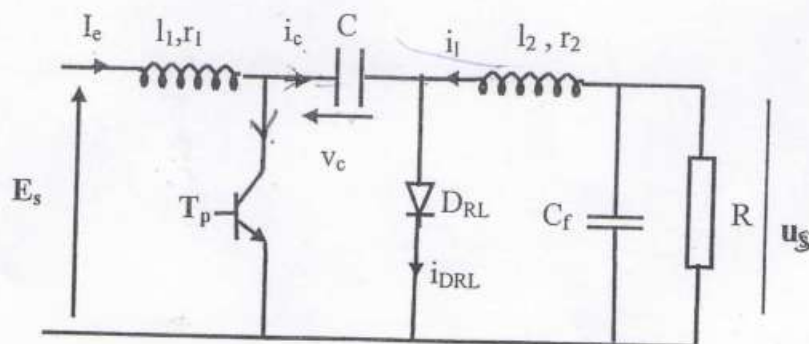


M. Hamze

3^{ème} EMD d'Electronique de puissance**Exercice 1:**

Soit l'alimentation à découpage de type Cuk débitant dans une résistance pure R de la figure ci-dessous. Le transistor T_p est commandé dans l'intervalle $[0, \alpha T]$ où T est la période de découpage et α est le rapport cyclique.

- 1) Donner les montages correspondant au fonctionnement de $[0, \alpha T]$ et de $[\alpha T, T]$. Indiquer le sens de u_s .
- 2) Tracer sur la période T les ondes de i_e , i_l , i_c , v_c et i_{DRL} .
- 3) Exprimer les valeurs moyennes de u_s , i_l et i_e en fonction de α , r_1/R et r_2/R .
- 4) Pour r_2 négligeable et $r_1/R = \epsilon$, Déterminer la valeur maximale $(U_s)_{\text{moy}}$.
- 5) En négligeant les résistances r_1 et r_2 , comment dimensionner C_f et L_2 pour que les ondulations maximales de u_s et i_l soient de 10% de leur valeur moyenne. (On donne $E_s = 24 \text{ V}$; $f = 1/T = 100 \text{ kHz}$).

**Exercice 2:**

Soit le montage d'un gradateur triphasé à thyristors débitant dans une résistance de chauffage couplée en triangle.

- 1- Donner le montage.
- 2- Donner la table séquentielle des tensions de sortie V_{sa} , V_{sb} , V_{sc} correspondant à la conduction des thyristors.
- 3- Tracer la forme de la tension de sortie V_{sa} pour un angle d'allumage $\alpha = \pi/2$.

r_1 . On arrive ainsi au schéma du haut de la figure 6-17 sur lequel on a indiqué les notations utilisées.

Le condensateur C_1 joue le rôle d'une source auxiliaire de tension. Pendant la charge de C_1 , on a un générateur de courant débitant dans un récepteur de tension, comme dans un hacheur parallèle. Quand C_1 se décharge, elle constitue un générateur de tension débitant sur un récepteur de courant, comme dans un hacheur série. Le montage est équivalent à une cascade hacheur parallèle - hacheur série, d'où son appellation de *Boost-Buck Converter*.

En fonctionnement normal, la tension u_1 aux bornes de C_1 reste constamment positive, ce qui empêche la conduction simultanée du transistor Q et de la diode D. Le transistor est saturé de $t = 0$ à $t = \alpha T$, bloqué de $t = \alpha T$ à $t = T$; la diode conduit pendant ce second intervalle. La figure 6-17 donne l'allure des variations des divers courants et des diverses tensions.

2.4.1.- Valeurs moyennes de tensions u' et u_1 , des courants i et i_2

Les tensions u' et u_1 , les courants i et i_2 sont liés par :

$$\begin{aligned} U &= r_1 i + \ell_1 \frac{di}{dt}, & \text{pour } 0 < t < \alpha T, \\ &= r_1 i + \ell_1 \frac{di}{dt} + u_1, & \text{pour } \alpha T < t < T \\ i_2 &= C \frac{du'}{dt} + \frac{u'}{R}, & \text{pour } 0 < t < T. \\ r_2 i_2 + \ell_2 \frac{di_2}{dt} + u' &= u_1, & \text{pour } 0 < t < \alpha T, \\ &= 0, & \text{pour } \alpha T < t < T. \\ C_1 \frac{du_1}{dt} &= -i_2, & \text{pour } 0 < t < \alpha T, \\ &= i, & \text{pour } \alpha T < t < T. \end{aligned}$$

