

Zonne-energie voor maairobots

ecologisch, goedkoop, eenvoudig!



Dr. Thomas Scherer (Duitsland)

Een maairobot is iets moois, comfortabel en praktisch. Maar ecologisch is er nog steeds ruimte naar boven, omdat zo'n robot altijd elektrische energie nodig heeft. Bovendien: je kunt niet overal gewoon een 230V-kabel leggen voor de stroomvoorziening. Zonne-energie kan beide problemen echter oplossen.

Zo'n drie jaar geleden werd de buurjongen een eerstejaars student die zijn tijd beter kon doorbrengen met leren dan met gras maaien in mijn tuin. Dus kocht ik een maairobot. Deze beslissing had als bijkomend voordeel dat het grasmaaisel en dus de voedingsstoffen werden gerecycled, in plaats van mijn composthoop in korte tijd in een compostberg te veranderen. Na aanvankelijke moeilijkheden bij het leggen van de grenskabel, die moest overeenkomen met de nogal complexe vorm van het gazon, deed de robot wat hij moest doen. En als hij niet kapot gaat, zal hij dat ook blijven doen...

Werking op zonne-energie

Alles zou geweldig zijn geweest en het sprookje zou hier zijn geëindigd, als mijn

vriendin – die gepromoveerd is in de scheikunde – me niet was gaan plagen. Het geschiedde dat een goede vriend van mij zijn motorboot wilde uitrusten met een elektrische koelkast die op zonne-energie zou moeten werken. Als resident 'Homo Electricus' was ik natuurlijk verantwoordelijk voor de basisberekeningen van dit systeem. En zodra Alexandra hiervan hoorde, tuitte ze haar lippen en vroeg me met geveinsde onschuld: "En waarom werkt jouw maairobot nog niet op zonne-energie?"

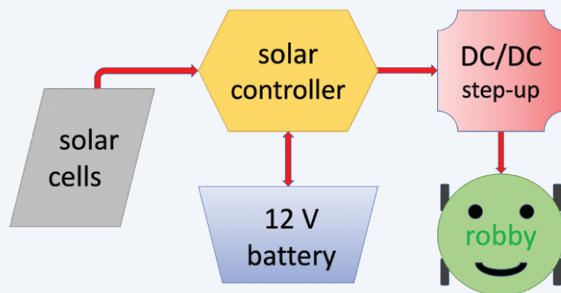
Knal! Dat kon ik natuurlijk niet op me laten zitten. Dus maakte ik een snelle inschatting van wat nodig zou zijn, keek op internet naar de huidige prijzen van componenten en een half uur later zei ik tegen haar: "Het is vrij gemakkelijk te doen en het is ook vrij

goedkoop. Zo'n honderd euro zou genoeg moeten zijn!"

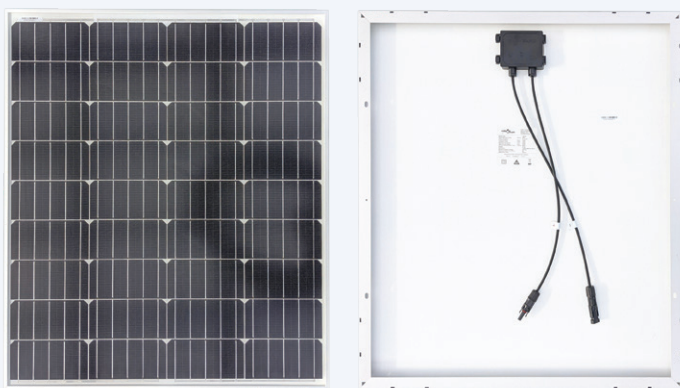
Ze glimlachte sceptisch, want als overtuigd wetenschapper werkt het Goethegeoriënteerde besturingssysteem dat in haar hersenen is geïnstalleerd volgens het motto "eerst zien, dan geloven". Voor haar tellen geen mooie woorden, maar alleen daden. Dus moest ik het bewijs leveren...

