



Programmerbare analoge kredse til High-Power LED farveblandings applikationer

Af produktmarketingingeniør Gavin Hesse og applikationsingeniør Patrick Prendergast, Cypress Semiconductor

Design af High-Power LED farveblandings applikationer er en stor udfordring, der kræver ekspertise på mange forskellige områder. Programmerbare mixed-signal kredse, der kombinerer reprogrammerbar digital- og analog funktionalitet på den samme chip, gør designopgaven nemmere og reducerer samtidig kredsløbets størrelse og BoM omkostninger

Programmerbare mixed-signal kredse, der kombinerer reprogrammerbar digital- og analog funktionalitet på den samme chip, giver slutbrugeren produkter med en stor fleksibilitet og giver designere unikke fordele i specielle applikationer som f.eks. High-Power LED farveblandings applikationer. High-Power LED farveblandings applikationer har relativt slappe timingkrav, men i en typisk RGBW (rød, grøn, blå, hvid) LED applikation er der ni forskellige parametre, der skal måles: Fire LED ledespændingssignaler, fire LED strømfølesignaler og et boardtemperatursignal. Hver signaltypen kræver en speciel signaltilpasningstopology. En programmerbar analog IC giver designere den optimale løsning til implementering af et anlagt kredsløb til nøjagtig måling af alle ni signaler.

I High-Power LED designapplikationer til f.eks. bygningsbelysning eller LCD baggrundsbelysning, er en præcis farvenøjagtighed et af de vigtigste designkrav. Den ideelle løsning til at opnå en præcis farvenøjagtighed er at måle bølgelængderne for det lys, som belysningssystemet udsender, med en farvesensor. Uden denne farvesensor står designeren over for en større udfordring om at skabe et belysningskredsløb, der kan måle, kontrollere, styre eller beregne alle de parametre, der påvirker LED'ens ydeevne og farvenøjagtighed.

