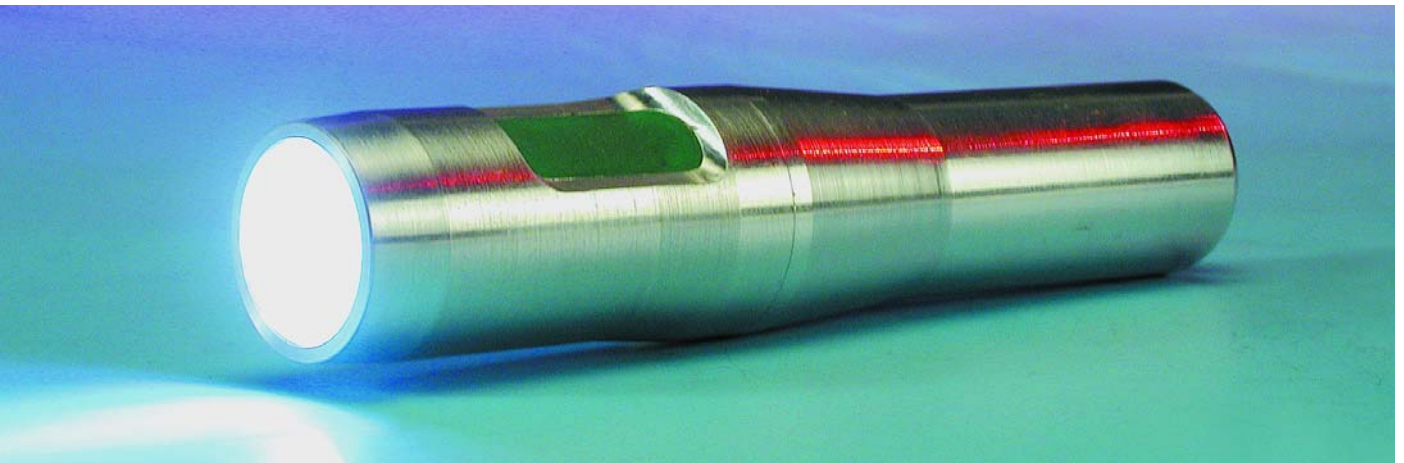


LED-zaklamp

High-tech model met microcontroller

Hans Reisinger

In de Halfgeleidergids van 2000 werd al een eenvoudige LED-lamp met witte LED's gepubliceerd. Het hier beschreven model bevat wat meer onderdelen, maar blinkt, dankzij de toegepaste microcontroller, dan ook uit door de grote functionaliteit.



De LED-zaklamp moet zo klein zijn dat ze gemakkelijk in een handtas, rugzak of zelfs in een broekzak moet kunnen worden meege-nomen. Er worden geen batterijen gebruikt maar een accu. Dat is goedkoper en spaart het milieu. Zelfs als de zaklamp een paar jaar niet is gebruikt en de accu tussentijds niet is geladen, dan nog moet ze voldoende licht geven. Ook moet de lamp de actuele laadtoestand van de accu aangeven en een beveiliging bezitten voor het geval dat ze na gebruik niet wordt uitgeschakeld. Verder moet ze voldoende licht geven om in een omtrek van enkele meters een paar uur als werk-lamp gebruikt te kunnen worden. Met een lagere lichtsterkte moet ze zelfs, zonder bijladen, een paar nachten kunnen blijven branden. En zelfs als de accu tijdens gebruik helemaal leeg is geraakt, moet na een her-steltijd, een restcapaciteit van misschien maar 1% (18 mAh) nog toereikend zijn om de

lamp een paar uur als noodlicht te kunnen gebruiken.

