

# survolteur continu

## haute tension à partir d'une alim de labo

Martin Oßmann (Allemagne)

Obtenir 350 V<sub>~</sub> à partir d'une alimentation de laboratoire qui n'en donne qu'une trentaine, c'est possible avec un simple convertisseur *push-pull*. Ce survolteur statique vous procure jusqu'à 50 W, à vous de régler tension et courant maximum avec les boutons de l'alimentation.

La plupart des électroniciens disposent d'une alimentation de laboratoire variable, capable de délivrer jusqu'à 3 A sous 30 V. Une alimentation à haute tension branchée sur le secteur c'est plus rare et nettement plus cher d'ailleurs. Sauf exception, une dépense injustifiable ! Le survolteur de courant continu présenté ici est apte à multiplier la tension de l'alimentation par un facteur 6 ou 12. On profite alors de tensions de sortie atteignant sans difficulté 350 V avec une puissance de 50 W. Les réglages restent ceux de l'alimentation de laboratoire, pour la tension comme pour la limitation de courant, au bénéfice de la simplicité d'utilisation. En outre, les tensions d'entrée et de sortie ont le privilège d'une isolation galvanique, encore un souci en moins. Le circuit se résume à un convertisseur *push-pull* simple, mais robuste. Je vais aussi vous indiquer comment calculer les composants, pour que vous puissiez en adapter le schéma à d'autres applications.

### Structure

Au centre du dispositif (**fig. 2**), un transformateur dont le primaire compte  $2 \times N_p$  spires, le secondaire  $N_s$  spires. Les interrupteurs S1 et S2 relient tour à tour la tension d'entrée  $U_{in}$  à chacun des primaires. La tension au secondaire est redressée par deux diodes en circuit doubleur de tension, de manière à disposer en sortie d'une tension de  $\pm U_{out}$  d'amplitude  $U_{out} = N_s/N_p \times U_{in}$ . L'intérêt du convertisseur *push-pull*, c'est que la tension de sortie reste nettement plus indépendante de la charge, pour peu que le tout soit bien proportionné pour réduire les pertes. En particulier, le cir-

cuit est encore stable à vide, autant dire qu'il ne requiert pas de régulateur de tension.

### Tensions

Examinons la tension sur chaque composant, nous connaissons les tensions limites à prévoir à la conception. Quand l'interrupteur S2 est fermé (**fig. 3**), c'est la bobine de droite qui supporte la tension d'entrée  $U_{in}$ . Cette tension est induite par le transformateur dans la bobine de gauche du primaire. Aussi, sur l'interrupteur de gauche (c'est un transistor) se trouve le double de la tension d'entrée. Il faut encore prévoir un supplément qui tient compte des dépassements dans les oscillations. En conséquence, le transistor sera un IRFL540 qui résiste à 100 V et peut encaisser sans danger des

tensions d'entrée de 40 V.

Cette figure nous fait aussi découvrir ce qui se passerait si le second interrupteur était également fermé : un court-circuit sur le double de la tension d'entrée. À nous de veiller à ce qu'il ne se produise jamais de chevauchement. Mais il nous faut aussi considérer la sortie. Si S2 est fermé, la diode de gauche conduit et la diode de droite doit pouvoir bloquer une tension inverse de  $2 \times U_{out}$ . J'ai donc pris comme diodes de sortie des MUR1560 qui tolèrent 600 V en inverse. Elles peuvent redresser sans difficulté des tensions de sortie de  $\pm 250$  V (en + et en -, 500 V en tout).

