

LED it beam

DLP-projector met power-LED's

Jeroen Domburg

Hoewel een avondje naar de bioscoop gaan leuk is, zitten er ook wat kleine vervelende dingetjes aan. Je kunt bijvoorbeeld de film niet even op pauze zetten omdat je naar het toilet moet, die klapstoeltjes zitten niet in elke bioscoop even comfortabel en als je pech hebt zit je in een zaal met joelende kinderen die zich niet altijd even stil kunnen houden. Dan biedt een projector thuis uitkomst: lekker groot scherm, pauzeren wanneer je wilt en het kijkerspubliek kies je zelf. Alleen slijt die dure projectorlamp veel te snel...

Het heeft zeker z'n voordelen om thuis een filmpje te kijken. Biertje erbij, wat vrienden op de bank en je hebt een hoop comfort en gezelligheid. Blijft er een ding over: waar je in de bioscoop naar een (groter dan) levensgroot projecteerd beeld zit te kijken, hebben de meeste mensen thuis slechts een (relatief kleine) tv. En hoewel de grote LCD-tv's en plasmaschermen steeds beter betaalbaar worden, past een lekker groot beeld met die technieken bij de meeste mensen toch niet binnen het budget.

Een apparaat dat wel een groot beeld in de huiskamer kan leveren, is een beamer. Richt hem op een witte muur of projectiedoek, sluit de laptop of DVD-speler er op aan en voilà, een metersgroot beeld in hoge kwaliteit.

Kosten

Beamers zijn in de aanschaf niet zo heel duur. Voor een paar honderd

Euro is er tweedehands wel eentje op de kop te tikken en nieuw kosten ze ook niet meer de wereld. Maar, en dat vergeet men nog wel eens, in het onderhoud zijn ze best prijzig. De lamp die erin zit, heeft een levensduur van slechts een paar duizend uur en kan wel zo'n € 400 kosten. Dat is dus best een duur geintje als er vaak een filmpje gekeken wordt. Het maakt ideeën als even tussendoor de beamer aanzetten om het journaal te kijken of een computerspel op groot beeld te spelen toch wel wat kostbaar.

Een recente ontwikkeling is het gebruik van LED's in plaats van een lamp in sommige nieuwe beamers. Deze gaan veel langer mee en hebben als bijkomend voordeel dat ze een stuk koeler blijven en dus minder luidruchtige ventilatoren voor de lampkoeling nodig hebben.

Het nadeel van deze beamers is echter dat ze nog niet zo heel veel geproduceerd worden en erg duur in aanschaf

zijn. Voor minder dan duizend euro zijn ze nog niet te vinden.

Er zijn in de loop der tijd veel verbeteringen aan LED's aangebracht. Ze zijn ook langzamerhand doorgedrongen bij de elektronicahobbyist. Sommige elektronicahandelaren en webwinkels bieden LED's aan die een gemiddelde gloeilamp laten verbleken. Zou het mogelijk zijn om zelf een oude beamer op de kop te tikken en de lamp te vervangen door een stel felle LED's? Zo hebben we alle voordelen te pakken: een beamer die stil is, niet veel kost en geen periodieke kosten voor het vervisselen van de lamp heeft.

Een beetje techniek

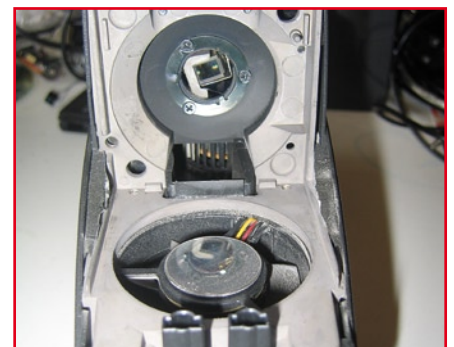
Voor dit project gaan we eerst de theorie bekijken. Hoe werkt de gemiddelde consumenten-DLP-beamer? Een DLP-beamer is opgebouwd rond een Digital Mirror Device (DMD), een chip met duizenden microscopisch kleine, elek-