Eerste overwegingen

Ik heb een maairobot van Gardena, dat is een goedkope versie van de bekende Husquarna-machines. Voor een gazon van ca. 550 m² moet hij ca. 4 uur per dag maaien tijdens de groeifase – in de lente en herfst; in de droge midzomer volstaan 2 uur per dag of minder. Gelukkig is er voldoende zon wanneer dat dat nodig is.



Figuur 1. Het blokschema van een zonne-energiesysteem voor maairobots, inclusief de energiestroom (rood).



Figuur 2. Voor- en achterkant van mijn 12V-zonnepaneel met 80 W_{piek}

De robot heeft een accu waarmee hij ongeveer een uur kan maaien. Daarna moet hij terug naar zijn basisstation en na een uur opladen is hij weer klaar om door te gaan. Als ik hem twee uur per dag wil laten maaien, moet ik (draadloos) een venster van 3 uur programmeren omdat een uur oplaadpauze nodig is.

Om te kunnen inschatten hoeveel energie er per laadproces nodig is, heb ik het internet geraadpleegd: de bijbehorende voedingseenheid wordt verondersteld 28 V te leveren bij maximaal 1,3 A. Omdat HTML geduldig is, heb ik het nagemeten: mijn voeding leverde inderdaad een spanning van 28,1 V (DC) in onbelaste toestand. Terwijl de robot zijn accu oplaadde, gaf mijn stroomtang een stroom aan van 1,29 A. De spanning zakte tijdens het laden naar 26,5 V. "Een erg zachte voeding," dacht ik, wat later niet bleek te kloppen ;-)

Hoe dan ook: 26,5 V x 1,3 A levert volgens Adam Ries en de vermogensformule ongeveer 35 W op. Dat betekent dat er ongeveer 35 Wh nodig is per éénurige oplaadperiode. Voor de vier maaifasen op een vroege zomerdag kunnen we met 140 Wh rekenen. Dit is de hoeveelheid

elektrische energie per dag die het zonne-energiesysteem zou moeten kunnen leveren (en opslaan), zelfs als de zon niet fanatiek schijnt.

Daar komt nog het verbruik van het basisstation zelf bij, dat de grenskabels continu voorziet van een pulssignaal van behoorlijke sterkte, waarvan het magnetische veld door de robot wordt gedetecteerd tijdens het maaien (zie mijn artikel [1]). Ik heb een ruststroom gemeten (onbelast) van 85 mA bij 28,1 V. Bijgevolg is naast de energie voor het laden ongeveer 2,4 W (≈ 58 Wh per dag) nodig. Hoewel deze waarden alleen gelden voor mijn maairobot, is de aanname gerechtvaardigd dat ze in grote lijnen gelden voor de meeste van de momenteel verkrijgbare maaiers. Mijn robot is geschikt voor 1100 m² en valt daarmee in de 'middenklasse'. Kleinere robots hebben zeker minder energie nodig en grotere robots hebben meer nodig. Zelf meten is echter beter dan raden.

Het zonne-energiesysteem

Als ik 200 dagen per jaar reken met gemiddeld drie uur maaien per dag, dan heb ik 600 laadcycli, wat resulteert in een jaarlijkse energiebehoefte van 21 kWh.