En désignant par U' , U_1 , I et I_2 les valeurs moyennes de u' , u_1 , i et i_2 , en intégrant sur une période et en prenant les valeurs moyennes, on obtient :

$$U = r_1 I + \ell_1 \left(\frac{di}{dt} \right)_{\text{moy}} + \frac{1}{T} \int_0^T u_1 dt$$

$$I_2 = C \left(\frac{du'}{dt} \right)_{\text{moy}} + \frac{U'}{R}$$

$$r_2 I_2 + \ell_2 \left(\frac{di_2}{dt} \right)_{\text{moy}} + U' = \frac{1}{T} \int_0^{\alpha T} u_1 dt$$

$$C_1 \left(\frac{du_1}{dt} \right)_{\text{moy}} = \frac{1}{T} \int_0^{\alpha T} -i_2 dt + \frac{1}{T} \int_{\alpha T}^T i dt$$

3^{ème} EMD mai 2008

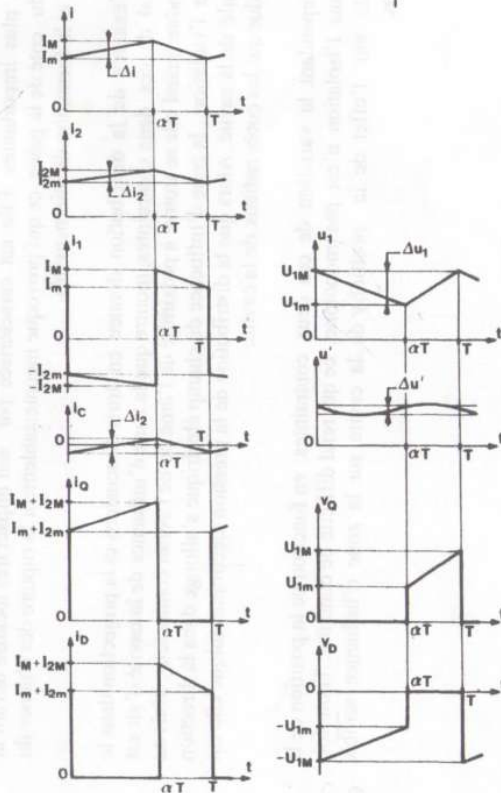
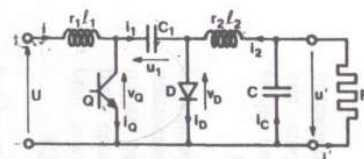


Figure 6-17

Alimentation à découpage du type CUK

admettant que les valeurs moyennes de u_1 , de i_2 et de i pendant la conduction du transistor ou de la diode sont les mêmes que pour l'ensemble de la période, il vient :

$$U = r I + (1-\alpha)U_1$$

$$I_2 = U'/R = I'$$

$$r_2 I_2 + U' = \alpha U_1$$

$$0 = -\alpha I_2 + (1-\alpha)I$$

On en déduit :

$$U' = \frac{r_1}{R} \frac{\alpha}{1-\alpha} \cdot \frac{1-\alpha}{\alpha} \left(1 + \frac{r_2}{R}\right) = R I_2 \quad (6.24)$$

$$U_1 = \frac{U'}{\alpha} \left(1 + \frac{r_2}{R}\right) = \frac{U}{\frac{r_1}{R} \frac{\alpha}{1-\alpha} \cdot \frac{1-\alpha}{\alpha} \left(1 + \frac{r_2}{R}\right) + 1-\alpha} \quad (6.25)$$

$$I = \frac{\alpha}{1-\alpha} I_2 = \frac{\alpha}{1-\alpha} I' = \frac{U}{r_1 + (R+r_2) \frac{(1-\alpha)^2}{\alpha^2}} \quad (6.26)$$