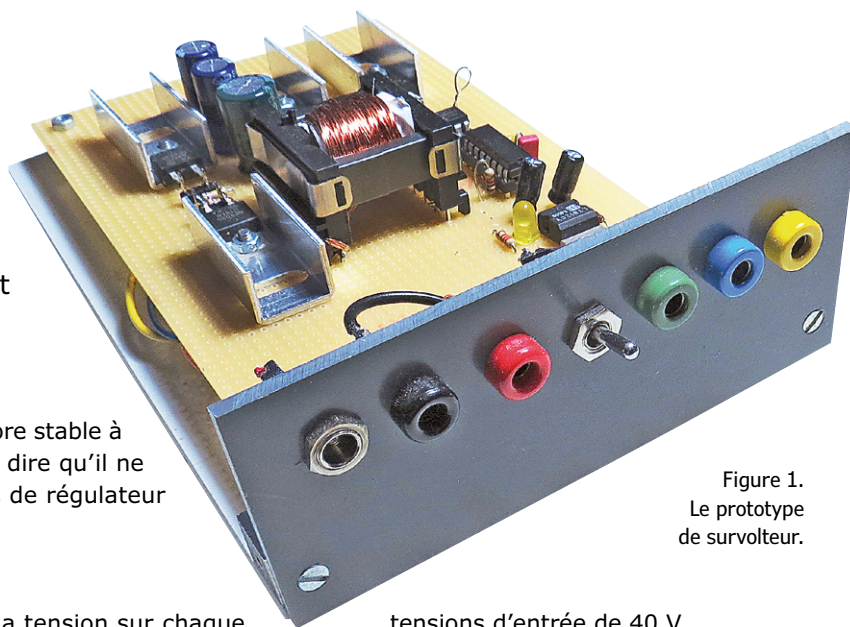


Figure 1.  
Le prototype de survolteur.

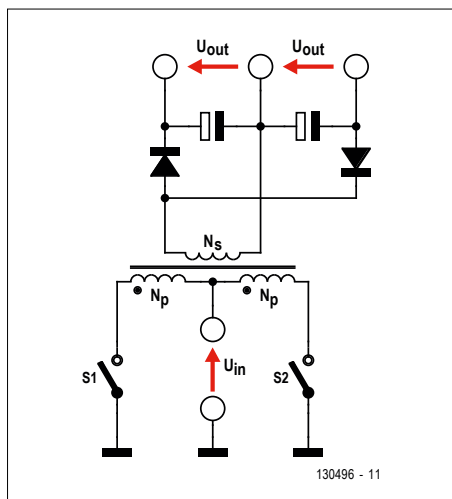


Figure 2. La structure du convertisseur *push-pull*.

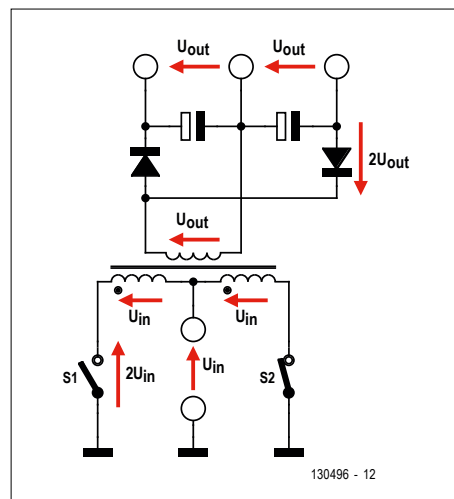


Figure 3. La répartition des tensions dans un convertisseur *push-pull*.

Mais la tension influence aussi un autre paramètre : la saturation du transformateur. La **figure 4** en donne le schéma équivalent. La tension au primaire est rectangulaire, d'une valeur de  $\pm U_{in}$  avec un rapport cyclique de 1 : 1. La tension fait circuler dans l'inductance principale  $L_m$  un courant de magnétisation  $I_m$  de forme triangulaire comme à la **figure 5**. Dans la foulée, l'induction magnétique  $B_m$  dans le noyau prend la même forme triangulaire avec comme valeur de pointe  $B_{pk}$ . De la tension induite, égale à la tension d'entrée, on peut calculer, par la loi de l'induction, sa variation dans le temps :

$$\frac{\Delta B}{\Delta \tau} = \frac{2 B_{pk}}{T/2} = \frac{U_{in}}{N_p A_e}$$

où  $T = 1/f$  est la période de la tension rectangulaire,  $f$  la fréquence et  $A_e$  la section effective du noyau. On en déduit :

$$B_{pk} = \frac{U_{in}}{4 N_p A_e f}$$

J'ai pris un noyau ETD29 de section  $A_e = 76 \text{ mm}^2$ . La fréquence est de  $f = 80 \text{ kHz}$  et le nombre de spires  $N_p = 8$ . Pour une

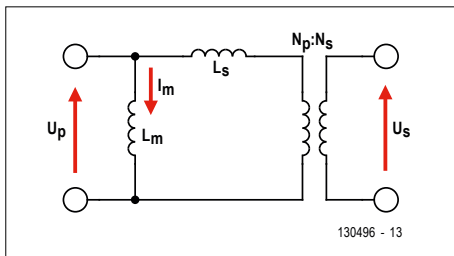


Figure 4. Le circuit équivalent du transformateur.