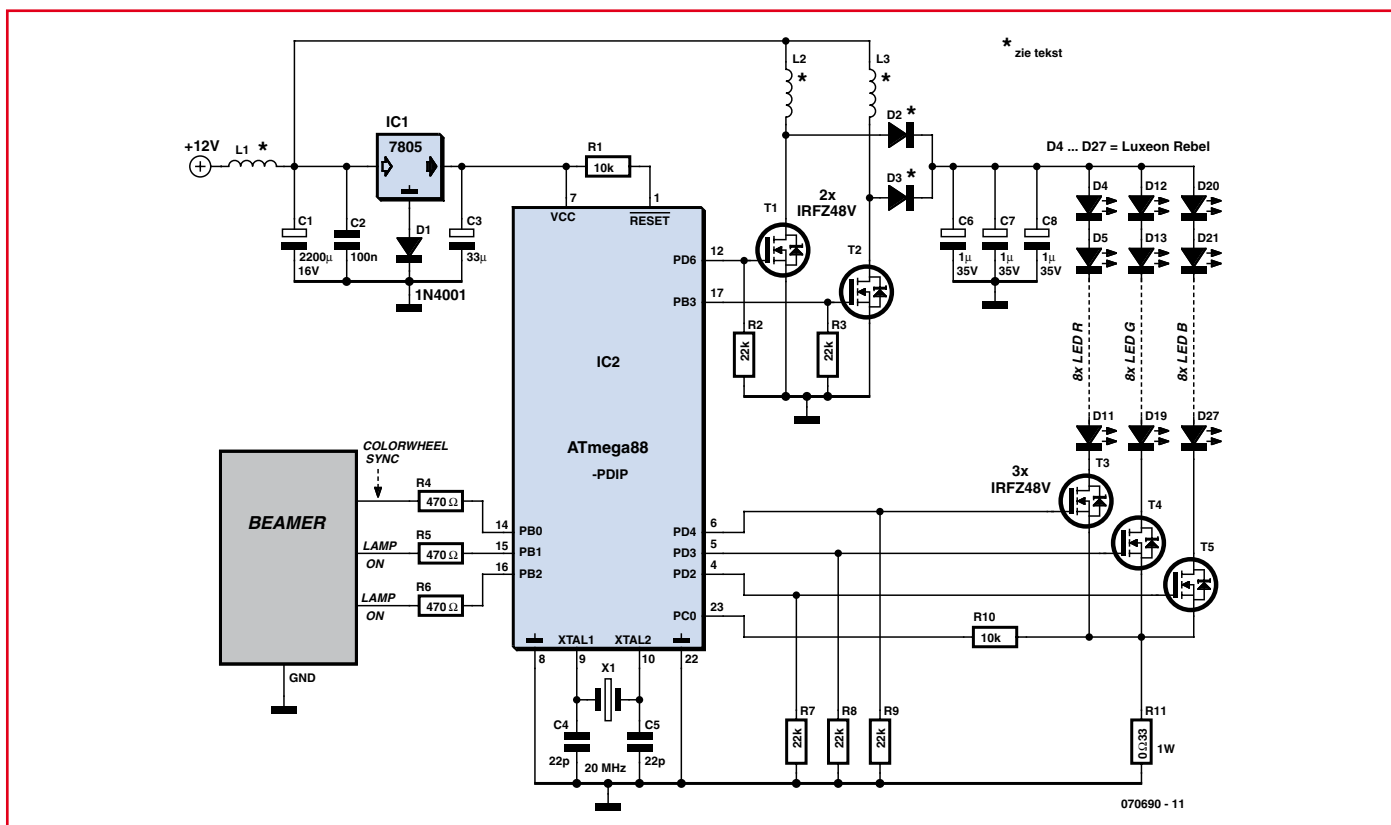
Dit is de beamer die we gaan aanpassen. Het is een redelijk compact model. Dit heeft jammer genoeg als nadeel dat er vrij weinig loze ruimte zal zijn om eigen schakelingen in weg te werken.



De gewraakte, veel te dure, lamp die om de haverklap vervangen moet worden.



Hier zit de lamp normaal. Onderaan is een van de drie fans die de lamp koelt te zien. Het grote ronde gat is de opening naar het kleurenwiel en de lichttunnel.



