

Note d'application

Génération de la haute tension par une alimentation à découpage

Introduction :

Selon les normes européennes, la haute tension désigne une tension électrique supérieure à 1000 V.

On peut distinguer entre deux types de tensions :

- La tension alternative
- La tension continue

Les types d'alimentation qui peuvent générer une haute tension sont variés.

Dans le cadre de notre projet, nous avons opté pour une solution de génération de tension basée sur un redressement de tension alternative et chargement de plusieurs condensateurs. Ce choix a été justifié par le fait que ce type d'alimentation est moins coûteux et respecte les contraintes du cahier des charges. Il existe désormais d'autres types d'alimentation, en l'occurrence **l'alimentation à découpage**, qui était l'une des solutions étudiées.

L'objectif de cette note d'application est d'expliquer, de point de vue technique, le principe de fonctionnement d'une alimentation à découpage en précisant ses caractéristiques. Nous expliquerons également les différences entre les différents montages basés sur ce type d'alimentation, à savoir le montage **Buck**, **Boost**, **Buck-Boost** et **Flyback**, et finalement nous expliquerons comment une solution basée sur un montage Flyback pourrait être implémentée dans le système d'électroporation.

1. Principe d'une alimentation à découpage :

Une alimentation à découpage est une alimentation basée sur l'utilisation d'un régulateur de commutation pour convertir l'énergie électrique. Une alimentation à découpage transfère l'énergie électrique d'une source de tension continue ou alternative à une charge soumise à une tension continue, en convertissant les caractéristiques de tension et de courant.

Le transistor de passage d'une alimentation à découpage bascule continuellement entre ses deux états (fermé et ouvert). Le temps de transition étant très petit, l'énergie gaspillée durant la conversion est très faible. Idéalement, une alimentation à découpage ne dissipe pas d'énergie. La régulation de la tension est obtenue en faisant varier le rapport cyclique du commutateur.

Une alimentation à découpage est donc utilisée lorsqu'une efficacité supérieure, une taille plus petite ou un poids plus léger sont requis. Les alimentations à découpage peuvent être classées selon plusieurs critères : Topologie de circuit, isolation ou composants utilisés.

Parmi les types d'alimentation à découpage qui existent, on peut citer :

- Le montage Buck
- Le montage Boost
- Le montage Buck-Boost
- Le montage Flyback

Principe de fonctionnement :

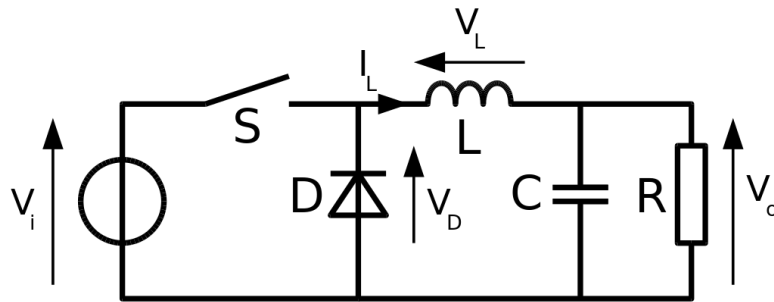


Figure 1 Exemple d'une alimentation à découpage (Montage Buck)

Une alimentation à découpage est constitué de :

- Un commutateur S , généralement un transistor
- Une diode D
- Une bobine L
- Une capacité C
- Une résistance de charge R
- V_i : Tension d'entrée
- V_o : Tension de sortie
- I_L : Courant qui passe dans la bobine L

Il peut contenir aussi, comme le cas d'un montage Flyback, un transformateur de tension. Le fonctionnement du montage Flyback sera expliqué ultérieurement.

Le transistor S commute périodiquement entre deux états (Ouvert et fermé). La commutation est donc caractérisée par une période T , et un rapport cyclique α , tel quel αT désigne, durant un cycle, le temps durant lequel l'interrupteur reste fermé.

Lorsque le transistor est fermé, l'énergie électrique est transférée à la charge et lorsqu'il est ouvert, cette énergie est déchargée dans le condensateur. La commutation du transistor à une fréquence élevée permet d'avoir aux bornes de la charge une tension moyenne qui dépend de la tension d'entrée et du rapport cyclique α .

