

énergie solaire pour les robots de tonte

Écologique, peu coûteux, simple !



Thomas Scherer (Allemagne)

Un robot de tonte est un bel objet, confortable et pratique. Mais écologiquement, il y a encore une marge d'optimisation, car il a besoin d'énergie électrique en permanence. Par ailleurs on ne peut pas partout poser facilement un câble de 230 V pour l'alimentation électrique. Un système solaire adapté résout les deux problèmes.

Il fut un temps (il y a trois ans), lorsque le gamin du voisin est devenu jeune étudiant, où il a préféré passer du temps à étudier plutôt qu'à tondre la pelouse de mon jardin. J'ai donc acheté un robot de tonte. En plus, cette décision permettait de recycler les tontes de gazon et donc les nutriments, au lieu de transformer rapidement mon tas de compost en montagne. Passées les difficultés initiales pour la pose du câble de délimitation en cherchant à épouser la forme plutôt complexe de mon terrain, le robot a fait ce qu'il était censé faire. Et s'il n'est pas en panne, il tond encore aujourd'hui...

Fonctionnement solaire

Tout aurait été parfait et le conte de fées se serait terminé ici, si récemment ma petite amie – qui a un doctorat en chimie – ne m'avait pas taquiné. Il se trouve qu'un bon ami

à moi voulait équiper son bateau à moteur d'un réfrigérateur électrique qui devait être alimenté par l'énergie solaire. En tant qu'« Electricus » de mon clan, j'étais naturellement chargé des calculs de base de ce système solaire. Et dès qu'Alexandra a entendu parler de cela, elle a pointé les lèvres et m'a demandé avec une feinte innocence : « Et pourquoi ton robot de jardin ne fonctionne pas encore à l'énergie solaire ? ».

Bang ! Bien sûr, je ne pouvais pas laisser passer ça. J'ai donc rapidement étudié les modalités de ce projet, consulté l'internet pour connaître les prix actuels des composants et, une demi-heure plus tard, je lui ai dit : « C'est aussi facile à faire que peu coûteux. Avec environ 100 €, on peut y arriver ! ». Elle sourit avec scepticisme, car en tant que scientifique convaincue, le système d'exploitation orienté Goethe installé dans

son cerveau fonctionne selon la devise : « J'ai bien entendu le message, seule ma foi vacille ». Les belles paroles ne comptent pas pour elle, seulement les actes. Je devais donc le prouver...

Considérations de base

J'ai un robot de tonte Gardena, une version bon marché des célèbres machines Husqvarna. Pour une pelouse d'environ 550 m², il doit tondre environ 4 h/j pendant la phase de croissance – au printemps et en automne, alors qu'en plein été sec, il y arrivera avec 2 h/j ou moins. Heureusement, il y a beaucoup de soleil au moment où on en a besoin.

Le robot a une batterie qui lui permet de tondre pendant environ une heure. Il doit ensuite retourner à sa station de base et après une heure de recharge, il est prêt à

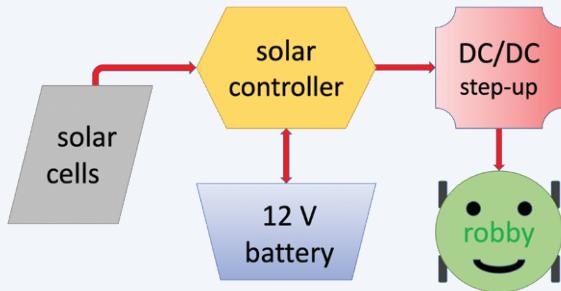


Figure 1. Le schéma fonctionnel d'un système solaire pour les robots de tonte avec le flux d'énergie (rouge).