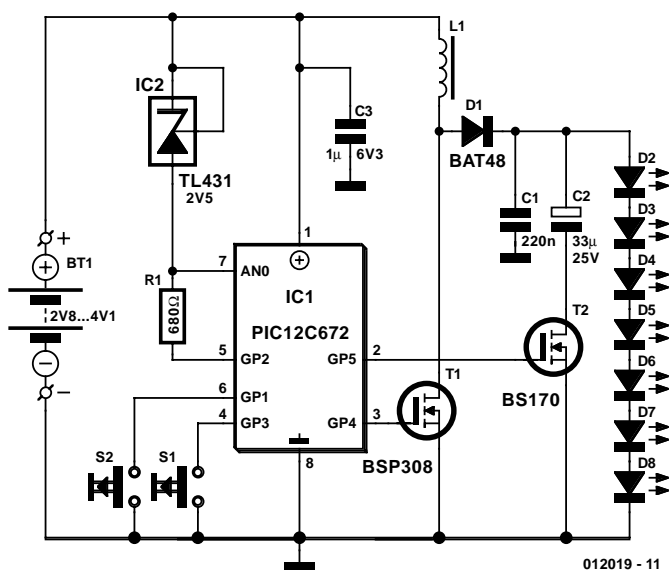
Om aan deze niet geringe eisen te kunnen voldoen, wordt hier geen halogeenlampje gebruikt maar een aantal witte LED's. In tegenstelling tot wat veel wordt gedacht, is het rendement van witte LED's niet hoger dan dat van een kleine gloeilamp (1 W) en zelfs slechter dan van gloeilampjes vanaf 3 W. Toch hebben witte LED's veel voor op gloeilampen: LED's kunnen worden gedimd tot 1/1000 van hun maximale vermogen, zonder dat het rendement minder wordt. Daarentegen is het rendement van een gloeilamp bij de helft van het nominale vermogen al vrijwel nul geworden. De levensduur van LED's is naar schatting duizend maal zo lang als die van een gloei-

lamp; een reserve lampje is niet nodig. Bij een gloeilamp is een reflector nodig, bij LED's is de optiek al ingebouwd, waardoor de lamp kleiner kan zijn.

Als accu wordt een Li-Ion-accu gebruikt. Weliswaar is die een stuk duurder dan een NiCd-accu maar de energie-inhoud is bij gelijk gewicht driemaal groter en de zelfontlading bedraagt slechts 10% per jaar in tegenstelling tot de 20% per maand (!) bij een NiCd-accu. Een geheugen-effect is er bij Li-Ion-accu's niet.

Concept van de schakeling

De spanning van een volle Li-Ion-accu bedraagt 4,1 V en de accu is leeg als de spanning tot 2,8 V is



Figuur 1. De stepup-regelaar wordt door een microcontroller gestuurd.

gezakt. De drempelspanning van de LED's bedraagt circa 3,6 V, zodat de LED's niet direct via stroombegrenzende weerstanden kunnen worden gevoed. De belangrijkste taak van de schakeling (figuur 1) is om de LED's onafhankelijk van de accuspanning met een constant vermogen aan te sturen. Hiervoor zorgt een stepup-regelaar bestaande uit L1, MOSFET-schakelaar T1, diode D1 en buffercondensator C1. Het rendement is maximaal circa 94%. De schakelende regelaar wordt - en dat is voor een zaklamp toch wel bijzonder - gestuurd door een microcontroller van het type PIC12C672. Deze heeft een interne 4-MHz RC-oscillator en een 8-bits A/D-omzetter. De analoge ingang AN0 meet de referentiespanning van IC2. Om stroom te besparen wordt de referentiediode alleen tijdens de meting via GP2 geactiveerd. Met behulp van de gemeten referentiespanning kan de hoogte van de door C3 gebufferde accuspanning (U_{Batt}) op VDD worden bepaald. Uit U_{Batt} berekent de microcontroller de schakelfrequentie en werkslag (op uitgang GP4) die voor het vereiste vermogen nodig zijn. De maximale schakelfrequentie bedraagt 30 kHz, minder bij lagere vermogens. Bij heel lage vermogens zou de microcontroller meer vermogen opnemen dan de LED's. Daarom wordt in de laagste vermogensniveaus de microcontroller in 'sleep-

mode' gezet. Om de 18 ms wordt hij gewekt om energie te leveren. Om te zorgen dat de LED's niet in 18-ms-maat knipperen, wordt via T2 elco C2 parallel aan de LED's geschakeld. Maar dat wordt alleen in 'low-power'-bedrijf gedaan. Bij de knipperfuncties zou C2 verhinderen dat de LED's doven.

Met de twee drukknoppen kunnen aan de controller zes commando's worden gegeven.

