

4.3 Alimentation asymétrique de type FORWARD

4.3.1 Principe de fonctionnement

[LIVRE122] FERRIEUX - Chapitre II page 58.

C'est un hacheur série de type "BUCK" avec transformateur d'isolement de rapport $m = \frac{n_2}{n_1}$.

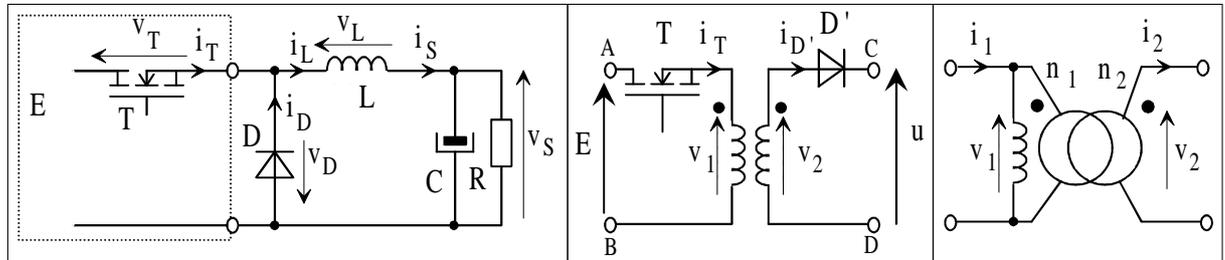


Fig. 4.14. Construction de l'alimentation FORWARD (dessins/forward4.drw).

Il faut un enroulement supplémentaire (n_3, v_3) pour assurer la démagnétisation complète du circuit magnétique avant le cycle suivant. Cet enroulement doit assurer la circulation du courant $i_{10}(t)$ lorsque le transistor est ouvert.

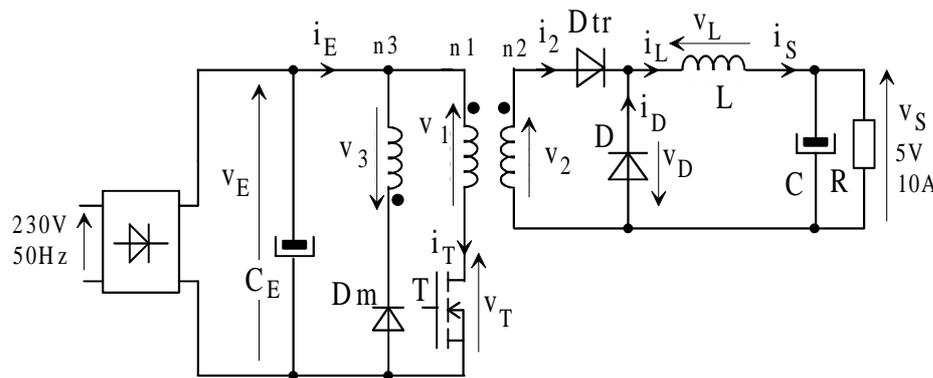


Fig. 4.15. Exemple d'application (dessins/forward2.drw).

Les équations de fonctionnement du transformateur à trois enroulements (figure 4.16) sont :

$$\begin{cases} v_1(t) = +n_1 \cdot \frac{d\phi_{\text{spire}}(t)}{dt} \\ v_2(t) = +n_2 \cdot \frac{d\phi_{\text{spire}}(t)}{dt} \\ v_3(t) = +n_3 \cdot \frac{d\phi_{\text{spire}}(t)}{dt} \end{cases} \quad (4.20)$$

les tensions étant toutes fléchées vers les points, et :

$$+n_1 \cdot i_1 - n_2 \cdot i_2 + n_3 \cdot i_3 = +n_1 \cdot i_{10} \quad (4.21)$$

avec $n_1 \cdot \phi_{\text{spire}}(t) = L_1 \cdot i_{10}(t)$.

La tension aux bornes de la diode de démagnétisation D_m vaut :

$$v_{D_m}(t) = -v_E(t) - v_1(t) = -E - v_1(t) \quad (4.22)$$

Il y a trois phases de fonctionnement (figure 4.17).