Figuur 1. Het schema is zoals wel vaker opgebouwd rond een μ C. Ook de boost-conversie wordt door deze controller geregeld.

trisch verdraaibare spiegeltjes op een oppervlak. Elk spiegeltje vormt één pixel. Door deze spiegeltjes te verdraaien, kan een erop geprojecteerde lichtbundel 'doorgelaten' of weggedraaid worden. Dit betekent wel, dat pixels alleen 'aan' of 'uit' gezet kunnen worden. De elektronica die het geheel bestuurt, kan echter toch voor tussentijdse helderheden zorgen door de spiegeltjes tienduizenden keren per seconde aan te sturen.

Met alleen een DMD hebben we natuurlijk nog geen beamer. Daar hebben we ook nog een stel andere componenten voor nodig. Normaal wordt

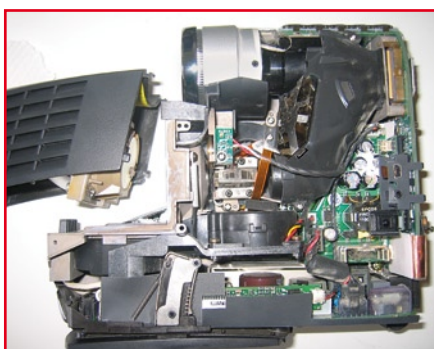
het voor de weergave noodzakelijke licht opgewekt door een (dure) gasontladinglamp. Het licht passeert allereerst een kleurenwiel. Dit is een 'wiel' met een aantal kleurenfilters, meestal rood, groen en blauw. De filters worden in hoog tempo voor de lichtbron gehouden. Per seconde draait het wiel vaak wel 100 maal rond.

Na het kleurenwiel komt er een lichttunnel, die bestaat uit vier tegen elkaar gelijmde spiegeltjes, zodat er een soort rechthoekige 'tunnel' van spiegeltjes ontstaat. Dit is om het licht te convergeren en te homogeniseren. Het licht gaat daarna door een lens heen,

die het gekleurde licht op de DMD focuseert.

De elektronica die de DMD bestuurt, houdt rekening met de stand van het kleurenwiel en past daarop de standen van de spiegeltjes aan. Het licht dat weerkaatst wordt, verlaat de beamer daarna via lenzen die zorgen voor de focusering op het projectieoppervlak. Deze techniek heeft als een nadeel: het zogenaamde 'regenboog-effect'. Dit effect is goed te zien door snel langs het beeld van een beamer te kijken. Aan de rand van het beeld zijn dan de primaire kleuren te zien.

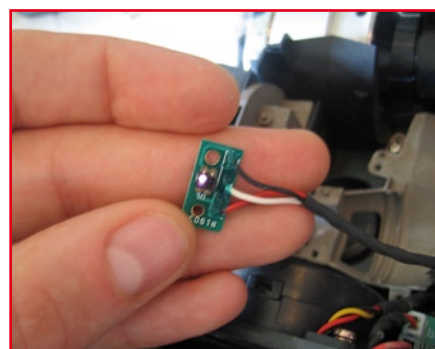
Nu is het natuurlijk goed mogelijk om



Het licht gaat dus van de lamp naar het kleurenwiel, door de lichttunnel naar de lenzen en spiegels in het zwarte gedeelte. De goudkleurige DMD-chip zit rechtsboven.



Het kleurenwiel. Zoals te zien is zitten er een rood, een groen, een blauw en voor de helderheid een wit segment op. Linksboven is het positie-detectieprintje te zien.



Het detectieprintje. De infrarood-LED en de fotodiode zijn uiterlijk niet van elkaar te onderscheiden. Het infrarode licht dat uit de LED komt, wordt door de camera opgepikt, zodat snel te zien is wie wie is.

de gasontladingslamp te vervangen door een stel witte LED's, maar er is een betere manier. Als we namelijk witte LED's zouden gebruiken, zou gemiddeld maar ongeveer een derde van het licht worden doorgelaten. Elk segment van het kleurenwiel laat namelijk slechts het licht van één van de primaire kleuren door. Dat is niet praktisch natuurlijk. LED's zijn al niet zo heel lichtsterk in vergelijking met een 150W-gasontladingslamp.