Les relations qui lient le rapport cyclique α à la tension d'entrée diffèrent d'un montage à un autre, et ont ainsi, des fonctions différentes.

2. Différents montages :

2.1 Montage Buck :

Le montage Buck est un convertisseur à découpage qui permet de convertir une tension continue en une tension continue plus faible.

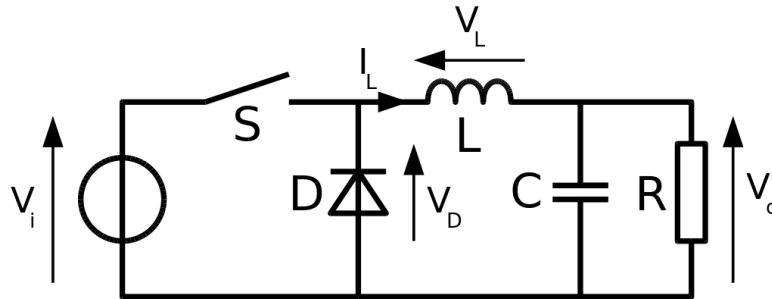
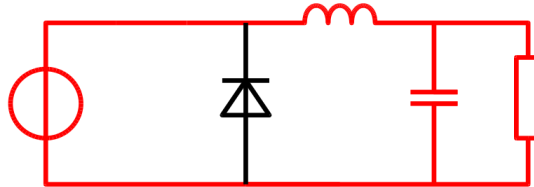


Figure 2 Montage de base d'un convertisseur Buck

Durant un cycle, l'état passant correspond à $t \in [0, \alpha T]$ tandis que l'état bloqué correspond à $t \in [\alpha T, T]$.

Interrupteur passant



Interrupteur bloqué

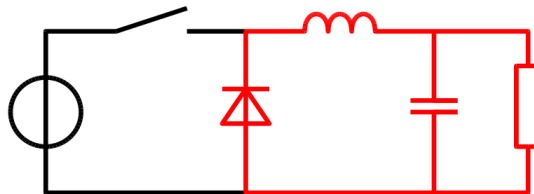


Figure 3 Les deux états du montage Buck

A l'état passant : $t \in [0, \alpha T]$:

$$\text{On a : } V_i - V_o = L \frac{dI_L}{dt}$$

$$\text{On a donc : } \Delta I_{L_1} = \frac{\alpha T \cdot (V_i - V_o)}{L}$$

Avec :

- ΔI_{L_1} : Représente l'augmentation du courant dans la bobine L à l'état passant.

A l'état bloqué : $t \in [\alpha T, T]$:

$$\text{On a : } -V_o = L \frac{dI_L}{dt}$$

$$\text{Donc : } \Delta I_{L_2} = -\frac{V_o(T - \alpha T)}{L}$$

Avec :

- ΔI_{L_2} : Représente la différence du courant dans la bobine L à l'état bloqué.

En considérant que le rendement du transfert d'énergie est idéal, on aura :

$$\Delta I_{L_2} = -\Delta I_{L_1}$$

On en déduit alors :

$$V_o = \alpha V_i$$

La tension de sortie est toujours inférieure à la tension d'entrée (puisque le rapport cyclique est inférieur à 1) et dépend du rapport cyclique.

Le montage Buck permet donc de diminuer la tension en fonction du rapport cyclique.

2.2 Montage Boost :

Contrairement au montage Buck, le montage Boost permet d'obtenir une tension continue plus élevée.

