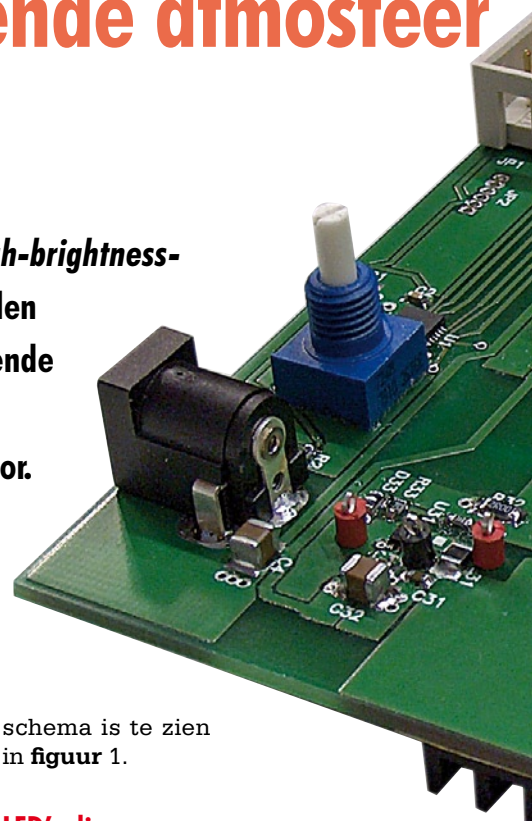


RGB-LED-sfeerverlichting

MSP430 zorgt voor een passende atmosfeer

Dirk Gehrke en Christian Hernitscheck

In de verlichtingstechniek wordt meer en meer gebruik gemaakt van *high-brightness-LED's*. We presenteren hier een sfeerverlichting die met weinig onderdelen gerealiseerd kan worden. Drie LED's worden elk met een eigen schakelende regelaar van stroom voorzien. De helderheid wordt geregeld door een MSP430-microcontroller die werkt als drievoudige PWM-sigtaalgenerator. De schakeling kan bijvoorbeeld worden ingebouwd in een melkglazen tafellamp of gebruikt worden voor de besturing van een LED-spotje voor indirecte verlichting.



Of het nu gaat om LED's met een groot of een klein vermogen, bijna altijd worden ze gevoed uit een constante-stroombron. De reden daarvoor is dat de lichtopbrengst in lumen evenredig is met de stroom door de LED.

Daarom presenteren fabrikanten van LED's ook altijd de gegevens, zoals lichtopbrengst in lumen (ook wel optisch rendement genoemd), openingshoek en golflengte als functie van de LED-stroom I_F en niet, zoals men misschien zou verwachten, als functie van de spanning V_F . Vandaar dat we ook in dit project gebruik maken van geregelde constante-stroombronnen.

Constante stroom voor high-brightness-LED's

De meeste op de markt verkrijgbare schakelende regelaars zijn bedoeld om gebruikt te worden als spanningsregelaar en niet als stroomregelaar. Om zo'n regelaar toch te gebruiken als stroomregelaar is een kleine aanpassing in het schema nodig, die gemakkelijk te realiseren is. In plaats van de gebruikelijke spanningsdeler voor het vastleggen van de uitgangsstroom maken we gebruik van een seriële weerstand om de stroom te meten. De spanningsval over deze weerstand is een maat voor de geleverde stroom. Een vereenvoudigd

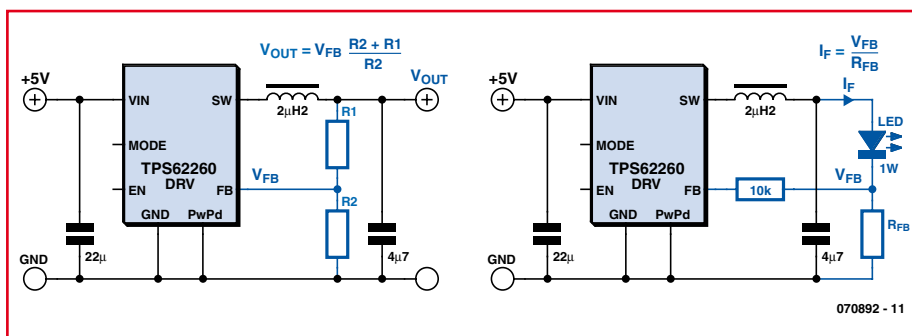
schema is te zien in **figuur 1**.

LED's dimmen

In principe zijn er twee manieren om LED's te dimmen. De eenvoudigste manier is analoog: Als er een kleinere stroom door de LED loopt, zal deze minder helder branden. Maar een gewone analoge regeling heeft twee belangrijke nadelen: Ten eerste is de helderheid van de LED niet proportioneel met de stroomsterkte en ten tweede verandert de golflengte en dus de kleur van het licht bij afname van de stroom (in vergelijking met de gespecificeerde