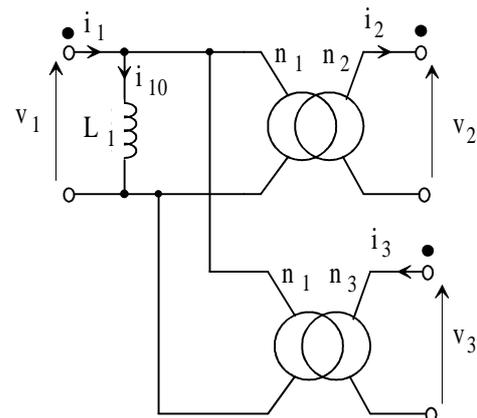


Fig. 4.16. Transformateur à trois enroulement (dessins/forward5.drw).

4.3.1.1 De $0 < t < \alpha T$

- Le transistor T conduit.
- La tension $v_1(t) = +E$, donc $v_2(t) = +\frac{n_2}{n_1} \cdot E$ et $v_3(t) = +\frac{n_3}{n_1} \cdot E$.
- La diode Dm est bloqué car la tension v_{DM} est donc négative et $v_2 = m \cdot E$ $v_2 = mE$, positive.
- La diode Dtr conduit et la diode D est bloqué : c'est la phase active du hacheur.
- Le courant magnétisant $i_{10}(t)$ est croissant, positif : $i_{10}(t) = +\frac{E}{L_{10}} \cdot t$ avec $i_{10}(t=0) = 0$.
- La relation sur les courants se simplifie : $i_1 = i_{10} + \frac{n_2}{n_1} \cdot i_2 = i_{10} + m \cdot i_2$.

4.3.1.2 De $\alpha T < t < \beta T$

- Le transistor T est ouvert : $i_1 = 0$.
- Le courant magnétisant doit être continu : $+n_1 \cdot 0 - n_2 \cdot i_2 + n_3 \cdot i_3 = +n_1 \cdot i_{10}$. Deux solutions :
 - a) i_2 négatif : impossible car il y a Dtr ;
 - b) i_3 positif : possible par la diode Dm : il y a démagnétisation par l'enroulement 3.
- La tension $v_3(t)$ vaut alors -E et donc $v_2(t) = -\frac{n_2}{n_3} \cdot E$ et $v_1(t) = -\frac{n_1}{n_3} \cdot E$.
- La diode Dtr se bloque et la diode de roue libre D assure la continuité du courant dans l'inductance de sortie L.
- Le courant magnétisant $i_{10}(t)$ est décroissant, positif : $i_{10}(t) = I_{10\max} - \frac{n_1}{n_3} \frac{E}{L_1} \cdot (t - \alpha T)$.
- La relation sur les courants se simplifie : $i_{10} = +\frac{n_3}{n_1} \cdot i_3$.

4.3.1.3 de $\beta T < t < T$

- Le transistor T est toujours ouvert : $i_1 = 0$.
- La démagnétisation est terminée $i_{10} = 0$.
- C'est une phase morte, avec la fin de la phase de roue libre.

4.3.1.4 Remarques

- Afin d'éviter la saturation du noyau, le courant i_{10} doit s'annuler avant la fin de la période $\beta \cdot T < T$.
- En général, $n_3 = n_1$ et donc $\beta \cdot T = 2\alpha \cdot T$.

4.3.2 Formes d'ondes - Ondulations

Voir le hacheur série et remplacer, pour les grandeurs de sorties, Ve par mVe (E par mE).

On pose pour la suite $m = \frac{n_2}{n_1}$ et $m' = \frac{n_3}{n_1}$.

