



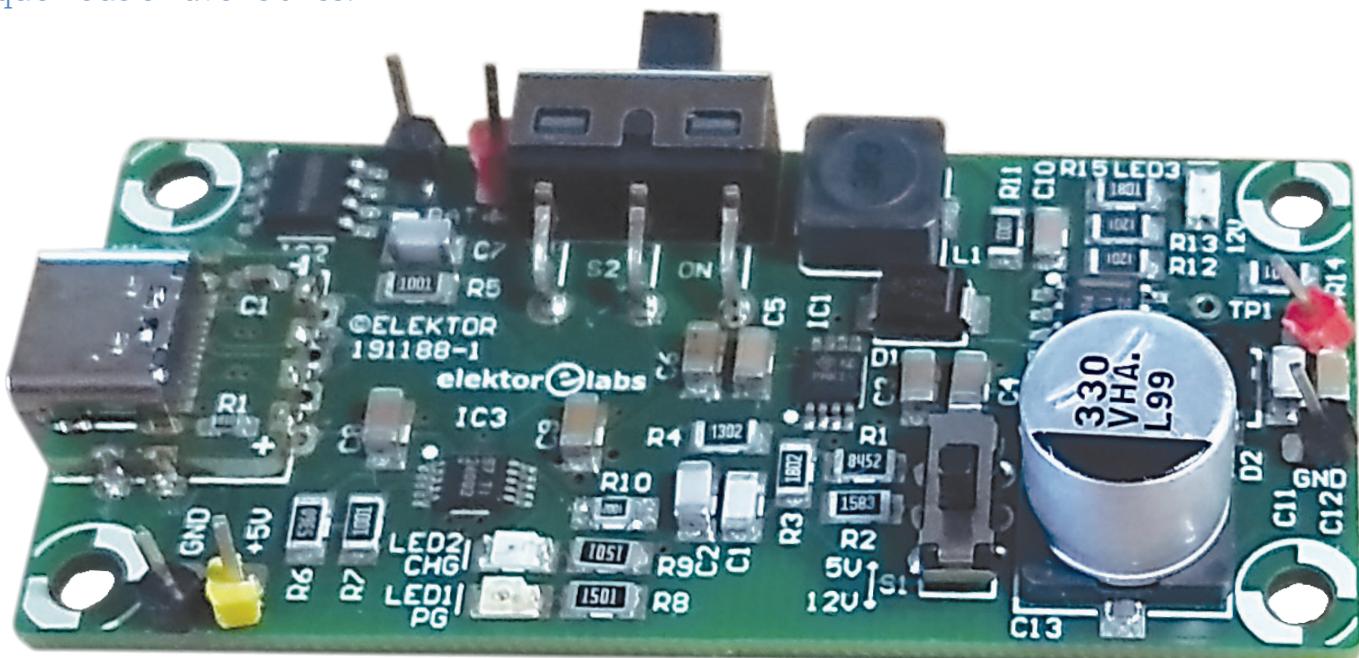
superchargeur LiPo

DIY

De l'artisanat au marché de masse

Mathias Claußen (Elektor)

Elektor et GreatScott!, chaîne YouTube axée sur l'électronique amateur avec plus d'1,4 million d'abonnés présentent une alimentation rechargeable LiPo en kit. Ce kit permet aux novices de faire leurs premières armes en CMS, avec un choix judicieux de composants 1206 et un circuit imprimé (PCB) en partie monté. La conception de ce kit à monter soi-même (DIY - Do It Yourself) a été difficile, c'est pourquoi nous voulons partager avec vous les enseignements que nous en avons tirés.



SPÉCIFICATIONS

- Entrée : 5 V +/-10 %
- Sortie : 5 V / 1,5 A ou 12 V / 0,75 A
- Batterie au lithium

GreatScott! et Elektor se sont réunis au salon *productronica 2019* au sujet d'un projet commun – une alimentation en kit

dotée d'une batterie rechargeable au lithium. Pour la plupart de nos projets, nous utilisons une alimentation secteur fiable. Mais pour des réalisations à terme autonomes, par ex. modèle réduit de voiture ou capteur extérieur, les câbles sont vite rédhibitoires. Ces projets utilisent en général un jeu de batteries maintenues par du ruban adhésif et collées à chaud à un convertisseur CC/CC peu coûteux pour former une alimentation

mobile. Une alimentation robuste avec protection améliorée serait préférable. GreatScott! et Elektor se sont associés pour concevoir une alimentation rechargeable fonctionnant avec des batteries au lithium courantes. L'équipe savait d'emblée qu'il faudrait du « DIY » et des composants CMS pour enseigner les techniques de soudage CMS et démontrer que le soudage des CMS n'a besoin ni de magie ni de magiciens. Lors de la réunion,

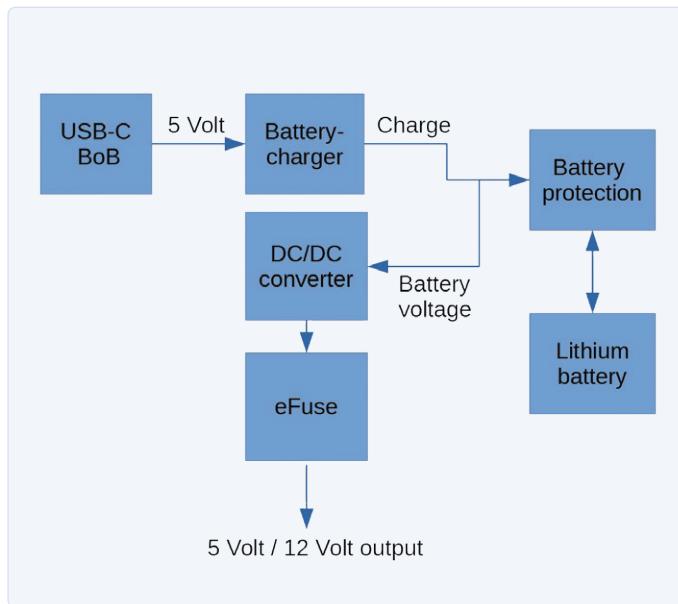


Figure 1. Blocs fonctionnels.

