

Annexe N°6

Notes sur les convertisseurs abaisseurs de tension (step down, buck converter)

Ce type de circuit se comporte comme un transformateur abaisseur de tension en alternatif. Au lieu d'absorber la différence de tension entre l'entrée et la sortie de l'alimentation dans un transistor ballast, comme c'est le cas dans une alimentation linéaire, un transistor de commutation est utilisé pour ouvrir et fermer périodiquement le circuit entre l'entrée et la sortie (figure 1).

Si l'interrupteur (le transistor) s'ouvre et se ferme périodiquement, la tension de sortie variera périodiquement entre 0 volt et V_e et la valeur moyenne de cette tension de sortie sera $V_s = V_e T_{on}/T$ où T_{on} est le temps pendant lequel l'interrupteur est fermé et T la période de commutation.

C'est cette valeur moyenne qui sera lue sur un voltmètre pour tension continue. Grâce au filtre LC (figure 2), l'ondulation sur V_s est très réduite et avec une fréquence de découpage élevée (40-50 kHz), les composants LC présentent des valeurs relativement faibles.

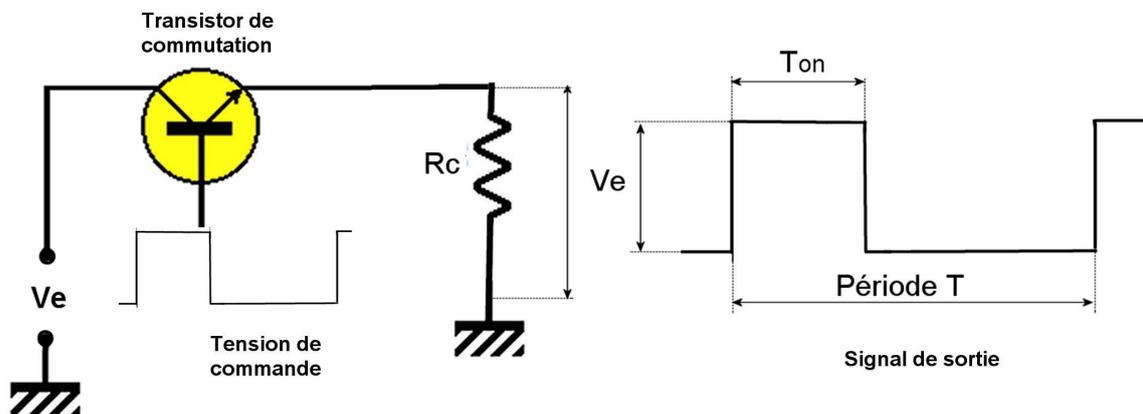


Figure 1

N'importe quelle tension de sortie peut ainsi être obtenue en faisant varier le temps T_{on} , avec un rendement élevé, car les seules pertes sont dues au circuit de commutation.

Durant le temps d'ouverture de l'interrupteur, les pertes sont nulles car le courant d'entrée est égal à 0. Durant la commutation, la présence simultanée d'un courant et d'une tension provoque quelques pertes qui, grâce à des transistors à commutation rapide, restent faibles et permettent d'obtenir des rendements de plus de 90%.

Rappel de la loi de Lenz :

Une bobine traversée par un flux d'induction magnétique variable est le siège d'une force électromotrice qui engendre un courant induit si le circuit est fermé. Le sens de ce courant est tel qu'il s'oppose à la cause qui lui a donné naissance.

Ainsi à la fermeture la fém s'oppose à l'apparition du courant et prolonge le courant à l'ouverture.

Cette force électromotrice d'auto-induction E , qui représente en fait l'énergie stockée dans la bobine sous forme magnétique, est proportionnelle à la variation du flux $\Delta\Phi$ et inversement proportionnelle à la durée de cette variation Δt , le signe – représentant l'opposition de l'induction par rapport à la cause qui lui a donné naissance.

$$E = -\Delta\Phi/\Delta t$$

Le convertisseur « step down », son comportement et son rendement :

Examinons la figure 2.

Si L a une valeur élevée par rapport à la fréquence de découpage, le courant qui la traverse demeure pratiquement constant lorsque l'interrupteur est ouvert.