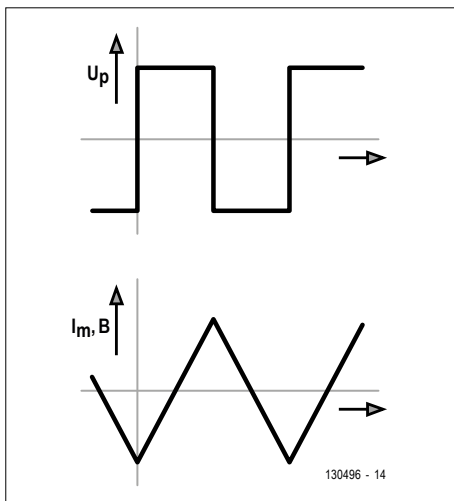


Figure 5. Tension, courant magnétisant et induction.

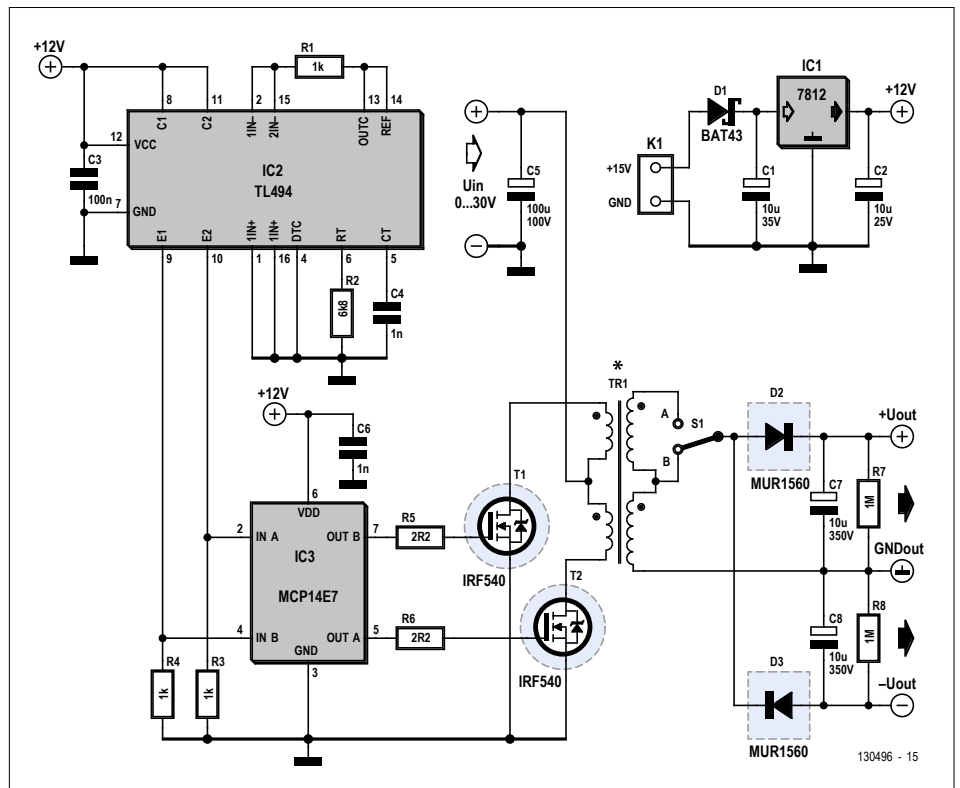


Figure 6. Le circuit complet du survolteur continu.

tension d'entrée de 30 V, on a donc, exprimé en **tesla** :

$$B_{pk} = 150 \text{ mT}$$

Les matériaux usuels des noyaux, le N30 par exemple, acceptent jusqu'à 300 mT environ, donc avec 30 V, il reste de la marge, on approcherait de la limite de la saturation pour une cinquantaine de volts.

**Courants**

Bien sûr, il y a aussi des pertes attribuables aux courants. C'est que, pour une puissance de 50 W et une tension de 10 V, le courant dans les MOSFET et les enroulements primaires atteint 5 A. La moitié du temps, il traverse le MOSFET et l'enroulement de gauche, l'autre moitié, la partie de droite. Au total, les pertes sont les mêmes que si le courant parcourait tout le temps l'une des moitiés. La résistance d'un MOSFET est de 0,077  $\Omega$ , elle occasionne en tout une dissipation de 2 W environ, donc 1 W par MOSFET, d'où un refroidissement moindre et plus facile à gérer avec un boîtier TO220. Selon le fabricant, la longueur moyenne d'une spire sur le noyau ETD est de 52,8 mm, la résistance d'un primaire est donc de 0,014  $\Omega$  et subit une perte de 0,4 W.