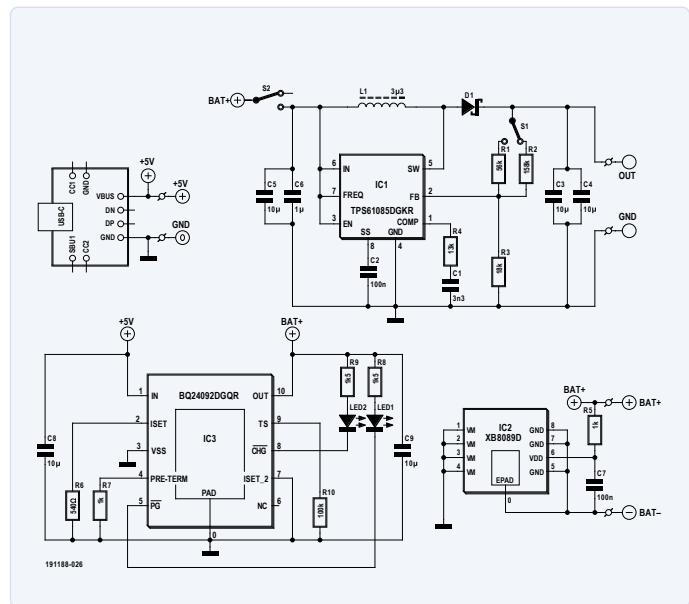


Figure 2. Schéma de la première version.

nous avons appris que GreatScott! avait déjà fait quelques calculs et ébauché des schémas. À la différence des autres alimentations, l'utilisateur peut commuter la sortie sur 12 V ou 5 V.

Blocs fonctionnels

Pour construire une alimentation à batterie au lithium rechargeable, il faut judicieusement relier les blocs fonctionnels. La **figure 1** montre l'interconnexion de ces blocs.

Le premier bloc est le connecteur USB : un adaptateur secteur-USB pourra alimenter l'appareil. C'est un petit circuit imprimé à composants passifs qui distribue les signaux nécessaires sur sa périphérie. Il prendra place sur le circuit imprimé principal. Il peut servir dans d'autres projets utilisant l'USB-C. Il y a ensuite un circuit qui, à partir de la tension d'entrée, charge la batterie au lithium connectée.

La protection de la batterie est assurée par un bloc distinct (**fig. 1**) qui prévient toute surintensité, surcharge et décharge excessives et protège des erreurs de polarité. Au centre figure le convertisseur CC/CC qui fournira une sortie de 5 V ou 12 V. Le dernier bloc est l'*eFuse* qui limite le courant de sortie débité par le convertisseur et le protège de tout dommage. En connectant ces blocs convenablement, nous obtenons une source d'énergie rechargeable portable.

Des composants courants

La liste des composants a été optimisée pour commander en Chine, car en

décembre 2019 cela semblait raisonnable-
ment facile, l'import-export chinois étant
capable de traiter de grandes quantités à
bas prix. Les composants de cette liste sont
pour la plupart également disponibles chez les
fournisseurs européens. Les circuits intégrés
importants pour ce projet étaient estampil-
lés Texas Instruments. Un seul CI nécessitait
un achat chez un distributeur chinois, mais
cela ne semble pas être un problème. Nous
avons confié la charge à un BQ24092DGQR
de Texas Instruments. Il est conçu pour les
batteries rechargeables de type lithium-ion
et lithium-polymère. Un TPS61085DGKR,
également de Texas Instruments régule la
tension de sortie de 12 V ou 5 V. Il est monté
en convertisseur *boost* CC/CC. Les autres
composants (condensateurs, résistances et

inductances) étaient proposés par les distributeurs européens. Dès la conception nous avons choisi des composants classiques. Un ingénieur d'Elektor a pris en charge le schéma, la liste des composants et les premiers calculs. Sur cette base, le dessin et le routage d'un circuit imprimé ont été vite réalisés et le 1^{er} prototype fut commandé. Il était prêt à être essayé juste avant Noël 2019. La **figure 2** montre le schéma et la **figure 3** le circuit imprimé qui en résulte. Le premier essai effectué par GreatScott! semblait très prometteur. Le circuit imprimé pouvait être produit, mais tout s'est compliqué. En effet, le COVID-19 a entamé son voyage autour du monde et a « infecté » les chaînes d'approvisionnement. Le nombre de composants disponibles se réduisait comme peau de