Si on avait négligé les résistances r_1 et r_2 , on aurait obtenu :

$$U' = U \frac{\alpha}{1-\alpha} = R I_2 \quad (6.24')$$

$$U_1 = \frac{U'}{\alpha} = \frac{U}{1-\alpha} \quad (6.25')$$

$$I = \frac{\alpha}{1-\alpha} I_2 = \frac{\alpha}{1-\alpha} I' = \frac{\alpha^2}{(1-\alpha)^2} \frac{U}{R} \quad (6.26')$$

• La tension de sortie moyenne U' est nulle pour α nul, croît d'abord avec α , passe par un maximum, puis diminue et s'annule quand $\alpha = 1$. U' est maximum pour α_{\max} tel que : $dU'/d\alpha = 0$

$$\alpha_{\max} = \frac{1}{1 + \sqrt{\frac{r_1}{R+r_2}}}$$

et le maximum de U' est égal à :

$$U'_{\max} = U \frac{R}{2\sqrt{r_1(R+r_2)}}$$

La résistance r_2 est normalement très faible devant R ; si on confond $r_2 + R$ avec R , il vient :

$$U' = \frac{r_1}{R} \frac{\alpha}{1-\alpha} + \frac{1-\alpha}{\alpha} \quad ; \quad \alpha_{\max} = \frac{1}{1 + \sqrt{\frac{r_1}{R}}} \quad ; \quad U'_{\max} = \frac{U}{2\sqrt{\frac{R}{r_1}}}$$

A partir de cette expression simplifiée, on a tracé sur la figure 6-18 les courbes montrant les variations de U' en fonction de α pour $r_1 = 0$, $r_1 = 0,01R$ et $r_1 = 0,05R$.

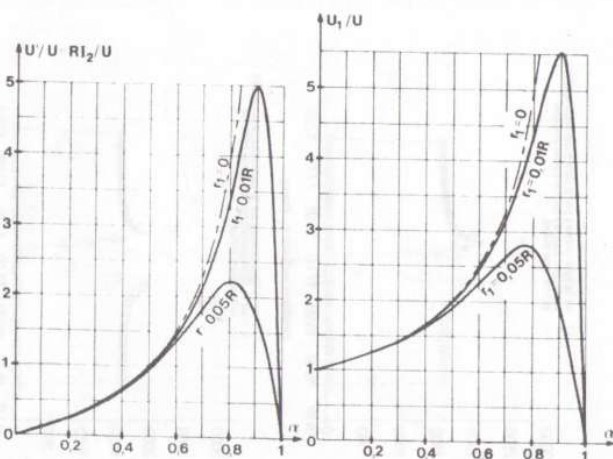


Figure 6-18

Figure 6-19

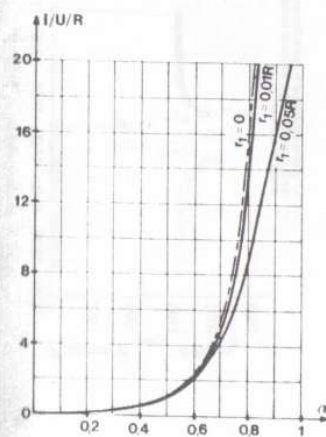


Figure 6-20

r_1 égal à $0,01 R$ et r_1 égal à $0,05 R$. On trouve les mêmes valeurs de U'_{\max} que pour le hacheur parallèle, mais U' part de zéro comme pour le hacheur à stockage inductif.

- La tension moyenne U_1 aux bornes du condensateur est égale à U pour α nul. Quand α croît, elle augmente, passe par un maximum, puis diminue. Elle est nulle pour α égal à 1.

Si la dérivée par rapport à α montre que son maximum est obtenu pour :

$$\alpha = 1 - \sqrt{\frac{r_1}{R + r_2 + r_1}}$$

et a pour valeur :

$$U_{1\max} = \frac{U}{2} \frac{R + r_2}{\sqrt{r_1(R + r_2 + r_1)} - r_1}$$

Si, en première approximation, on confond $R + r_2$ avec R , il vient :

$$U_1 = \frac{U}{\frac{r_1}{R} + \frac{\alpha^2}{1-\alpha} + 1-\alpha} ; U_{\max} = \frac{U}{2} \frac{R}{\sqrt{r_1(R + r_1)} - r_1} \text{ pour } \alpha = 1 - \sqrt{\frac{r_1}{R + r_1}}$$

A l'aide de ces dernières relations, on a tracé (figure 6-19) les variations de U_1 en fonction de α pour r_1 successivement nul, égal à $0,01 R$ puis égal à $0,05 R$.

