

puit de courant réglable avec générateur d'horloge intégré

testez vos alimentations, convertisseurs
de tension et batteries

Roland Stiglmayr (Allemagne)

Malgré tous ses avantages pour le test approfondi des sources d'énergie, le puit de courant (aussi appelé charge électronique) est souvent absent du laboratoire d'électronique. Ces appareils sont en effet assez coûteux. Le mieux est donc de s'armer d'un fer à souder et de pinces coupantes et de construire soi-même une e-charge.

Comment testez-vous vos alimentations, convertisseurs CC/CC et batteries ? Vous disposez probablement d'une série de résistances de puissance pouvant servir de charge à l'appareil testé (appareil appelé ci-après la source) et vous mesurez le courant et la tension. Ensuite, vous faites une série de mesures pour relever les caractéristiques statiques de la boucle de contrôle à différentes charges et tensions d'entrée. Ces mesures permettent en outre de calculer la résistance interne de la source. Cette procédure marche bien, mais elle est complexe et prend du temps.

Il serait plus pratique et plus rapide d'utiliser un puit de courant programmable à courant constant indépendant de la tension appliquée. Cependant, même avec un tel puit de courant, la façon dont la source réagit aux variations rapides de la charge (son comportement dynamique) n'est pas mesurable. Or ce comportement est essentiel pour l'évaluation complète de la source. Si c'est une alimentation, elle réagit souvent au changement de charge soudain par une pointe de tension brève mais notable, pouvant faire dysfonctionner, voire endommager l'équipement qui lui est connecté. En outre, souvent instable, la boucle d'asservissement de ce type de source a tendance à osciller à haute fréquence, en particulier en cas de variation rapide de la charge. Ces oscillations ont les mêmes effets délétères que les dépassemens.

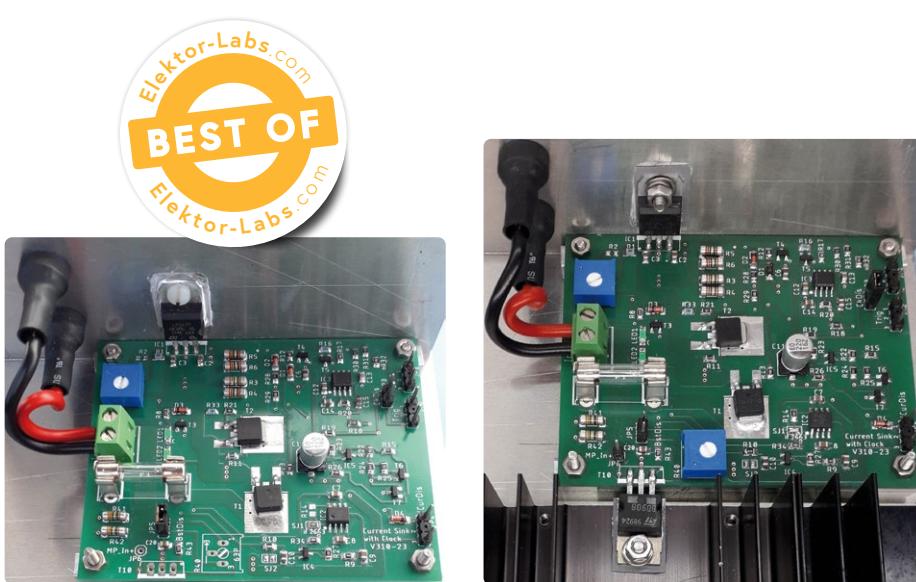


Figure 1. À gauche, le puit de courant sans booster et avec un grand radiateur. Fixer le LM317 avec une vis en plastique était une mauvaise idée ! À droite, la carte complète avec le booster (et vis métallique).