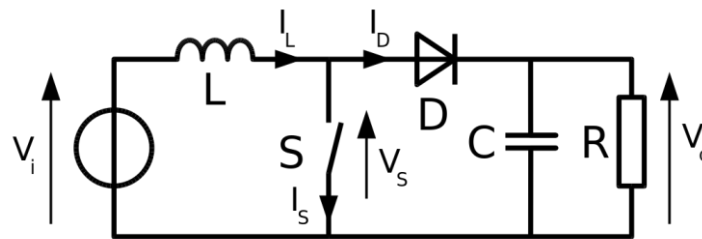
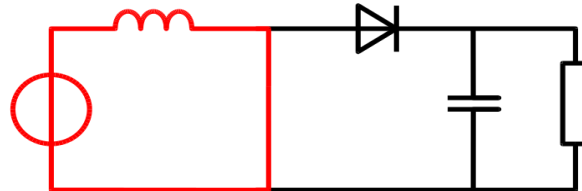


Figure 4 Montage de base d'un convertisseur Boost

pteur passant



pteur bloqué

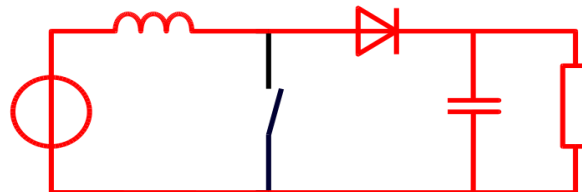


Figure 5 Les deux états du montage Boost

A l'état passant : $t \in [0, \alpha T]$:

S fermé:

$$\text{On a: } V_i = L \frac{dI_L}{dt}$$

$$\text{On a donc : } \Delta I_{L_1} = \frac{\alpha \cdot T \cdot V_i}{L}$$

Avec :

- ΔI_{L_1} : Représente l'augmentation du courant dans la bobine L à l'état passant.

A l'état bloqué :

S ouvert :

$$\text{On a : } V_i - V_o = L \frac{dI_L}{dt}$$

$$\text{Donc : } \Delta I_{L_2} = \frac{(V_i - V_o)(T - \alpha T)}{L}$$

Avec :

- ΔI_{L_2} : Représente la différence du courant dans la bobine L à l'état bloqué.

En considérant que le rendement du transfert d'énergie est idéal, on aura :

$$\Delta I_{L_2} = - \Delta I_{L_1}$$

On en déduit alors :

$$V_o = \frac{1}{1 - \alpha} V_i$$

2.3 Montage Buck-Boost :

Le montage Buck-Boost est un montage qui permet d'augmenter ou de diminuer la valeur de la tension d'entrée, selon que l'on soit à un rapport cyclique inférieur ou supérieur à 0.5.

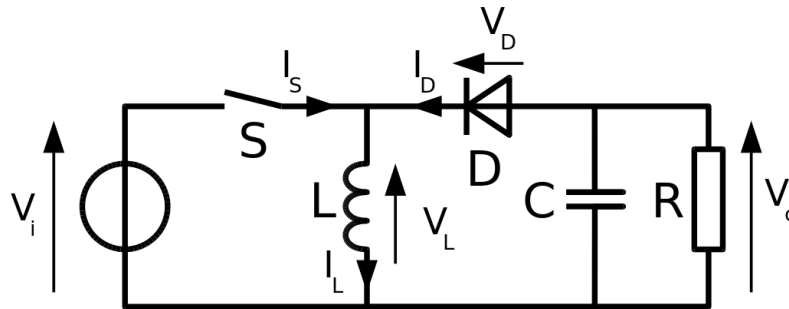
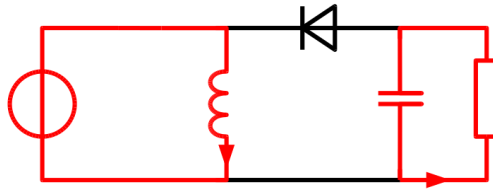


Figure 6 Montage de base d'un Buck-Boost

Interrupteur passant



Interrupteur bloqué

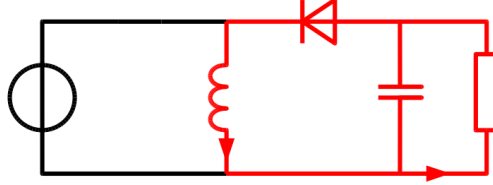


Figure 7 Les deux états d'un Buck-Boost

A l'état passant : $t \in [0, \alpha T]$:

S fermé:

$$\text{On a: } V_i = L \frac{dI_L}{dt}$$

$$\text{On a donc : } \Delta I_{L_1} = \frac{\alpha T \cdot V_i}{L}$$

Avec :

- ΔI_{L_1} : Représente l'augmentation du courant dans la bobine L à l'état passant.

