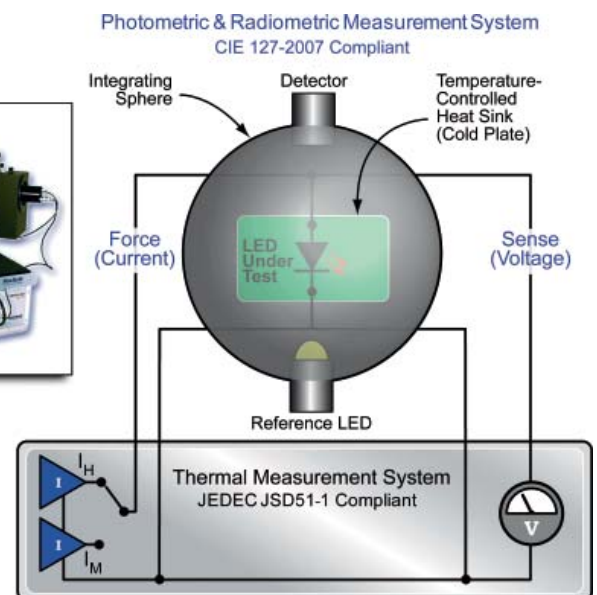
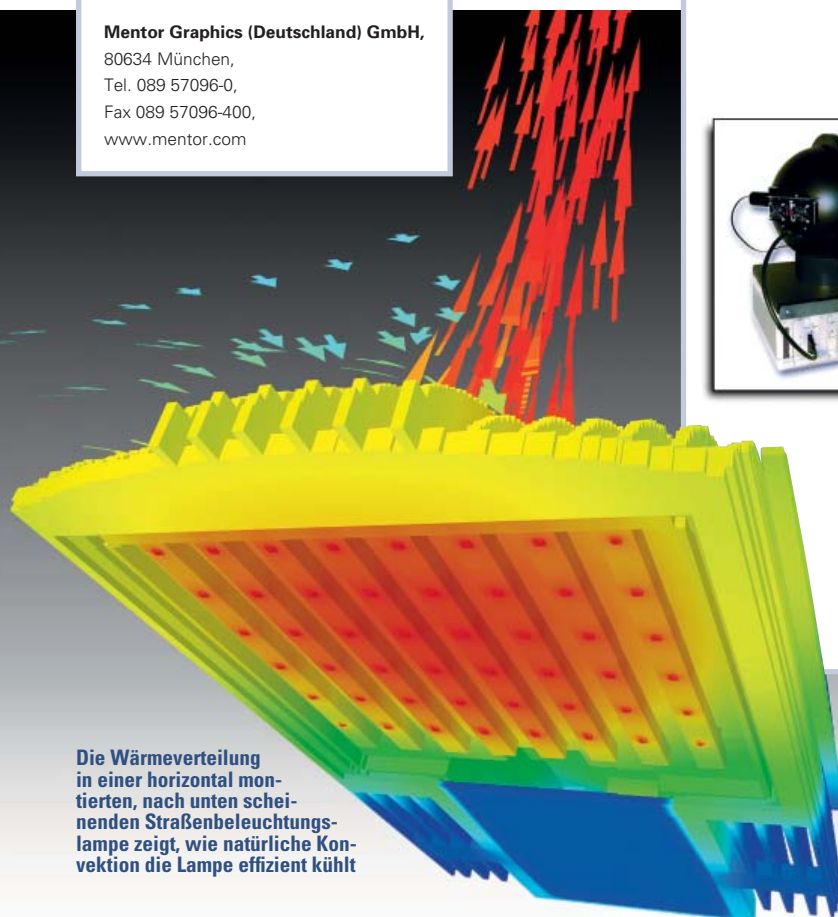


Bild 1. Die Kombination eines JEDEC-JESD51-1-konformen thermischen Messsystems mit einer optischen Testkonfiguration gemäß CIE 127:2007 ermöglicht gleichzeitige thermische und fotometrische Messungen an LEDs