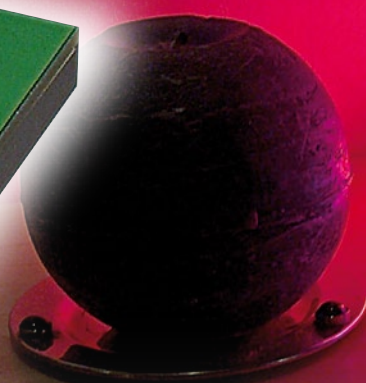
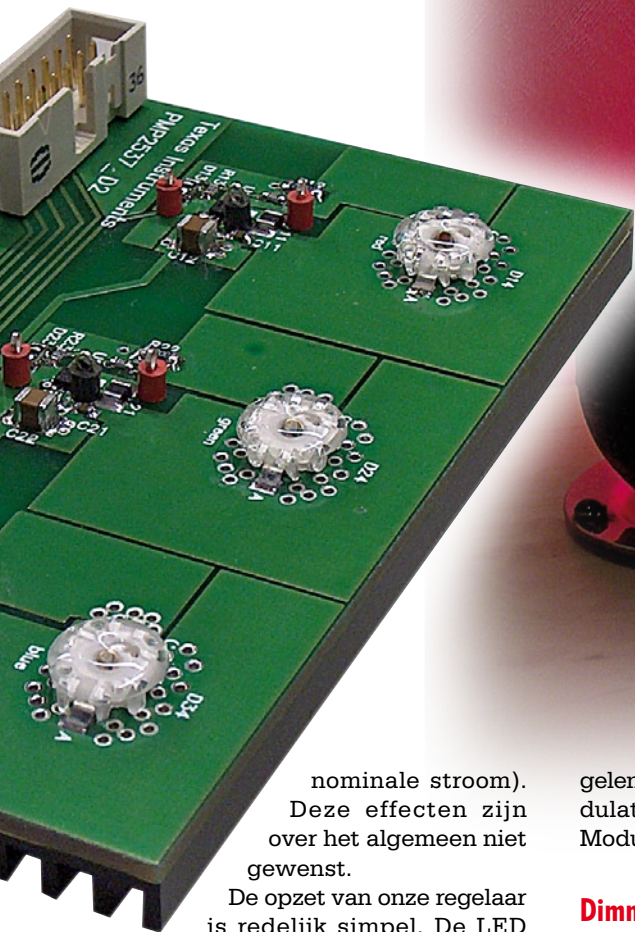
Pas op voor felle LED's!

Kijk nooit rechtstreeks in de LED! Het felle licht van deze LED's is niet alleen onprettig om in te kijken, het kan ook schade aan het netvlies aanrichten. We raden dan ook aan deze LED's alleen voor indirecte verlichting te gebruiken, door ze op een witte muur te richten.



Figuur 1. Een schakelende regelaar geconfigureerd als spannings- of stroombron.

hting



nominale stroom). Deze effecten zijn over het algemeen niet gewenst.

De opzet van onze regelaar is redelijk simpel. De LED wordt aangestuurd met een constante stroom gelijk aan de door de fabrikant gespecificeerde nominale stroom. Er is ook voorzien in een regelbare duty-cycle van de stroom. Daardoor kan de LED gemiddeld een kleinere stroom voeren dan de nominale stroom. Dat leidt tot een geringere lichtsterkte. Zo kan door middel van de duty-cycle de helderheid van de LED geregeld worden. Deze manier van re-

gelen staat bekend als plusbreedtemodulatie (Engels: PWM = Pulse Width Modulation).

Dimmen met PWM

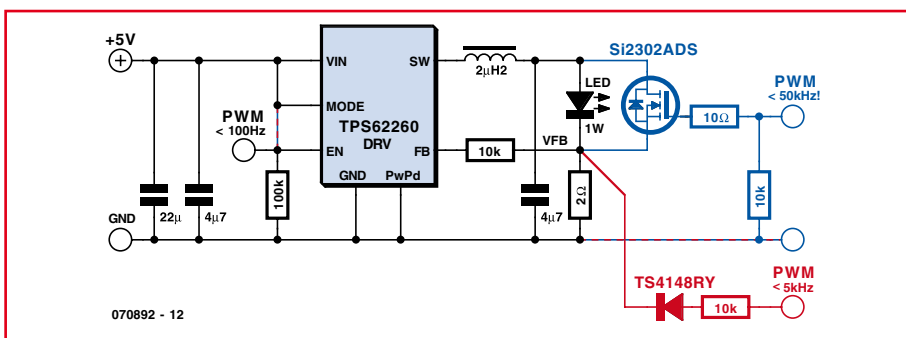
We zullen nu enkele methoden voor de implementatie van de PWM-techniek beschrijven aan de hand van de schakelende regelaar TPS62260. De TPS62260 is een synchrone step-down converter met geïntegreerde schakelaars en een klokfrequentie van typisch 2,25 MHz.

Het zwart getekende deel in **figuur 2** zorgt ervoor dat de regelaar via zijn enable-pen EN wordt in- en uitge-

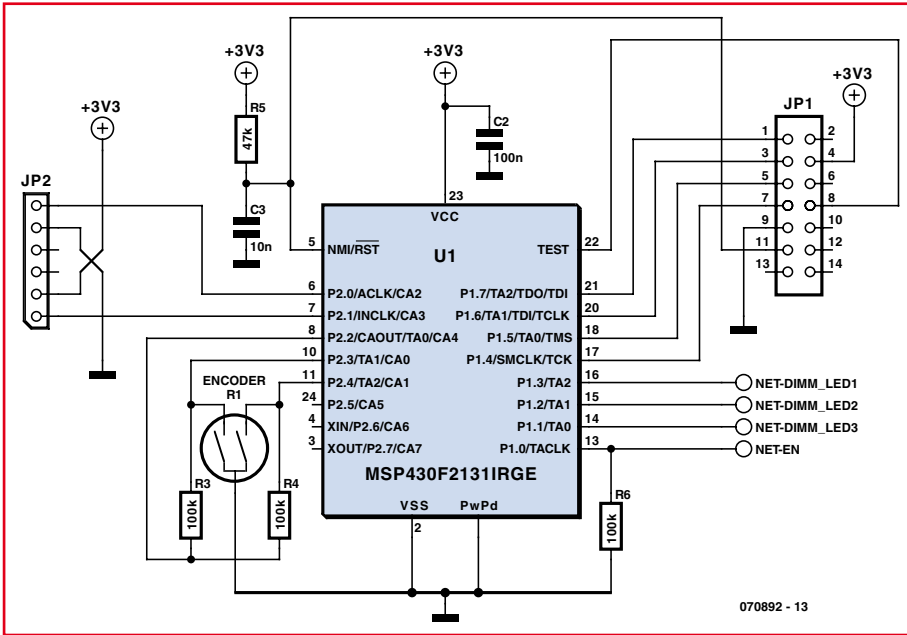
schakeld in het ritme van een PWM-signaal. Op die manier kan onder laboratoriumomstandigheden een dimfrequentie tot 100 Hz gehaald worden. Het voordeel van deze aanpak is dat er voor de dimfunctie weinig of geen extra onderdelen nodig zijn. Bovendien is dit de opbouw met het gunstigste rendement, doordat de regelaar tijdens de uitschakeltijd vrijwel geen stroom gebruikt. Een nadeel is dat de LED bij het inschakelen via de enable-pen niet meteen oplicht. Dat komt doordat de regelaar is voorzien van een soft-start bij het inschakelen.