Kræver måling af mange parametre

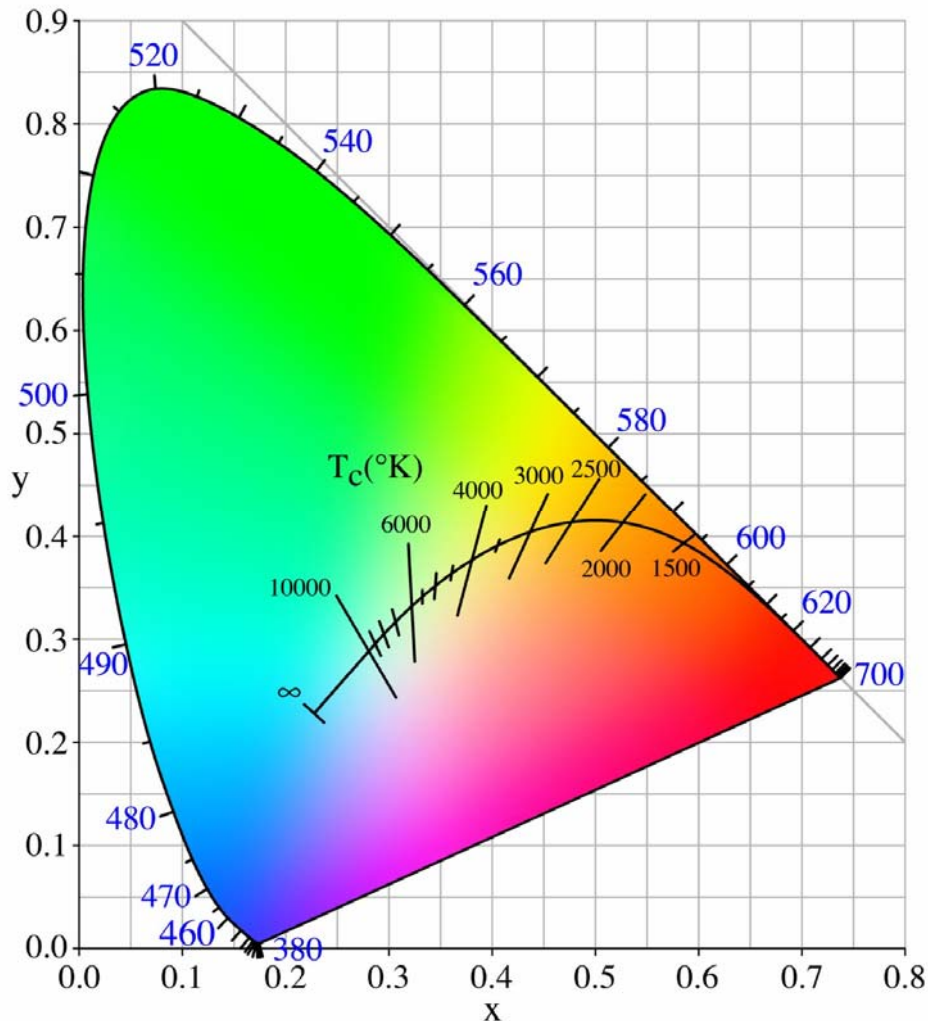
Økosystemet for et High-Power LED baseret design repræsenterer en række unikke udfordringer, der kræver ekspertise på meget forskellige områder. For at opnå en nøjagtig farveblanding skal LED belysningssystemet være udstyret med passende elektroniske, termiske og optiske designelementer. Elektronikken skal kunne måle alle de forskellige LED ledespændingssignaler og -strømsignaler samt boardtemperaturen. Antallet af parametre, der kræves for at foretage disse målinger, påvirker den fysiske størrelse og de potentielle omkostninger for det krævede analoge kredsløb, hvilket selvfølgelig er et problem for alle ingeniører. Det termiske design er ofte et af de mest oversete designaspekter, da LED'ere ikke udstråler varme på samme måde som en almindelig Edison glødelampe, men derimod leder varmen gennem LED'ens junction til soklen og loddeforbindelsen og videre ud på boardet. LED'ens junction-temperatur kan derfor variere meget kraftigt, hvis designeren ikke har sørget for, at LED'en er forsynet med en tilstrækkelig effektiv boardtilslutning i form af epoxy og loddemiddel. LED'ens junction-temperatur påvirker LED'ens lysstrøm og dominerende bølgelængde, der begge indvirker på den blandede farve, som genereres af det samlede system af LED'ere. Designeren skal endvidere være i besiddelse af en stor optisk designviden for at kunne sprede lyset fra hver LED for at skabe den rette farve, der kræves for at sikre, at der er en så lille variation som mulig mellem de producerede boards.

Farveblanding i et belysningssystem, der består af røde, grønne, blå og hvide LED'ere, foretages ved at dæmpe hver LED til et beregnet niveau og sprede lyset, der udsendes fra det samlede belysningssystem. Mens designeren arbejder med disse lysstyrke, højeffekt LED'ere i udviklingslaboratoriet, er det meget vigtigt, at designeren sørger for at sprede lyset fra LED'en, da dens kraftige lysstyrke kan skade øjnene. Enhver ingeniør, der mindes de første laserpegepinde, kan utvivlsomt huske de mange beretninger om de pletter, der blev siddende på nethinden i timevis, efter at gymnasieelever i kådhed havde lyst hinanden direkte ind i øjnene med laserstrålen. For at undgå disse problemer anbefales det at rette High-Power LED'ernes lysstråle mod et simpelt lysspredningsmateriale som f.eks. papir, en plastkop eller indersiden af en hvid kasse.

Korreleret farvetemperaturer eller farvekoordinater

Farvekoordinater er en måleenhed, der giver et sæt af x, y koordinater for hver farve i det synlige lysspektrum. 1931 CIE (Commission International d'Éclairage) farvediagrammet, der er vist i figur 1, er i dag blevet en de facto standard, der

anvendes til specificering af farve i belysningsdesigns. Korreleret farvetemperatur, T_c , er en måleenhed, der beskriver en farve nær den såkaldte Planck-locus (black-body udstrålingskurve) i CIE farvediagrammet.