Avec 50 W et 120 V en sortie, le courant avoisine 0,4 A, la perte est inférieure à 0,1 W. La perte dans les redresseurs vaut  $0,7 \text{ V} \times 0,4 \text{ A} = 0,28 \text{ W}$  qui se répartit sur les deux diodes. C'est acceptable.

**La construction**

Le circuit complet du survolteur continu est représenté à la **figure 6**. C'est IC2, un TL494 qui produit des signaux de commande exempts de tout chevauchement. Ils sont amplifiés par le tampon de portes logiques IC3 pour attaquer à faibles pertes les transistors MOSFET T1 et T2 qui doivent fournir les courants au transformateur. L'interrupteur S1 sélectionne le rapport de transformation. Dans une position, le survolteur fonctionne en sextupleur, de 30 V, il fait environ  $\pm 90 \text{ V}$ ; dans l'autre position, il multiplie par 12, les 30 V deviennent  $\pm 180 \text{ V}$ . Observons les signaux de grille des deux MOSFET à la **figure 7**. Ils n'empiètent pas l'un sur l'autre et ont une amplitude de 12 V. Rien n'empêche d'utiliser, à la place de ces transistors à niveaux logiques, des MOSFET dont la tension de seuil de grille est de 4 à 5 V. Rien de critique dans la construction elle-même, il faut simplement respecter la polarité des enroulements primaires,

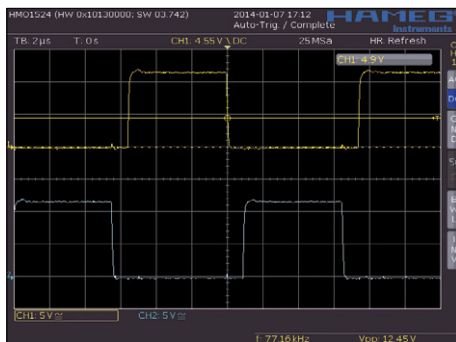


Figure 7. La commande de grille.

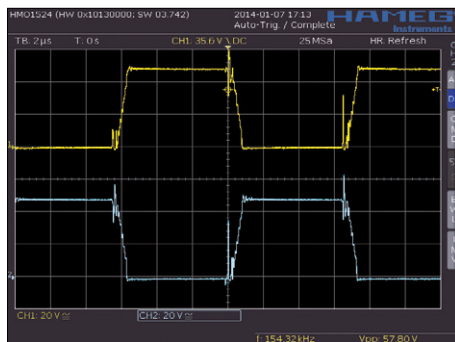


Figure 8. Les signaux de drain au primaire.

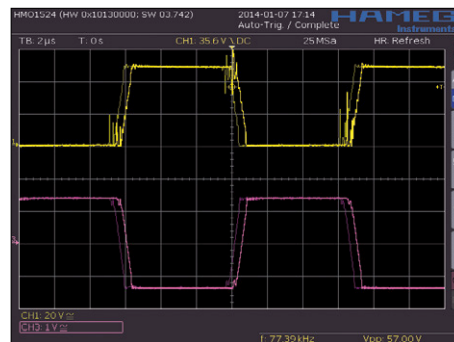


Figure 9. La tension sur l'enroulement secondaire.

repérée par des points dans le schéma. De petits radiateurs suffiront bien aux composants de puissance : la figure 1, c'est mon prototype. On voit à la **figure 8** les tensions de drain des MOSFET pour une tension d'entrée de 25 V. Elles ont une valeur de pointe de  $2 \times$  la tension d'entrée, sans oscillations parasites. La **figure 9** montre en haut le signal de drain pour  $U_{in} = 25$  V et en bas, mesurée avec une sonde 100 : 1, la tension au secondaire : la tension produite est bien de  $6 \times 25$  V =  $\pm 150$  V.

### Bobiner le transformateur

J'ai utilisé un noyau ETD29 sans entrefer. On peut prendre n'importe quel matériau de ferrite de qualité disponible : 3F3, 3F4, N27, N30... L'important, c'est que primaire et secondaire soient bien couplés. On y enroule les fils ensemble, en bifilaire, le tout ne fait qu'une seule couche. Le fil est en cuivre émaillé de 0,4 mm, on en prend un toron de quatre fils ensemble de la longueur voulue que l'on peut aisément bobiner soi-même à l'aide d'une visseuse sans fil. On bobine le toron en double sur 8 spires (**fig. 10**). Si les deux enroulements primaires ne sont pas bien couplés, la symétrie est faussée et il se peut

que la saturation soit atteinte, avec pour conséquence des pertes considérables. Finalement, on y ajoute  $2 \times 24$  spires pour former le secondaire en utilisant un toron de 3 fils de cuivre émaillé de 0,4 mm. Les bobinages et les différentes couches sont isolés les uns des autres par de la bande isolante (**fig. 11**).