Gelukkig is hier wat op te verzinnen. We kunnen het kleurenwiel simuleren door gebruik te maken van rode, groene en blauwe LED's. Op deze manier kan het licht dat de DMD-elektronica verwacht direct door een LED gegenereerd worden. De redenering dat we nu drie keer zoveel LED's nodig zouden hebben om de juiste lichtintensiteit te krijgen, gaat niet op. Omdat de LED's slechts 1/3e van de tijd ingeschakeld zijn, kunnen we ze zonder problemen 3 keer zoveel stroom laten verwerken. Deze methode werkt overigens alléén bij DLP-beamers. Bij LCD-beamers gaat deze methode niet op, omdat deze geen kleurenwiel bezitten.

Al met al wordt een plan van aanpak duidelijk: beamer openmaken, lamp eruit halen, kleurenwiel eruit halen, LED's erin zetten, microcontrollertje programmeren met een klein kleurenwiel-emulatie-algoritme en we zijn klaar. De vraag is: is het echt zo simpel? Er is slechts één manier om hier achter te komen: de praktijktest.

Benodigheden

Om de beredeneerde oplossing uit te proberen, hebben we eerst een beamer nodig. Na wat zoekwerk hebben we op Internet een mooie DLP-beamer op de

kop weten te tikken: de iPaq MP3800 van Compaq, (nu opgegaan in HP). Deze beamer heeft als voordelen dat hij lekker klein is en een resolutie heeft van 1024x786 pixels, wat een haarscherp beeld oplevert. De criticasters vinden deze beamer echter te lawaaiig en te warm en ze zijn ook niet te spreken over de levensduur van de lamp, die in het slechtste geval slechts 500 uur is. Dat komt goed uit. Het ombouwen van deze beamer naar een versie die LED's als lichtbron gebruikt, lost juist deze problemen effectief op. Nu we toch op Internet aan het bestellen zijn, kunnen we meteen de rest van de spullen meenemen. De LED's die we bestellen, zijn de (rode, blauwe en groene) Luxeon Rebels. Deze SMD-LED's, die ongeveer evenveel oppervlakte innemen als een luciferkopje, mogen 700 mA hebben en genereren daarmee zo'n 100 lumen aan licht. Erg duur zijn ze ook niet. Voor nog geen honderd Euro hebben we 24 van deze krachtpatstertjes op ons bureau liggen; dat is in totaal 2400 lumen aan rauwe LED-power.

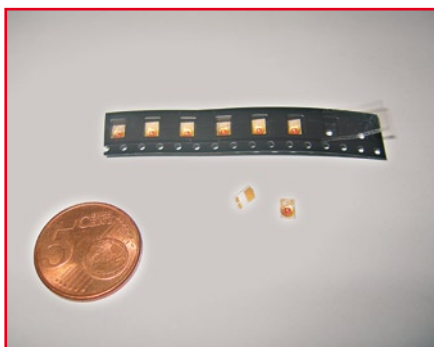
Omdat deze LED's zulke krachtpatsters zijn, zijn de verliezen ook iets groter dan bij vertrouwde 5 mm rode indicatie-LED. Sterker nog: als we willen dat de LED's niet al te snel minder fel worden, zullen we ze goed moeten koelen. Omdat we niet precies weten hoeveel warmte ze daadwerkelijk genereren en elke graad hoger een paar honderd uur verkorting van de levensduur betekent, kiezen we voor een oplossing die enigszins overkill zou kunnen zijn. Uit de computer-overklok-wereld halen we een heatsink-fan-peltier-combinatie die bedoeld is voor een Pentium 4-processor. Deze combinatie kan zijn oppervlak tot beneden het vriespunt koelen en tot zo'n 130 watt aan warmte af-

voeren. Dankzij massaproductie is zo'n combinatie nog niet eens zo heel erg duur. Meer dan 2 à 3 tientjes hoeft het niet te kosten en dan krijg je er meteen een controlepaneeltje met een mooi herbruikbaar(!) blauw LCD-tje bij. En omdat we toch bezig zijn met overklokproducten, kopen we er meteen een tweetal tubetjes 'thermal adhesive' bij. Dit is een soort twee componenten-lijm die erg goed is in het geleiden van warmte. Het is bedoeld om koelplaatjes vast te lijmen op onderdelen. Wij zetten er onze LED's mee vast op het koelblok.