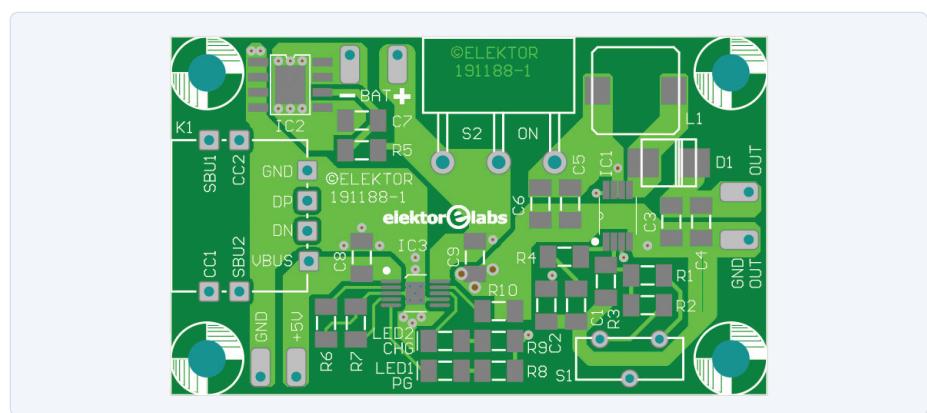


Figure 3. Circuit imprimé de la première version.

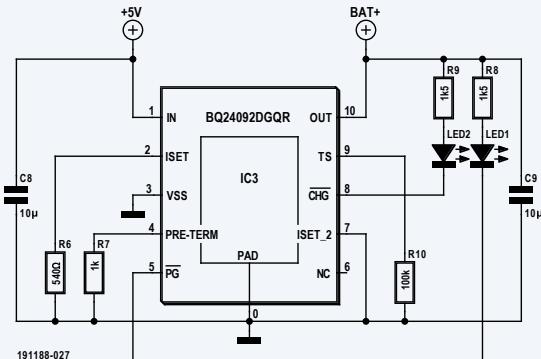


Figure 4. Schéma du bloc « circuit de charge ».

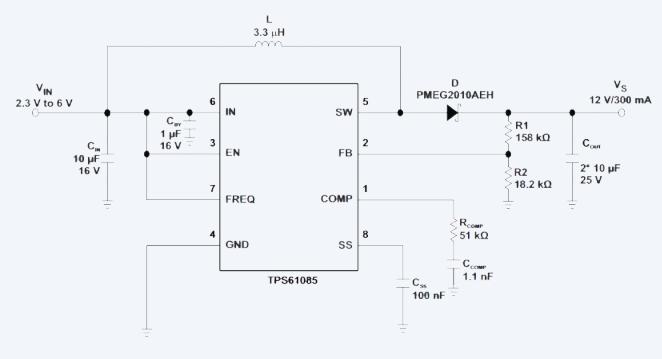


Figure 5. Schéma du bloc « convertisseur CC/CC ».

chagrin. De plus, deux erreurs de conception majeures sont apparues.

Erreur de puissance de 10 et CI qui partent en fumée

Un 1^{er} essai a montré que l'utilisation en alimentation d'une batterie rechargeable fonctionnait, mais la charge non. Nous avions déjà observé ce phénomène sur un autre prototype après l'installation du BQ24092DGQR. La **figure 4** montre le schéma de recharge de la batterie. La résistance R10 est nécessaire s'il n'y a pas de thermistance à l'intérieur de la batterie. Selon le type de BQ2409x choisi, il peut s'agir de 10 ou 100 kΩ, et ici, elle était de dix fois la valeur attendue par le BQ24092DGQR. La batterie ne se chargeait pas, car le CI détectait une température hors de la plage attendue. La solution est triviale : remplacer R10 de 100 kΩ par une résistance de 10 kΩ.

Le deuxième problème était un peu plus grave. Au cours des essais, le convertisseur CC/CC se désintégrait dès que le courant était élevé. Selon le schéma (fig. 1), il n'y a qu'un CI qui protège la batterie, il ne fait que limiter le courant à 10 A. Donc sous 3,7 V, environ 37 W peuvent être délivrés à l'étage d'amplification CC/CC. Dans des conditions idéales, pour 5 V en sortie, cela donnerait 7,4 A max. disponibles. Les conditions n'étant jamais idéales, cela implique que le convertisseur CC/CC peut être surchargé et par conséquent détruit. Il fallait donc protéger ce convertisseur, mais voyons d'abord comment un tel circuit fonctionne.

Fonctionnement d'un convertisseur CC/CC

Un convertisseur CC/CC doit produire une tension de sortie inférieure ou supérieure à la tension d'entrée. En alternatif, c'est plus simple, car on peut utiliser un transformateur et la tension de sortie dépend du rapport de spires primaire/secondaire. Les convertis-

seurs CC/CC existaient avant l'arrivée des CI au silicium. Électromécaniques, ils étaient des dizaines de fois plus volumineux que ce que propose l'électronique mobile moderne. Le site Wikipédia [1] vous en dira plus.

Un convertisseur CC/CC moderne ne nécessite que quelques composants externes, car ses circuits sont maintenant intégrés dans un boîtier minuscule. Si le convertisseur abaisse la tension, il est dit abaisseur (*buck*), ou dévoluter c'est le plus courant. Si le convertisseur élève la tension, il est dit élévateur (*boost*) ou survolteur. Ici c'est un convertisseur *boost* TPS61085DGKR qui produit 5 ou 12 V à partir d'une entrée de 3 à 4,2 V. Pour décrire son fonctionnement, examinons d'abord la **figure 5**. De l'entrée à la sortie, il y a une inductance L suivie d'une diode D. L'inductance est également connectée à la broche SW, un interrupteur interne qui peut connecter l'inductance à la terre. Pour commencer, supposons que l'interrupteur interne SW est fermé et que le courant va à la terre via l'inductance et la broche SW. L'inductance stocke de l'énergie sous forme de champ magnétique. Si l'interrupteur est maintenant ouvert, le courant dans l'inductance diminue, ce qui inverse la polarité à ses bornes, et un courant traverse la charge tandis que le champ magnétique diminue (restitution de l'énergie). L'inversion de polarité place de fait l'inductance en série avec la batterie ce qui double la tension disponible pour la diode (comme si on avait mis deux batteries identiques en série).