De uitgangsstroom neemt na de start dus lineair toe, totdat de nominale stroom door de LED is bereikt. Dat langzaam toenemen van de stroom kan in veel toepassingen voor problemen zorgen, doordat met het veranderen van de stroom van minimale naar nominale waarde ook de golflengte van het uitgestraalde licht verandert. Dat kan problemen geven bij het aansturen van een LED in een DLP-projector of in de achtergrondverlichting van een LCD-scherm. In de hier voor demonstratiedoeleinden opgebouwde schakeling is het effect echter niet zichtbaar.

In de tweede variant (rood getekend



Figuur 2. Drie mogelijkheden om de dimfunctie te implementeren.



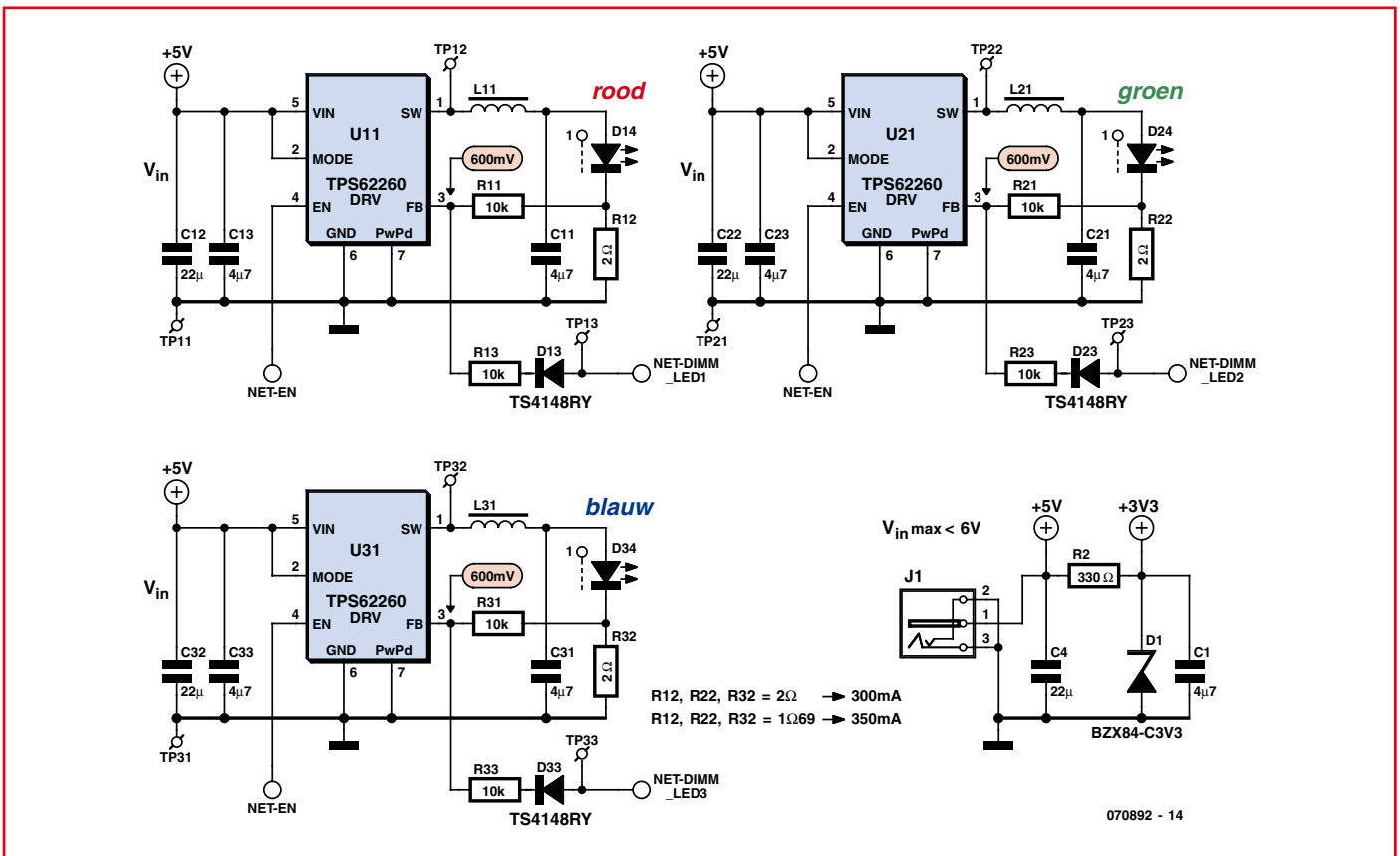
Figuur 3. Schema van het besturingsgedeelte met MSP430-microcontroller en JTAG-aansluiting (JP1), eZ430-aansluiting (JP2) en incrementele encoder.

in figuur 2) wordt het PWM-signaal via een diode ontkoppeld toegevoerd aan het terugkoppelcircuit van de TPS26620. Bij deze implementatie kan door het aanleggen van een positieve

spanning van 600 mV of groter het terugkoppelcircuit overstuurd worden, waardoor de aangesloten LED dooft. Deze oplossing maakt geen gebruik van de enable-ingang. Daardoor speelt

ook de inschakelvertraging van de regelaar geen rol en kan de LED zeer snel in- en uitgeschakeld worden. Van de golflengteverandering bij een langzame toename van de stroom in de eerder beschreven oplossing is in dit geval vrijwel geen sprake. Daar komt nog bij dat de dimfrequentie nu veel groter gekozen kan worden. Onder laboratoriumomstandigheden werd 5 kHz gehaald.