Figur 1: 1931 CIE farvediagrammet med korreleret farvetemperatur

De ønskede farvepunkter defineres normalt ved at udvælge en acceptabel række af x og y værdier for hver farve i 1931 CIE farvediagrammet. CIE farvediagrammet kan bruges til at specificere de ønskede farveblandingspunkter i projektplanlægningsfasen. Til de fleste applikationer kan man anvende røde, grønne og blå (RGB) LED'ere til at skabe et bestemt farvepunkt. Hvis man husker tilbage på sin børnehavetid og den første introduktion til fingermaleriets magiske verden, er det let at forstå, hvordan farveblandingsmetoden fungerer. F.eks. vil en gul farve blandet med en blå farve give en grøn farve.

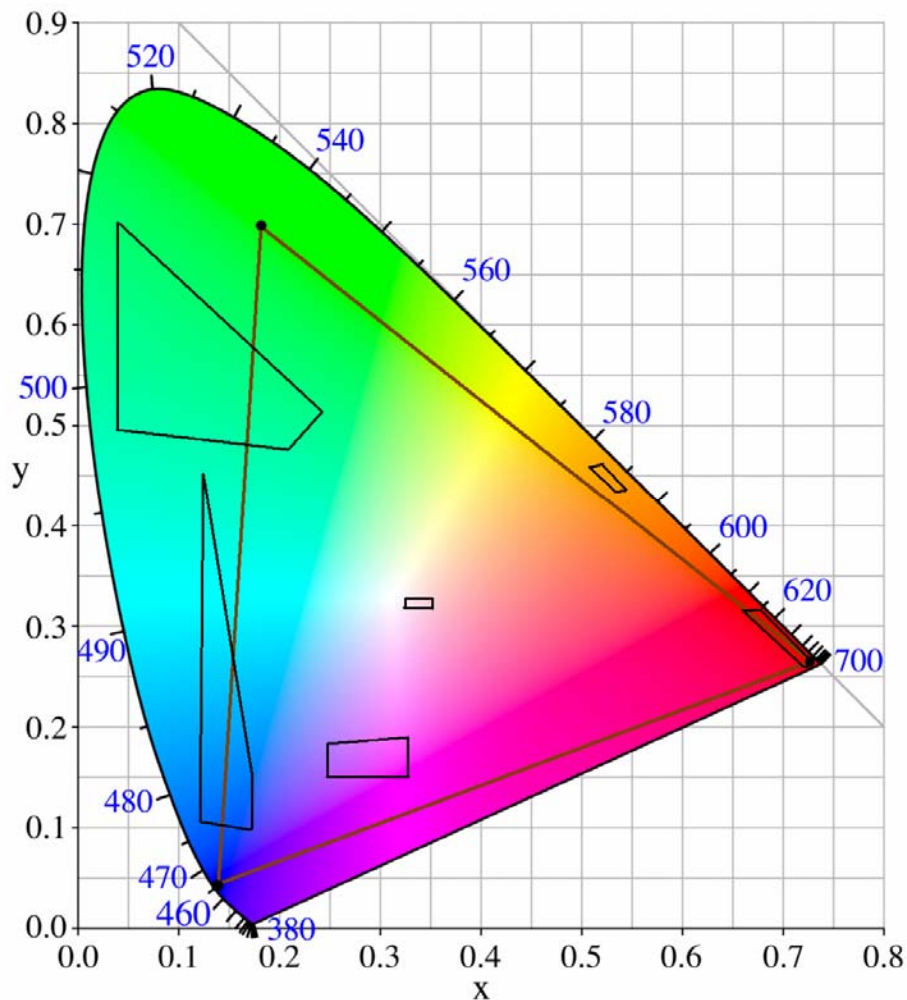
Farvetemperaturparameteren kan bruges til at specificere forskellige typer af hvidt lys. Planck-locus black-body udstrålingskurven, der er vist i figur 1, løber lige gennem midten af det hvide område i CIE farvediagrammet, og det er lettere for den menneskelige hjerne at håndtere en farvetemperaturværdi end et sæt af farvekoordinater.