La tension d'alimentation et la tension ajoutée par l'inductance passent par la diode D. Cette tension charge le condensateur Cout. Quand le champ magnétique a diminué au point que l'inductance n'ajoute plus rien à la sortie, on referme l'interrupteur interne. Le champ magnétique de l'inductance remonte à son état initial dès que le courant circule à nouveau dans la bobine et l'interrupteur SW. Le processus peut alors recommencer en ouvrant l'interrupteur.

La diode D empêche le condensateur Cout de se décharger tant que l'interrupteur est fermé et relié à la terre. En répétant le cycle en continu, on obtient une tension de sortie supérieure à la tension d'entrée.

Examinons la **figure 6** qui décrit les blocs internes du CI du convertisseur CC/CC. Voyons le contrôle des durées nécessaires au mode « boost » pour obtenir une tension de sortie stable. Le FET interne joue le rôle de l'interrupteur qui relie la sortie de l'inductance à la terre. Pour synchroniser correctement le FET interne, la tension de sortie est comparée à une tension Vref, ici 1,238 V. Il faut calculer un diviseur de tension relié à l'entrée FB (*Feed Back* = rétroaction) qui renvoie 1,238 V quand notre sortie est à 12 V ou 5 V. Si la tension de rétroaction est supérieure à 1,238 V, la logique interne tente de réduire la tension de sortie jusqu'à ce que la broche de rétroaction soit à 1,238 V. Si la rétroaction est inférieure à 1,238 V, la tension de sortie augmente jusqu'à ce que 1,238 V soient à nouveau atteints. Des protections internes limitent la quantité de courant traversant le FET interne, verrouillent le CI en cas de sous-tension, et sont censées arrêter le convertisseur CC/CC si la température du CI s'élève trop. Voilà pour le principe du fonctionnement du convertisseur CC/CC.

Surintensité et protection

Si la sortie du convertisseur CC/CC est connectée à une charge élevée ou court-circuitée, cela surcharge les FET et des circuits internes, et détruit donc brutalement le CI. Pour éviter cela, il y a deux endroits où on peut ajouter une protection, devant le convertisseur CC/CC et à sa sortie. Avec très peu de composants, il peut sembler évident et rapide de limiter courant et puissance délivrées au convertisseur CC/CC. Comme élément de protection, un composant polymère à coefficient de température positif (fusible réarmable CTP) a été inséré pour limiter le courant en

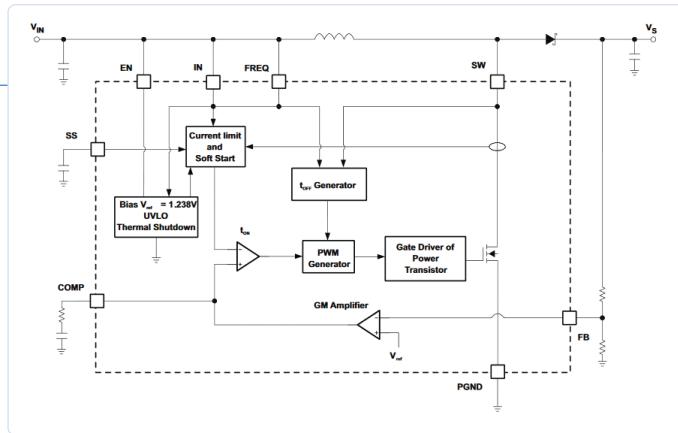


Figure 6. Schéma de principe du convertisseur CC/CC.

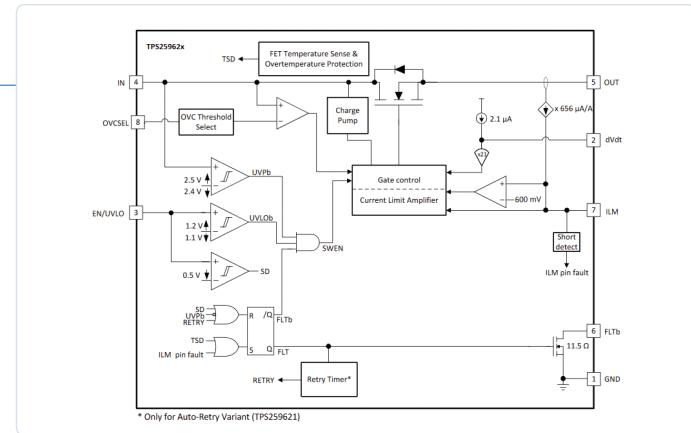


Figure 7. Schéma de principe de l'eFuse.

amont du convertisseur. Même si cela semble rapide et peu coûteux pour le protéger, le principe de fonctionnement d'un convertisseur CC/CC induit dans ce cas des effets secondaires indésirables. À des fins éducatives, un fusible réarmable a été ajouté au circuit imprimé. Cela a bien protégé le convertisseur CC/CC à court terme, mais a engendré des oscillations indésirables. Il n'y a pas besoin d'effectuer de mesures ni d'essais pour en déterminer la raison, il suffit de réfléchir. Un fusible réarmable limite l'intensité du courant, car sa résistance interne augmente avec la température. Comme le fusible lui-même a une résistance définie, le courant qui le traverse le fait chauffer. Par conséquent, plus le courant traversant le fusible est élevé, plus sa température augmente et plus sa résistance augmente. En fin de compte, cette résistance limite l'intensité du courant qui passe à travers le fusible.