L'élévation de la tension de sortie entraîne celle de la tension aux bornes du condensateur.

- Le courant moyen I débité par la source de tension U et traversant l'inductance L_1 croît sans cesse quand α va de zéro à 1. Nul pour α nul, il égale U/r_1 quand α égale 1.

Les courbes de la figure 6-20 ont été tracées pour $r_1 = 0$; $r_1 = 0,01 R$; $r_1 = 0,05 R$, en négligeant r_2 devant R .

Le courant moyen I_2 dans L_2 peut être lu sur les courbes donnant U' puisque $R I_2$ égale U' .

2.4.2.- Ondulations des courants i et i_2 , des tensions u' et u_1

- Ondulation des courants i et i_2

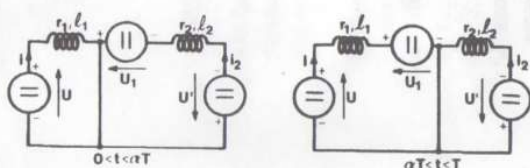


Figure 6-21

Pour cette étude, on considère le charge R et la bobine L_2 comme des sources de tension parfaites, l'une de tension U' , l'autre de tension U_1 . Les schémas équivalents correspondant aux deux intervalles de fonctionnement sont alors ceux tracés sur la figure 6-21.

De $t = 0$ à $t = \alpha T$, $r_1 i + L_1 \frac{di}{dt} = U$; i croît de I_m à I_M ,

$$r_2 i_2 + L_2 \frac{di_2}{dt} = U_1 - U', \quad i_2 \text{ croît de } I_{2m} \text{ à } I_{2M}.$$

De $t = \alpha T$ à $t = T$, $r_1 i + L_1 \frac{di}{dt} = U - U_1$, i décroît de I_M à I_m ;

$$r_2 i_2 + L_2 \frac{di_2}{dt} = -U', \quad i_2 \text{ décroît de } I_{2M} \text{ à } I_{2m}.$$

- Si on néglige les résistances r_1 et r_2 , les courants sont des fonctions linéaires du temps. Leurs ondulations sont données :

$$\Delta i = \frac{U}{L_1} \alpha T ; \Delta i_2 = \frac{U_1 - U'}{L_2} \alpha T = \frac{U}{L_2} \alpha T \quad (6.27)$$

- Si on tient compte des résistances r_1 et r_2 , on obtient :

$$\Delta i = \frac{U}{r_1} \frac{1 - \exp[-(1-\alpha)T r_1 / L_1]}{1 - \exp(-T r_1 / L_1)} [1 - \exp(-\alpha T r_1 / L_1)]$$

$$\Delta i_2 = \frac{U}{r_2} \left(1 - \frac{\exp(\alpha T r_2 / L_2) - 1}{\exp(T r_2 / L_2) - 1} \right) [1 - \exp(-\alpha T r_2 / L_2)]$$

Si L_1/r_1 et L_2/r_2 sont grands devant la période T , l'écart entre Δi et Δi_2 donnés par ces relations et ceux donnés par les relations (6.27) est négligeable. Ces dernières indiquent des ondulations proportionnelles à α .

- Ondulation des tensions u' et u_1

- La sortie du montage est la même que celle du hacheur série. On peut déduire l'ondulation $\Delta u'$ de la tension u' aux bornes de l'ensemble RC de l'ondulation Δi_2 du courant qui le traverse (voir § 2.1.2.).

$$\Delta u' = \frac{1}{C} \Delta i_2 \frac{T}{8}$$

donc, compte-tenu de (6.27),

$$\Delta u' = U \frac{\alpha^2 T}{8 L_2 C} \quad (6.28)$$

$\Delta u'$ croît proportionnellement à α^2 .

- On peut calculer l'ondulation Δu_1 de la tension u_1 aux bornes du condensateur C_1 à partir de son courant i_1 de charge ou de décharge.

De $t = 0$ à $t = \alpha T$, i_1 égal à $-i_2$ est négatif. La variation de u_1 est :