Det er vigtigt at bemærke, at farvetemperaturen, T_c , ikke er et særlig intuitivt begreb, da 'varmere' hvid har en blå farvetone og 'koldt' hvidt har en farvetone, der går fra gul over orange til rød (se figur 1). Men af hensyn til den senere processing bliver farvetemperaturen konverteret til et farvekoordinatområde. I multifarve LED-designs er farvekoordinaterne fra 1931 CIE farvediagrammet det foretrukne mål for LED-belysningssystemets ydeevne og farvenøjagtighed, da det høje kompleksitetsniveau ved at skulle arbejde med multiple farvetemperaturværdier for hver LED hurtigt bliver u håndterligt.

LED'ernes farveområde - det såkaldte 'Color Gamut'

En anden udfordring for designeren er at håndtere de enkelte færdigsorterede LED 'bins' fra fabrikanterne. Hos fabrikanten bliver LED'erne typisk testet og sorteret efter deres ledespænding, dominerende bølgelængde og lysstyrke i såkaldte 'bins', og der kan ofte være store farveforskelle inden for de enkelte LED 'bins', også selv om de kommer fra den samme fabrikant. Da der endvidere ikke findes et standardiseret sæt af 'bin'-specifikationer for LED'ere, kan den enkelte LED 'bin' variere meget fra fabrikant til fabrikant.

Designerenes muligheder for at imødekomme et bestemt farvepunkt er derfor meget afhængig af den 'bin'-kvalitet, som LED leverandøren leverer. De forskellige LED 'bins' kan plottes ind på CIE farvediagrammet for at afgøre, om et tilsigtet farvepunkt ligger i et rigtigt farveområde - det såkaldte 'Color Gamut' område, der er vist nogle eksempler på i figur 2. Det er vigtigt at plote alle de mulige LED-'bins' ind på CIE farvediagrammet for at sikre, at det tilsigtede farvepunkt kan realiseres i praksis uanset hvilke LED-'bins', der leveres fra fabrikanten. Hvis det tilsigtede farvepunkt ligger uden for det korrekte farveområde, er det en afgørende forudsæt for et vellykket projekt, at designeren enten ændrer farvepunktet og beder fabrikanten om kun at levere specifikke LED-'bins', eller tilføjer en fjerde LED for at øge 'Color Gamut' farveområdets størrelse, så det imødekommer det tilsigtede farvepunkt.



Figur 2: Eksempel på 'Color Gamut' og farvespecifikationer

Figur 2 viser et eksempel på forskellige 'Color Gamut' og farvespecifikationer. De seks forskellige farveområder er plottet ind på CIE farvediagrammet med følgende farvekoordinater:

Rød – (0,6875, 0,3010), (0,6930, 0,3045), (0,7150, 0,2750), (0,7200, 0,2800)

Grøn – (0,0250, 0,5100), (0,0250, 0,7000), (0,2000, 0,4100), (0,2500, 0,5000)

Blå – (0,1200, 0,1000), (0,1300, 0,4300), (0,1700, 0,1500), (0,1700, 0,0750)

Gul/ravgul – (0,5700, 0,4250), (0,5850, 0,4075), (0,5750, 0,4225), (0,5875, 0,4100)

Violet/lilla – (0,2550, 0,1750), (0,2450, 0,1500), (0,3200, 0,1800), (0,3225, 0,1500)

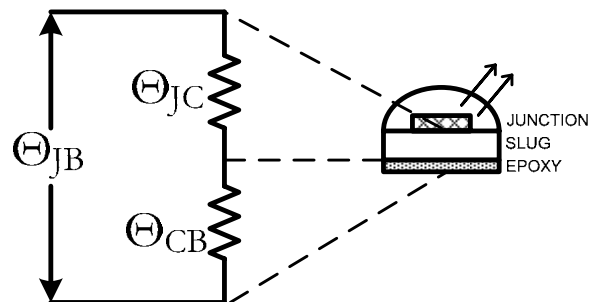
Hvid – (0,3270, 0,3400), (0,3270, 0,3200), (0,3500, 0,3675), (0,3500, 0,3300)

Hvert sæt med de fire farvekoordinater giver en kasse med det tilladelige farveområde for applikationen. Når LED'erne er plottet ind i figur 2, er det f.eks. let at se, at farvekoordinatkassen for farven ravgul er uopnåelig, da den ligger uden for den reproducerbare RGB LED-farvetrekant. For at øge størrelsen af det gule/ravgule område, er det nødvendigt at tilføje endnu en LED, som i dette tilfælde er en ravgul LED.