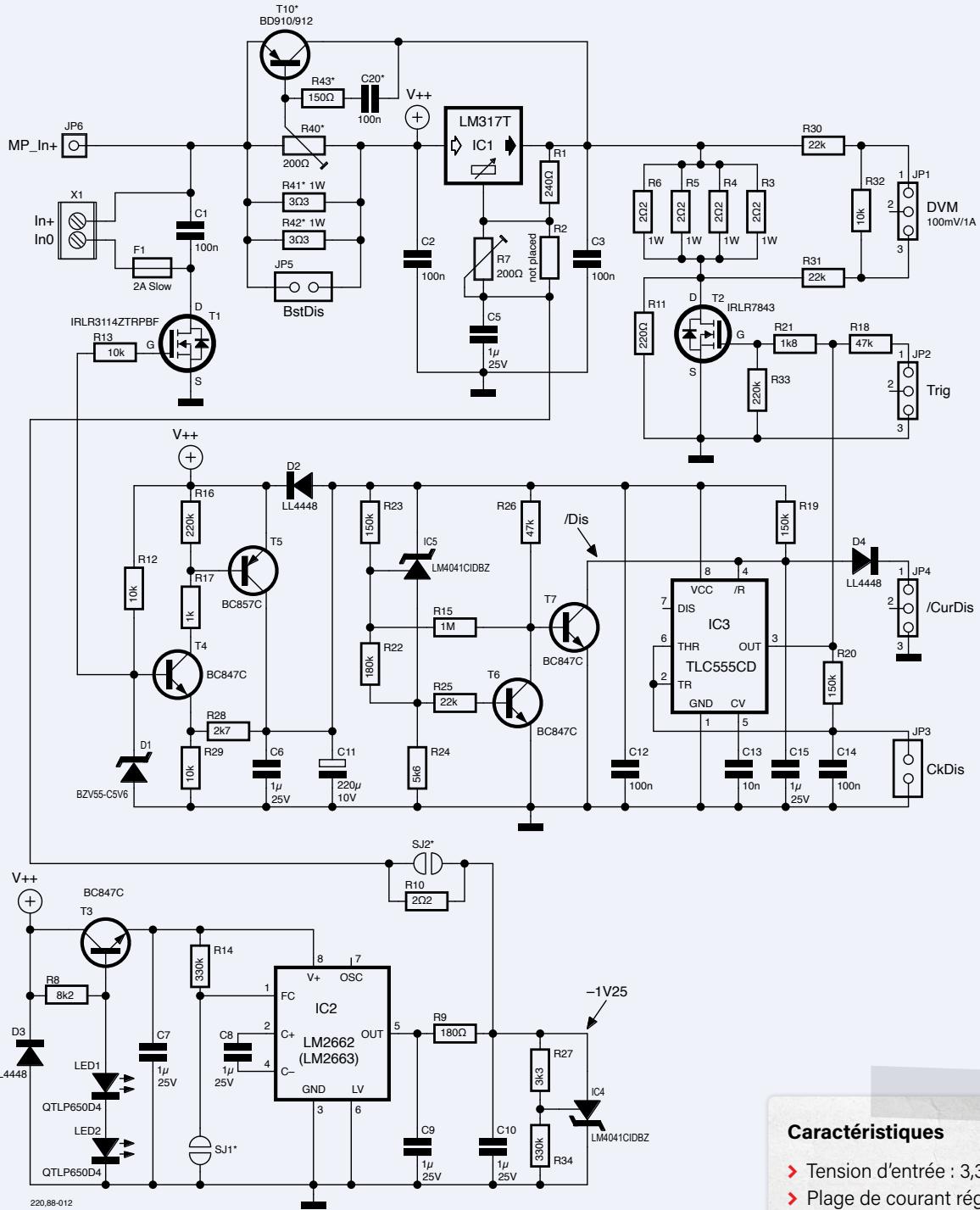


Figure 2. Schéma de principe du puit de courant.

C'est pourquoi, un bon puit de courant se doit de fournir une charge statique et de pouvoir changer instantanément sa valeur. C'est exactement ce que fait le puit de courant décrit ici. Deux versions de ce puit de courant sont illustrées (**fig. 1**). Simple, la conception du circuit ne contient pas de composant exotique et ne nécessite pas d'alimentation séparée. Selon les radiateurs des semi-conducteurs, le puit de courant peut dissiper jusqu'à 18 W (50 W avec booster). Il admet une tension d'entrée maximale de 30 V. Bien que la puissance dissipée max. ne

soit pas très élevée, le mode impulsif du puit de courant permet une bonne estimation du comportement dynamique d'alimentations électroniques de forte puissance. L'encadré **caractéristiques** témoigne des capacités de ce puit de courant.

Principe de fonctionnement

Presque toutes les sources et puits de courant sont basés sur un circuit linéaire qui délivre une tension constante. Cette tension alimente la charge, une résistance fixe. La loi d'Ohm implique que si la tension aux bornes d'une

Caractéristiques

- Tension d'entrée : 3,3 à 30,0 V
 - Plage de courant réglable : 30 à 1900 mA
 - Dissipation max. de puissance : 18 W (50 W avec booster)
 - Horloge (commutable) : environ 50 Hz, rapport cyclique de 50 %
 - Temps de montée/descente : <3 µs
 - Protection contre l'inversion de polarité à l'entrée
 - Protection contre la surchauffe
 - Arrêt en cas de sous-tension
 - Signal de déclenchement pour l'oscilloscope
 - Sortie pour la mesure du courant
 - Alimenté par la source testée.

telle résistance est constante, le courant qui y circule l'est aussi. Si nous négligeons le courant de repos interne, ce courant circule dans le circuit et agit donc comme une charge sur l'alimentation testée. Ici, cela reste **vrai même** si la tension à l'entrée du circuit change, de sorte que nous avons bien une charge qui absorbe toujours un courant constant. Si la tension aux bornes de la résistance de charge est réglable, le courant absorbé par le puit de courant peut aussi être réglé. Utiliser un CI régulateur de tension est une solution évidente pour réaliser cette fonction. Outre sa simplicité, cette solution est sûre car les régulateurs de tension ont pour la plupart des fonctions de protection intégrées.

Toutefois, un régulateur ne peut jamais délivrer moins que sa tension de référence majorée de la bande interdite, soit 1,25 V en général. Il nous faut trouver une astuce pour pouvoir régler le courant jusqu'à zéro. En polarisant à -1,25 V la borne de rétroaction du régulateur (le point de référence que le régulateur de tension utilise pour régler la tension de sortie), on peut obtenir une tension de sortie (par rapport à la masse du circuit) de 0 V. Et là, la plage de réglage du courant descend donc aussi à zéro. Une simple pompe de charge suivie d'un étage stabilisateur de tension permet de produire la tension négative requise.

Pour obtenir une charge en mode impulsif, le plus simple est d'utiliser un MOSFET de commutation de la résistance de charge en sortie du régulateur de tension. La fréquence d'horloge doit être choisie voisine de la fréquence de la ligne (secteur). Ainsi, l'alimentation testée est chargée pendant une demi-période complète de la tension secteur. Cela permet de vérifier le bon dimensionnement des condensateurs de filtrage de l'alimentation.