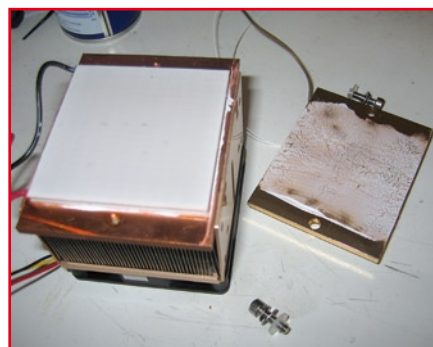
Het begin

Hoe gaan we van deze onderdelen iets werkends maken? Eerst maar eens kijken of we de duizenden Lumens van de LED's ook daadwerkelijk zichtbaar kunnen maken. Daarvoor zullen we de LED's op de koelplaat moeten monteren. Zonder koeling zouden ze verbranden. We stuiten daar meteen op een probleem: de LED's zijn gemaakt om als SMD-componenten gemonteerd te worden en hebben de aansluitingen aan de onderkant. Als we dit tegen het metaal van het koelblok aanschroeven, krijgen we natuurlijk kortsluiting.

De oplossing is gelukkig eenvoudig. Als we het metaal van het koellichaam eraf schroeven, kijken we direct op het Peltier-element. Dit is aan de buitenkant van een niet-geleidend keramisch materiaal gemaakt, wat dus niet voor kortsluiting zorgt. Dit betekent wel dat we niet meer bij de aansluitingen kunnen. Op de bovenkant van de LED's lopen echter ook twee 'spoortjes' waar we, na de siliconenbedekking eraf te krassen, prima op kunnen solderen. Nu het aansluiten. Het is natuurlijk mogelijk om alle LED's individueel



De Luxeon LED's zijn niet heel erg groot, zoals hier te zien is. Dat is op zich goed. Voor dit doel hebben we een intense maar kleine lichtbron nodig. Het maakt het solderen echter wel wat lastiger.



De koeling voor de LED's. De heatspreader is eraf gehaald, zodat we direct op het Peltier-element kijken. Hierop gaan we de LED's monteren.



De LED's zijn nu, netjes met thermisch geleidende lijm vastgezet op het Peltier-element.

met een weerstand aan de voeding te hangen, maar dan zouden we 24 weerstanden hebben die allemaal vermogen wegsleurpen en warmte genereren. Het is slimmer om van elke kleur de LED's in serie te schakelen. We hebben dan weliswaar een hogere spanning nodig, maar we hoeven de stroom slechts op één plek te begrenzen. De LED-strengen worden fysiek opgebouwd door dunne draden aan de bovenkant van de LED's te solderen.

Voor het testen worden alle strengen aangesloten op een labvoeding en voorzien van een weerstand voor de stroombegrenzing. Pas op met aanzetten, tweeduizend lumen is best fel!

'Reversed engineering'

Nu we de belichting op orde hebben, kunnen we de beamer zelf onder handen nemen. Als we de zijkant verwijderd hebben, zijn de onderdelen goed te zien: de uitneembare lamp, het kleurenwiel, de lichttunnel en de rest zijn prima te onderscheiden. Wat verder opvalt, is dat de lamp door maar liefst drie fans gekoeld wordt. Hoezo 'luidruchtig'?

Om te controleren of het idee werkt, zullen we het kleurenwiel moeten verwijderen en op de een of andere manier moeten emuleren. Het kleurenwiel uit deze beamer is nogal typisch opgebouwd. Het motortje dat het wiel rond laat draaien is een stappenmotor, maar de feedback van de positie van het wiel wordt optisch gedaan. Er zit een zwart vlakje op het wiel dat gedetecteerd wordt door een IR-LED en een fototransistor. Dat is erg handig! Als we het kleurenwiel weghalen, hoeven we alleen het signaal dat normaal van de fototransistor komt na te bootsen en aan de DMD-elektronica toe te voe-

ren. Een scoop wijst uit dat dit signaal 100 Hz is, dat betekent dat het kleurenwiel precies elke 10 ms een rondje maakt.