Funcities

Nu we het toch over de commando's hebben, lijkt ons hier het goede moment om een overzicht van de functies te geven. Deze functies worden door de software bepaald (die natuurlijk naar eigen wens kan worden aangepast). Laten we eens kijken wat de zaklamp allemaal in huis heeft:

- Er kunnen zes helderheidsniveaus worden ingesteld, het vermogen neemt van niveau tot niveau met ongeveer een factor 3 af.
- In het laagste helderheidsniveau, waarin de nabije omgeving nog goed is te zien en onder een deken nog gelezen kan worden, neemt de lamp circa 0,5 mA op. Op een acculading kan de lamp dan 120 dagen branden (of een jaar lang iedere nacht acht uur).
- Afhankelijk van het ingestelde hel-

Tabel I. Funcities

Toetsdruk	Funcie
S1 kort	Helderheidsniveau +
S2 kort	Helderheidsniveau -
S1 en S2 kort	Uit
S1 lang	Knippermodus +
S2 lang	Knippermodus -
S1 en S2 lang	Accucontrole, dan stand-by, reset contin.-modus

derheidsniveau schakelt de lamp na enige tijd (= timeout in tabel 2) naar een lager niveau en tenslotte naar de uit-stand. Maar eerst wordt gewaarschuwd door de helderheid een minuut lang te moduleren. Zo wordt (per keer) als de lamp per ongeluk niet wordt uitgezet, slechts circa 3% van de acculading gebruikt.

- Als de accu leeg raakt en de klemspanning lager wordt dan 3,3 V, schakelt de processor (afhankelijk van de momentele spanning) het vermogen van de lamp lager, om een rest-lichtduur van minstens 15 minuten te houden. Bij 2,8 V wordt de lamp echt uitgeschakeld, om de accu niet te ver te ontladen.
- Als na een lange hersteltijd de accu weer (aangenomen) 0,5% van de nominale capaciteit heeft, kan de lamp een uur met 20 mW of 3 uur met 8 mW branden.
- Bij gebruik als waarschuwingsknipperlicht kunnen verschillende knippermogelijkheden worden ingesteld. De werkslagen ervan zijn verschillend en dus de opgenomen vermogens.
- In de standby-modus knippert de lamp met vrij lange tussenpauzes. Maar toch is het goed mogelijk om hem in bijvoorbeeld een donkere tent te vinden. Voordat de lamp in standby wordt gezet, wordt eerst de conditie van de accu door middel van knippersignalen aangegeven. Een lichtpuls komt ongeveer overeen met 10% van de nominale capaciteit. Als van de lading minder dan 10% over is, worden korte pauzes ingelast en komt een lichtpuls overeen met 1%.

In tabel 1 is te zien hoe de functies met de drukknoppen kunnen worden ingesteld. In de tabel staan de gegevens die gelden voor de helderheidsniveaus en andere modi.

Vermogensregeling

De belangrijkste taak van de stepup-regelaar is om, zoals eerder gezegd, de LED's met een constant vermogen te voeden bij een accu-

Tabel 2. Helderheidsniveaus

Niveau	Vermogen	Stroomopname bij $U_{Batt} = 3,6 V$	Accu levensduur (1,3 mAh)	Timeout na
0	0,5 W	140 mA	10 h	20 min
1	0,2 W	55 mA	24 h	40 min
2	65 mW	18 mA	3 d	2 h
3	20 mW	6 mA	9 d	5 h
4	8 mW	2,4 mA	22 d	10 h
5	4 mW	1,0 mA	55 d	10 h
Standby	-	30 μA	5 a	24 h
Uit	-	2 μA	70 a	-

spanning die kan variëren. De in spoel L opgeslagen energie is afhankelijk van de zelf-inductie en de stroom volgens:

$$E = \frac{1}{2} \cdot L \cdot I^2$$

Na inschakelen van T1 is gedurende de tijd t_{on} (t_{off} uitgeschakeld) de stroom lineair toenemen van 0 tot de waarde I:

$$I = \frac{U_{Batt} \cdot t_{on}}{L}$$

Daaruit volgt voor E en het voor die periode gemiddelde vermogen:

$$E = \frac{1}{2} \cdot \frac{U_{Batt}^2 \cdot t_{on}^2}{L}$$

P verloopt kwadratisch met U_{Batt} . U_{Batt} kan liggen tussen 2,8 V en 4,1 V, zonder regeling zou P dus met een factor 2 kunnen variëren. De gemiddelde stroom is P/U_{Batt} . Afhankelijk van U_{Batt} kunnen nu t_{on} en t_{off} zo worden gekozen, dat P constant blijft:

$$P = \frac{1}{2} \cdot \frac{U_{Batt}^2 \cdot t_{on}^2}{L \cdot (t_{on} + t_{off})}$$