En supposant que le convertisseur ait une charge de sortie élevée, le courant d'entrée est lui aussi élevé. Le fusible va alors s'échauffer et sa résistance augmenter, limitant le courant qui va circuler. Qui dit augmentation de résistance du fusible, dit chute de tension accrue à ses bornes et réduction de la tension

d'entrée du convertisseur. Le convertisseur CC/CC voit son courant limité et ne peut plus être détruit, mais il tente aussi de maintenir sa tension de sortie et de fournir la puissance demandée avec une tension d'entrée plus basse, ce qui demande une augmentation du courant dont il a besoin. Celle-ci entraîne une nouvelle augmentation de la résistance du fusible et donc de la chute de tension aux bornes du fusible.

De nouveau, la tension d'entrée du convertisseur se réduit. Très vite, la tension d'entrée tombe au-dessous du seuil de verrouillage de sous-tension et le convertisseur CC/CC s'arrête. Une fois arrêté, l'appel de courant est fortement réduit. Cela permet au fusible de refroidir et sa résistance diminue. Par conséquent, la chute de tension sur le fusible diminue et la tension d'entrée du convertisseur CC/CC réaugmente. Le convertisseur redémarre et la boucle étant bouclée ce qui doit arriver arrive, ça oscille. Cela a aussi des conséquences sur la tension de sortie. Comme pour toute oscillation, la tension de sortie montre des pointes et autres instabilités non filtrées.

Si l'ajout d'un fusible réarmable en entrée n'est pas la solution idéale, en sortie c'en serait une.

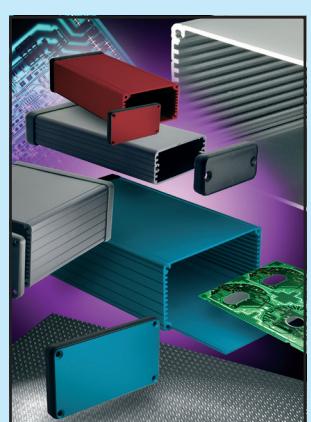
Ce serait une approche simple avec une seule tension et une seule limite de courant. Nous avons deux limites de tension et de courant de sortie différentes, un seul fusible ne peut pas protéger pour les deux. Un fusible électronique (eFuse), déjà présenté dans un article en ligne d'*Elektor* [2] peut être une solution plus générale à ce problème, notamment en cas de variation de tension et de courant. La recherche d'*eFuses* s'adaptant à une tension d'entrée de 5 à 12 V et capables de gérer 0,5 à 2 A, nous a conduits au TPS259621DDAR de Texas Instruments. Comme on le voit sur la **figure 7**, ces composants offrent plus qu'une simple protection contre les surintensités. Ils peuvent aussi protéger des surtensions et des sous-tensions. Sur la figure 2, un inverseur pour changer les tensions est déjà présent. Comme la limite de courant est également fixée par des résistances et pilotée par les tensions définies pour protéger le convertisseur CC/CC, avoir un commutateur qui gère deux voies indépendantes permet de définir à la fois la tension de sortie et la limite de courant. Nous avons trouvé et utilisé de tels commutateurs pour ce projet. C'est une solution moderne et réglable pour protéger contre les surintensités.



hammfg.com/small-case

Plus de 5000 modèles de boîtiers standards en stock: plastiques, moulés et extrudés

eusales@hammfg.com • + 44 1256 812812



Publicité



Figure 8. Batterie plate endommagée et gonflée.

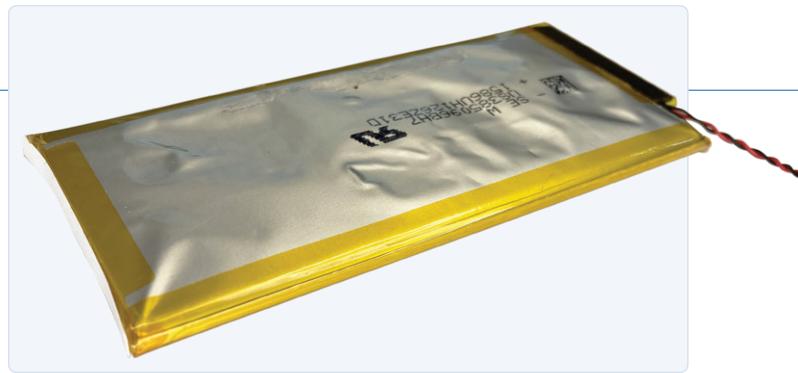


Figure 9. Batterie de téléphone portable endommagée.

Batteries au lithium : faciles à recharger et à enflammer !