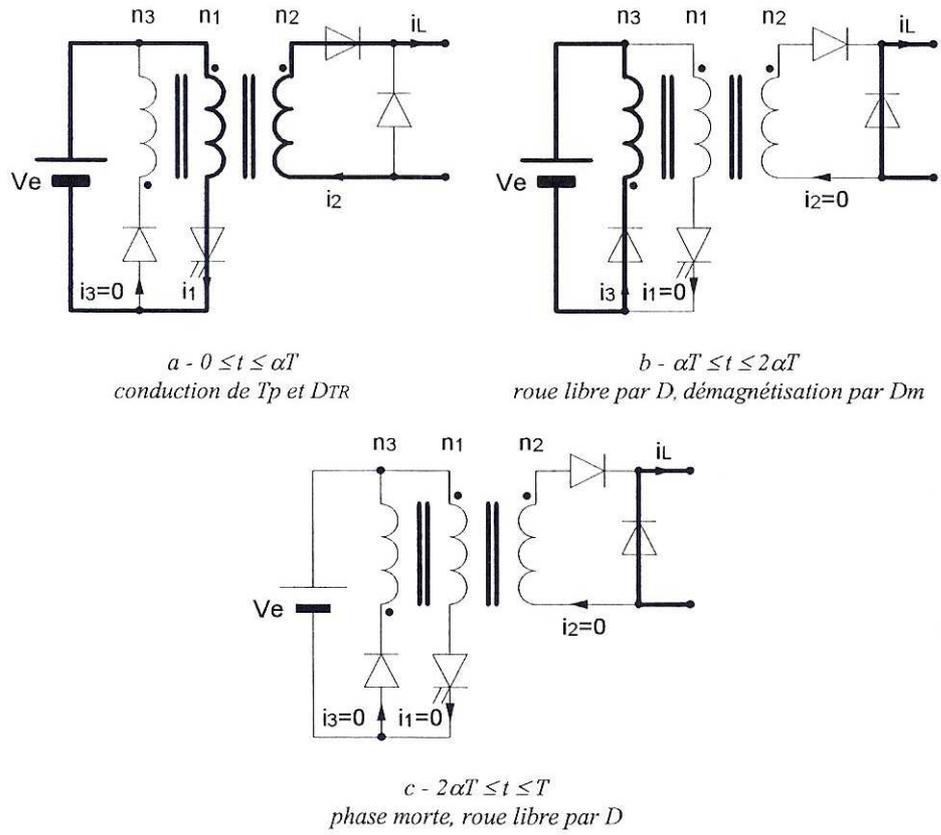


Fig. 4.17. 3 phases de fonctionnement (images\ff3-p60-1.jpg).