Het is dus nodig dat de microcontroller steeds 'weet' wat de klemspanning U_{Batt} van de accu is, anders kan het vermogen niet worden geregeld (constant gehouden). Om de schakeling eenvoudig te houden, wordt U_{Batt} niet direct gemeten. In plaats daarvan wordt AN0 bepaald, waarbij voor de A/D-omzetter de spanning $V_{dd} = U_{Batt}$ als referentie (= full scale) fungeert. De spanning van bandgap-referentie TL431AC bedraagt 2,495 V. Voor het meetresultaat AD_{RES} van de 8-bit-ADC geldt daarom:

$$AD_{RES} = \frac{U_{Batt} - 2,495V}{U_{Batt}} \cdot 255$$

of omgekeerd:

$$U_{Batt} = \frac{2,495V}{1 - AD_{RES}/255}$$

De meting van U_{Batt} en de regeling vinden iedere 100 ms plaats.

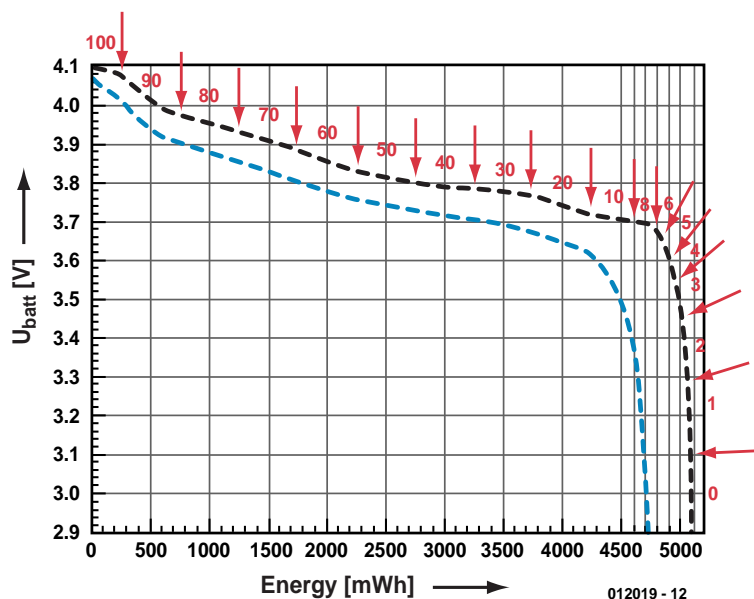
De waarde van de klemspanning wordt in een tabel opgezocht, die tevens de bijbehorende waarden van t_{on} en t_{off} bevat. Met werkslag t_{on} en pauzetijd t_{off} wordt uitgang GP4 gestuurd.

Omdat de tegen-EMK in L ongeveer 6 x U_{Batt} bedraagt, wordt stroom I tijdens iedere periode in de tijd t_{off} weer

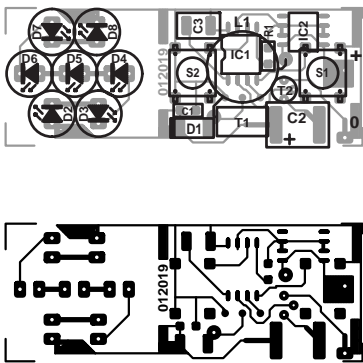
nul, tenminste als $t_{off} > 1/6 \times t_{on}$. Het rendement van de schakeling wordt feitelijk bepaald door de verliezen in de spoel, de MOSFET en de inwendige weerstand van de accu. Ook de bedrading speelt daarbij een rol. Het rendement bij het grootste vermogen bedraagt ongeveer 94%, maar ook bij de LED's kan het rendement flink variëren, zelfs als ze van hetzelfde fabrikaat zijn. LED's van fabrikant Nichia hebben momenteel het hoogste rendement. Deze LED's worden eigenlijk alleen voor OEM's gemaakt, maar zijn soms toch in de handel verkrijgbaar.

Laadtoestand

Om te zorgen, dat niemand door een lege accu in volledig duister komt te staan, moet de controller steeds de laadtoestand van de accu weten. De ontladspanning is onder meer afhankelijk van de ontladstroom, eerdere ontladcyclussen en van de temperatuur. Deze factoren kunnen grotendeels worden uitgeschakeld door de controller de laadtoestand alleen in onbelaste toestand te laten meten en wel lange tijd (1000 s) nadat de lamp is uitgeschakeld. In **figuur 2** is de ontladkarakteristiek van een Li-Ion-accu te zien. Na uitschakelen van de lamp gaat in circa 1000 s de klemspanning van de onderste naar de bovenste curve. De pijlen en labels markeren de laad-



Figuur 2. Ontladcurve van een Li-Ion-accu.