Als we de 2,4 W x 24 h x 200 d $\approx 11,5$ kWh eigenverbruik daarbij optellen, resulteert dit in elektriciteitskosten van 9,75 € (tarief 30 cent per kWh). Een systeem voor de veronderstelde 100 € zou zichzelf in tien jaar 'al' hebben terugverdiend. Is dat de moeite waard? Economisch is het wellicht geen doorbraak, maar ecologisch wel want in deze tien jaar zou het ongeveer 105 kg CO₂ hebben bespaard. Bovendien ben ik niet afhankelijk van de netaansluiting bij het kiezen van de locatie voor het laadstation van de maaier. Ten derde Alexandra... Het energiesysteem voor de maairobot bestaat uit vier delen (figuur 1): naast het **zonnepaneel** is er een **accu** nodig om energie op te slaan, anders kan de maaier niet opgeladen worden als de zon niet schijnt. Dat laatste leidt tot de noodzaak van een **laadcontroller** die de energie overdraagt van het paneel naar de accu, rekening houdend met de laad- en ontlaad-eindspanningen van de accu. Last but not least is er een **DC/DC-omvormer** nodig om de accuspanning op te voeren tot het niveau dat nodig is voor het laadstation van de maaier. Voor elk onderdeel zijn overwegingen en een grove berekening nodig om deze correct te kunnen dimensioneren. Alle berekeningen zijn gebaseerd op de maximale energiebehoefte per dag, die in mijn geval ≤ 200 Wh is. Nu naar de berekeningen.

Zonnepaneel

Idealiter zou het paneel in twee uur evenveel energie moeten leveren als de maaier bij één uur maaien verbruikt, rekening houdend met de oplaadpauze van een uur. Als we 15% verliezen incalculeren ten gevolge van laadregelaar en DC/DC-omvormer, komen we uit op ongeveer 40 W per 2 uur = 20 W continu vermogen gedurende de tijd dat de maaier aan het maaien (en laden) is. Dan blijft de accu goed geladen als de zon schijnt. Aangezien het vermogen van zonnepanelen wordt gemeten in W_{piek} en je zelden optimale condities zult hebben (geen schaduw en ideale paneel-uitrichting), is een verdubbeling van het vermogen zeker niet verkeerd. Is een paneel met 40 W_{piek} voldoende? Naar mijn mening niet, aangezien de zon in het voor- en najaar relatief laag staat; dit is waarschijnlijk een te optimistische inschatting. Een extra veiligheidsfactor van 2 is zeker niet overdreven. Dus 80 W_{piek} is in mijn geval het minimum. Ik bestelde zo'n paneel op eBay voor 55 € (figuur 2), omdat

het – gezegend toeval! – met 77 x 66,5 cm precies de goede afmetingen om als dak voor het hondenhok te dienen, dat ik heb omgebouwd tot garage voor de maaier. Metingen toonden aan dat eind oktober in het zuiden van Baden (Duitsland) rond het middaguur, bij horizontale montage, een vermogen van ongeveer 22 W kan worden verwacht. Mijn nattevinger-berekening was correct!

Accu

De energieopslag moet voldoende zijn voor minimaal één dag met zware bewolking. Er moet dus ≥ 140 Wh worden opgeslagen. Een AGM 12V-loodzuuraccu met 12 Ah ≈ 150 Wh kost op eBay ongeveer € 25. AGM is nodig om bij deze toepassing zoveel mogelijk laadcycli te realiseren en daarmee een lange levensduur. Een 80W-paneel levert een piekstroom van net geen 6 A. De accu wordt dus opgeladen met maximaal 0,5 C (meestal minder; zie het kader **Stromen in C**), wat goed is voor de levensduur. Hij wordt ontladen met ongeveer 40 W, wat overeenkomt met 0,25 C. Aangezien er ook veel korte deellaadcycli voorkomen, kan men met recht jarenlange werking verwachten. Een 12Ah-accu is het minimum voor deze toepassing – meer zou beter zijn – maar ik wilde het proberen met het berekende minimum en bestelde daarom de accu van **figuur 3**.

Solar-laadregelaar

De markt wordt overspoeld met massa's goedkope kleine laadregelaars die geschikt zijn voor mijn doeleinden. Ik besloot om een relatief 'dure' regelaar te kopen voor € 13,50, omdat deze een metalen behuizing en koelribben aan de achterkant heeft. Misschien overdreven, aangezien mijn systeem slechts 20% van de mogelijke 30 A gebruikt.