De nos jours, les appareils électroniques portables utilisent en général des batteries à la chimie basée sur le lithium. Grâce aux progrès techniques de ces batteries, la densité de puissance par volume et par poids a bien augmenté. Les batteries antérieures (NiCd et NiMh) nécessitaient des circuits complexes pour être rechargées et détecter la fin de charge, le lithium simplifie les choses. Si la pile n'est pas épuisée et que sa tension à vide est $\geq 2,5$ V, la recharge se fait selon une approche CC/CV à courant constant d'abord, avec une tension de fin de charge, puis arrêt de la charge dès qu'une tension définie est atteinte. Pour le lithium-ion et le lithium-polymère, la tension type est de 4,15 V. C'est ce que fait le

BQ24092DGQR pour recharger une batterie connectée, en appliquant un courant limité ≤1 A jusqu'à atteindre une tension de cellule de 4,15 V. La puce lance en outre une temporisation de charge qui, une fois écoulée, arrête la charge si la batterie n'a pas atteint 4,15 V. Le circuit intégré de charge offre en outre une protection thermique optionnelle. Les chargeurs et batteries de haute qualité sont équipés d'une surveillance thermique, généralement une thermistance, pour éviter un échauffement excessif des batteries en cours de charge. Vu la polyvalence d'utilisation recherchée (divers types et marques de batteries au lithium), l'exploiter ici n'est pas utile. Si cette surveillance n'est pas utilisée, le chargeur fonctionnera sans elle en installant une résistance ordinaire à la place de la thermistance. Il

faut juste choisir la bonne résistance ; sinon, il n'y aura pas de charge. L'utilisation de batteries au lithium incompatibles, par ex. au phosphate de lithium-ion (LiFePo), peut provoquer leur l'inflammation. Il faut utiliser des cellules de haute qualité, car une cellule endommagée se met à gonfler ou même à chauffer et peut prendre feu. La **figure 8** montre des batteries au lithium endommagées ayant gonflé. Plates à l'origine elles sont devenues presque rondes. La **figure 9** montre une cellule de téléphone portable endommagée, légèrement dilatée, mais avec suffisamment de force pour décoller l'écran du téléphone de son châssis.

Spécifications finales

Avec l'ajout de l'*eFuse* au schéma de circuit, il fallait également définir les paramètres de

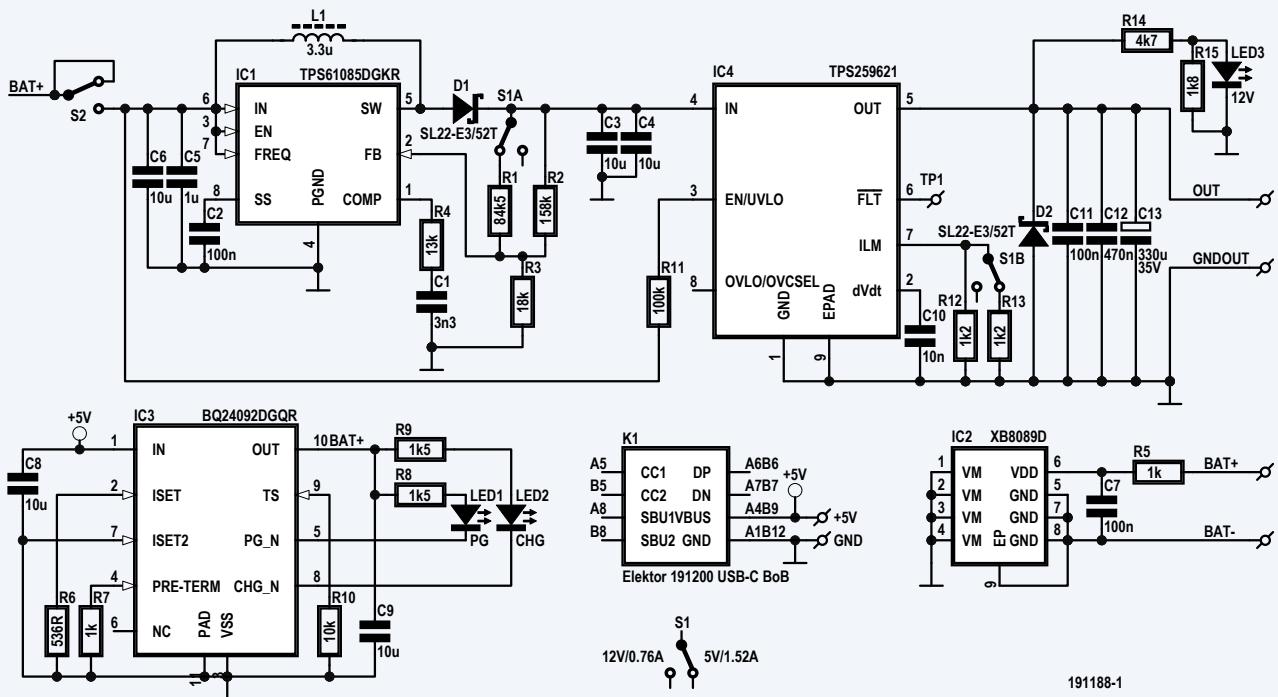


Figure 10. Schéma du superchargeur LiPo DIY en kit.

l'eFuse. Nous avons fixé les valeurs pour 5 et 12 V à 1,5 et 0,75 A. C'est sans risque pour le convertisseur. Il faut également définir le courant de charge utilisé pour la batterie connectée. Le BQ24092DGQR offre jusqu'à deux réglages de courant de charge, selon la configuration des broches ISET et ISET2. Comme ISET2 est reliée à la terre, la puce utilisera le réglage de courant d'ISET, et avec 536Ω , le courant de charge de la batterie connectée est limité à 1 A. Assurez-vous de monter une batterie compatible avec le courant de charge.