A l'état bloqué :

S ouvert :

$$\text{On a: } -V_i - V_o = L \frac{dI_L}{dt}$$

$$\text{Donc : } \Delta I_{L_2} = \frac{V_o(T - \alpha T)}{L}$$

Avec :

- ΔI_{L_2} : Représente la différence du courant dans la bobine L à l'état bloqué.

En considérant que le rendement du transfert d'énergie est idéal, on aura :

$$\Delta I_{L_2} = - \Delta I_{L_1}$$

On en déduit alors :

$$V_o = - \frac{\alpha}{1 - \alpha} V_i$$

- Si α est inférieur à 0.5, la valeur de sortie est diminuée.
- Si α est supérieur à 0.5, la valeur de sortie est augmentée.

2.4 Montage Flyback :

Le schéma de base d'un convertisseur Flyback ressemble à celui d'un montage Buck-Boost. La principale différence est que le montage Flyback comprend une isolation galvanique assurée par un transformateur.

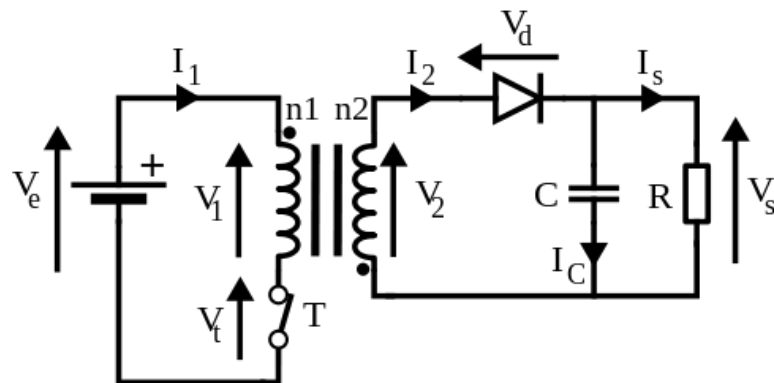


Figure 8 Schéma de base d'un convertisseur Flyback

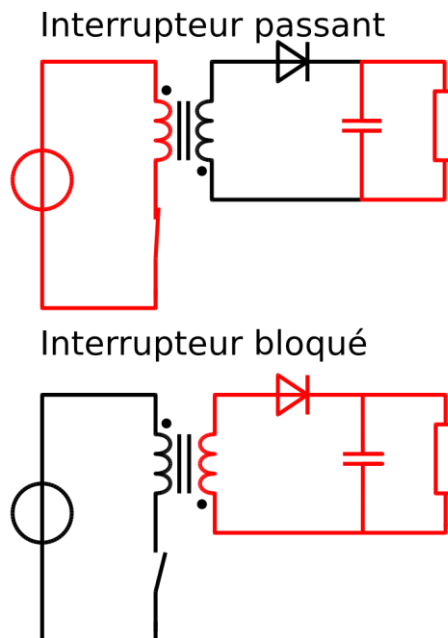


Figure 9 Les deux états d'un convertisseur Flyback

A l'état passant : $t \in [0, \alpha T]$:

S fermé :

$$\text{On a : } V_i = L_1 \frac{dI_1}{dt}$$

$$\text{On a donc : } I_1 = I_{1min} + \frac{V_i}{L_1} t$$

Avec :

- I_{1min} : la valeur de I_1 à $t=0$.

$$\text{A } t = \alpha T, I_1 \text{ atteint la valeur maximale } I_{1min} + \frac{V_i}{L_1} \alpha T$$

A l'état bloqué : $t \in [\alpha T, T]$:

S ouvert :

$$\text{On a : } V_i = -L_2 \frac{dI_2}{dt}$$

$$\text{On a donc : } I_2 = I_{2max} - \frac{V_i}{L_2} t$$

$$\text{A } t = T, I_2 \text{ atteint la valeur minimale } I_{2max} - \frac{V_o}{L_2} (T - \alpha T)$$

A $t = \alpha T$:

A l'instant $t = \alpha T$, l'énergie magnétique est transférée du primaire au secondaire.