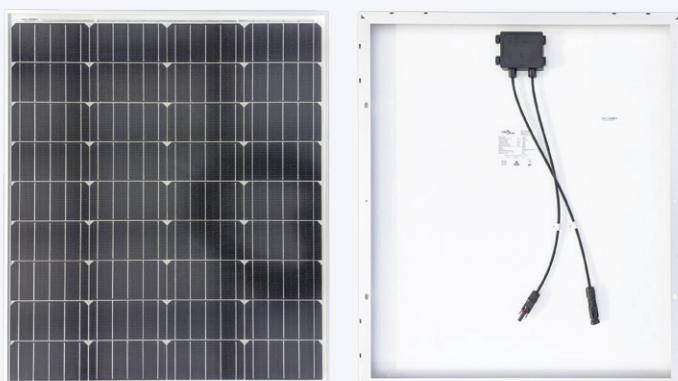


Figure 2. Avant et arrière de mon panneau solaire 12 V avec 80 W_{crête}

tondre à nouveau. Si je veux le faire tondre pendant 2 h/j, je dois programmer (sans fil) une fenêtre de 3 h qui inclut une heure de pause pour la recharge.

Afin de pouvoir estimer la quantité d'énergie nécessaire par processus de charge, j'ai interrogé l'internet : le bloc d'alimentation correspondant est censé fournir 28 V à un maximum de 1,3 A. Comme je suis patient, je l'ai mesuré : en fait, mon alimentation délivrait une tension de 28,1 V (CC) en mode hors charge. Lorsque le robot chargeait sa batterie, ma pince ampèremétrique indiquait un courant de 1,29 A. Pendant la charge, la tension tombait à 26,5 V. « L'alimentation est vraiment faible » ai-je pensé, ce qui s'est révélé faux par la suite ;-) Quoi qu'il en soit, 26,5 V × 1,3 A donnent environ 35 W selon Adam Ries et la formule de puissance. Cela signifie qu'il faut environ 35 Wh pour une heure de charge. Pour les quatre phases de tonte d'une journée de début d'été, on peut s'attendre à 140 Wh. C'est la quantité d'énergie électrique quotidienne que le système solaire devrait être capable de fournir (et de stocker) même par faible ensoleillement.

À cela s'ajoute le besoin en énergie de

la station de base, qui alimente H24 les câbles de délimitation avec un signal pulsé d'intensité notable, dont le champ magnétique est détecté par le robot pendant le fonctionnement (voir mon article [1]). J'ai mesuré un courant de repos (hors charge) de 85 mA à 28,1 V. Par conséquent, environ 2,4 W (≈ 58 Wh/j) sont nécessaires en plus des charges.

Même si ces valeurs ne sont valables que pour mon robot de tonte, on peut supposer qu'elles le sont plus ou moins pour la plupart des appareils actuellement disponibles. Mon robot convient pour 1 100 m² et fait donc partie de la « gamme moyenne ». Les petits robots ont certainement besoin de moins d'énergie et les grands de plus. Cependant, il vaut mieux le mesurer soi-même que de se contenter de supposer.

Système solaire

Si je table sur 200 jours de tonte par an avec une moyenne de 3 h/j, j'obtiens 600 cycles de charge, ce qui donne un besoin énergétique annuel de 21 kWh. Si l'on y ajoute les 2,4 W × 24 h × 200 j \approx 11,5 kWh, on obtient un coût d'électricité de 9,75 € (à 30 c/kWh). Une installation solaire pour les 100 €

supposés serait amortie au bout de dix ans. Cela en vaut-il la peine ? D'un point de vue économique, sans doute pas, mais d'un point de vue écologique oui, car pendant cette période, vous auriez économisé environ 105 kg de CO₂. En outre, le choix de l'emplacement de la station de charge de la tondeuse est indépendant du raccordement au réseau. Troisièmement, Alexandra...