### Mise en service

Pour terminer, quelques conseils d'utilisation. Pour l'alimentation de la commande, le plus simple est encore le bloc secteur. La tension d'entrée à multiplier, mieux vaut la prélever sur une alimentation de laboratoire. Lors de la première mise en service, faites monter lentement sa tension tout en surveillant le courant, il ne doit s'élever que de quelques dizaines de milliampères tout au plus. S'il est plus fort, c'est qu'il y a une panne, comme une inversion de polarité dans les bobinages du primaire. Branchez un multimètre sur la sortie. Vous pouvez régler la puissance de sortie avec la limitation de courant de l'alimentation de labo. Sauf si vous avez installé un ampèremètre à la sortie pour surveiller la consommation, gardez à l'œil le courant primaire. Avec la limitation de courant à l'entrée, le survolteur est à l'abri d'un court-circuit.

Les lecteurs fervents tubistes auront déjà trouvé une application de choix pour ce survolteur : produire la haute tension d'anode des circuits à tubes, à partir de 12 V par exemple. Voire en faire un module compact comme celui de la **figure 12**. Pensez alors à bobiner sur le noyau un tertiaire pour le chauffage des filaments. Le survolteur peut aussi fournir la HT pour le tube cathodique d'un oscilloscope. On peut déjà hausser la tension produite en augmentant le nombre de spires au secondaire. Auquel cas, il faut veiller à la rigidité diélectrique, notamment des redresseurs, comme on l'a vu. Autre solution, utiliser plusieurs bobinages au secondaire, chacun muni d'une seule diode et d'un condensateur tampon. Facile, dans ce cas de produire les différentes tensions nécessaires. Mais en tout cas, il faut prévoir entre les bobinages une isolation suffisante pour éviter les arcs électriques.

**Attention aux dangers de l'expérimentation sur les hautes tensions. Contrairement à certaines décharges électrostatiques plutôt inoffensives, ce survolteur peut fournir beaucoup de courant !**

Rappel pour qui l'aurait oublié : le courant continu est paralysant. ⚡

(130496 - version française : Robert Grignard)

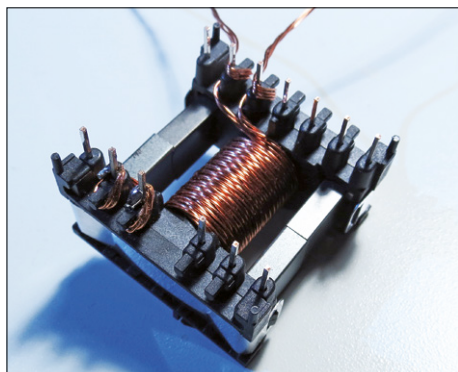


Figure 10. Le transformateur après bobinage du primaire.

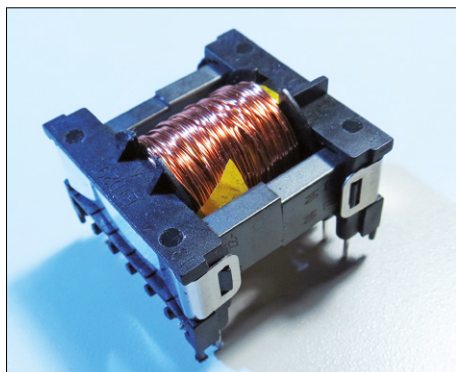


Figure 11. Le transformateur terminé.

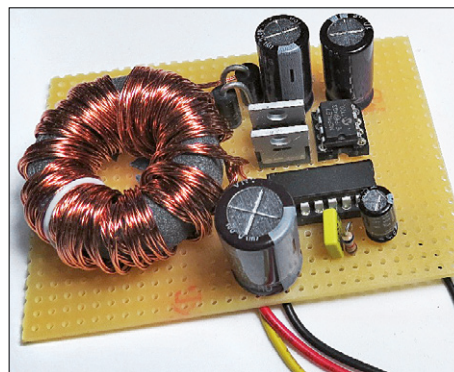


Figure 12. Un module compact pour alimenter des tubes électroniques.