Circuit

Le circuit du puit de courant réglable est illustré (**fig. 2**). Les composants marqués d'un astérisque (*) ne sont nécessaires que pour le booster. IC1 est un régulateur de tension éprouvé : le LM317. Ses caractéristiques thermiques sont optimales : il dissipe jusqu'à 20 W (à une température ambiante raisonnable), a une tension d'entrée max. de

37 V et est protégé contre les surchauffes et les surintensités.

IC2 est un inverseur de tension LM2662 basé sur une pompe de charge. Il produit une tension négative stabilisée à -1,25 V par IC4, un régulateur shunt de précision LM4041. Ensuite, le pot. ajustable R7 produit le point de référence réglable appliquée à la borne *Adjust* du régulateur IC1. Les résistances R1 et R7 forment un diviseur de tension alimenté sous +1,25 V côté R1 et -1,25 V côté R7. Ainsi, le point de référence de IC1 peut être ajusté sur une plage de -1,25 V à -0,2 V. La tension de sortie du régulateur de tension varie donc de 0 V à 1 V env. Cette tension est appliquée au groupe parallèle de résistances de charge R3-R6, qui détermine ainsi le courant absorbé par le circuit. Le transistor commutateur T2, qui gère l'horloge du courant, est en série avec les résistances de charge.

Pour que le régulateur shunt IC4 ne dissipe qu'une faible puissance, la pompe de charge IC2 n'est alimentée que sous 3 V. Cette tension est produite par l'émetteur-suiveur T3. La tension de référence est fournie par deux LED vertes en série : la tension de coude est nettement plus prononcée qu'avec une Zener de même tension nominale.

Le reste du circuit est alimenté par un régulateur de tension simple composé de T4, T5 et de la diode Zener D1, qui fournit la tension de référence. Ce circuit a l'avantage d'avoir une faible chute de tension (LDO) et peut donc fournir la tension de grille requise pour T1 et T2 même sous faible tension d'entrée. Le signal de commande du transistor T2 provient d'un bon vieux timer 555 (IC3). Tant qu'un cavalier JP3 (*ClkDis*) permet de court-circuiter le condensateur C14, responsable de l'oscillation du timer, la sortie d'IC3 est haute et T2 est constamment passant. C'est le mode de fonctionnement statique. Si le cavalier est retiré, le courant est pulsé. À la mise en marche, si la tension d'entrée est inférieure à la tension minimale de fonctionnement, IC3 est réinitialisé via son entrée Reset. Dans ce cas, la sortie du timer est basse et aucun courant ne peut circuler dans la charge. L'élément de temporisation, R19/C15, retarde l'activation de la sortie. Un niveau bas externe appliqué sur JP4 (*/CurDis*) désactive le puit de courant.

Cela permet, notamment de réaliser une décharge temporisée d'une batterie rechargeable à l'aide d'une carte Arduino.

L'arrêt en cas de sous-tension est effectué par le régulateur shunt, IC5 (également un LM4041) configuré pour être bloqué à une tension inférieure à 3 V, et ainsi maintenir la réinitialisation du timer via T6 et T7. Si la tension d'alimentation dépasse 3,1 V env., IC5 commence à conduire, T6 devient passant et T7 se bloque : IC3 n'est plus réinitialisé.

Une tension proportionnelle au courant de charge est disponible sur JP1 pour être mesuré à l'aide d'un voltmètre. Le facteur de proportionnalité est de 0,1 V/A. Un signal d'environ 6 V crête est disponible sur JP2. En mode pulsé, il peut être utilisé pour déclencher un oscilloscope.

Le MOSFET T1 protège l'entrée du circuit contre les inversions de polarité. Si la polarité de la tension d'entrée est correcte, un courant traverse la diode interne de T1 pour permettre à l'alimentation interne de démarrer. Par conséquent, T1 est entièrement activé. Si le puits de courant est en court-circuit, le fusible F1 fond et évite tout incendie.

Plus de puissance

Si vous désirez un puit de courant plus puissant, vous pouvez ajouter un étage de puissance (booster) en amont du régulateur. Avec un bon radiateur, la puissance dissipée admissible peut alors atteindre 50 W. Cependant, le courant maximal reste le même. Malheureusement, les fonctions de protection du LM317 ne concernent pas le booster, il est donc important de prévoir un dissipateur de taille adéquate. Le booster abaisse d'1,2 V la tension appliquée, la tension d'entrée minimale passe alors à 5 V. Pour cette raison, si la tension est inférieure à 8 V, le booster doit toujours être désactivé en installant un cavalier sur JP5 (*BstDis*).

Le principe de fonctionnement du booster est assez simple. Une partie du courant d'entrée traverse la résistance série (R41 // R42). Le pot. ajustable R40 préleve une partie de la chute de tension sur la résistance série et l'applique à la jonction base-émetteur du transistor PNP T10. R40 est réglé de sorte

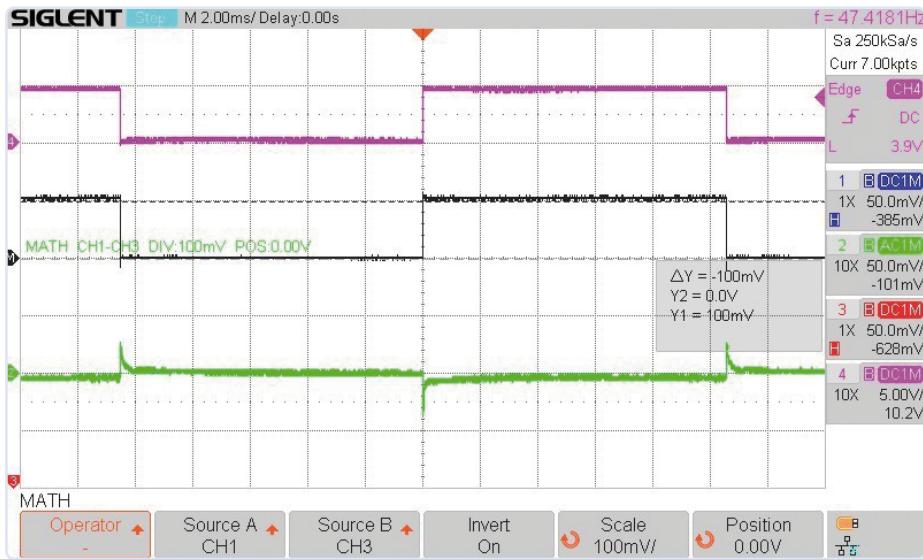


Figure 3. Comportement dynamique d'une alim. linéaire de labo à 12 V / 1 A.

que T10 commence à conduire à un courant d'environ 0,6 A. T10 fournit donc tout courant supérieur à 0,6 A directement aux résistances de charge R3-R6, tandis que le LM317 continue de réguler la tension. Le réseau RC R43/C20 prévient toute oscillation.