Le système solaire du robot de tonte nécessite quatre composants (fig. 1) : en plus du **panneau solaire**, une **batterie** est nécessaire pour stocker l'énergie, sinon la tondeuse ne peut pas être chargée lorsque le soleil ne brille pas. Ce dernier point entraîne la nécessité d'un **contrôleur de charge** qui transfère l'énergie du panneau à la batterie, en tenant compte des tensions de fin de charge et de décharge de la batterie. Enfin, il faut un **convertisseur CC/CC** pour éléver la tension de la batterie au niveau requis par la station de charge de la tondeuse. Le dimensionnement adéquat de chaque composant impose une petite étude et un calcul approximatif. Tous les calculs sont basés sur le besoin énergétique maximal par jour, qui dans mon cas est \leq 200 Wh. Passons maintenant aux calculs.

Panneau solaire

Idéalement, le panneau devrait fournir en deux heures autant d'énergie que la tondeuse en consomme en une heure de tonte, en tenant compte de la pause de charge d'une heure. En estimant à 15% les pertes dues au contrôleur de charge et au convertisseur CC/CC, on arrive à environ 40 W par 2 h, soit 20 W de puissance continue pendant le temps où la tondeuse tond (et se charge). Ensuite, la batterie reste généralement pleine si le soleil brille. Comme la puissance de sortie des panneaux solaires est mesurée en W_{crête} et que vous aurez rarement des conditions optimales sans ombre et une inclinaison idéale du panneau, doubler la puissance de sortie n'est certainement pas une erreur. Un panneau de 40 W_{crête} est-il suffisant ? À mon avis, non, car les rayons du soleil sont très obliques au printemps et en automne, ce serait encore une supposition très optimiste. Un autre facteur de sécurité de 2 n'est sans doute pas exagéré. Donc 80 W_{crête} dans mon cas est le minimum. J'ai commandé un tel panneau sur eBay pour 55 € (fig. 2), car il avait – quelle coïncidence ! – avec 77 × 66,5 cm exactement les bonnes dimensions pour servir de toit à la niche du chien, que j'ai transformée en garage à tondeuse.



Figure 3. La batterie au plomb AGM 12 V / 12 Ah.



Figure 4. Ce régulateur de charge solaire bon marché en technologie MLI tolère des courants jusqu'à 30 A.

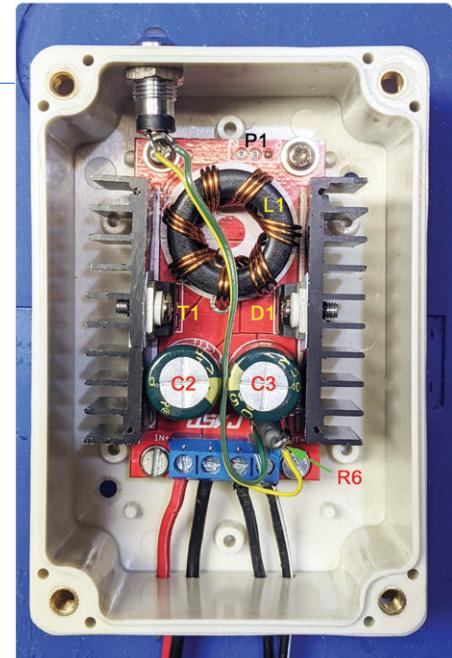


Figure 5. Un simple convertisseur élévateur a été complété par un limiteur de courant de 1,3 A.

Les mesures ont montré qu'à la fin du mois d'octobre dans le sud du land Bade (Allemagne), vers midi, lorsque le soleil est au zénith, on peut s'attendre à une puissance d'environ 22 W. Le calcul approximatif était correct !

Batterie

Le stockage d'énergie doit être suffisant pour au moins une journée de couverture nuageuse dense. La batterie doit donc être capable de stocker ≥ 140 Wh. Une batterie AGM 12 V plomb-acide de 12 Ah (≈ 150 Wh) coûte environ 25 € sur eBay. L'AGM (Absorbed Glass Mat) est nécessaire pour obtenir un maximum de cycles de charge dans cette application et donc une durée de vie longue. Un panneau de 80 W délivre un courant de pointe d'un peu moins de 6 A. La batterie est donc chargée avec un maximum de 0,5 C (généralement moins ; voir encadré **Courants en C**), ce qui est bon pour la longévité. Elle est déchargée à environ 40 W, ce qui correspond à 0,25 C. Comme il y a également de nombreux cycles courts de charge partielle, on peut s'attendre à juste titre à des années de fonctionnement. Une batterie de 12 Ah est un minimum pour cette application – plus serait mieux – mais je voulais essayer avec le minimum calculé et j'ai donc commandé la batterie de la **figure 3**.