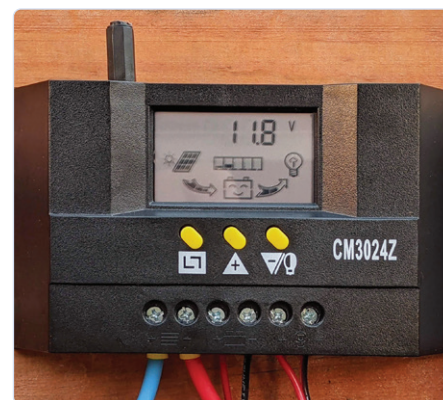
Goedkope regelaars werken allemaal met eenvoudige PWM-besturing, wat niet werkelijk optimaal is. Wil je een betere MPPT-controller (Maximum Power Point Tracking) voor het hoogste rendement, dan moet je daar minimaal € 75 voor uittrekken. Om binnen de begroting van 100 € te blijven, besloot ik het goedkope exemplaar van **figuur 4** te gebruiken.

DC/DC-omzetter

Eerst dacht ik dat een 24V-systeem met twee 12V-accu's in serie de eenvoudigste oplossing zou zijn. Het laadstation van de maaier werkt waarschijnlijk goed met 24 V, ook al is het gespecificeerd voor 28 V.



Figuur 3. De 12V-AGM-loodaccu met 12 Ah.

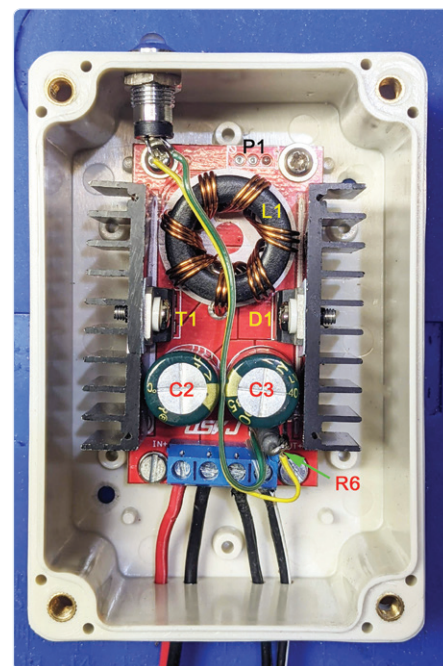


Figuur 4. Deze goedkope solar-laadcontroller met PWM-technologie verdraagt stromen tot 30 A.

Dat zou een step-up converter uitsparen, die anders nodig is voor het opvoeren van de spanning van een 12V-accu, waardoor bovendien het conversieverlies en de ruststroom van de converter worden geëlimineerd. 24V-zonnepanelen zijn echter duurder. Later bleek het een gelukkig toeval om voor de 12V-technologie te kiezen.

Er moest dus een step-up converter met voldoende vermogen worden gevonden, die de 12...14 V van de accu naar de vereiste 28 V brengt. Deze moet minimaal 40 W kunnen leveren. Op internet zijn geschikte modules in overvloed te vinden. Ik besloot om voor een kleine € 10 een module van 150 W te kopen, wat voldoende reserve belooft. **Figuur 5** toont de aangepaste versie, ingebouwd in een plastic behuizing. Er wordt een rendement van 95% beloofd. En dat klopte ook, zoals mijn metingen lieten zien. Geen wonder, want een UC3843 is zeker geen slechte keuze voor IC1.

Al met al heb ik € 55 + € 25 + € 13,50 + € 10 = € 103,50 uitgegeven – niet slecht toch? Bovendien moest ik een paar euro



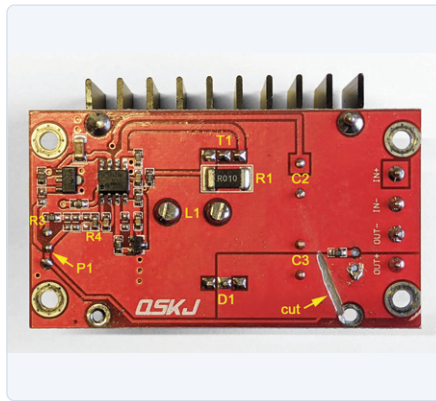
Figuur 5. Een eenvoudige step-up converter, uitgebreid met een stroombegrenzer voor 1,3 A.