Procédure de test et interprétation des résultats

Pour mesurer les paramètres statiques d'une source, désactivez le timer en montant un cavalier sur JP3. Mesurez la tension de sortie de cette source avec un voltmètre. Mesurer sur le puit de courant conduirait à un résultat erroné en raison de la chute de tension dans les fils de connexion. Connectez un oscilloscope configuré en entrée CA en parallèle avec le voltmètre. Augmentez alors le courant par étapes tout en mesurant la tension de la source. Vous obtenez ainsi une série de mesures décrivant l'écart de régulation de la source testée. En outre, l'oscilloscope met en évidence toute tendance à l'oscillation de la source testée. En augmentant le courant, gardez à l'esprit la puissance dissipée maximale du puit de courant. Le LM317 peut dissiper jusqu'à 18 W avec un bon radiateur, mais cette valeur est facilement atteinte dès que la source a une tension de sortie relativement élevée. Heureusement, les protection internes du LM317 (zone de fonctionnement sûre, SOA) le protègent des dommages.

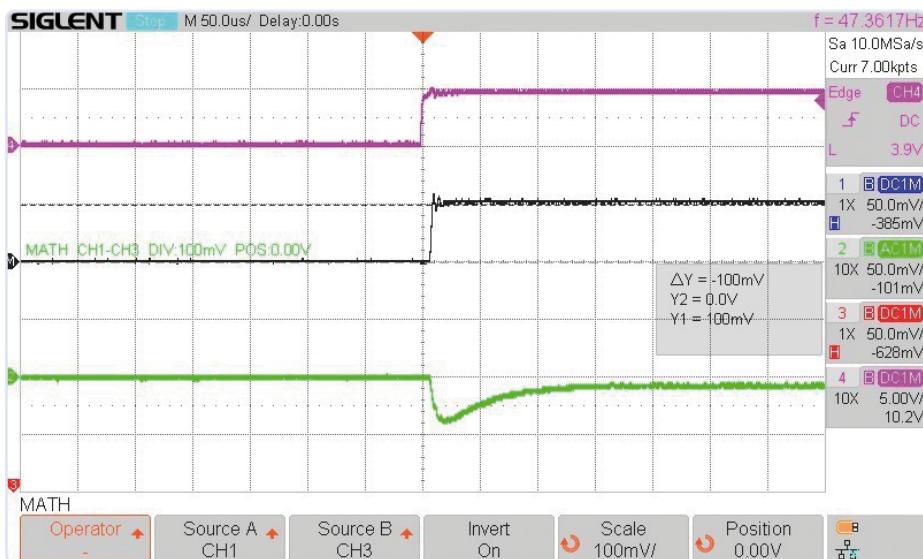


Figure 4. Réponse de l'alim. de labo de la fig. 3 à la commutation de la charge.

On peut ensuite mesurer les caractéristiques dynamiques de la source testée avec l'oscilloscope. À cet effet, l'horloge du puit de courant doit être activée. Il est très important de connecter l'oscilloscope directement à la source, sinon les résultats seront faussés par des pointes de tension dues à l'inductance des fils de connexion. La procédure de mesure est la même que pour les mesures statiques. La puissance dissipée est divisée par deux grâce à un rapport cyclique de 50% : cela permet d'utiliser des tensions et/ou courants plus élevés. Chaque oscilloscopogramme ci-après montre le signal de déclenchement en haut (CH4, trace violette), le courant au milieu (trace noire, mesure différentielle sur JP1 avec 0,1 V/A), et la tension de sortie en bas (CH2, trace verte). Notez aussi les différentes résolutions horizontales et verticales des oscilloscopogrammes.

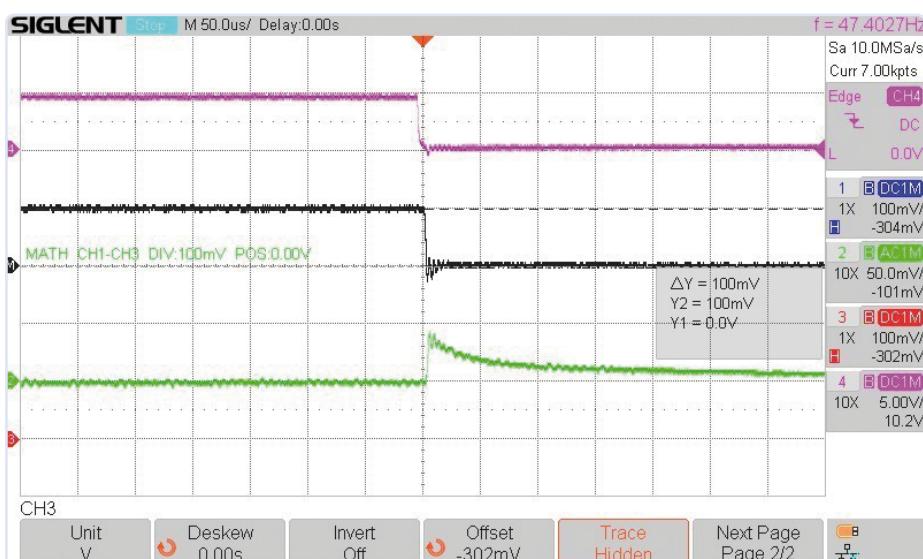


Figure 5. Réponse de l'alim. de labo de la fig. 3 à la coupure de la charge.