Figuur 3. De tweedelige print voor SMD-onderdelen.

Onderdelenlijst

Weerstanden:

R1 = 680 Ω , SMD 0805

Condensatoren:

C1 = 220 nF keramisch, SMD 0805

C2 = 33 μ F/20 V, SMD 2220

C3 = 1 μ F/6,3 V, SMD 1210

Spool:

L1 = 233 μ H (100 kHz), ESR = 0,27 Ω

Potkern P9.0x5.0/N26 (Al = 250 nH) met 30,5 windingen 0,22 mm

Halfgeleiders:

D1 = BAT48 of 1N4148

D2...D8 = LED 5 mm wit, 6400 mCd (Nichia/Neurenberg NSPW500BS)

(www.nichia.co.jp/lamp-e.htm), o.a. verkrijgbaar bij Conrad

T1 = BSP308, BSP319 (R_{ON} = 50 m Ω)

T2 = BSI70, BSS138 (R_{ON} = 5 Ω)

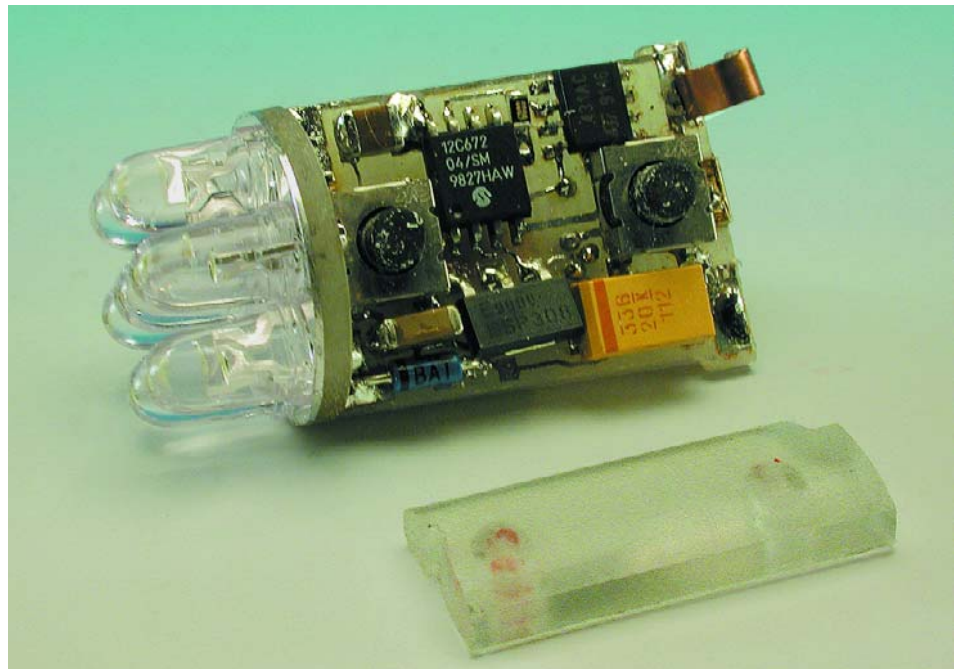
IC1 = geprogr. PIC12C672 04/SM (EPS 012019-41)

IC2 = LM9140-2.5 of TL431

Diversen:

S1, S2 = SMD-druktoets 1x maak (Mentor 1254.1007 of 1301.9314 of Omron B3FS-1052, verkrijgbaar bij Farnell)

Accu = Sanyo UR18650 Li-Ion, 1350 mAh (diam. 18 mm, l = 65 mm, gewicht 40 g) of Sanyo UR18500 Li-Ion 1100 mAh (diam. 18 mm, l = 50 mm)