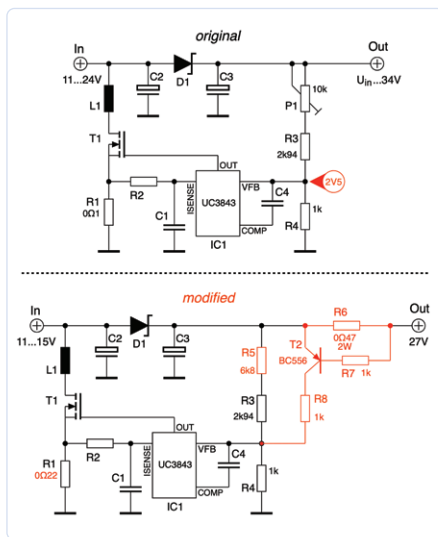
Figuur 6. De vier stadia van de ombouw van een hondenhok tot een solar-garage voor mijn maaierobot.



Figuur 7. Hoe het paneel windvast te maken.



Figuur 8. Achterkant van de print van de step-up converter.



Figuur 9. Originele en gemodificeerde schakeling (gedeelte) van de step-up converter.



Figuur 10. Helemaal klaar: garage op zonne-energie met ingebouwde elektronica.

besteden aan klein grut, roestvrijstaalen schroeven, scharnieren en de plastic behuizing.

Praktische realisatie – met hindernissen

Eerst kwam het mechanische werk, waar mijn elektronische hart niet van hield: de ombouw van de vorige behuizing van het basisstation tot een garage met een zonnedak. De vier foto's van **figuur 6** illustreren de constructie.

Eerst werden de twee helften van het dak (a) verwijderd en werden de puntgevels afgezaagd zoals getoond in (b). Vervolgens heb ik aluminium hoekprofielen gebruikt om de nu wat gammele constructie te stabiliseren, en tenslotte werd het zonnepaneel scharnierend bevestigd (c). Roestvrij staal is niet overdreven voor scharnieren en schroeven, als we roest willen voorkomen. In (d) zie u het eindresultaat met geparkeerde maaier. **Figuur 7** laat zien hoe ik het paneel windvast heb gemaakt, wat een absolute must is.

Daarna werd het interessanter: eindelijk zijn de batterij, laadregelaar en boost-omvormer geïnstalleerd en bedraad. En meteen werd de LED van het laadstation groen, ook al had ik de omvormer op slechts 27 V gezet, gezien de spanningsval van de originele voeding. Dus in eerste instantie leek alles te werken; de maaierrobot herkende de geïnstalleerde begrenzingskabels en maaide vrolijk zijn rondjes.

Om te zien of hij goed werd geladen, duwde ik de maaier in zijn laadstation. Mijn smartphone was al aan het 'pingen' toen de maaier-app een foutmelding van de maaier ontving..

De melding luidde: "Laadstroom te hoog".

Oh! "Dat kan grote problemen veroorzaken!" dacht ik bij mezelf en trok snel de maaier uit het laadstation. 's Avonds vroeg Alexandra: "Is alles goed verlopen met je maaier?" Ik moest in de stijl van Radio Yerevan bekennen: "In principe wel, maar..."