De kleurenwiel-emulatie is gemakkelijk in een microcontroller te programmeren. We hebben hiervoor gebruik gemaakt van de ATmega88. Een drietal MOSFET's om de strengen aan en uit te kunnen schakelen, maken het geheel compleet.

Aan het kleurenwiel is te zien dat er eerst $\frac{2}{7}$ blauw, dan $\frac{2}{7}$ rood, dan $\frac{2}{7}$ groen en als laatste $\frac{1}{7}$ wit weergegeven wordt. Een programma dat dit doet, is snel geschreven.

Om ruimte vrij te maken voor het koelblok met de LED's, moeten de ventilatoren weggehaald worden. Dat levert in eerste instantie nog een probleem op. Weigerende (of afwezige) fans betekenen in een niet aangepaste beamer kans op oververhitting en de beamer weigert dan ook te functioneren. De aanwezigheid van werkende fans is gelukkig erg eenvoudig na te maken. Alle fans hebben een geel draadje dat naar massa getrokken wordt als de fans ronddraaien. Deze draad hoeft alleen maar aan de kant van de beamerprint geaard te worden om de elektronica voor de gek te houden.

De beamer heeft nog een veiligheidsmaatregel. Als de logica die de gasontladinglamp aanstuurt niet binnen een paar seconden aangeeft dat alles in orde is, weigert de elektronica dienst. Dit signaal is gelukkig ook snel op te sporen. In deze beamer is de stuurprint van de lamp galvanisch gescheiden van de rest van de beamer met een tweetal optocouplers. Eén om aan te geven dat de lamp ingeschakeld mag worden en één om de lampstatus door te geven. Deze optocouplers kunnen we verwijderen (desolderen). De eerste vervangen we door een LED zodat we

kunnen zien of de logica de lamp aan wil zetten, de tweede vervangen we door een (normally-closed) drukknop zodat we zelf het 'alles ok'-signaal van de lamplogica kunnen simuleren.

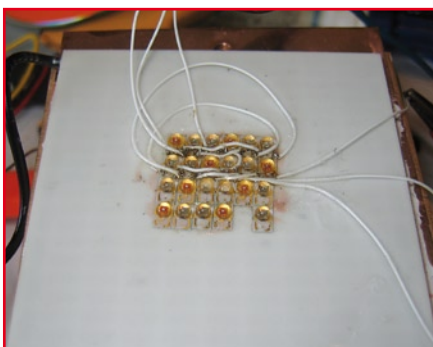
Dan is het enkel nog een kwestie van het geheel aansluiten om ons concept te beproeven. Koelblok met LED's in de beamer, de lichttunnel, die samen met de fans en het kleurenwiel eruit gekomen is, vervangen door een zelfgemaakte blikken lichttunnel, aansluiten, beamer aanzetten en... Woei, beeld!

Het kost een paar firmware-pogingen om de kleuren ook daadwerkelijk goed te krijgen, maar het beeld is er. Jammer genoeg niet zo helder als de oorspronkelijke lamp, maar dat was ook niet te verwachten. Nu de rest nog.

De voeding

De beamer is naast de 12V voor de ventilator en de 5V voor het Peltier-element ook aangesloten op een labvoeding die de stroom door de LED's verzorgt. Wil de opstelling de labtafel ooit verlaten, dan moet er natuurlijk een fatsoenlijke voeding komen. De beamer kan dan ook nog wat helderder worden. De labvoeding in de opstelling moet zo'n 60 watt leveren alleen al voor de LED's en dat haalt ons exemplaar in deze opstelling niet.

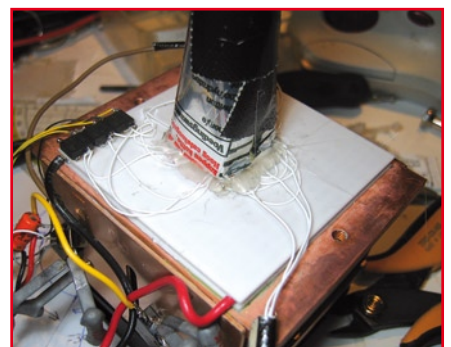
Om het geheel nog enigszins draagbaar te houden, is in het uiteindelijke schema (zie **figuur 1**) gekozen voor een stevige boost-converter, die de aangeboden 12V kan omzetten naar de benodigde 2,1A voor de LED's. Het is zelfs een dubbele boost-converter geworden. L2 en L3 worden om de beurt via T1 en T2 'opgeladen'. D2 en D3 laten de stroom door naar de condensatorbank, gevormd door C6-C8. De ATmega88 regelt de spanning over en de