Retour sur le schéma et finalisation du circuit imprimé

Après l'ajout de l'eFuse au schéma, un point restait à examiner. Le schéma initial ne prévoyait pas de moyen visuel de savoir si la tension de sortie valait 5 V ou 12 V. GreatScott! et Elektor sont tombés d'accord : une LED indicatrice améliorerait la convivialité du montage. Nous avons aussi pensé que ce retour visuel aiderait à éviter d'alimenter accidentellement en 12 V un système prévu pour 5 V. Le circuit ajouté pour signaler le mode 12 V utilise une LED et deux résistances. La LED ne s'allume que si la sortie est à 12 V. La 2^e version du circuit imprimé a fonctionné comme prévu. Il a fallu ensuiteachever la conception, ajouter les dernières retouches au texte et au logo, placer les références idoines et remettre tout le matériel à la production. La **figure 10** montre le schéma final du superchargeur LiPo DIY. La **figure 11** est le schéma de la carte additionnelle (BoB) USB-C.

De l'artisanat au marché de masse

La conception de montages et la réalisation de prototypes en interne diffèrent d'une production par le biais d'installations automatisées et de prestataires de services. Nous n'avons dit mot du petit BoB USB-C (**fig. 12**) monté sur le circuit imprimé principal et qui a son propre numéro de projet. Une connexion USB-C *alimentation et données* serait utile pour d'autres montages, un petit circuit imprimé a également été dessiné et produit à cet effet. Les connexions importantes pour la vitesse et l'alimentation USB2.0 ont été acheminées sur les trois côtés sous forme de trous crenelés.

Cela les a rendus pratiques à utiliser, mais pas si faciles à produire. Les circuits imprimés sont si petits que les machines ont du mal à les manipuler. Pour qu'elles y parviennent, le prestataire a dû prendre certaines mesures techniques. Finalement, ils ont été produits et

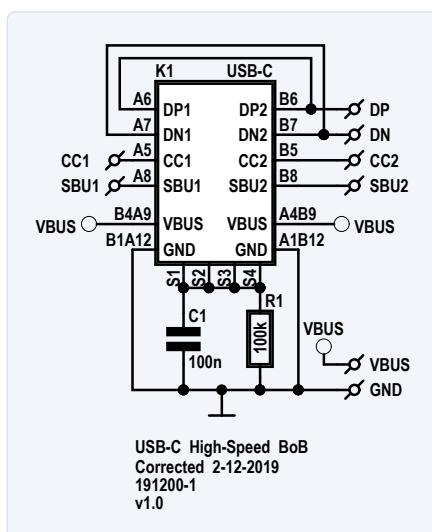


Figure 11. Schéma du BoB USB-C.



Figure 12. BoB USB-C.

font partie du kit. Pour fabriquer ce minuscule circuit imprimé à trois côtés à trous crenelés, il fallait d'abord vérifier auprès du prestataire et obtenir un devis pour les coûts additionnels. Dans un kit DIY CMS, il faut aussi que les composants soient emballés ou rangés à l'intérieur du kit. Manuel, ce travail peut faire s'envoler les coûts. À la fin, il peut être moins cher de proposer un circuit imprimé garni au lieu du kit en pièces détachées. Ici c'est différent, car l'apprentissage du soudage des CMS implique de ne pas souder en usine les CMS qui peuvent l'être avec un simple fer à souder. Fournir les fichiers Gerber et les données de placement automatique à un fabricant peut aussi être une aventure.

Nous avons reçu un prototype presque à la phase finale du processus. Si résistances, inductances, LED et autres pièces mécaniques étaient bien emballées dans des sachets, le circuit imprimé nous réservait une surprise : alors que les composants à préassembler étaient bien là, un problème affectait la pâte à souder. Cette pâte à souder pour circuit imprimé (chose que la plupart de ceux qui montent encore leurs circuits imprimés à la main ne connaissent pas) avait été appliquée pour tous les composants. Il y en avait donc sur toutes les pastilles du circuit imprimé, ce qui ne facilite pas du tout le soudage des composants restants.

La **figure 13** vous en dira plus qu'un long discours. Il a fallu revoir le calque de pâte à souder du jeu de fichiers Gerber, de sorte que pendant la fabrication, seules les pastilles des composants préassemblés reçoivent cette pâte. Pour la production, il faut également discuter à l'avance avec votre fabricant et votre prestataire de services de la quantité de pièces CMS à emballer dans de petits sacs. L'emballage, c'est de la main-d'œuvre qui peut grever les coûts de façon étonnante.

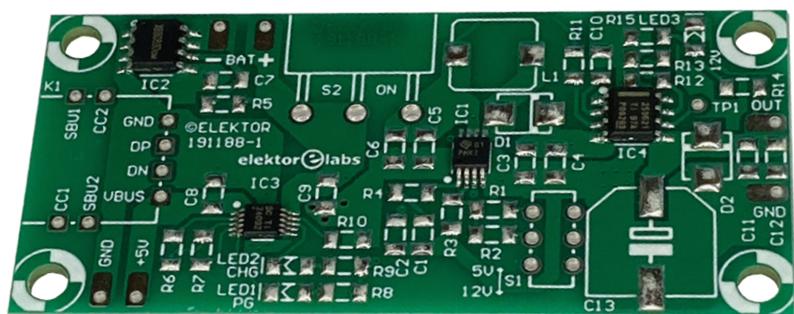


Figure 13. Circuit imprimé fabriqué avec le masque de soudure erroné.

une batterie en bon état si vous en avez sous la main. Vérifiez que cette batterie lithium-ion ou lithium-polymère supporte un courant de charge de 1 A et délivre 3,7 V nominaux (un seul élément).