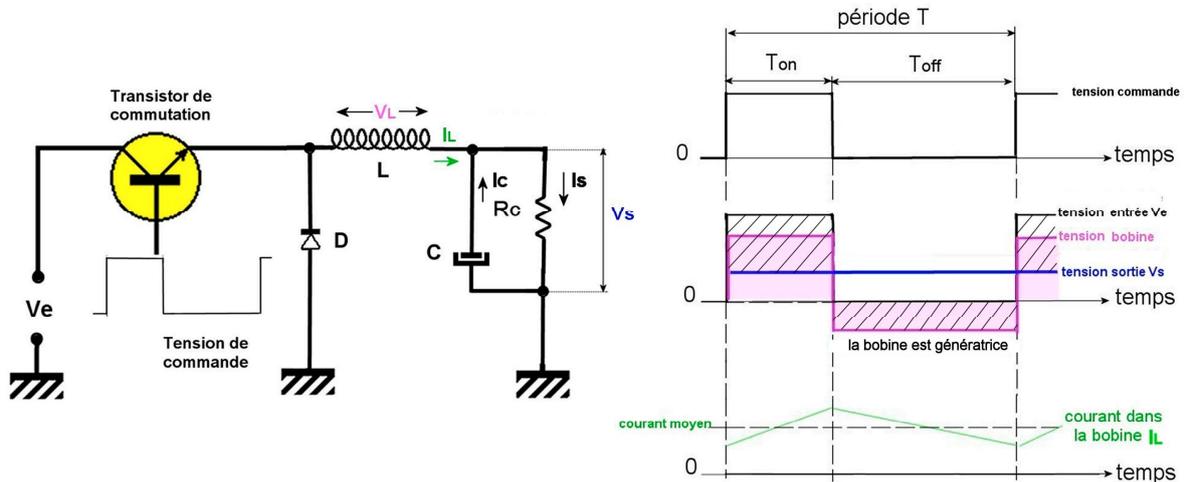


Figure 2

En premier, lorsque l'interrupteur est fermé, la tension d'entrée V_e est connectée à l'inductance et la diode ne conduit pas, car elle est polarisée en inverse. Le courant I_L (en vert) s'établit progressivement dans l'inductance en emmagasinant de l'énergie magnétique qui sera restituée pendant le second temps lorsque l'interrupteur sera ouvert.

L'inductance est utilisée pour transférer l'énergie de l'entrée à la sortie du convertisseur.

Au moment où l'interrupteur s'ouvre, l'auto-induction s'oppose à la disparition du courant, la tension à l'entrée de L devient négative et la diode D se met à conduire ; à cet instant, pratiquement le même courant I_s dans R_L est délivré par L et C en parallèle.

Dans ces conditions, le courant pris sur l'entrée est une série d'impulsions d'amplitude I_s et de durée T_{on} , la puissance consommée P_e est donc le produit de la tension d'entrée par le courant moyen ($I_s T_{on}/T$):

$$P_e = V_e (I_s T_{on}/T)$$

En régime établi, en négligeant les pertes, la tension de sortie est égale à $V_s = V_e (T_{on}/T)$, ce qu'illustre le diagramme de la figure 2, où les deux rectangles hachurés ont une surface égale.

La charge parcourue par le courant I_s , avec une tension V_s à ses bornes, dissipe donc une puissance de sortie :

$$P_s = I_s (V_e T_{on}/T)$$

On voit que la puissance de sortie est théoriquement égale à la puissance consommée, le circuit fonctionne comme un transformateur abaisseur de tension. Il consomme à l'entrée un courant $I_s T_{on}/T$ et délivre en sortie une tension $V_e T_{on}/T$ directement proportionnelle au rapport cyclique, sous un courant I_s .

En pratique, le temps de commutation et la chute de tension dans le transistor interrupteur provoquent des pertes qu'il faut prendre en compte. En les incluant on obtient des rendements η de l'ordre de :

$$V_s/(V_s+2)$$

Cette valeur approximative qui est indépendante de la tension d'entrée V_e est à comparer avec le rendement dans une alimentation avec un transistor ballast qui serait égale à V_s/V_e . Par exemple, un convertisseur 5V peut atteindre un rendement de 85 %, alors qu'une alimentation linéaire identique limitée à une tension d'entrée de 10V afficherait un rendement maximum de 50%.

L'équation de la puissance électrique résume bien sa souplesse d'utilisation :

$$V_s I_s = \eta V_e I_e$$

Mise en œuvre d'un régulateur step-down avec régulation :

La figure 3 montre un exemple de circuit convertisseur. En ajoutant au convertisseur de la figure 1 une tension de référence, un amplificateur différence et un modulateur de largeur d'impulsion, on obtient un ensemble complet tel le LM2576 utilisé pour l'alimentation filament du DMU20.

Lorsque la tension d'entrée augmente ou décroît, le rapport T_{on}/T décroît ou augmente grâce à la contre réaction, de façon à garder la tension de sortie constante.

Ce circuit travaille à une fréquence fixe de 52 kHz avec une modulation de largeur des impulsions.

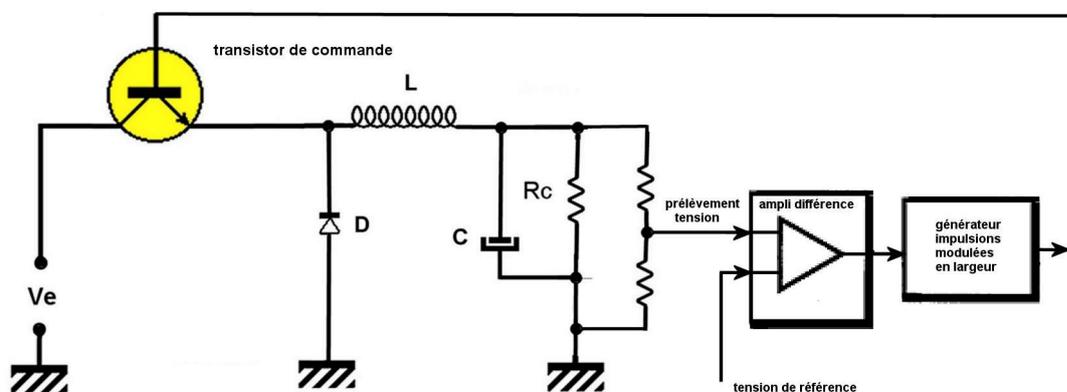


Figure 3