Diese Rekombination bewirkt in einer LED, dass ein Photon – ein Lichtquant – emittiert wird. Einfach ausgedrückt, wird ein Teil der elektrischen Energie, die man der LED zuführt, in Lichtenergie umgewandelt. Der Rest wird zu unerwünschter (aber unvermeidlicher) Wärme, welche die Farbe des emittierten Lichts verändern und den Wirkungsgrad der Energieumwandlung reduzieren kann. Dementsprechend verringert sich die für das menschliche Auge wahrnehmbare Lichtmenge. Die für die Helligkeitswahrnehmung entscheidende physikalische Größe ist der Lichtstrom; er wird in Lumen gemessen.

Eine gute LED-Beleuchtung muss so kühl wie möglich laufen, gleichzeitig aber die Quantität und Qualität an Licht liefern, die das Design erfordert. Deshalb muss die Sperrschichttemperatur (T_j) des LED-Chips immer niedrig gehalten werden. Bei einem cleveren Design ist auch die Lichtausbeute bei der Betriebstemperatur einer LED, das so genannte Hot Lumen, bekannt und wird berücksichtigt (siehe **ⓘ-Kasten**). Designer müssen am Anfang eines neuen LED-Projekts die Antworten auf zwei Fragen finden:

- Wie hängt das Verhalten einer LED von der Temperatur ab?
- Welche thermische Leistung haben Lampe, Leuchte oder Leuchtkörper?

Die Antworten auf diese beiden Fragen beantworten auch eine dritte: Reichen die Hot Lumen für die Applikation aus? Durch Überwachung der Testumgebungstemperatur während der Messungen lassen sich die Hot Lumen und die Temperaturempfindlichkeit des Lichtstroms ermitteln. Sobald die Temperaturempfindlichkeit der Lichtausbeute bekannt ist, kann eine Computational-Fluid-Dynamics (CFD-) Simulation helfen, die Hot Lumen einer Applikation vorherzusagen.

Fotometrische Verifikation zeigt das Verhalten der LED

Die erste der obigen Fragen wird mithilfe einer gründlichen optischen (radio-/foto-/farbmetrische) Charakterisierung der in der Applikation verwendeten LED beantwortet. Dafür stehen bestimmte Testlösungen zur Verfügung, welche die notwendigen physikalischen Messwerte liefern. Mithilfe eines kombinierten radio-/fotometrischen Charakterisierungsverfahrens erhält der Entwickler wertvolle Informationen für nachfolgende Designschritte. Thermische und optische Messungen

2 DURCHLASSSTROM & -SPANNUNG

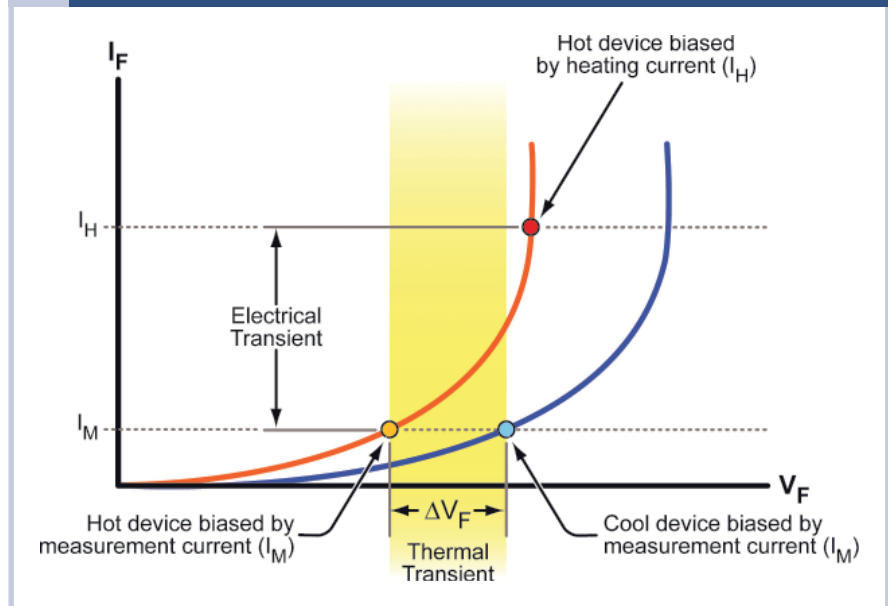


Bild 2. Ein Heizzyklus liefert einen hohen Strom, dem unmittelbar ein Kühlzyklus mit einem kleinen Messstrom folgt

sind als Teil eines zusammenhängenden Prozessschritts durchführbar.