De derde mogelijkheid is in figuur 2 blauw weergegeven. Hier wordt het PWM-signaal toegevoerd aan een MOSFET parallel aan de LED is geschakeld. Deze MOSFET sluit de LED kort en maakt daarmee nog sneller in- en uitschakelen mogelijk. De regelaar hoeft nu alleen een constante stroom te verzorgen, die ofwel door de LED, ofwel door de MOSFET loopt. Nadelen van deze oplossing zijn de extra kosten voor de MOSFET en de vermindering van het rendement, doordat de dissipatie in de 2 Ω-weerstand voor de stroommeting (180 mW) nu ononderbroken verstoekt wordt. Het voordeel is de hoge schakelsnelheid. Onder laboratoriumomstandigheden werd met deze oplossing een dimfrequentie van 50 kHz gehaald!



Figuur 4. Gedeelte van het schema met de drie als stroombron geschakelde regelaars en de discreet opgebouwde 3,3 V spanningsstabilisator.

Geschiedenis van de LED

De geschiedenis van lichtgevende dioden (LED = Light Emitting Diode) begon in 1962 bij General Electric (GE). Daar werd voor het eerst een rode LED in serie geproduceerd en toegepast. De klanten moesten in die tijd nog tevreden zijn met een heel beperkte lichtopbrengst. De LED's van toen hadden een optisch rendement van 0,1 lm/W, wat neerkomt op 0,1%. Deze LED's werden geproduceerd op basis van een kristal bestaande uit galliumarsenide en galliumfosfiet. Sindsdien is er op de LED-markt veel gebeurd. Veel andere fabrikanten zijn begonnen de LED-techniek verder te ontwikkelen. Daardoor is bij een gelijkblijvend stroomverbruik de lichtopbrengst steeds verder toegenomen.

Om LED's voor verlichtingsdoeleinden te kunnen gebruiken, moest niet alleen het rendement, maar ook de elektrische en thermische belastbaarheid vergroot worden. Tegelijk moesten de productiekosten omlaag om een breed toepassingsgebied open te leggen. Daar wordt dan ook al ruim 40 jaar constant onderzoek en ontwikkeling voor

gedaan.

Vandaag de dag zijn er zeer felle LED's verkrijgbaar, bijvoorbeeld de 'Golden Dragon' van Osram Opto Semiconductors (vroeger Infineon), de 'Rebel LED' van Lumileds (Philips Semiconductors) en de 'X-Lamp' van Cree. Deze leveren voor een redelijke prijs een flinke lichtopbrengst. Natuurlijk zijn er nog meer fabrikanten van high-brightness-LED's, maar die hebben we wegens tijdsdruk niet in het onderzoek voor dit project kunnen betrekken.

De lichtopbrengst van moderne LED's is toegenomen tot 20 lm/W (soms zelfs tot 40 lm/W). Dat komt neer op een rendement van 5% tot 10%. Dat is een stuk beter dan het rendement van een gewone gloeilamp, die niet verder komt dan ca. 10 lm/W, dus een rendement van 2%. Zeer felle LED's presteren al beter dan halogeenlampen (ca. 25 lm/W) en binnenkort worden waarschijnlijk ook de spaarlampen (ca. 60 lm/W) overtroffen.

Praktijk

Het hart van de schakeling (figuur 3 en figuur 4) is een microcontroller van het type MSP430F2131. Deze is geprogrammeerd als drievoudige PWM-generator en leest tevens een incrementale encoder (R1) uit. De incrementale encoder wordt gebruikt om uit een tabel met voorgeprogrammeerde RGB-waarden de aanstuurverhoudingen van de drie LED's te kiezen. Zo worden

de waarden voor de drie PWM-signalen op de uitgangen TA0, TA1 en TA2 bepaald. Deze worden met een klokfrequentie van ca. 122 Hz naar buiten gestuurd. Deze frequentie is hoog genoeg om te voorkomen dat de LED's lijken te flikkeren. Het menselijke oog is te traag om deze frequentie te volgen en dus zien we alleen de gemiddelde lichtsterkte.

Bij deze praktische opbouw is gekozen

voor de in figuur 2 rood gekleurde oplossing, omdat die een goed compromis tussen het aantal onderdelen en het rendement biedt. Elke LED (rood/D14, groen/D24 en blauw/D34) wordt via een aparte DC/DC-converter met een TPS62260 aangestuurd met een constante stroom. De stroom door de LED wordt met behulp van de 2-Ω-weerstand vastgelegd op 300 mA. Als een grotere stroom (tot 1 A) gewenst

Klokgenerator

MSP430-microcontrollers hebben verschillende geïntegreerde klokgeneratoren. In de software kan gekozen worden tussen een kristaloscillator en een volledig geïntegreerde RC-oscillator. Om op de kosten te besparen is bij dit project gekozen om zonder externe componenten te werken en de klokfrequentie te laten genereren door de interne gekalibreerde RC-oscillator. Het kalibreren betekent hier dat de kalibratie-

parameters vanuit het programma in de desbetreffende besturingsregisters geschreven worden. Met deze kalibratieparameters is een nauwkeurigheid van 2,5% in het temperatuurgebied van 0 tot 85 °C te realiseren. De frequentie van de RC-oscillator ligt in het gebied van 7,8 MHz tot 8,2 MHz. Die frequentie wordt gebruikt voor het besturen van de CPU-klok en voor de teller van de Timer_A-module.