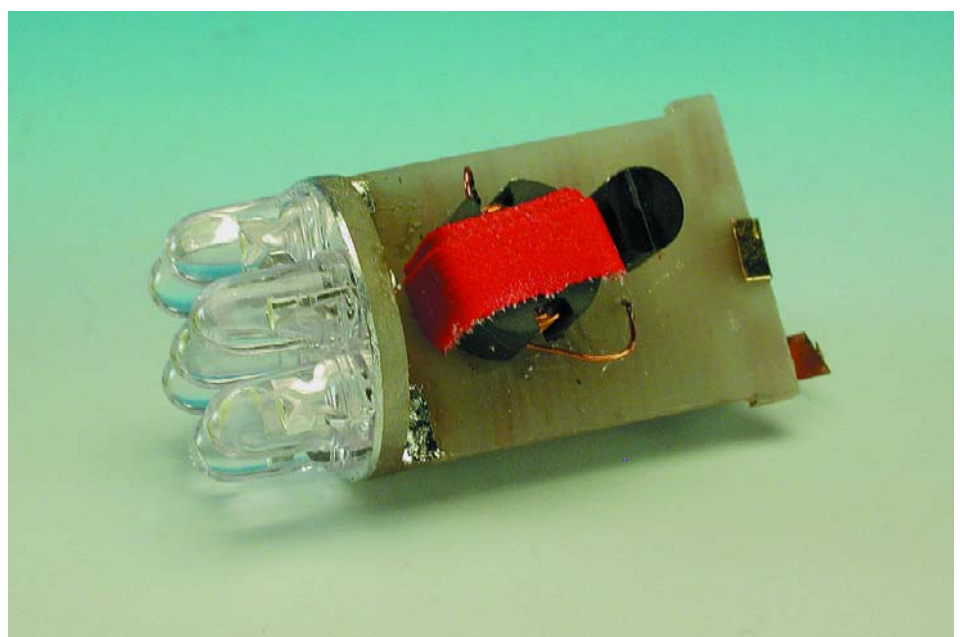


toestand in procent, zoals de micro-controller die aangeeft. De meetfout bedraagt ongeveer ± 30 mV, de maximale nauwkeurigheid bedraagt daarmee circa 4%. Hoewel dit vrij onnauwkeurig is, is het toch heel goed om onderscheid te maken tussen 80%, 50% of 20% restlading. De zelfontlading is met 5% per jaar verwaarloosbaar, de accu is ook na jaren zonder opladen nog inzetbaar. Als vergeten wordt om de lamp uit te schakelen, zorgt een time-out er voor dat de accu niet leeg raakt. De lamp wordt na verbruik van onge-

veer 3% van de nominale accu-capaciteit (5 Wh) uitgeschakeld.

Als de acculading minder dan 10% wordt, worden om een totale ontlading te voorkomen meerdere maatregelen genomen. Afhankelijk van de ingestelde helderheid wordt na korte tijd de helderheid een niveau lager ingesteld. De klemspanning stijgt dan meestal weer. Als deze door verregaande ontlading toch verder zakt, dan schakelt de processor de lamp uit. Toch blijft het mogelijk om de lamp weer aan te zetten, tenminste met laag vermogen en voor korte tijd.

Met 1% restlading brandt de lamp op helderheidsniveau 4 nog 5 uur en in het zwakkere



niveau 5 nog meer dan 12 uur. Men zou dus nooit helemaal in het donker te hoeven zitten.

Accu en spoel

De gebruikte accu is met 1,3 Ah (circa 5 Wh) eigenlijk wat groot voor de zaklamp. Maar wat prijs betreft is het de beste oplossing. Het is een standaardformaat dat in notebooks wordt gebruikt. Accu's voor mobieltjes zijn duurder en moeilijker verkrijgbaar.

Datasheets van Li-Ion-accu's zijn op het Web te vinden bij:

www.sanyo.com/industrial/batteries/industrial_liion.html

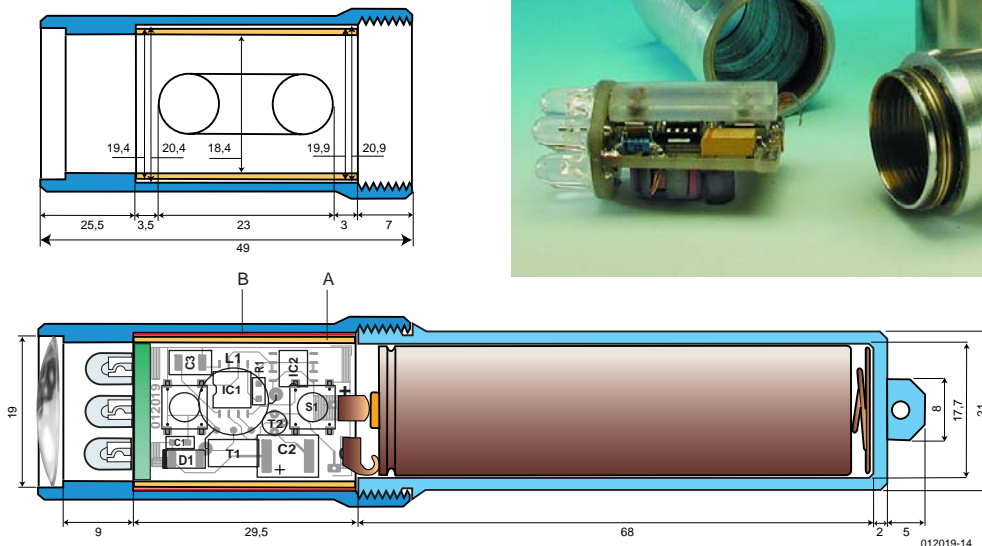
of

www.panasonic.com/industrial/battery/oem/chem/lithion/index.html

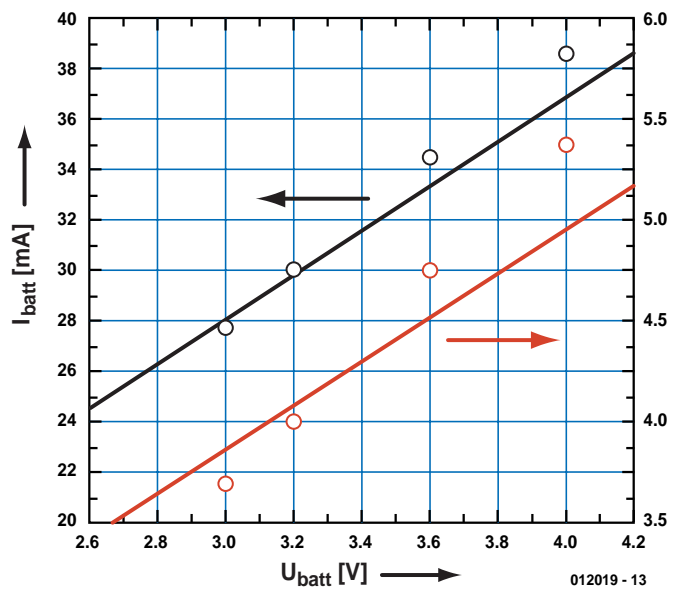
De spoel heeft een zelfinductie van 220...250 μH en $I_{\text{max}} = 0,5 \text{ A}$. Hoewel dergelijke spoelen in de handel verkrijgbaar zijn, kan het toch wel lastig zijn om ze te vinden en is het eenvoudiger om hem zelf te maken. Nodig is wat wikkeldraad met een diameter van 0,2...0,22 mm, dat in lagen van 10 windingen op de houder van de aangegeven EPCOS-potkern met een Al-waarde van 250 nH past. Om de capaciteit van de spoel laag te houden en om een vlakke ondergrond voor de volgende laag windingen te krijgen, is het gunstig om iedere laag met twee windingen plakband (dikte 0,1 mm) af te sluiten. In principe zou het voldoende moeten zijn om 30,5 windingen aan te brengen, zodat de zelfinductie

$$L = 30,5^2 \times 250 \text{ nH} = 233 \mu\text{H}$$

bedraagt. Voor alle zekerheid kan een extra wikkeling worden aangebracht, waardoor de zelfinductie ongeveer 6% groter wordt.



Figuur 5. Constructietekening van een spatwaterdichte behuizing voor de LED-zaklamp.



Figuur 4. Stroomopname van de LED-zaklamp.

Daarna worden steeds een of twee windingen afgewikkeld tot de juiste inductiewaarde is bereikt. Als alternatief kan de methode zoals die in het volgende hoofdstukje wordt

beschreven, worden toegepast. Trouwens, als men van plan is om de zaklamp met een magneet ergens te bevestigen, moet men ervoor zorgen dat de magneet op minstens 2 cm



afstand van de spoel blijft, anders zakt de zelfinductie tot onder 10%.

Opbouw en zelftest

Over de bouw hoeven we niet veel te zeggen. Eerst wordt de print (**figuur 3**) in twee delen gezaagd en de LED's en alle SMD's gemonteerd. Het enige 'normale' onderdeel op de microcontroller-print is de spoel, die dan ook op de 'onderdelenkant' komt. De twee printen worden haaks aan elkaar gesoldeerd, zodat de LED's hun voedingsspanning krijgen.