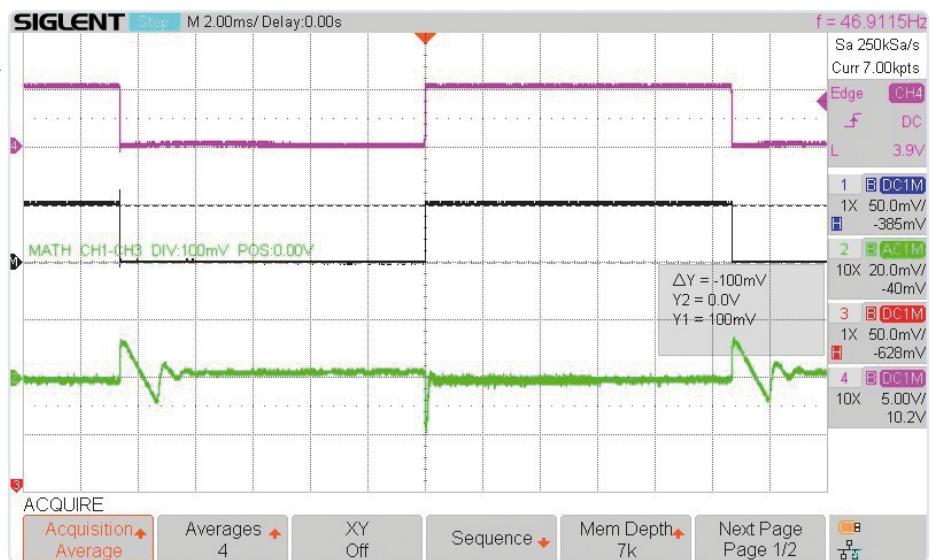


Figure 6. Comportement dynamique d'une alimentation à découpage à 12 V / 1 A.

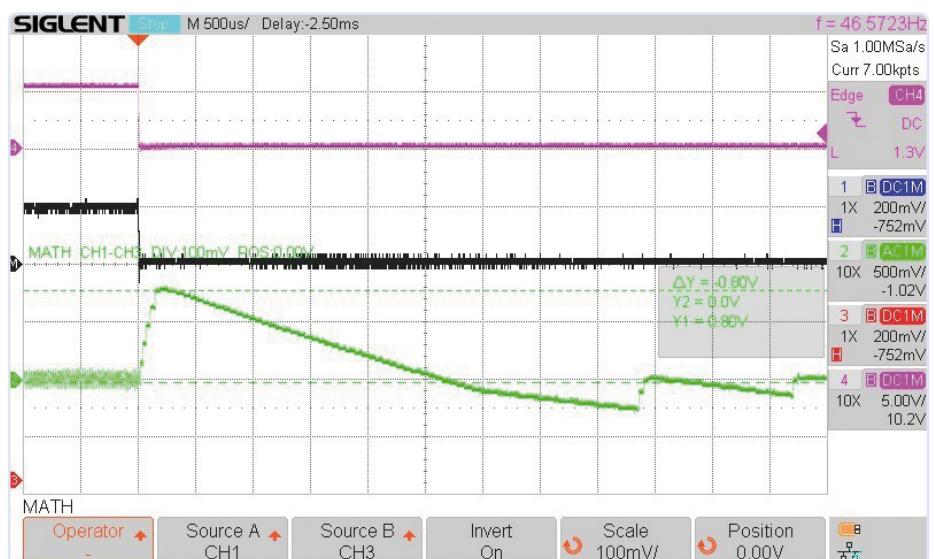


Figure 7. Réponse d'un convertisseur de tension flyback à la coupure de la charge à 13 V / 1 A.

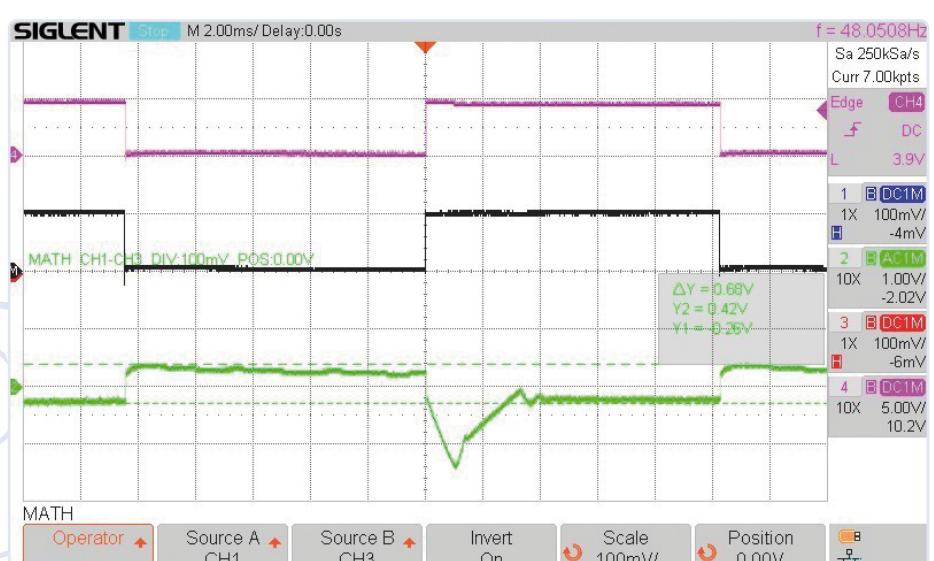


Figure 8. Comportement dynamique d'un chargeur USB à 1 A.