Régulateur de charge solaire

Le marché est inondé par une multitude de régulateurs de charge de petite puissance bon marché, qui conviennent à mes fins. J'ai décidé d'acheter un régulateur relativement « cher » à 13,50 €, parce qu'il a un boîtier métallique et des ailettes de refroidissement à l'arrière. C'est peut-être exagéré, car mon système n'utilise que 20% des 30 A possibles.

Les unités bon marché fonctionnent toutes avec un simple contrôle MLI, ce qui n'est pas tout à fait optimal. Si vous voulez un meilleur contrôleur MPPT (Maximum Power Point Tracking) pour une efficacité maximale, vous devrez débourser au moins 75 €. Afin de rester en dessous des 100 € prévus, j'ai décidé d'utiliser la version bon marché de la **figure 4**.

Convertisseur CC/CC

J'ai d'abord pensé qu'un système solaire de 24 V avec deux batteries de 12 V connectées en série serait la solution la plus simple. La station de charge de la tondeuse fonctionne probablement bien avec 24 V, même si elle est spécifiée pour 28 V. Cela permettait d'économiser un convertisseur élévateur, qui autrement est indispensable pour augmenter la tension de fonctionnement d'une batterie de 12 V, en éliminant en outre la perte de conversion et le courant de repos du convertisseur. Cependant, les panneaux solaires de 24 V sont plus chers. Ce qui est devenu évident par la suite, c'est que j'ai eu de la chance en optant pour la technologie 12 V.

Il fallait donc trouver un convertisseur élévateur de puissance suffisante, qui amène les 12-14 V de la batterie aux 28 V requis. Il devait pouvoir fournir au moins 40 W. Sur l'internet, on trouve des modules appropriés en abondance. J'ai décidé d'acheter un module de 150 W pour un peu moins de 10 €, qui promettait des réserves suffisantes. La **figure 5** montre la version modifiée intégrée dans un boîtier en plastique. Le rendement annoncé était de 95%. Et c'était vrai, comme l'ont montré mes mesures. Ce n'est pas étonnant, car l'UC3843 n'est certainement pas un mauvais choix pour IC1.

En tout, j'ai dépensé 55 € + 25 € + 13,5 € + 10 € = 103,50 € – une bonne estimation, n'est-ce pas ? En plus de cela, j'ai dû dépenser quelques euros pour les petites pièces,



Figure 6. Les quatre étapes de la transformation d'une niche pour chien mal utilisée en un garage solaire pour mon robot de tonte.

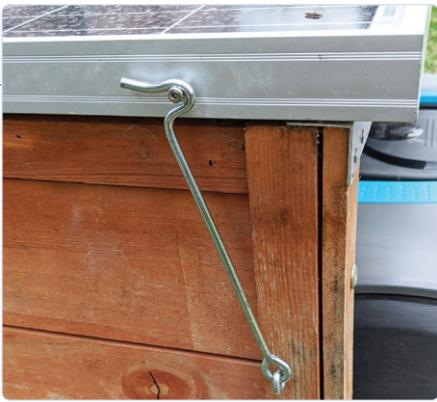


Figure 7. Comment empêcher le soulèvement du panneau par le vent.