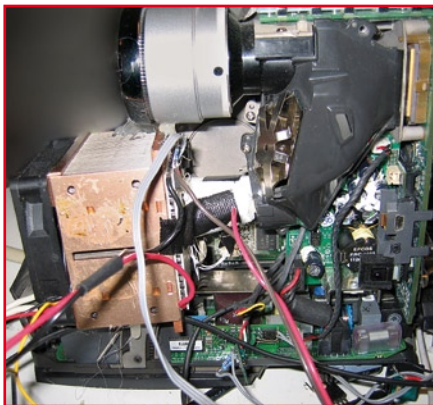
De eerste helft van de LED's is via dun kynar-draad met elkaar verbonden. Giet er daarna vooral geen secondenlijm overheen om het geheel wat steviger te maken: correcties worden praktisch onmogelijk!



Er is slechts de helft van de LED's aangesloten en nu al heeft de camera problemen met de hoeveelheid licht. Eerste test geslaagd!

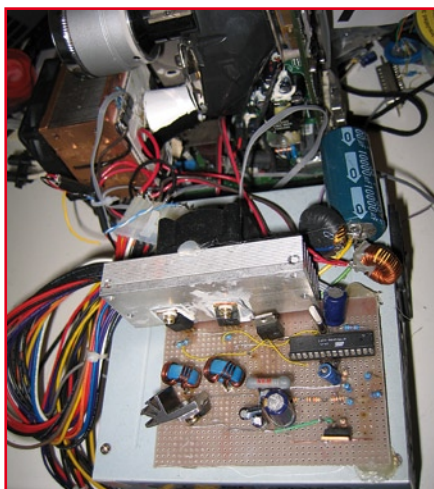


De eerste testopstelling: alle LED's zijn aangesloten en er zijn een paar quick-and-dirty stroombronnen gemaakt. De afscherming is om het uitvallende licht te beperken.



Zo ziet het binnenste van de beamer er uiteindelijk uit: de lamp, de fans, het kleurenwiel en de licht-tunnel zijn vervangen door de LED's plus hetgeen eromheen hangt.

stroom door LED's door de spanning over shuntweerstand R11 te meten. De condensatorbank mag in de eerste instantie wat vreemd lijken. De reden dat er drie condensatoren met een kleine waarde zijn gebruikt, is de Equivalent Serial Resistance (ESR). Een condensator heeft een interne weerstand die 'normaal' geen noemenswaardige invloed heeft. Maar in deze schakeling worden de condensatoren in de bank tienduizenden keren per seconde met redelijk grote stromen op- en ontladen. En dan gaat de ESR wel meetellen. Een enkele condensator zou je binnen de kortste keren uit het plafond moeten peuten, zoals de auteur uit ervaring kan vertellen, ondanks dat we nooit over de spanningslimieten van de component heen zijn gegaan. Door drie



En zo ziet het geheel er uiteindelijk uit. Het geeft een rommelige indruk en de toepassing van een ATX-voeding heeft de grootte van het ding niet echt goedgedaan. Het is echter een geslaagd proof-of-concept en als het geheel in een grotere behuizing geplaatst wordt, ziet niemand het.

condensatoren parallel te schakelen, verdelen we de belasting en verminderen we de totale seriële weerstand. De totale waarde van de condensatorbank moeten we niet te groot nemen. Als er geschakeld wordt tussen de LED's en de onderlinge drempelspanning verschilt, moet de bank natuurlijk niet de overvloedige spanning met een flinke capaciteit over deze LED's sturen. Dan zou hij zo het een en ander opblazen. Met een kleine bank hebben we weliswaar het nadeel dat de spanning wat rimpel vertoont, maar een rimpel met een frequentie in de orde van tientallen kHz is op een stel LED's niet zo'n ramp.