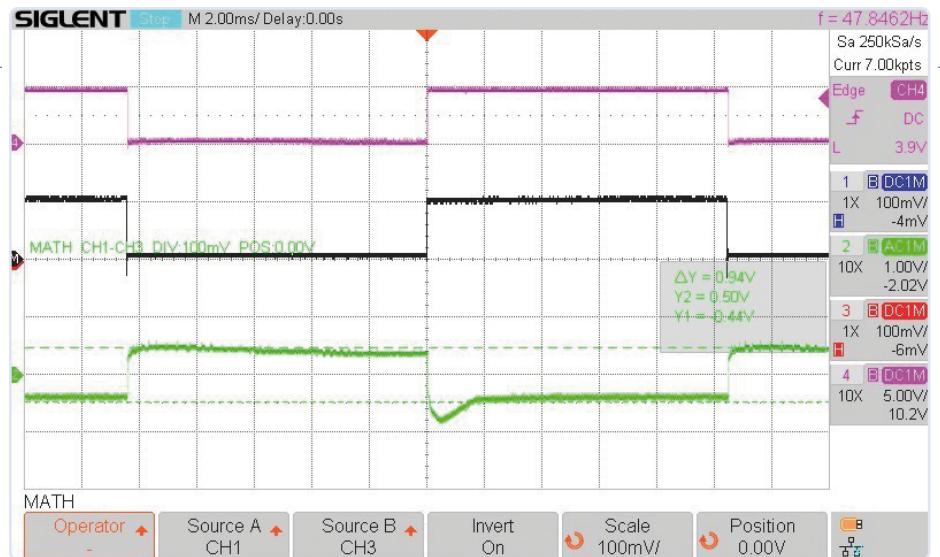


Figure 9. Comportement dynamique d'un autre chargeur USB à 1 A.

Figure 3 : comportement dynamique d'une alimentation linéaire de laboratoire. **Figure 4** et **5** : réponse aux changements tout ou rien, respectivement allumage et extinction de la charge. L'amplitude et la durée des dépassements sont les principaux éléments à considérer ici. **Figure 6** : c'est le pendant de la **figure 3**, mais pour une alimentation de lab à découpage. **Figure 7** : réponse d'un convertisseur flyback à un délestage de charge. **Figure 8** et **9** : comportement dynamique de deux chargeurs USB ; l'élément clé ici est le décalage persistant de la tension de sortie. L'écart de régulation, aussi dénommé chute de tension sous charge, et le courant associé déterminent la résistance interne de la source.

Vous pouvez aussi voir si le filtrage interne et l'amortissement de sortie sont correctement dimensionnés. Si la source a tendance à osciller à haute fréquence, cette mesure le révélera de manière fiable. Si vous concevez votre propre source, ce puits de courant est un outil précieux pour optimiser les constantes de temps et la stabilité de la boucle de contrôle.

La mesure dynamique d'une batterie rechargeable fournit sa résistance interne instantanée, ce qui donne une bonne indication de son état de santé. Notez que le courant de mesure ne doit pas dépasser 1 à 2 fois la capacité nominale. La résistance interne d'une cellule de batterie lithium-ion de 1500 mAh de capacité est en général $< 30 \text{ m}\Omega$ et encore plus faible pour les capacités importantes (souvent $< 10 \text{ m}\Omega$). Il est conseillé de toujours mesurer et noter la résistance interne d'une pile neuve et de l'utiliser ultérieurement à des fins de comparaison. **Figure 10** : cet oscilloscope montre qu'avec une résistance interne de $5.9 \text{ m}\Omega$ par élément ($R_i = 35.2 \text{ mV}/(2 \text{ A} \times 3)$), la batterie est en bon état. **Figure 11** : ici, avec une résistance interne de $53 \text{ m}\Omega$ par élément ($R_i = 316 \text{ mV}/(2 \text{ A} \times 3)$), la batterie approche à contrariau rapidement de la fin de sa durée de vie utile.

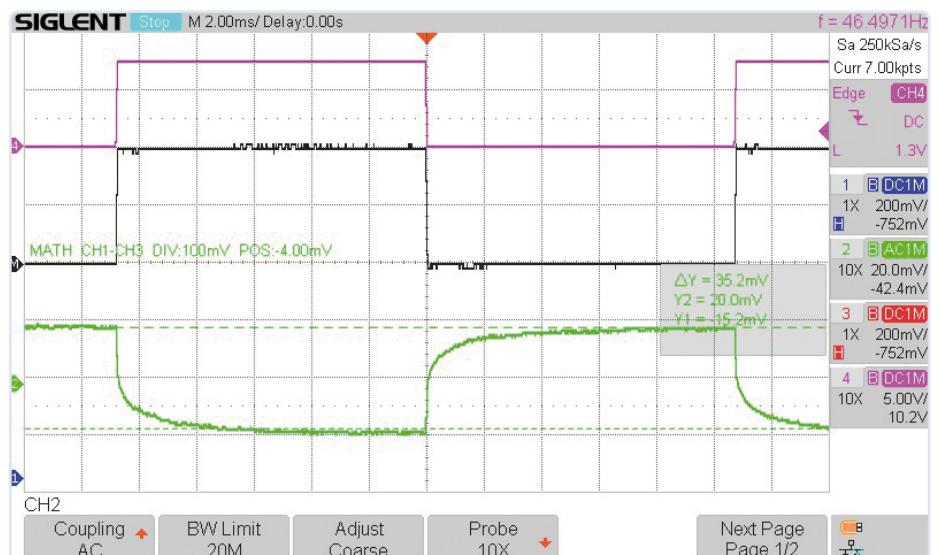


Figure 10. Mesure à 2 A de la résistance interne d'une batterie saine de trois éléments LiPo.