Implementatie van de drievoudige PWM

De Timer_A-module van de MSP430 bestaat uit een teller-blok en verschillende capture&compare-blokken. De frequentie van het gegenereerde PWM-signaal wordt door de overflow van de teller bepaald. Omdat het een 16-bits teller is, bedraagt de PWM-frequentie:

$$f_{PWM} = \frac{f_{input}}{2^{16}} = \frac{8 \text{ MHz}}{65536} = 122,07 \text{ Hz}$$

f_{PWM} : PWM signaalfrequentie

f_{input} : frequentie Timer_A – ingangsklok

Als we die berekening herhalen voor de bovengenoemde minimale en maximale klokfrequentie, vinden we de minimale en maximale frequentie van het PWM-signaal:

$$119 \text{ Hz} < f_{PWM} < 125 \text{ Hz}$$

De PWM-signalen worden opgewekt met behulp van de output-units van de capture&compare-blokken. Bij de MSP430F2131 heeft de Timer_A-module in totaal drie capture&compare-blokken en dus ook drie output-units. Elk capture&compare-blok bevat een digitale comparator die de tellerstand vergelijkt met een instelbare waarde (respectievelijk TACCR0, TACCR1 en TACCR3). Als die waarde gelijk is aan de tellerstand, wordt de output-unit getriggerd, waardoor de bijbehorende PWM-uitgang 'hoog' gemaakt wordt. Het terugstellen van de output-units wordt vanuit de software gedaan: Als de 16-bits teller overloopt, wordt een interrupt gegenereerd. In de interrupt-routine worden de drie PWM-uitgangen terug op '0' gezet.

Omdat het resetten van de uitgangen door de software geregeld wordt, zijn er grenzen aan de bereikbare inschakelverhoudingen. Het uitvoeren van de Timer_A-interrupt-routine kost ongeveer 100 CPU-cycli. Daarom mogen de getallen in de kleurentabellen alleen waarden van 100 tot 65535 hebben.

Incrementele encoders

Voor het handmatig instellen van de PWM-inschakelverhoudingen wordt gebruik gemaakt van een incrementele encoder (draai-impulsgever). Dit is een onderdeel dat aan de buitenkant op een potentiometer lijkt. Binnenin zit echter geen weerstandsbaan met een sleepcontact, maar twee schakelcontacten. Als aan de as gedraaid wordt, schakelen deze contacten in de juiste volgorde om een 2-bits Gray-code uit te geven.

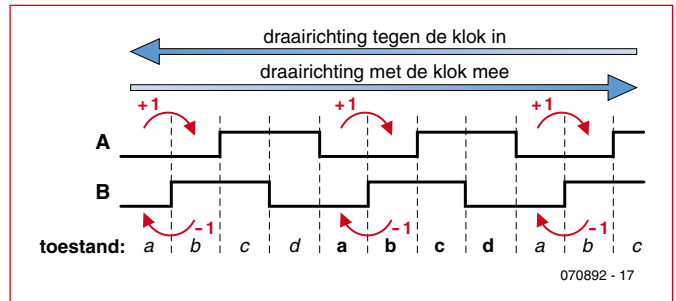
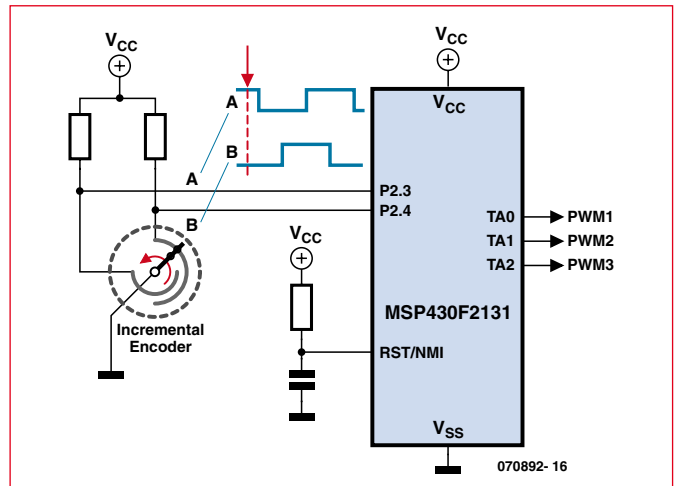
De opbouw van een incrementele encoder is eenvoudig: binnenin zijn twee contactbanen aangebracht, elk met een eigen sleepcontact. Op beide contactringen is plaatselijk isolatiemateriaal aangebracht, zodat bij het ronddraaien een Gray-code op beide uitgangspennen ontstaat.

In de bovenste afbeelding is te zien hoe de encoder op de microcontroller wordt aangesloten. De onderste afbeelding laat het impulsdiagram zien dat ontstaat bij het draaien aan de as.

Met behulp van de signalen A en B kan het draaien aan de as van de encoder gedetecteerd worden. Ook de draairichting kan uit de signalen worden afgeleid. In het impulsdiagram zien we de vier toestanden a, b, c en d steeds terugkeren. De microcontroller reageert op de volgorde waarin die toestanden gedetecteerd worden. Als bijvoorbeeld een overgang van toestand a naar toestand b wordt gedetecteerd, wordt de kleurentabel-pointer LEDptr geïncrementeerd. Bij een overgang van b naar a wordt de pointer juist gedecrementeerd.

Door contactdender kan de output van de encoder heen en weer gaan tussen de toestanden a en b, wat leidt tot herhaald decrementeren en incrementeren van de pointer. Daardoor zou het licht van de LED's op een storende manier kunnen gaan flikkeren. Om dat te voorkomen en ook om het oplossend vermogen van de encoder te verminderen, wordt bij het uitlezen van de kleurentabel de waarde van de pointer door vier gedeeld.