Der thermische Widerstand zwischen Sperrschicht und Umgebung einer LED oder Wärmemanagementlösung kann leicht von der Umgebungstemperatur beeinflusst werden, was zu verzerrten Messergebnissen führt. Bei der Vorhersage der thermischen Leistung muss deshalb die Referenztemperatur der Testumgebung überwacht werden. Das erfordert eine temperaturgesteuerte DuT- (Device-under-Test-) Halterung. Diese wird auch als Kühlplatte bezeichnet.

Die Identifizierung kritischer LED-Eigenschaften erfordert mehr als nur die üblichen elektrischen und thermischen Messungen. Die Charakteristika der Lichtausbeute müssen auch unter sorgfältig kontrollierten Bedingungen in einem Gerät, bekannt als Ulbricht-Kugel, gemessen werden. Ein umfassendes thermi-

sches und optisches LED-Messsystem ist in **Bild 1** dargestellt.

Der einfachste Weg, um die thermische Impedanz einer LED zu messen, ist ein statisches Verfahren mit einem Vierdraht-„Kelvin“-Versuchsaufbau. Das Verfahren beginnt mit einer LED im stabilisierten Zustand. Dazu wird der Durchlassstrom (I_F) auf einen gewünschten Heizstrompegel (I_H) eingestellt. Der konstante Heizstrom steuert die Temperatur der LED auf einen festen Punkt und stabilisiert die Lichtausbeute. In diesem Zustand werden die Eigenschaften der Lichtausbeute gemäß dem vom International Committee of Illumination (CIE) definierten LED-Testverfahren gemessen.

Das statische Testverfahren ist durch den JEDEC-JESD51-1-Standard festgelegt. Bei diesem Verfahren wird der Durchlassstrom abrupt auf einen wesentlich niedrigeren Messstrompegel (I_M) ab-

ⓘ WISSENSWERT

Das Hot Lumen gibt die Lichtausbeute in Relation zur Temperatur wieder und bietet eine Orientierung bei der Entwicklung einer neuen LED-basierten Beleuchtung. Um Übereinstimmung mit Beleuchtungsstandards zu erzielen, ist es unbedingt erforderlich, die Hot Lumen von LEDs zu kennen. In den Datenblättern der LEDs erscheint diese Information leider nur selten in glaubwürdiger Form. Es gibt keine Garantie, dass beispielsweise die publizierten Wärmewiderstandswerte unter Berücksichtigung der kalkulierten Lichtausbeute gemessen wurden. Auch ebnet die Temperaturabhängigkeit der Lichtausbeute – wenn überhaupt zur Verfügung gestellt – in der Regel keinen einfachen Weg zu einem cleveren Design.