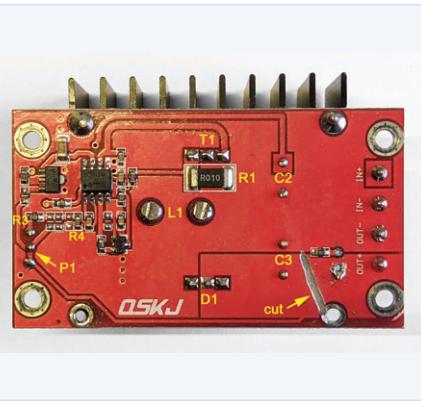


Figure 8. Face arrière de la carte du convertisseur élévateur.

les vis en acier inoxydable, les charnières et le boîtier en plastique.

Conversion avec obstacles

Il y a d'abord eu les travaux mécaniques que j'affectionne peu en tant qu'électronicien : la transformation de l'ancien logement de la station de base en un garage avec un toit solaire. Les quatre photos partielles de la **figure 6** illustrent la procédure.

Tout d'abord, j'ai retiré les deux moitiés du toit (**a**) et j'ai scié les pignons comme indiqué en (**b**). Ensuite, j'ai ajouté des profils d'angle en aluminium pour stabiliser le support devenu quelque peu bancal, et enfin j'ai fixé le panneau solaire de manière articulée (**c**). L'acier inoxydable n'est pas de trop dans les charnières et les vis, si l'on veut éviter la rouille. En (**d**), vous pouvez voir le résultat avec le panneau déplié et la tondeuse garée. La **figure 7** montre comment j'ai bloqué le panneau pour empêcher son soulèvement par le vent, ce

qui est une nécessité absolue.

L'étape suivante a déjà été plus intéressante : j'ai installé et câblé la batterie, le contrôleur de charge et le convertisseur élévateur. La LED de la station de charge est immédiatement devenue verte, même si j'avais réglé le convertisseur à seulement 27 V pour tenir compte de la chute de tension de l'alimentation d'origine. Au début, tout semblait fonctionner et le robot de tonte a reconnu les câbles de délimitation installés et s'est mis à tondre joyeusement.

Pour voir si la tondeuse se chargeait bien, je l'ai ensuite poussée dans sa station de charge. Mon smartphone était déjà en train de « pinguer » lorsque l'application de la tondeuse a reçu un message d'erreur de la part de la tondeuse...

Le message affiché était : « Courant de charge trop élevé ».

Oh ! « Ça peut faire de gros dégâts » me suis-je dit et j'ai rapidement sorti la

tondeuse de la station de charge. Le soir, Alexandra m'a demandé : « Tout s'est bien passé avec ta tondeuse ? ». J'ai dû concéder un rapport de situation dans le style de Radio Erevan : « En principe oui, mais... ». Je lui ai dit que le mode de repos fonctionnait bien, mais que le message d'erreur était ennuyeux. Mais je soupçonne que le robot compte sur le fait que son alimentation a un limiteur de courant intégré, et qu'il se charge donc simplement avec un courant constant. Demain, je mesurerai l'alimentation et, si nécessaire, j'équiperai le convertisseur élévateur d'un limiteur de courant ou j'en fabriquerai un pour lui. Si j'avais connecté directement le 24 V des batteries sans limiteur de courant, il y aurait eu des nuages de fumée. J'ai de la chance dans mon malheur.

Limitation de courant

Le lendemain, il s'est avéré que mon hypothèse était correcte. Avec une charge de 24Ω , l'alimentation d'origine délivrait un courant de $1,17\text{ A}$ pour une tension stable de $28,05\text{ V}$. Avec une charge de 12Ω , je n'ai pu mesurer que $15,5\text{ V}$. Le courant était de $1,29\text{ A}$. Un nouveau test avec 15Ω a donné $19,4\text{ V}$ pour un courant stable de $1,29\text{ A}$. Il s'agissait donc d'une alimentation de 28 V avec un limiteur de courant intégré d'environ $1,3\text{ A}$.

J'ai maintenant examiné de plus près le circuit imprimé du convertisseur (**fig. 8**) et reproduit le circuit autant que nécessaire. La moitié supérieure de la **figure 9** montre le circuit original. La moitié inférieure montre mes modifications en rouge.