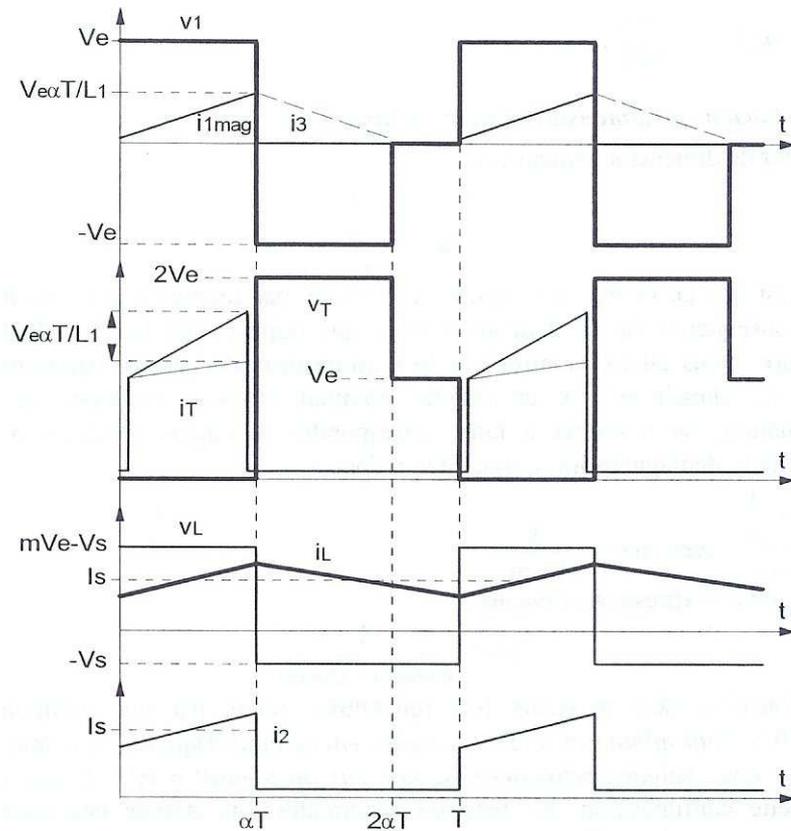


Fig. 4.18. Formes d'ondes (images\ff3-p61-1.jpg).

La valeur moyenne de la tension de sortie vaut : $V_s = m \cdot \alpha \cdot V_e$

L'ondulation de la tension de sortie vaut : $\Delta V_s = \alpha(1 - \alpha) \frac{m \cdot V_e}{8LC \cdot F^2}$.

L'ondulation du courant de sortie vaut : $\Delta I_L = \alpha(1 - \alpha) \frac{m \cdot V_e}{L \cdot F}$.

4.3.3 Caractéristique de sortie de l'alimentation FORWARD

La caractéristique de sortie de l'alimentation FORWARD est identique à celle du hacheur série, en remplaçant V_e par mV_e . On pose la tension normalisée ou tension réduite $y = \frac{V_s}{mV_e}$. Le courant de charge

normalisé ou réduit vaut $x = \frac{LF}{mV_e} \cdot I_s$ et dépend des constantes du montage.

d) En régime continu, $V_s = \alpha mV_e$, donc $y = \alpha$.

e) En régime discontinu y vaut alors $y = \frac{1}{1 + \frac{2 \cdot x}{\alpha^2}}$ qui est une hyperbole paramétrée en α .

f) La condition de passage d'un régime à l'autre est liée à la présence d'un courant moyen limite, noté $I_{s\text{limite}}$ égal à une demi ondulation du courant dans l'inductance $\Delta I_L/2$. On a donc :

$$I_{s\text{limite}} = \frac{\Delta I_L}{2} = \frac{mV_e}{2LF} \cdot \alpha(1 - \alpha) \text{ de forme normalisée } x_{\text{limite}} = \frac{y(1 - y)}{2} \quad (4.23)$$

Dans le plan courant/tension $y(x)$, ceci se traduit par une courbe limite de forme parabolique correspondant à la forme de $\Delta I_L(\alpha)$. Cette courbe s'exprime aussi par :

$$\begin{cases} x_{\text{limite}} = \frac{\alpha(1 - \alpha)}{2} \\ y_{\text{limite}} = \alpha \end{cases} \quad (4.24)$$