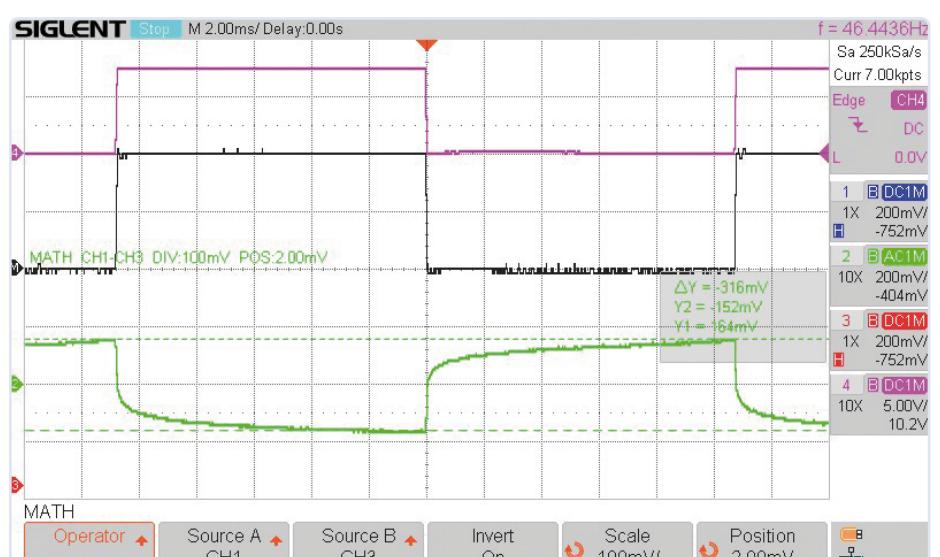


Figure 11. Mesure à 2 A de la résistance interne d'une batterie usagée de trois éléments LiPo.

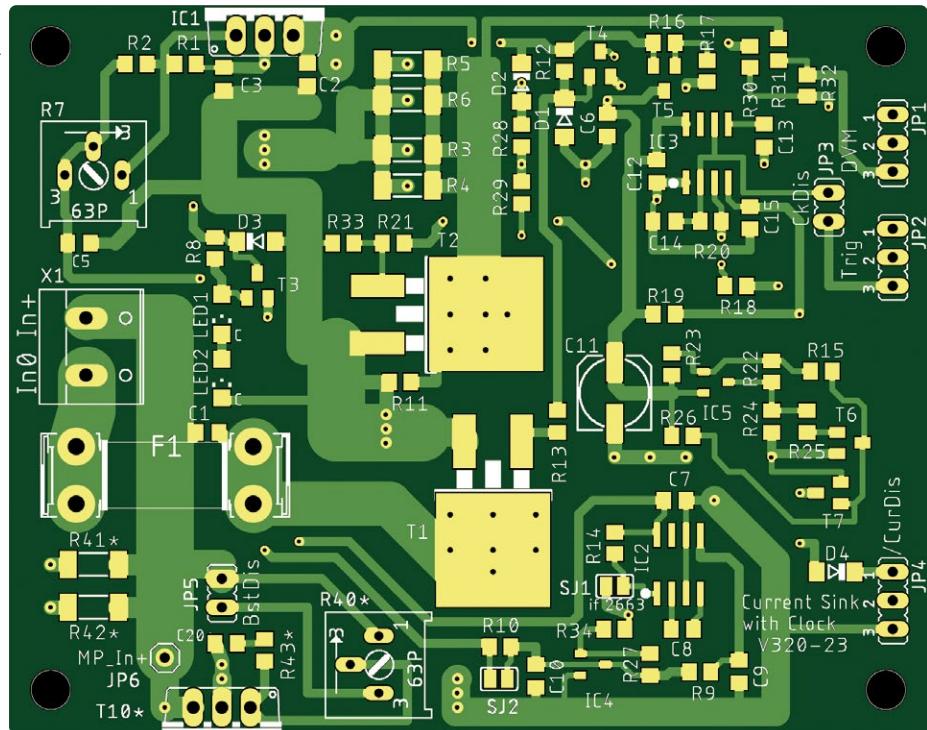


Figure 12. Circuit imprimé vierge de la carte du puit de courant réglable avec booster.

Construction

Le circuit imprimé a été conçu pour permettre l'ajout d'un booster. Ce circuit imprimé (**fig. 12**), et son schéma électronique (**fig. 2**), peuvent être téléchargés au format PDF [1]. Les fichiers Eagle sont inclus dans le téléchargement.

L'empreinte de T1 et T2 est compatible DPAK (TO-252) et D2PAK (TO-263). Les LM2662 et LM2663 conviennent pour IC2, vous ne devriez donc pas avoir de problèmes pour vous en procurer. Omettez les composants marqués d'un astérisque (*) si vous n'avez pas besoin du booster. Dans tous les cas, il faut faire bien attention aux radiateurs d'IC1 et de T10, car la fiabilité du puit de courant repose principalement sur eux. Leur résistance thermique doit être inférieure à 2 K/W et les semi-conducteurs doivent être montés avec de la pâte thermique de haute qualité et des vis métalliques munies des rondelles isolantes appropriées.

Mise en route du dissipateur de courant

Avec un LM2663 pour IC2, faites le pont de soudure SJ1. Placez un cavalier sur JP5 (*BstDis*). Connectez le puit de courant à une alimentation variable préalablement réalisée sur

3 V avec limitation de courant de 100 mA et réglez le courant du puit à son minimum par le pot. ajustable R7. Le puit de courant devrait absorber un courant de repos d'environ 10 mA. Augmentez ensuite la tension à 3,3 V. Avec le pot. ajustable R7, réglez le courant à environ 80 mA. Réduisez ensuite à nouveau la tension. À environ 3,1 V, le courant doit retomber à sa valeur de repos. Cela vérifie que l'arrêt en cas de sous-tension fonctionne correctement. À une tension d'entrée de 5 V et le pot. ajustable R7 au min., le courant doit être inférieur à 30 mA. Sinon, le courant peut être réduit en soudant le pont SJ2.