3 MESSPROTOKOLL

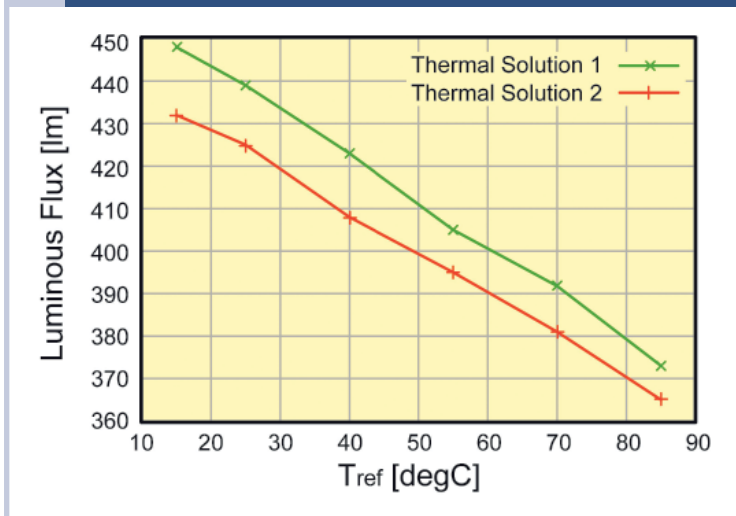


Bild 3. Gemessene Lichtstrom-Referenztemperaturkurven bei 350 mA von zwei weißen 6-W-LEDs, die mit verschiedenen Wärme-managementlösungen konfiguriert wurden

gesenkt, sobald sich der Testkandidat im heißen Zustand befindet. Faktisch wird die LED ausgeschaltet und ein negativer Power Step erzeugt. Bei kontinuierlicher Messung kann aus Veränderungen bei den Durchlassspannungstransienten der LED auf die Gesamtänderung der Sperrschichttemperatur geschlossen werden. **Bild 2** zeigt das Zusammenspiel der Variablen, die die Messwerte liefern.

Lichtstrom und Temperatur

Während die Industrie ständig weitere Fortschritte bei der Standardisierung der

Testmethoden erzielt, sind die Standardisierungsbemühungen für LED-Spezifikationen immer noch am Anfang. Die Angaben auf den Produktdatenblättern ignorieren häufig die realen Betriebsbedingungen. Zum Beispiel ist es üblich, LED-Daten zu veröffentlichen, die bei 25 °C gemessen wurden. Dies ist auch dann der Fall, wenn LEDs in Leuchten montiert sind (was bei vielen der Fall ist), die sich in einer Umgebung mit sehr viel höheren Temperaturen von 50 oder sogar 80 °C befinden. Während des Betriebs kann die tatsächliche Sperrschichttemperatur der LED zwischen 80 und 110 °C liegen und den Lichtstrom erheblich reduzieren. Der Lichtstrom wird in diesem Fall als Hot Lumen bezeichnet – im Gegensatz zu den in den Datenblättern angegebenen, bei 25 °C Labortemperatur erzielten Werten, die eine unrealistische Voraussetzung für jede reale LED-Beleuchtungsanwendung sind.

Bild 3 zeigt ein Lichtstrom-Referenztemperatur-Diagramm von zwei weißen LEDs, die mit verschiedenen Wärme-managementlösungen konfiguriert wurden. Das Diagramm (ein tatsächliches Messprotokoll, das hier für bessere Klar-

heit neu gezeichnet wurde) stellt die Auswirkungen des thermischen Designs dar. Lösung 1 verfügt über eine Leiterplatte mit Metallkern, während Lösung 2 eine konventionelle FR4-Platine verwendet. Zudem kamen bei den jeweiligen Mustern verschiedene Materialien für die thermische Schnittstelle (TIM) zwischen Leiterplatte und Kühlkörpern zum Einsatz. Die Sperrschichttemperatur ändert sich mit der Temperatur der Kühlplatte (im Diagramm als T_{ref} bezeichnet). Mit steigender Temperatur nimmt der Lichtstrom ab.

Auch wenn beide Messungen auf der gleichen LED-Art basieren, verlaufen die beiden Linien in **Bild 3** nicht genau parallel. Dies liegt allein an den unterschiedlichen Materialien für Leiterplatte und thermische Schnittstellen. Die Auswirkungen dieser Unterschiede auf die Charakteristika der Lichtausbeute werden vollständig beseitigt, wenn die Plots zum Abbilden der Sperrschichttemperatur neu skaliert werden. Eine andere Art von Messprotokoll, das Strukturfunktionsdiagramm, würde Details sowohl über die Unterschiede im Wärme-flusspfad als auch ihren Umfang und die Orte ihres Vorkommens aufzeigen.