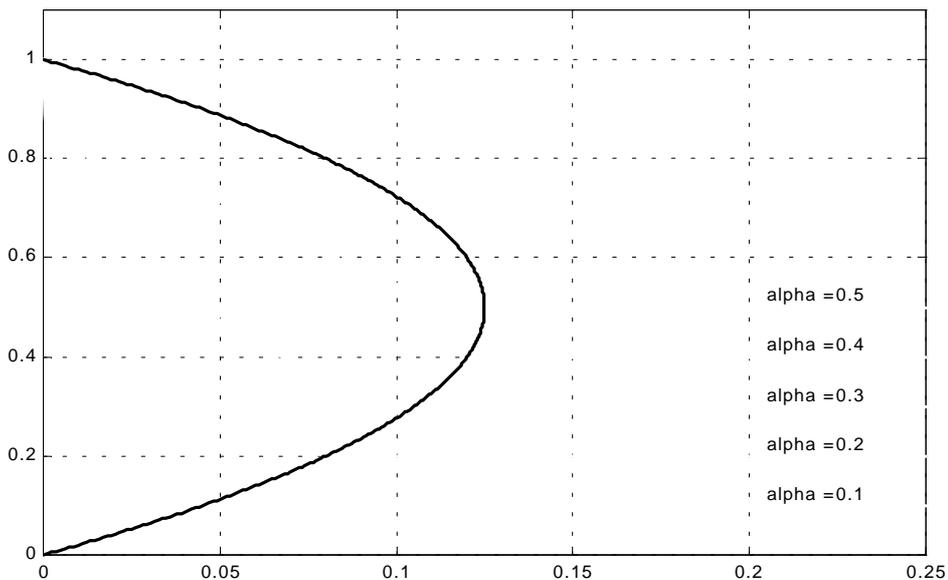


Fig. 4.19. Caractéristiques de sortie de l'alimentation FORWARD ($V_s I_s \text{Forward.m}$).

4.3.4 Contraintes sur les composants

<p>Interrupteur :</p> $I_{T\max} = m \cdot \left[I_s + \alpha(1-\alpha) \frac{m \cdot V_e}{2 \cdot L \cdot F} \right] + \frac{V_e}{L_1 \cdot F} \cdot \alpha$ $V_{T\max} = \left(1 + \frac{1}{m'} \right) \cdot V_e$	<p>Diode Dtr :</p> $V_{RRM} = \frac{m}{m'} \cdot V_e$ $I_{\text{moy}} = I_{F(AV)} = \alpha \cdot I_s$
<p>Diode Dm :</p> $V_{RRM} = (1 + m') \cdot V_e$ $I_{\text{moy}} = \frac{1}{2} \cdot \frac{V_e}{L_1 \cdot F} \cdot \frac{\beta - \alpha}{m'} \text{ (ok) (faible)}$	<p>Diode D :</p> $V_{RRM} = m \cdot V_e$ $I_{\text{moy}} = I_{F(AV)} = (1 - \alpha) \cdot I_s$

4.3.5 Facteur de dimensionnement - Choix de m'

Le facteur de dimensionnement de l'interrupteur vaut :

$$Fd = \frac{V_{K\max} \cdot I_{K\max}}{P} \approx \frac{\left(1 + \frac{1}{m'} \right) \cdot V_e \cdot m \cdot I_s}{\alpha \cdot m \cdot V_e \cdot I_s} = \frac{1 + \frac{1}{m'}}{\alpha} \quad (4.25)$$

Ce facteur est majoré d'un coefficient $\left(1 + \frac{1}{m'} \right)$ par rapport à celui du hacheur série. Ceci est la conséquence de la démagnétisation qui impose une tension de blocage du transistor supérieure.

Pour le régime nominal de fonctionnement (rapport cyclique maximal) et pour exploiter au mieux l'alimentation et le circuit magnétique, on a intérêt à ce que la démagnétisation complète de l'inductance L_1 correspond avec la période de découpage, soit :

$$I_{10\max} = \frac{E}{L_1} \alpha T = \frac{n_1}{n_3} \frac{E}{L_1} \cdot (1 - \alpha) T \Rightarrow \alpha \cdot m' = 1 - \alpha \Rightarrow \alpha_{\max} = \frac{1}{1 + m'} \quad (4.26)$$

Le facteur de dimensionnement devient alors $Fd = \frac{1}{\alpha_{\max} \cdot (1 - \alpha_{\max})}$. Cette fonction passe par un minimum pour $\alpha_{\max} = 0.5$. On en déduit que pour minimiser le dimensionnement de l'interrupteur, il faut choisir cette valeur particulière du rapport cyclique et donc prendre $m' = 1$, soit $n_1 = n_3$. Dans cette configuration, la tension aux bornes des composants primaires sont égales à $2V_e$.

4.3.6 Notes sur le dimensionnement du transformateur

- Il y a trois enroulements à loger dans la fenêtre de bobinage, avec $n_1 = n_3$.
- Il ne faut pas d'entrefer pour réduire au maximum la valeur de l'inductance magnétisante.
- La condition sur le flux maximum est donnée par $\cdot \phi_{\max} = \frac{L_1 \cdot I_{10\max}}{n_1} = \frac{E}{n_1} \alpha T = \frac{\alpha \cdot E}{n_1 \cdot F}$.