Pour mettre le booster en service, tournez le pot. ajustable R40 dans le sens antihoraire pour anihiler tout courant de base dans T10, puis retirez le cavalier sur JP5. À une tension d'entrée de 15 V et un courant de 1 A, réglez le pot. ajustable R40 pour que le courant d'entrée du régulateur IC3 soit de 0,6 A. Vous pouvez calculer le courant d'entrée d'IC3 en mesurant sur JP5 la ddp aux bornes de R41//R42. Ici, 1,0 V correspond à 0,6 A. Ensuite, portez la tension d'entrée à 25 V et le courant à 2 A. Au besoin, ajustez le réglage après mise en température du puit de courant. 

VF: Yves Georges - 220388-04

À propos de l'auteur

Roland Stiglmayr étudia l'informatique dans les années 1970. Il a 40 ans d'expérience en R&D. Il s'est surtout occupé de développement d'ordinateurs centraux, de systèmes de transmission de données par fibre optique, de relais radio gérés à distance pour réseaux sans fil et de systèmes de transmission d'énergie sans contact. Il est actuellement consultant et se passionne pour le transfert de connaissances.

Des questions, des commentaires ?

contactez Elektor (redaction@elektor.fr).



Produits

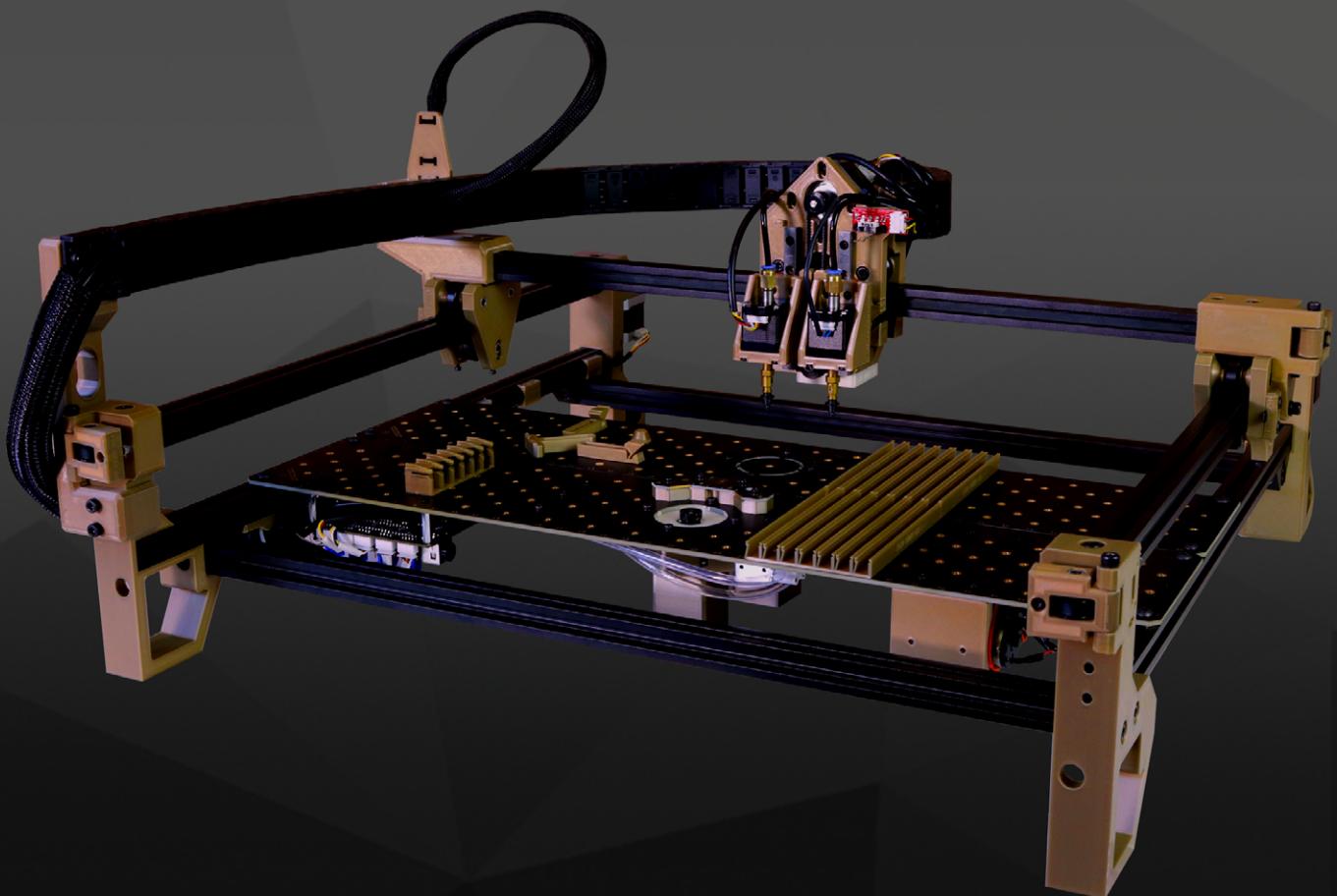
- Siglent SDL1020X-E charge électronique CC programmable (200 W)
<https://elektor.fr/19254>
 - PicoScope 2204A oscilloscope USB (10 MHz)
<https://elektor.fr/17303>

LIEN

- [1] Téléchargements du projet sur Elektor Labs :
<https://elektormagazine.fr/labs/adjustable-current-sink-with-integrated-clock-generator/>



VS



C'est sans appel.

Le LumenPnP Desktop Pick & Place Machine assemble vos composants, vous n'aurez donc plus jamais besoin d'utiliser de pinces

- Radicalement Open Source
- Alimentation électrique
- Buse double
- Place les 0402s
- Prix abordable



 **Opulo™**

Opulo.io