Notons cette énergie W , on a donc :

$$W = \frac{1}{2} L_1 I_{1max}^2 = \frac{1}{2} L_2 I_{2max}^2$$

D'autre part, en exprimant cette énergie en fonction de la réluctance R et des nombres de spires du primaire et du secondaire n_1 et n_2 :

$$W = \frac{1}{2} \frac{n_1^2}{R} I_{1max}^2 = \frac{1}{2} \frac{n_2^2}{R} I_{2max}^2$$

On en déduit :

$$I_{1max} = \frac{n_2}{n_1} I_{2max}$$

En remplaçant dans les relations précédentes on trouve :

$$V_o = \frac{n_2}{n_1} \frac{\alpha}{1 - \alpha} V_i$$

Le rendement du montage Flyback est calculé en divisant la puissance de sortie sur la puissance d'entrée.

$$\eta = \frac{V_o * I_{2max}}{V_i * I_{1max}}$$

En remplaçant $I_{1max} = \frac{n_2}{n_1} I_{2max}$, on trouve :

$$\eta = \frac{\alpha}{1 - \alpha}$$

On pourrait donc obtenir un bon rendement en maximisant α (ce qui serait le cas du générateur de tension de l'électroporteur, α est de l'ordre de 0.9)

3. Implémentation du montage Flyback :

La partie génération de tension a été une partie critique du projet. Nous avons étudié pour cela une solution à base de convertisseur Flyback.

Le montage devrait avoir en entrée une tension redressée de 220 V et en sortie une tension comprise entre [1000 V, 2500 V]. Cette tension doit charger un condensateur de 50 uF.

Le test de la solution Flyback a été testé à échelle réduite, et nous avons réussi à doubler la tension d'entrée, mais l'implémentation d'un convertisseur Flyback pour la haute tension nécessite un condensateur capable de tenir la haute tension.

Le seul inconvénient de cette solution est le coût très élevé des condensateurs qui peuvent être chargés à une tension élevée.

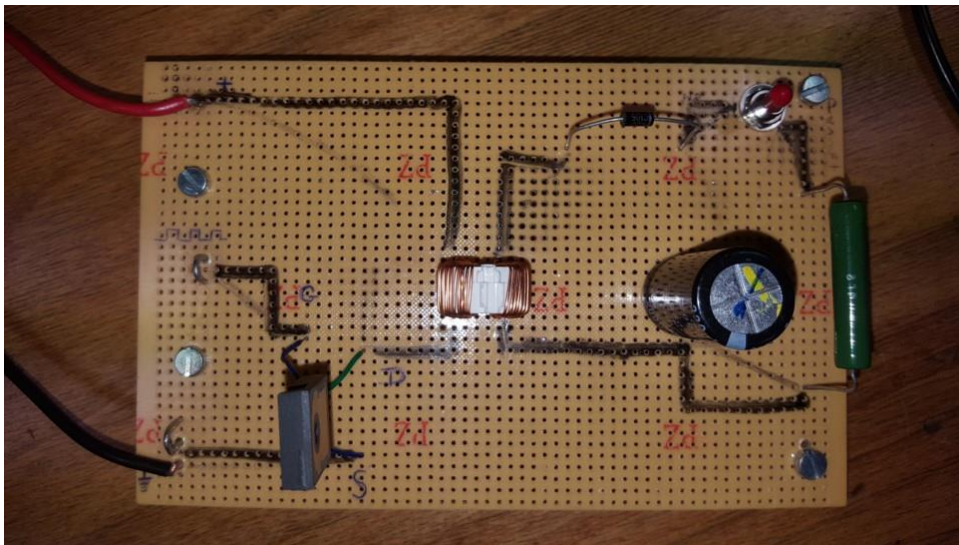


Figure 10 Charge d'un condensateur par un convertisseur Flyback

Conclusion :

L'alimentation à découpage Flyback permet d'augmenter la tension en modifiant le rapport cyclique du commutateur. La commutation permet d'avoir un rendement très important, puisqu'il n'y a pas de dissipation d'énergie lors de la commutation. Or, le coût élevé des condensateurs de haute tension augmente considérablement le coût de l'implémentation d'une telle solution.