La tension de sortie est ajustée par IC1 pour que son entrée VFB reçoive une tension appliquée de $2,5\text{ V}$. Elle est réglable avec P1 entre U_{in} et 34 V . La tension de sortie de ce type de convertisseur ne peut pas être plus petite que l'entrée, car même lorsque le convertisseur est éteint, un courant circule à travers L1 et D1 vers la sortie. Mais si la tension à la sortie peut varier entre 14 V et 28 V , c'est suffisant, me suis-je dit. Il suffisait donc de boucler une résistance shunt (R6) et d'augmenter la tension sur la broche VFB en cas de surcharge par un transistor PNP, pour réduire la tension à la sortie.

J'ai d'abord remplacé P1 par une résistance fixe de $6,8\text{ k}\Omega$. Cela a donné un résultat de 27 V – c'est bon. Ensuite, le capteur de courant d'entrée R1 a été remplacé par une résistance plus élevée de $0,22\text{ }\Omega$ (CMS 2512), car 150 W ne sont pas du tout nécessaires. Avec $0,47\text{ }\Omega$ pour R6 et une tension BE

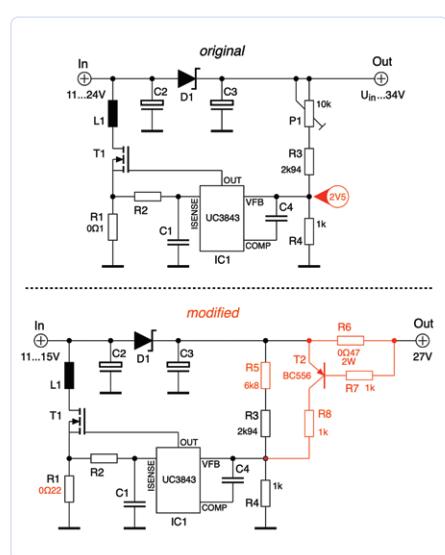


Figure 9. Circuit original et circuit modifié (partiel) du convertisseur élévateur.



Figure 10. Tout est terminé : garage solaire avec électronique intégrée.

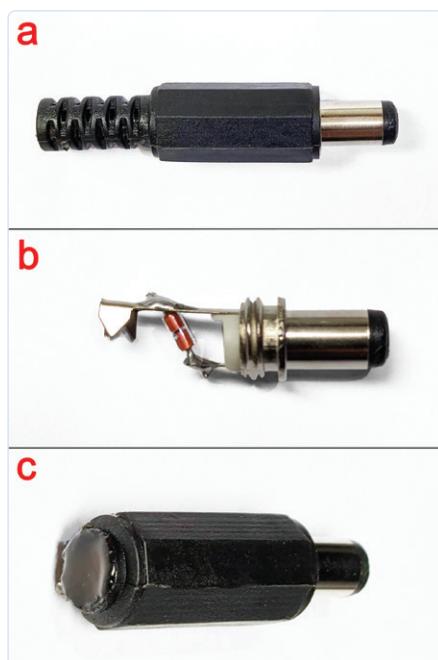


Figure 11. Une fiche jack de 3,5 mm (a) contient une diode (b) comme capteur de température. En (c), elle est scellée de manière étanche avec de la colle chaude.

d'environ 650 mV du T2 ajouté, on peut s'attendre à une limitation de courant de 1,38 A, ce qui conviendrait. J'ai donc installé les composants rouges (T2, R7 et R8 directement sur la face inférieure de la carte) et sorti l'ampèremètre : exactement 1,30 A. Gagné !

Tout est bien qui finit bien !