Voor de in bedrijfstelling is een regelbare voeding nodig (met stroommeter of een aparte laagohmige ampèremeter). Voor een correcte reset van de PIC moet de stijgsnelheid van de voedingsspanning een bepaalde minimum waarde hebben, daarom moet de spanning niet vanaf nul omhoog worden gedraaid maar vooraf op 2,8 V worden ingesteld, waarna de schakeling op de voeding wordt aangesloten. Als men dat niet doet, kan de PIC in een ongedefinieerde toestand komen waardoor de FET wordt uitgestuurd en er (te) veel stroom loopt. Stel daarom de stroombegrenzing van de voeding in op 0,4 A of neem als alternatief een serieweerstand van 10 Ω in het voedingssnoer op.

Na de reset begint de PIC, zonder dat op een knop hoeft te worden gedrukt, met de eerste van twee testroutines. Deze testroutines worden alleen de eerste keer dat de

spanning wordt aangesloten uitgevoerd en ze dienen om de klokfrequentie van 4 MHz (overeenkomend met een cyclustijd van 1 μ s), de waarde van de zelfinductie van L1 en het functioneren van de A/D-omzetter te testen.

In de eerste testroutine knippert de lamp met een frequentie van 5 Hz (200 ms) en een werkslag van 50%. De lamp is dus even lang aan als uit. Dit duurt 200 s (1000 perioden) waarna de lamp uit gaat, tenminste als er niet op een toets wordt gedrukt. Als de tijden sterk afwijken, vooral als t_{on} meer dan 20% langer is (hoewel daar eigenlijk geen reden voor zou moeten zijn), loopt er een te hoge stroom door de LED's. Het is dan raadzaam om het aantal windingen van de spoel met een of twee te verminderen. In deze eerste testroutine zijn t_{on} en $(t_{on} + t_{off})$ op 10 μ s respectievelijk 100 μ s ingesteld. De stroomopname kan aan de hand van de onderste lijn in **figuur 4** worden bepaald.

Als alles klopt, drukt men kort op een knop. De lamp gaat uit en gaat in testroutine twee weer aan, nu continu met $t_{on} = 20 \mu$ s en $(t_{on} + t_{off}) = 100 \mu$ s. De werkslag t_{on} is nu tweemaal zo groot en het vermogen (van de lamp) is viermaal groter. Vergeleken met de eerste testroutine is de vermogensopname achtmaal groter. De stroomopname moet ongeveer overeenkomen met de bovenste lijn in **figuur 4**.

Als geen toets wordt ingedrukt,

dooft de lamp na 50 s. Hierdoor wordt voorkomen dat de lamp continu blijft branden als hij opnieuw wordt aangesloten, bijvoorbeeld na te zijn gevallen waarbij het contact met de accu werd verbroken.

Door even op een knop te drukken wordt naar (bijna) normale bedrijfstoestand gesprongen en wel naar helderheidsniveau 2, op twee na het hoogst.

Lamphuis

Jammer genoeg is het niet mogelijk om een gewone zaklamp te 'strippen' en het huis voor onze LED-lamp te gebruiken. De afmetingen van de Li-Ion-accu zijn namelijk anders dan die van een standaard batterij. Als men dus prijs stelt op een compacte en fraaie behuizing zoals die op de foto's bij dit artikel te zien is en niet de beschikking heeft over een draaibank en een freesmachine, dan moet de hulp van een metaaldraaij worden ingeroepen.

De constructietekening in **figuur 5**, die in Micrografx-formaat van de Elektoor-homepage kan worden gedownload, bevat alle maten van de twee delen van het huis. Na montage van de print en plaatsing van de accu kunnen ze tegen elkaar worden geschroefd.

Let op het licht conisch verloop van het deel waarin de elektronica zit. Daardoor worden de messing huls en de rubber mantel (voor een spatwaterdichte afdichting van de drukknoppen) vastgeklemd.

Aan de print komen twee messing contacten voor een betrouwbare verbinding met de Li-Ion-accu. Een veer onder de accu zorgt voor voldoende contactdruk.

(012019)

Het LEK van Elektuur

LED-zaklamp (okt. 2002)

Op de bij dit ontwerp afgedrukte print is de verbinding tussen de voedingsaansluiting van IC1 (pen 1) met ontkoppelcondensator C3 en de plus van de voeding weggefallen. Dit probleem is op te lossen door het aanbrengen van een draadbrug tussen C3 en de aansluiting van L1 naast R1.

Op bijgaande tekening is dit te zien.

Bij de op de Elektuur-site beschikbare print-layout is deze fout reeds gecorrigeerd. Lezers die een print bestellen via de PCB-Shop, krijgen ook automatisch een gecorrigeerde versie toegestuurd. Die hoeven de draadbrug dus niet meer te monteren.