Temperatur aspekter

Når LED belysningssystemets temperatur stiger, bliver LED'ernes ydeevne dårligere, da LED'ernes lysstrøm falder og den dominerende bølgelængde stiger. For at kompensere for den forringede lysstrøm skal LED'en drives hårdere for at tage højde for LED'ens lavere lysstyrke, hvilket kan resultere i en termisk overophedningstilstand og en endelig ødelæggelse af LED'en. Da High-Power LED'ere som tidligere nævnt leder varmen gennem LED'ens junction, kan en hurtig termisk overophedning resultere i sikkerhedsproblemer for konsumerudstyret. Det er derfor vigtigt, at designeren er meget omhyggelig med at indføre effektive sikkerhedsfunktioner, der enten lukker systemet ned eller sørger for at systemet imødekommer farvepunktet ved et sikkert lysstyrkeniveau. Da den dominerende bølgelængde stiger ved stigende temperaturer, er det nødvendigt at rekalkulere dæmpningsværdierne for hver enkelt LED for at sikre, at det tilsigtede farvepunkt for belysningsystemet stadig bliver imødekommet ved den højere temperatur.

Da LED'ens temperatur ændrer sig relativt langsomt, kan målingerne til bestemmelse af temperaturen betragtes som næsten statiske. Dette giver designeren en større fleksibilitet med hensyn til den måde, som målingen kan tages på. Det er ikke muligt at måle eller aflæse junction-temperaturen direkte, da der er termisk impedans fra LED'ens junction til soklen ('slug') og fra soklen til boardet som vist i figur 3.



Figur 3: LED'en termiske modstandmodel

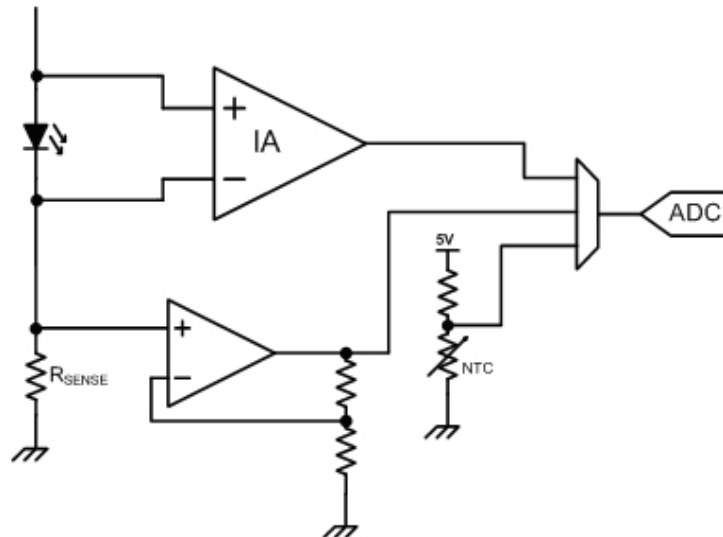
Den eneste temperaturparameter, der kan måles, er LED'ens boardtemperatur, der kan måles med en termistor eller en anden temperatursensor. En termistor er en prisbillig komponent og er derfor den foretrukne løsning. Da boardtemperaturen kun giver en måling af omgivelsestemperaturen, anvendes følgende ligning $T_J = T_B + \theta_{JB} I_{LED} V_f$ til at finde en rimelig approksimation af junction-temperaturen for hver LED.