Ik vertelde haar dat de boel in rust prima werkt, maar die foutmelding was niet zo grappig. Ik vernoedde echter min of meer dat de robot erop vertrouwt zijn voeding een ingebouwde stroombegrenzing heeft en daarom gewoon met een constante stroom wordt geladen. Morgen zou ik de voeding nameten en indien nodig zou ik de boost-converter alsnog voorzien van een stroombegrenzing of zoiets. Als ik 24 V van de accu's zonder stroombegrenzing zou hebben aangesloten, zou de boel in rook zijn opgegaan. Een geluk bij een ongeluk...

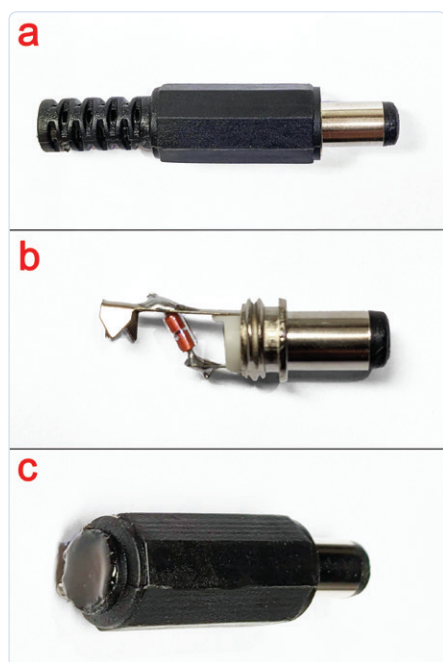
Stroombegrenzing

De volgende dag bleek dat mijn veronderstelling juist was. Bij een belasting van 24 Ω leverde de originele voeding een stroom van 1,17 A bij stabiele 28,05 V. Bij een belasting van 12 Ω kon ik slechts 15,5 V meten. De stroom bedroeg 1,29 A. Nog een test met 15 Ω resulteerde in 19,4 V bij een stabiele 1,29 A. Het was dus een 28V-voeding met een ingebouwde stroombegrenzer van ongeveer 1,3 A.

Toen heb ik de printplaat van de converter van dichtbij bekeken (**figuur 8**) en het relevante deel van het schema gereconstrueerd. **Figuur 9** toont het originele schema (boven) en mijn aanpassingen in rood (onder).

De uitgangsspanning wordt door IC1 zo geregeld dat op ingang VFB een spanning van 2,5 V staat. Deze is met P1 instelbaar tussen U_{in} en 34 V. De uitgangsspanning van dit type omvormer kan niet kleiner zijn dan de ingangsspanning, want ook als de converter is uitgeschakeld loopt er stroom door D1 naar de uitgang. Maar als de spanning aan de uitgang kan variëren tussen 14 V en 28 V, dan moet dat genoeg zijn, dacht ik. Je moest dus gewoon een shuntweerstand (R6) invoegen en de spanning op VFB verhogen bij overbelasting met een PNP-transistor, om zo de spanning aan de uitgang te verlagen.

Eerst heb ik P1 vervangen door een vaste weerstand van 6,8 k Ω . Dit resulteerde in 27 V – prima. Daarna heb ik de istroomsensor R1 vervangen door een groter exemplaar (0,22 Ω , SMD2512, omdat 150 W nergens voor nodig is. Met 0,47 Ω voor R6 en een



Figuur 11. Een 3,5mm-klinkstekker (a) met een diode (b) als temperatuursensor. Aan de rechterkant (c) is die waterdicht verzegeld met hotmelt.

BE-spanning van ongeveer 650 mV van de toegevoegde transistor T2 kan een stroombegrenzing van 1,38 A worden verwacht – ook prima. Dus installeerde ik de rood aangegeven componenten (T2, R7 en R8 direct op de onderkant van de print) en haalde de ampèremeter te voorschijn: precies 1,30 A. Driewerf prima!

Eind goed al goed!

Ik bouwde de gemodificeerde omvormer weer in zijn behuizing in en zette hem terug in de garage van de maaier (figuur 10), en zette hem aan. De groene LED van het laadstation ging branden en hoera: toen ik de maaier erin duwde, was er geen foutmelding meer. De laadcontroller gaf aan dat er ongeveer 37 W op weg was naar de maairobot. Wat wilde ik nog meer?