De voedingsspanning voor de microcontroller is met een 7805 en een diode ingesteld op zo'n 5,6V. Dit is 0,1V boven de aangeraden voedingsspanning van de microcontroller, maar in de praktijk geeft dit geen problemen. Het voordeel van deze iets verhoogde voedingsspanning is dat de gates van de MOSFET's net iets verder open te sturen zijn. Op deze manier weten we zeker dat ze volledig geleiden of volledig sperren. Met de stromen die in deze schakeling lopen betekent een halfopen MOSFET heel snel dat er rook uit de schakeling komt. Dat is ook de reden om weerstanden van de gate van de MOSFET's naar massa te plaatsen. Zo kan bij een eventueel probleem waardoor bijvoorbeeld de microcontroller z'n uitgangen in tristate-mode zou zetten, de resterende lading op de gate er niet voor zorgen dat het silicium van de bijbehorende halfgeleider spontaan overgaat in de gasfase.

De schakeling voor de LED-aansturing heeft toch wel zo'n 100W nodig. Daar komt de voeding voor het Peltier-element nog eens bij. Een goedkope optie is een standaard ATX pc-voeding. Deze kan meestal wel meer dan 10A aan 12V leveren, terwijl de 5V-lijn mooi gebruikt kan worden om het Peltier-element te voeden. Om de voeding te beschermen tegen de storende piekbelasting van de boost-converter, zijn L1 en C1 in de schakeling opgenomen. L1 is een ontstoringsspoel uit de rommelbak en C1 is een flinke elco.

De grote stromen en verliezen in diverse componenten houden in dat de onderdelen van de boost-converter zorgvuldig gekozen moeten worden. Zowel de MOSFET's als de spoelen en de diodes moeten flinke stromen aan kunnen. Gelukkig zijn MOSFET's die deze stromen aankunnen niet zo heel lastig te vinden. De IRFZ48V voldoet

prima en is goed verkrijgbaar. Spoelen L2 en L3 zijn wat lastiger. De auteur heeft in de testopstelling twee spoelen van een oud P4-moederbord gebruikt. Ze bestaan uit drie parallelwindingen van 1 mm²-draad die vier maal om een ringkern zijn gewikkeld.

Voor D2 en D3 maakt de testschakeling gebruik van CTG24S ultra fast recovery diodes van Sanken. Deze komen uit een gesloopte voeding en zitten ook nog eens in een nette TO-220-behuizing, zodat er een koelplaatje tegenaan geschroefd kan worden. Maar normale power-Schottky-diodes zijn vast ook wel te gebruiken.

Nu we het toch over koelplaten hebben: het is niet aan te raden de MOSFET's van de boost-converter zonder koellichaam te gebruiken. Hier moet dus ook een klein koelplaatje op.

Resultaat

Is het idee levensvatbaar en werkt het geheel? Naar de mening van de auteur wel. Deze LED-oplossing is prima geschikt om een oude beamer om te bouwen en zo een goedkoop 'film-kijk-beamertje te maken. De ruimte waarin geprojecteerd wordt, moet weliswaar goed donker zijn, maar dan is er ook redelijk een film te kijken. Om nu een splinternieuwe beamer om te bouwen is minder aan te raden.

Valt er nog wat te verbeteren? Misschien. Nieuwe ontwikkelingen op LED-gebied zijn natuurlijk nog altijd aan de orde van de dag. En elke extra lumen die aan een LED ontfoetseld kan worden, zorgt voor een helderder beeld.

Verder is het optische systeem van de experimentele beamer van de auteur natuurlijk niet helemaal ideaal. Door de lichttunnel komt niet al het licht van de LED's op de DMD terecht. Het optimaliseren daarvan is echter niet eenvoudig. Als het licht bijvoorbeeld te veel gefocuseerd wordt, komt dat terug als gekleurde vlekken in het uiteindelijke beeld. Verder zijn optische componenten als lenzen en dergelijke niet zo gemakkelijk te krijgen als elektronicaonderdelen.

De firmware is overigens te downloaden van de Elektor-site of de site van de auteur en is zelf aan te passen, mocht dat nodig zijn.

(070690)

Weblinks:

www.elektor.nl

<http://meuk.spriteserver.nl/projects/dlpbeamer>