Tenslotte nog een aanwijzing voor het aansluiten van de incrementele encoder: In het schema in figuur 3 zijn de pullup-weerstanden van de encoder niet met V_{CC} verbonden, maar met uitgang P2.2 (pen



8) van de microcontroller. Dat is geen fout: Pen P2.2 wordt in de software geconfigureerd als output en met een hoog niveau (+3,3 V) aangestuurd. Natuurlijk is het ook mogelijk om de weerstanden wel met V_{CC} te verbinden. Pen P2.2 komt dan vrij om te gebruiken voor besturingsdoeleinden.

Onderdelenlijst

Weerstanden:

R2 = 330 Ω
 R3,R4,R6 = 100 k
 R5 = 47 k
 R11,R13,R21,R23,R31,R33 = 10 k
 R12,R22,R32 = 2 Ω (SMD 1206)

Condensatoren:

C1,C11,C13,C21,C23,C31,C33 = 4 μ 7/
 6,3 V, X5R (SMD 0603)
 C2 = 100 n (SMD 0603)
 C3 = 10 n (SMD 0603)
 C4,C12,C22,C32 = 22 μ (SMD 1210)

Halfgeleiders:

D1 = BZX84-C3V3 (SMD SOT23)
 D13,D23,D33 = TS4148 RY (SMD 0805)

D14 = 1 W LED Golden Dragon rood (Osram)*
 D23 = 1 W LED Golden Dragon groen (Osram)*
 D33 = 1 W LED Golden Dragon blauw (Osram)*
 U1 = MSP430F2131RGB (TI)
 U11,U21,U31 = TPS62260DRV (SMD SON-6) (TI)

Spoelen:

L11,L21,L31 = 2,2 μ H, 1,1 A, 110 m Ω , SMD 2 mm x 2,5 mm (MIPSA2520D2R2 van FDK)

Diversen:

R1 = incrementele encoder (Bourns 3315-001)
 JP1 = 14-polige boxheader, 2x7 contacten

JP2 = 6-polige connector (Samtec: TMS-106-XX-X-S-RA)
 TP11...TP13,TP21...TP23,TP31...TP33 = solderpen, bijv. Keystone 5001
 Koellichaam Fischer SK 477 100
 Thermisch geleidend kleefband WLFT 404 R25
 Print 070892-2**

*LED-Alternatieven:

Lumiled REBEL LED met print 070892-1**
 CREE XLAMP LED met print 070892-3**
 **Layout-download en bestelmogelijkheid op www.elektor.nl

Kleurentabel

De kleurentabel bevindt zich in de MSP430 in een array (LookUpTable). Deze bevat waarden die gebruikt worden om de drie PWM-signalen voor de rode, groene en blauwe LED te besturen. Bij het draaien aan de encoder wordt steeds een locatie in het array gekozen waar de waarden voor een bepaalde kleur te vinden zijn. Er zijn nu 252 verschillende waarden in het array beschikbaar, maar dat kan naar wens aangepast worden. Bij de decimale waarde 100 zal een LED uit zijn en bij een waarde van 65535 wordt een LED maximaal uitgestuurd (een

puls/pauze-verhouding van 100%).

Bij het inschakelen van de 5-V-voedingsspanning komt de microcontroller eerst in de demonstratiemodus. In die toestand worden in een programmalus alle waarden in de tabel één voor één uitgelezen en gebruikt om de LED's aan te sturen, zodat alle mogelijke kleuren doorlopen worden. Zodra aan de encoder gedraaid wordt, wordt de demonstratiemodus verlaten en komt het programma in de tweede lus terecht. De kleur kan dan met de encoder naar wens ingesteld worden en verandert niet meer spontaan.

is, is dat ook mogelijk. Dan moet in plaats van de TPS62260 gekozen worden voor zijn 'grote broer', de TPS62290. Deze wordt geleverd in eenzelfde behuizing als de TPS62260.

De PWM-signalen worden ontkoppeld via dioden (D13, D23 en D33). Als de PWM-signalen hoog zijn, blokkeren ze het terugkoppelcircuit van de bijbehorende regelaar door op de ingang een spanning hoger dan de drempelspanning van 600 mV aan te bieden. Als de spanning op de ingang hoger is dan 600 mV, schakelt de regelaar de LED uit. Als het PWM-signaal weer laag wordt, kan de regelaar op de normale manier zijn werk doen en schakelt hij de LED weer in.

De hele schakeling wordt gevoed uit een gestabiliseerde netstekervoeding van 5 V/1 A. Een eenvoudige spanningstabilisator, bestaande uit een weerstand en een zenerdiode, beperkt de voedingsspanning voor de MSP430-microcontroller tot 3,3 V.

De print voor deze schakeling is te zien in **figuur 5**. Er zijn drie versies van deze print, die alleen verschillen in de plaats van de aansluitingen voor de LED's. Zo kan rekening gehouden worden met de verschillende LED-behuizingen die verkrijgbaar zijn. De mogelijkheden zijn in de onderdelenlijst aangegeven.