Voordat ik triomfantelijk mijn succes aan Alexandra rapporteerde, heb ik de maaier verschillende keren laten maaien en weer laden. Er deden zich geen problemen meer voor.

En voor het geval u zich afvraagt wat er gebeurt als het een week regent in de herfst of lente – een terechte vraag: met een maaitijd van 2 uur per dag gaat de accu

slechts 1,5...2,5 dag mee, dan is hij leeg en is de maaier blijft in de garage tot de zon weer schijnt. Lichte bewolking is voldoende om hem te wekken. Wil je meer reserve, dan moet de accu en eventueel het paneel groter gedimensioneerd worden. Een 100W-paneel en een 20Ah-accu is zeker niet overdreven. De laadregelaar en ook de omvormer kunnen een veel groter vermogen aan. De winter is overigens geen probleem, want dan verhuist de maaier (inclusief accu) van zijn garage naar mijn garage.

Addendum

De spanning van een loodaccu is temperatuurafhankelijk. Daarom hebben sommige laadregelaars een temperatuursensor om dit te verdisconteren. Bij mijn laadregelaar was een schijnbaar lege 3,5mm-klinkstekker meegeleverd (figuur 11a). Na openen verscheen een simpele siliciumdiode (b). Het is bekend dat een PN-overgang een temperatuurcoëfficiënt heeft van ongeveer $-1,7 \text{ mV/K}$, en dat is voldoende. Maar de primitieve constructie was geen goed idee vanwege vocht en kleine beestjes op zoek naar onderdak. Daarom heb ik de trekontlasting afgesneden en de doorvoer gewoon

met hotmelt opgevuld (c). Nu is de stekker water- en beestjesbestendig.

Als je iets soortgelijks in gedachten hebt: er zijn ook kant-en-klare step-up/down of boost/buck converters met instelbare stroombegrenzer voor slechts een paar euro extra te koop. Zodat u mijn modificatie kunt vermijden. ❏

200553-03

Vragen of opmerkingen?

Heeft u technische vragen of opmerkingen naar aanleiding van dit artikel? Stuur dan een e-mail naar de redactie van Elektor, via redactie@elektor.com.

Een bijdrage van

Idee, implementatie en tekst:

dr. Thomas Scherer

Redactie: **Jens Nickel, C.J. Abate**

Vertaling: **Eric Bogers**

Layout: **Giel Dols**

STROMEN IN C

Bij oplaadbare accu's wordt de relatieve laad- of ontlaadstroom opgegeven in de veelgebruikte 'niet-SI-eenheid' C – 1 C is een stroom gelijk aan de nominale capaciteit van de accu gedeeld door 1 uur. Een C van 0,5 resulteert in een stroom van 6 A bij een 12 Ah-accu. Het voordeel van de eenheid C is dat deze de belasting van de accu aangeeft. Accu's zijn ontworpen voor bepaalde maximale C-waarden. Hoe hoger de echte C-waarde, hoe korter de levensduur. Anders gezegd: bij een gegeven stroom gaan grotere batterijen langer mee.



GERELATEERDE PRODUCTEN

> USB Solar Panel Battery Regulator

www.elektor.nl/usb-solar-panel-battery-regulator-charge-intelligent-controller-12-24-v-10-a

> PeakTech 4350 Clamp Meter

www.elektor.nl/peaktech-4350-tangmeter

> OWON OW16B Digital Multimeter with Bluetooth

www.elektor.nl/owon-ow16b-digital-multimeter-with-bluetooth

WEBLINK

- [1] [Dr. Thomas Scherer, "Leidingen opsporen", Elektor maart 2020:](http://www.elektormagazine.nl/magazine/elektor-143/57195)
www.elektormagazine.nl/magazine/elektor-143/57195