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

Ligning 1: LED'ens junction-temperatur

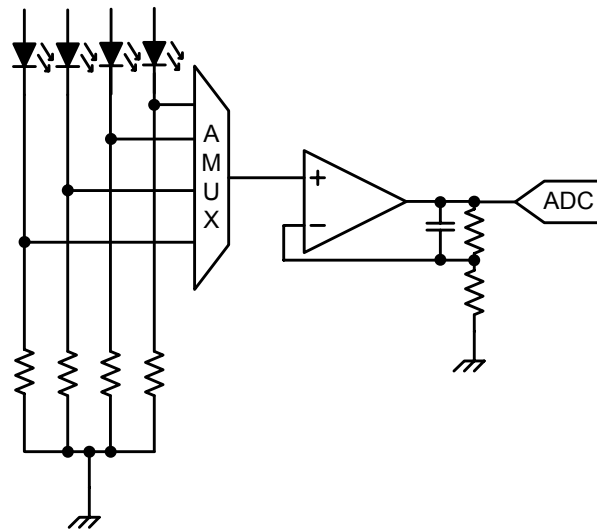
Hvordan implementeres det krævede LED måle- og kontrolkredsløb i praksis?

I et RGBW LED design er det nødvendigt at måle ni forskellige parametre: Fire strømfølesignaler, fire LED ledespændingssignaler og et boardtemperatursignal. En simpel løsning er at sende de forskellige signaler gennem hvert sit signaltilpasningskredsløb og dernæst multiplexe de tilpassede signaler. Denne løsning anvender kun én A/D-konverter, men kræver til gengæld ni separate signaltilpasningskredsløb. Et signaltilpasningskredsløb for en enkelt LED er vist i figur 4. Dette kredsløb er enkelt, men indeholder mange passive og aktive komponenter, der vil øge systemets fysiske størrelse og BoM (Bill-of-Materials) omkostninger. Systemet er redundant, da hvert strømføle- eller ledespændings signaltilpasningskredsløb, der indgår i systemet, er ens.

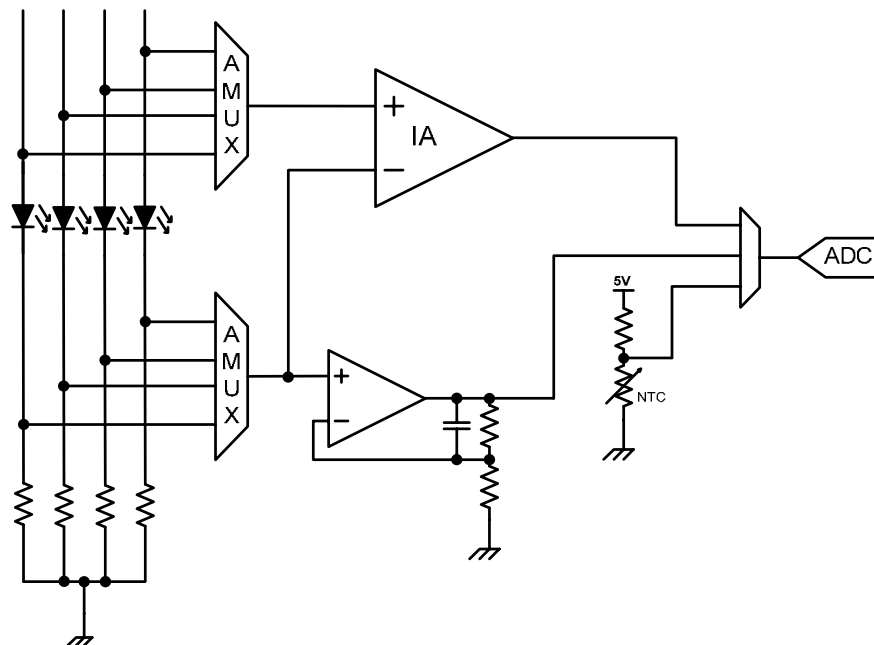


Figur 4: Signaltilpasningskredsløb for én LED

Redundansen i denne målemetodologi kan elimineres ved at tilføje en analog multiplexer foran hvert signaltilpasningskredsløb. F.eks. viser figur 5 et low-side strømfølekredsløb. Bemærk at der ved at indføre den analoge front-end multiplexer nu kun kræves én forstærker og ét sæt passive komponenter for at måle de fire strømfølesignaler. Den samme front-end multiplexerteknik kan anvendes til ledespændingsmålingen. Nu er der kun tre signaler, der skal multiplexes til A/D-konverteren (figur 6), og kredsløbet fylder blot en tredjedel i forhold til kredsløbet i figur 4.