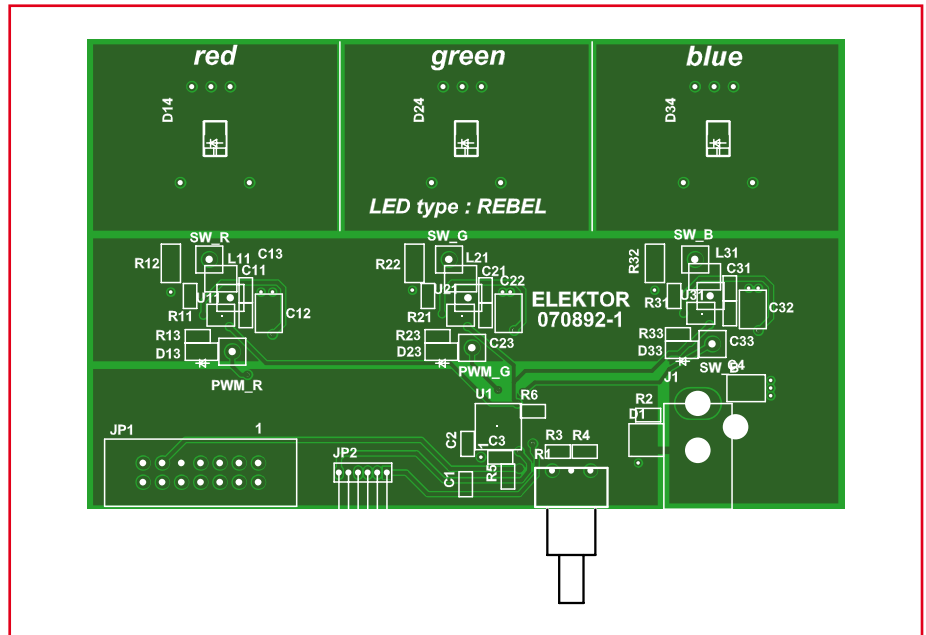
Infrarood beelden

Bij LED's voor grote vermogens is de bedrijfstemperatuur erg belangrijk. Die is van invloed op de levensduur, de spanning in doorlaatrichting, de golf- lengte van het uitgestraalde licht en de lichtsterkte. Hoe hoger de bedrijfstemperatuur, hoe korter de levensverwachting. Daarom werd de experimenteer- print zo gedimensioneerd dat er ruimte is om aan de achterzijde van de print met dubbelzijdig warmtegeleidend plakband een SK477100-koellichaam van Fischer te monteren. De temperatuur bij volledige uitsturing van de drie LED's wordt daarmee teruggebracht van 61 °C naar 54 °C. Bovendien zorgt het koellichaam voor een gunstiger temperatuurverdeling op de print.

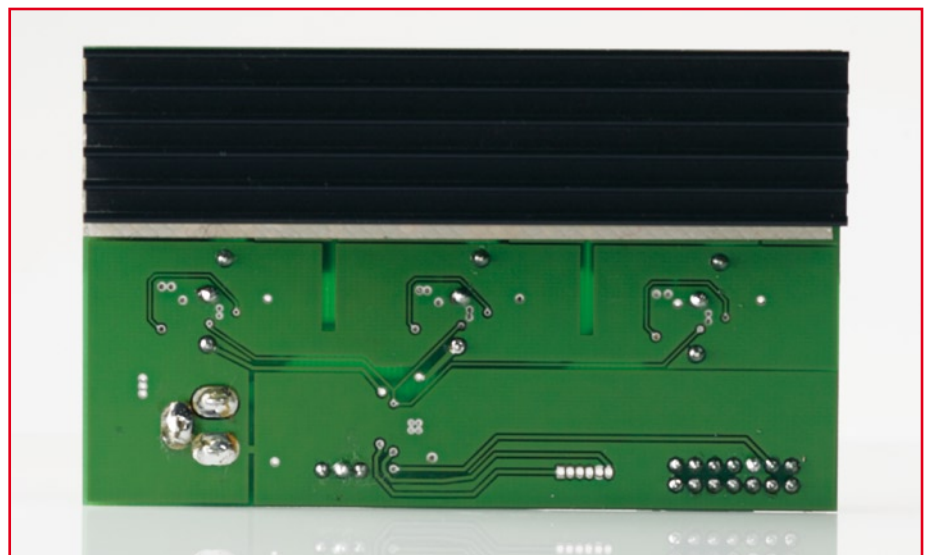
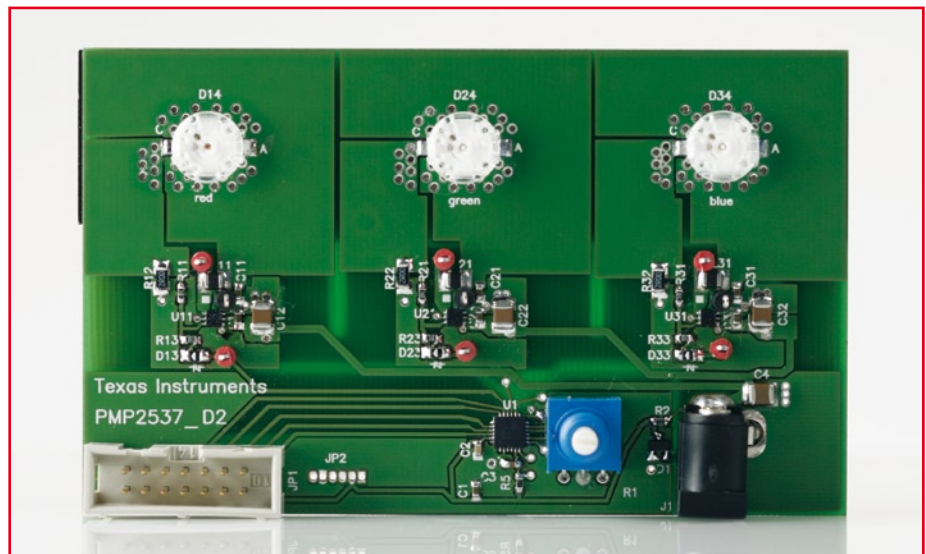
Als voorbeeld is een infrarood beeld getoond van de met CREE-LED's opgebouwde print. In **figuur 6** is links de warmteverdeling zonder koellichaam weergegeven en rechts met koellichaam.