J'ai remis le convertisseur modifié dans son boîtier, je l'ai replacé dans le garage de la tondeuse (fig. 10) et je l'ai allumé : la LED verte de la station de charge s'est allumée. Tadaah ! Lorsque j'ai poussé la tondeuse à l'intérieur, il n'y avait plus de message d'erreur. Le contrôleur de charge indiquait qu'environ 37 W circulaient vers le robot de tonte. Que demander de plus ? Avant d'annoncer triomphalement mon succès à Alexandra, j'ai fait tondre et charger la tondeuse à plusieurs reprises. Aucun autre problème n'est apparu.

Et au cas où vous vous demanderiez ce qui se passe s'il pleut pendant une semaine en automne ou au printemps – cette question est justifiée : avec une durée de tonte de 2 h/j, la batterie ne dure que 1,5 à 2,5 j, puis elle est vide et la tondeuse reste au garage jusqu'à ce que le soleil brille suffisamment. Une légère couverture nuageuse suffit pour qu'elle se réveille à nouveau. Si

vous voulez plus de réserve, la batterie et éventuellement le panneau doivent être dimensionnés plus largement. Un panneau de 100 W et une batterie de 20 Ah ne sont certainement pas exagérés. Le régulateur de charge et aussi le convertisseur peuvent tolérer une puissance bien supérieure. Au passage, pas de problème en hiver, car c'est le moment où la tondeuse (y compris la batterie) passe de son garage à mon garage.

Addendum

Les tensions d'une batterie au plomb dépendent de la température. Par conséquent, certains régulateurs de charge sont équipés d'un capteur de température pour en tenir compte. Mon contrôleur de charge incluait une prise jack de 3,5 mm apparemment vide (fig. 11a). En dévissant le capuchon, une simple diode en silicium est apparue (b). Il est clair qu'une jonction PN a un coefficient de température d'environ $-1,7 \text{ mV/K}$, ce qui est suffisant. Mais ce montage rudimentaire n'était pas une bonne idée à cause de l'humidité possible et des petits animaux qui cherchent un

abri. J'ai donc coupé la protection contre les courbures et simplement rempli l'œillet avec de la colle thermofusible (c). Maintenant, il est à l'abri de l'eau et des animaux.

Si vous avez quelque chose de similaire en tête : il existe également des convertisseurs step-up/down ou boost/buck prêts à l'emploi avec un limiteur de courant réglable pour juste quelques euros supplémentaires. Vous pouvez donc éviter la modification que j'ai faite. 

(200553-04)

Des questions, des commentaires ?

Contactez Elektor (redaction@elektor.fr).

Contributeurs

Idée, mise en œuvre et texte :

Thomas Scherer

Rédaction : **Jens Nickel, CJ Abate**

Mise en page : **Giel Dols**

Traduction : **Denis Lafourcade**

COURANTS EN C

Pour les batteries rechargeables, le courant de charge ou de décharge en fonction de la capacité nominale de la batterie est donné dans l'unité non-SI couramment utilisée, le C – c'est le rapport courant (en A) sur capacité nominale (en Ah) ; pour mémoire, capacité nominale (Ah) = courant (A) \times durée (h). Un C de 0,5 donne un courant de 6 A pour une batterie de 12 Ah. L'avantage de l'unité C est qu'elle indique le stress de la batterie. Les batteries sont conçues pour certaines valeurs C maximales. Plus les valeurs réelles de C sont élevées, plus la durée de vie de la batterie est courte.

=> Pour un courant donné, les batteries plus grosses durent plus longtemps.



PRODUITS

- **Régulateur de batterie pour panneau solaire avec sortie USB**
www.elektor.fr/usb-solar-panel-battery-regulator-charge-intelligent-controller-12-24-v-10-a
- **Pince ampèremétrique 4350 de marque PeakTech**
www.elektor.fr/peaktech-4350-clamp-meter
- **Multimètre numérique avec Bluetooth OW16B de marque OWON**
www.elektor.fr/owon-ow16b-digital-multimeter-with-bluetooth

LIEN

- [1] « Locating Wayward Wires » (article en anglais), Elektor 03-04/2019 :
www.elektormagazine.com/magazine/elektor-141/57129