Figur 5: Low-side strømfølekrebsløb med en analog front-end multiplexer



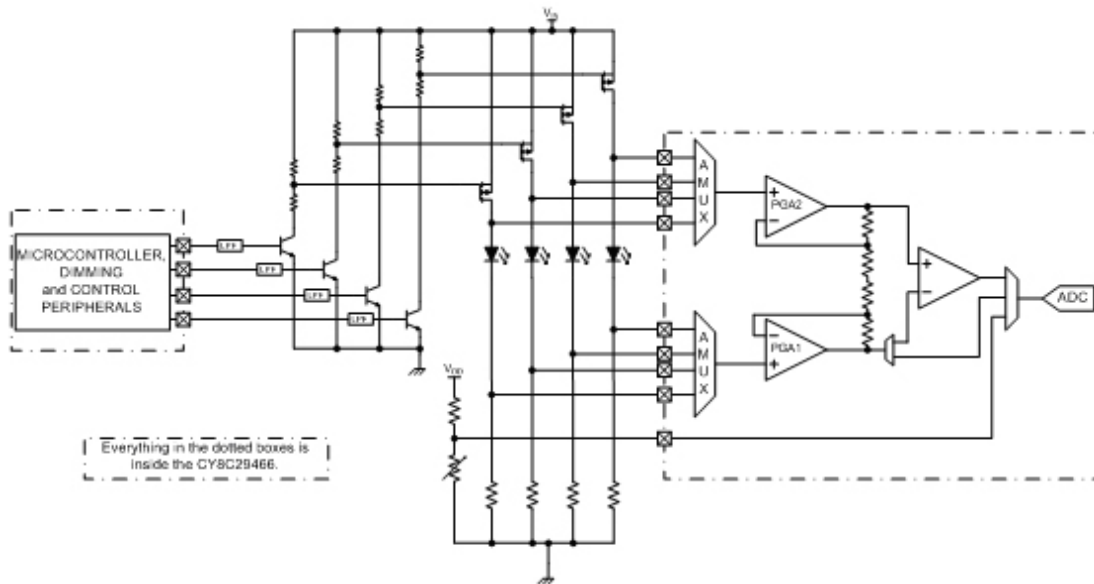
Figur 6: To analoge front-end multiplexere reducerer størrelsen af det analoge kredsløb

Programmerbare analoge kredse

Programmerbare logikkredse begynder at se ud som såkaldte 'NO gates' - intet kommer ind og intet kommer ud. Denne funktionalitet kan være nyttig, da kredsene kan konfigureres til at udføre næsten enhver digital funktion. Men det er stadig et problem, at de programmerbare logikkredse ikke kan håndtere analoge signaler og derfor ikke er velegnede for analoge signal designere. I de senere år har flere halvlederfabrikanter imidlertid udviklet programmerbare mixed-signal controllerkredse, der

indeholder programmerbar digital- og analog funktionalitet på den samme chip, som f.eks. Cypress' PSoC (Programmable System On Chip) familie og Analog Devices' ADuC8xx familie.

Fordelen ved programmerbare analoge kredse er, at det giver designeren en stor fleksibilitet til at rekonfigurere de analoge kredsløb 'on-the-fly'. Denne in-system rekonfigurerbarhed er velegnet til mange forskellige applikationer, som f.eks. LED farveblending, hvor en dynamisk rekonfigurerbar analog løsning gør det enkelt at implementere kredsløbet i figur 6, som vist i figur 7. Endvidere gør de rekonfigurerbare analoge kredse det muligt at reducere kredsløbets størrølse endnu mere ved at give designeren mulighed for at ændre forstærkning, forstærkerkonfiguration, filterindstillinger og A/D-konverter indstillinger. I figur 7 fungerer den programmerbare PGA1 forstærker f.eks. i én konfiguration som en strømføleforstærker, mens den i en anden konfiguration fungerer som inputtrin til instrumenteringsforstærkeren, der måler differential LED ledespændingen. De forskellige konfigurationer styres af en on-chip microcontroller. Microcontrolleren behandler A/D-konverterens data, styrer LED driveren og ændrer den analoge konfiguration.