Pour l'assemblage, prenez votre temps et soyez patient. Même en format 1206, les composants CMS ont une forte propension à disparaître en tombant de l'établi ou à se cacher derrière les objets. Une fois le montage et les tests terminés, votre superchargeur LiPo sera prêt à fonctionner. L'interrupteur S2 du circuit imprimé sert à connecter/déconnecter la batterie du convertisseur CC/CC. Cela permet de couper la sortie et d'économiser de l'énergie. Un convertisseur CC/CC, même non chargé peut consommer quelques mA. Une fois votre batterie branchée, mieux vaut la laisser se charger complètement. Sur le superchargeur DIY, la LED1 indique si la tension fournie par le connecteur USB-C est dans la bonne plage. Pendant la charge, vous verrez que la LED2 s'allume. Avec une batterie bien chargée, elle ne s'allume plus. Si c'est le cas, votre source d'énergie portable est prête à alimenter vos appareils.

Sortez des sentiers battus !

Avoir sous la main une alimentation portable est très utile, en particulier si sa sortie est commutable en 5/12 V. La **figure 16** montre un Raspberry Pi Zero alimenté par le superchargeur LiPo DIY. Si votre budget est serré et que vous ne voulez rien souder, vous pouvez

vous contenter de colle thermofusible, ruban adhésif, fils volants et autres composants chinois bon marché. Avec ce kit, vous assemblerez tout vous-même, et l'expérimentation de la soudure CMS DIY le rend particulièrement attrayant. Avoir un produit tout assemblé et prêt à fonctionner à peine sorti de son sac plastique est beaucoup moins gratifiant que de le monter soi-même. L'assemblage de ce kit tient plus de la boîte de Lego®. Un produit sorti tout fait d'une boîte comme par magie ce n'était pas pour vous ! Ce long chemin, c'était pour le plaisir, et au bout, vous disposez d'une alimentation portable, pratique à utiliser partout.

Si vous cherchez les schémas, vous les trouverez sur la page Elektor Labs de ce projet [5]. Si vous avez besoin d'aide, vous pouvez y laisser un commentaire. 

(191188-B-03)

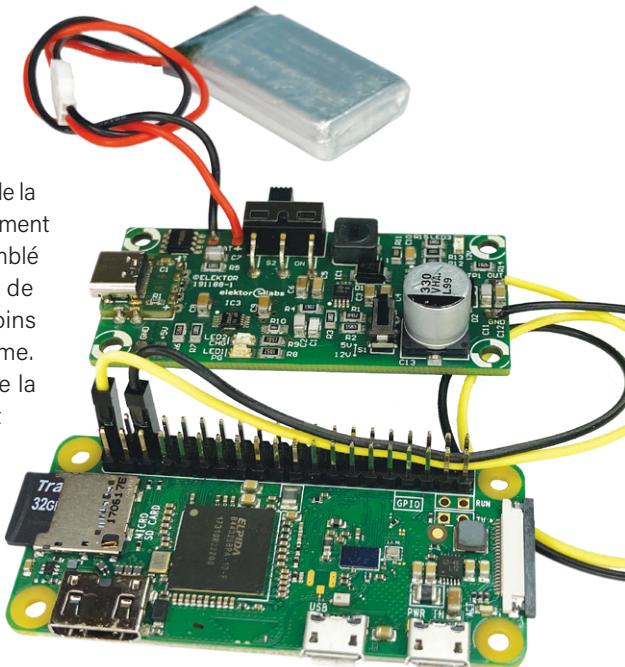


Figure 16. Raspberry Pi Zero alimenté par le superchargeur LiPo DIY.

Contributeurs

Idée : **GreatScott!**

Conception : **Ton Giesberts**

Auteur : **Mathias Claußen**

Rédaction : **Jens Nickel et C. J. Abate**

Illustrations : **Patrick Wielders**

Mise en page : **Giel Dols**

Traduction : **Yves Georges**

Des questions, des commentaires ?

Envoyez un courriel à l'auteur (mathias.claussen@elektor.com) ou contactez Elektor (redaction@elektor.fr).



PRODUITS

➤ **Superchargeur LiPo DIY GreatScott! en kit**
www.elektor.fr/diy-lipo-supercharger-kit-by-greatscott

➤ **Station de soudage numérique Weller WE 1010 (kit pédagogique)**
www.elektor.fr/weller-we-1010-digital-soldering-station-education-kit

➤ **Extracteur de fumée avec éclairage à LED**
www.elektor.fr/fumetractor-with-led-light

LIENS

- [1] **Convertisseur CC/CC à vibreur** : www.club-des-collectionneurs.com/Les-Vibreurs.htm
- [2] **S. Cording, « The Modern Fuse », ElektorMagazine.com, 8/12/2020** : www.elektormagazine.com/articles/modern-fuse
- [3] **GreatScott!, « DIY LiPo Supercharger ! (Charge, Protection, 5 V/12 V Boost V2) », 2020** : <https://youtu.be/6LxRnf6sQNQ>
- [4] **GreatScott !, « How to Solder Properly : Through-hole (THT) & Surface-Mount (CMS) », 2017** : www.youtube.com/watch?v=VxMV6wGS3NY
- [5] **Page Elektor Labs** : www.elektormagazine.fr/labs/diy-lipo-supercharger-kit-by-greatscott
- [6] **En savoir plus sur les CMS** : wiki.jelectronique.com/doku.php?id=cms