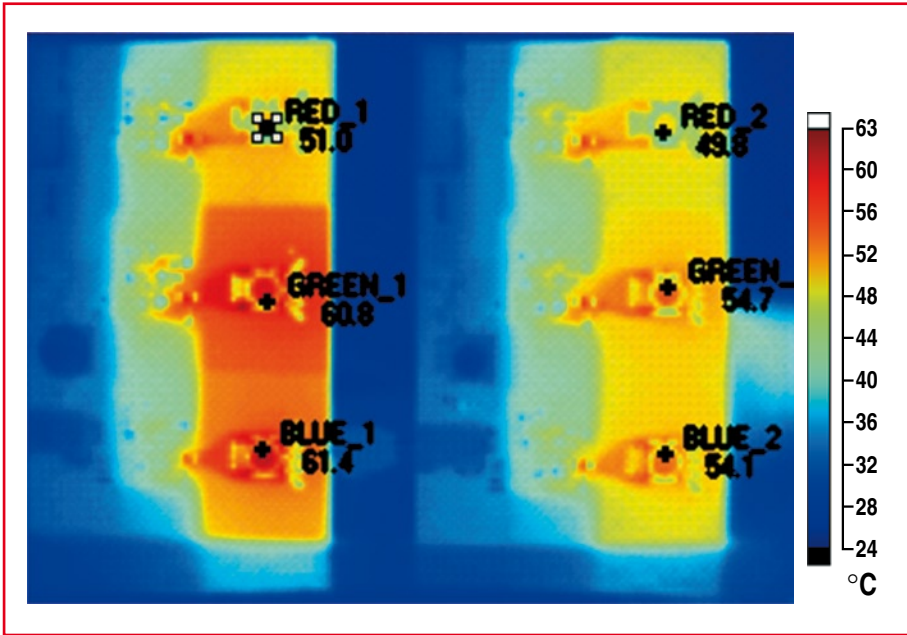
Software

De broncode voor de MSP430 in deze toepassing kan gratis worden ge-



Figuur 5. De print voor het bouwen van het schema in figuur 3 en figuur 4. Er kunnen drie verschillende versies gedownload worden, bedoeld voor drie verschillende LED-behuizingen (zie onderdelenlijst).





Figuur 6. Infrarood opnamen van de print bestukt met CREE-LED's. Links zonder koeling en rechts met een opgeplakt koellichaam.

download van de Elektor-website. Aan het begin wordt het bestand 'MSP430F21x2.H'-ge-include. Daarin worden de namen van de besturingsregisters en -bits conform de specificaties van de

MSP430 gedefinieerd. Daarna wordt de lengte van de tabel met PWM-waarden vastgelegd. Er moet op gelet worden dat *LED_TabLength* een waarde krijgt gelijk aan viermaal de tabellengte.

Daarna volgt de tabel zelf. Voor elke LED is een apart array gedefinieerd. De pointer *LEDptr* wordt gebruikt om de juiste PWM-waarde voor elk van de drie LED's uit een eigen tabel te lezen. (Zie ook het kader 'Kleurentabel'.)

Aan het begin van het hoofdprogramma *main()* wordt de microcontroller geïntialiseerd. Hier wordt de watchdog-timer geactiveerd, de kalibratiewaarden voor de instelling van de klokfrequentie van het systeem wordt geladen, de Timer_A-module wordt geconfigureerd en de gemultiplexte digitale in- en uitgangen worden geïntialiseerd. De hoofdlus van het programma bestaat uit twee while-statements. Het eerste while-statement vormt een lus waarin de kleurentabel-pointer *LEDptr* geïncrmenteerd wordt. Dat leidt tot een constante verandering van de aanstuurverhoudingen en daarmee ook van de kleur van het uitgestraalde licht. Het aanpassen van de aanstuurverhoudingen in de tijd wordt gerealiseerd met behulp van twee geneste for-lussen. Het eerste while-statement wordt uitgevoerd totdat de incrementele encoder een verandering van de stand meldt. Dan gaat het programma verder met de uitvoering van het tweede while-statement, dat een oneindige lus vormt. In deze lus wordt de kleurentabel-pointer bestuurd door de stand van de incrementele encoder. Wanneer aan de encoder gedraaid wordt, wordt de pointer geïncrmenteerd of gedecrmenteerd, afhankelijk van de draairichting.

Vooruitblik

De print biedt de mogelijkheid voor verschillende uitbreidingen. Zo is er bijvoorbeeld ruimte voor een connector voor de draadloze module eZ430-RF2500 van Texas Instruments. De eZ430-RF2500-kit wordt geleverd met twee draadloze modules. Eén van die modules kan voorzien worden van een incrementele encoder (via de testpennen van de microcontroller op de draadloze module). Zo kan de LED-print draadloos bestuurd worden. De hier gepresenteerde printplaat is vooral bedoeld als experimenteer- en evaluatiekaart. Aangezien de broncode voor de MSP430 beschikbaar is, kan men zelf allerlei andere toepassingen realiseren. Ook de hier gebruikte schakelende regelaars kunnen in andere schakelingen gebruikt worden. Volop mogelijkheden tot experimenteren dus!

(070892)

De schrijvers

Dipl. Ing. (FH) Dirk Gehrke

Dirk Gehrke is geboren in Münster (Westf.) en studeerde communicatietechniek aan de FH Dortmund. Hij begon in 1998 bij Texas Instruments en werkte als FAE (Field Application Engineer) in Engeland, Frankrijk en de USA. Vanaf 2000 werkte hij als FAE aan Power Management Producten in Freising. Sinds januari 2006 is hij als EMEA (Europe, Middle East and Africa) Business Development Manager verantwoordelijk voor analoge producten. Contact: www.ti.com/europe/csc



Dipl. Ing. (FH) Christian Hernitscheck

Christian Hernitscheck studeerde aan de FH Landshut elektrotechniek in de richting microelektronica. Sinds 1998 werkt hij bij Texas Instruments als FAE in heel Europa, gespecialiseerd in de MSP430-microcontroller-productlijn. Contact: www.ti.com/europe/csc