CFD-Tools liefern den Gesamtüberblick

Die kombinierte thermische und radio-/fotometrische Charakterisierung liefert eine Fülle von Informationen, mit denen ein CFD-Tool die Gesamtleistung von LED-Befestigungen und Leuchtenmodellen vorhersagen kann. Ein nützliches Ergebnis der Charakterisierung ist das Kompaktmodell (**Bild 4**). Dieses fasst das thermische Verhalten im Hinblick auf die Widerstände und Kapazitäten in einer Kettenschaltung zusammen. Jeder Übergang in der Temperaturkarte der Strukturfunktion entspricht einem RC-Paar im Kompaktmodell.

Da einige der heute verfügbaren CFD-Tools in MCAD-Umgebungen integriert sind, kann die CFD-Anwendung die Abmessungen und physikalischen Charakteristika einer Leuchte unmittelbar verwenden. Diese Tools automatisieren die CFD-Netzerzeugung und Modellierung und beschleunigen so die Arbeit des Designers.

Das Ziel der CFD-Analyse ist es sicherzustellen, dass ein vorgeschlagenes physikalisches Design die Wärme von der LED-Quelle ableitet und sicher an die Umgebung abführt. Das **Titelbild** beantwortet diese wichtige Frage. Es zeigt

4 KOMPAKTMODELL

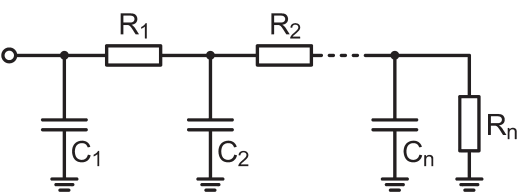


Bild 4. Das Kompaktmodell fasst das thermische Verhalten im Hinblick auf die Widerstände und Kapazitäten in einer Kettenschaltung zusammen

FAZIT

Eine coole LED ist eine LED, die nicht nur sicher und zuverlässig arbeitet, sondern auch eine effiziente Beleuchtung liefert. Anhand einfacher thermischer Messungen lassen sich die Sperrschichttemperaturen ausfindig machen. Diese allein reichen aber nicht aus, um eine zufrieden stellende Leistung zu gewährleisten. Mithilfe moderner Mess- und Simulationslösungen können Designer die Hot-Lumen-Performance charakterisieren und damit beweisen, dass ein LED-Licht innerhalb des infrage kommenden realen Temperaturbereichs eine ausreichende Beleuchtung liefert.

eine berechnete grafische Darstellung aus dem CFD-Tool „Flotherm“ von Mentor Graphics, das die mit dem bereits beschriebenen Messsystem produzierten thermischen Daten automatisch in die Simulation einbindet. In dieser Darstellung geben die Pfeile den Luftstrom über der Straßenbeleuchtungslampe wieder. Die Farbabstufungen zeigen die Wärmeverteilung. Hier trägt Konvektion erwärmte Luft nach oben und von der Lampe weg. Diese Information bestätigt, dass das Design die Wärme effizient genug abführt, um die benötigte Leistung in der Endanwenderapplikation zu gewährleisten.

Luftbewegung und IR-Strahlung von der Leuchten-Oberfläche sind das ultimative Mittel, um die unerwünschte Wärme abzuführen, die von LEDs erzeugt wird. Wenn sie clever mit einem geeigneten CFD-Tool entwickelt wurden, lassen sich kühlere LED-Sperrschichttemperaturen und demzufolge mehr Hot Lumen erreichen. Wie viele Hot Lumen? Der tatsächliche Wert lässt sich aus der berechneten Sperrschichttemperatur und der exakten Temperaturabhängigkeit des Lichtstroms, wie sie vom standardkonformen thermischen Messsystem in **Bild 1** gemessen wurde, ableiten. (m/)



DER AUTOR

Dr. **ANDRÁS POPPE** ist außerordentlicher Professor im Institut für elektronische Bauelemente der Budapest University of Technology. Derzeit unterstützt er die Vermarktung von „MicReD-T3Ster“- und „Teraled“-Systemen für Mentor Graphics. Dr. Poppe ist außerdem in den JEDEC-JC15- und CIE-TC2-63- und TC2-64-Standardisierungsgremien tätig.



www.EL-info.de

605401