Figur 7: Implementering af det krævede analoge kredsløb med Cypress' programmerbare mixed-signal controller CY8C27443

ASICs kan til en vis grad give den samme fleksibilitet som programmerbare analoge IC'ere, da kredsløbet i figur 6 kan integreres i IC'en. Den oplagte fordel ved et ASIC design er, at designeren får det han ønsker. Systemkravene og kravene til ASIC'en bliver defineret i starten af projektet. I det ideelle tilfælde er kravene, der blev defineret i starten af projektet, de samme ved afslutningen af projektet. Men det er imidlertid meget sjældent, at projektkravene forbliver uændrede gennem hele designfasen. Når der opstår ændringer af projektkravene, skal ASIC-designet modificeres eller fuldstændig redesignes, hvilket skaber et signifikant resurse- og omkostningsproblem for virksomheden.

Fordelen ved programmerbare analoge IC'ere frem for ASICs er, at kredsen hurtigt kan reprogrammeres, når projektkravene ændrer sig. Hvis et LED design starter som et RGB-design, men på et tidspunkt skal flyttes til et RGBW-design, kan designeren med en programmerbar analog IC let tilføje endnu et signalinput til front-end multiplexerne, konfigurere en passende forstærkning for operationsforstærkeren, tilføje et internt filter og anvende den indbyggede A/D-konverter - det hele uden at det påvirker RGB-designet, der er færdigudviklet. Den samme programmerbare kreds, der blev valgt i begyndelsen af projektet, fungerer i praksis stadig ved slutningen af projektet, og de fleste fabrikanter kan tilbyde programmerbare IC'ere, der er forud- og bagudkompatible, hvis designeren har behov for kredse med mere memorykapacitet eller flere interne resurser.

Cypress' PSoC mixed-signal controller har en unik arkitektur, der gør det muligt at rekonfigurere kredsens integrerede digitale og analoge resurser til forskellige analoge inputsignaler. I dette tilfælde fungerer det analoge inputkredsløb i figur 7 både som en instrumenteringsforstærker til måling af LED'ens ledespænding, og som en non-inverterende forstærker til forstærkning af spændingen på strømfølemodstandene og NTC termistoren. Forstærkeren ændres fra en instrumenteringsforstærker (INSAMP) (vist) til en non-inverterende forstærker (PGA) (ikke vist) ved at ændre tilslutningspunktet for de interne



modstandsstrengene. I INSAMP konfigurationen er bunden af hver forstærkers modstandsstreng forbundet med hinanden. I PGA konfigurationen er bunden af modstandsstrengene forbundet til V_{SS} .

PSoC kredsens analoge features og kredsløbsfunktioner omfatter også en konfigurerbar analog multiplexer. PSoC multiplexeren kan konfigureres som en 8:1 multiplexer til måling af op til otte single-ended inputsignaler, som f.eks. temperatursignaler fra otte termistorer. Multiplexeren kan også konfigureres som to 4:1 multiplexere til måling af op til fire differential signaler. I en RGB LED designapplikation er der tre forskellige differential signaler (LED ledespændinger) og et single-ended signal (termistor), der kan håndteres af den samme multiplexer. De to 4:1 multiplexere kan derfor i dette tilfælde håndtere alle ledespændings- og strømfølesignalerne for tre forskellige LED'ere samt termistor målesignalet.

Konklusion

High-Power LED markedet forventes inden for de næste fem år at vokse kraftigt til mere end ti milliarder dollars i 2012 og er i dag et modent marked for alle ingeniører, der ønsker at skabe nye ideer og belysningsapplikationer. Muligheden for at skabe High-Power LED applikationer med lysstærke farver over hele det synlige spektrum med en løsning, der har en længere levetid og en større effektivitet, giver fabrikanter - fra lampe- og belysningsleverandører til LCD TV fabrikanter - nye muligheder. Designere, der ønsker at udvikle applikationer til High-Power LED markedet, kan med fordel anvende programmerbare analoge IC'ere, der er en prisbillig, nøjagtig løsning til farveblandingsapplikationer og kan nedskære BoM omkostningerne ved at udnytte de integrerede front-end multiplexere til dynamisk rekonfigurering af det analoge kredsløb for hvert enkelt individuelt signal.



References

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.