

## Alimentations à découpage à isolement galvanique

### Plan de l'étude :

#### Alimentation à flux asymétrique :

- 1) alimentation de type FLYBACK ;
- 2) alimentation de type FORWARD ;

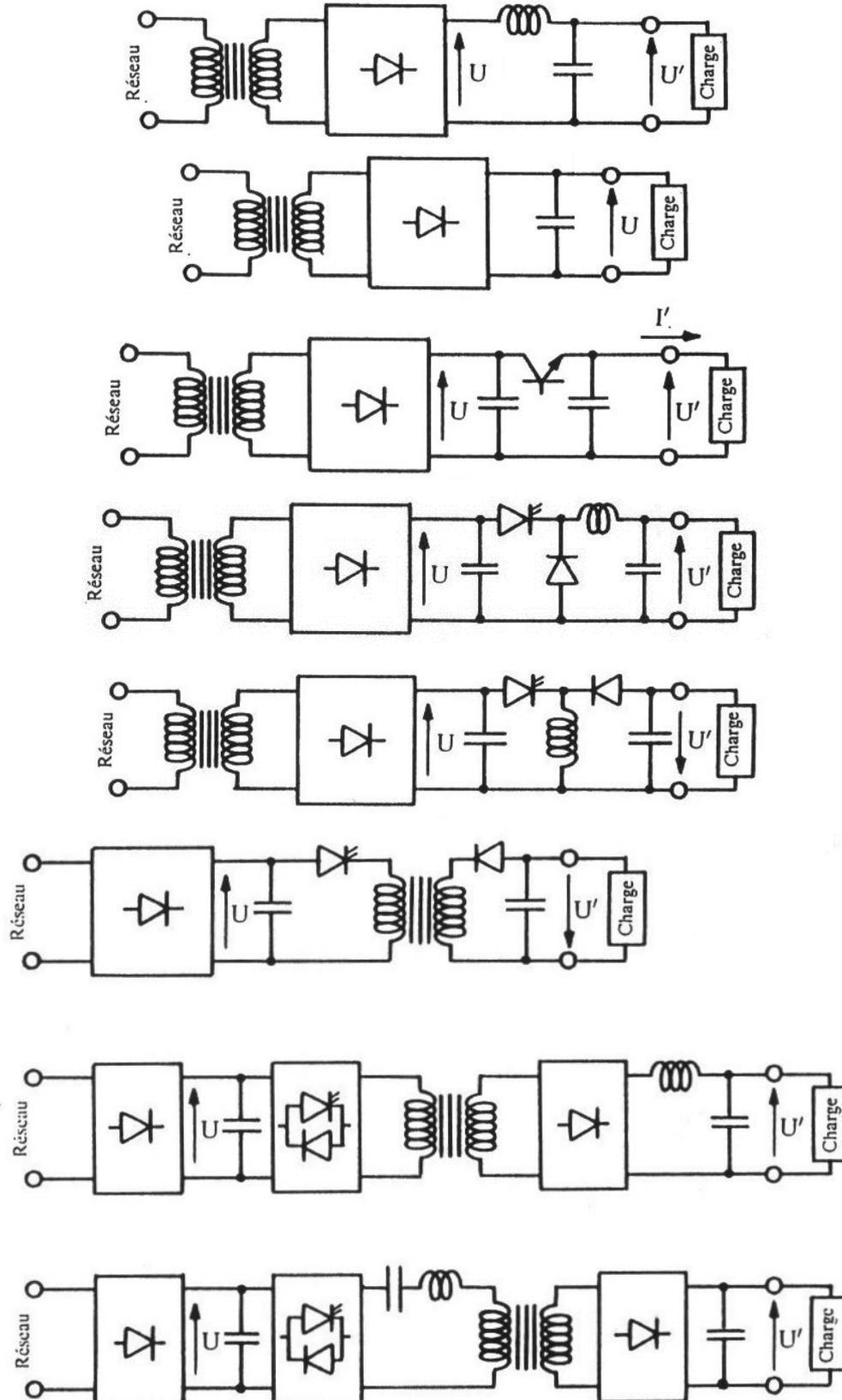
#### Alimentation à flux symétrique :

- 3) alimentation symétrique de type PUSH-PULL ;
- 4) alimentation symétrique montage en demi-pont ;
- 5) alimentation symétrique montage en pont ;

### Bibliographie :

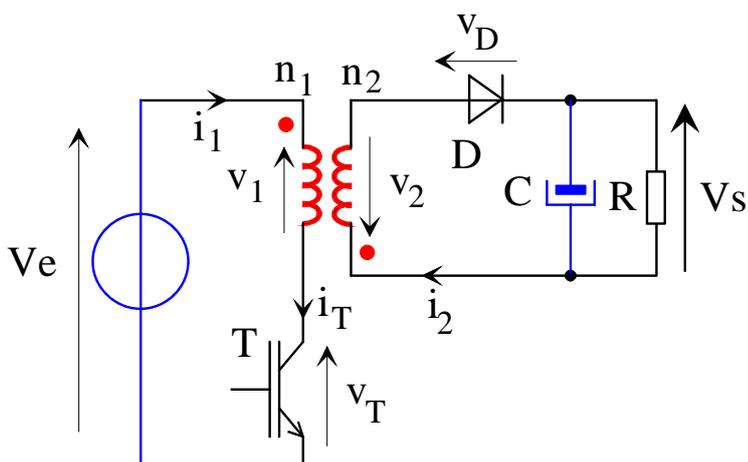
- [LIVRE122] J.-P. FERRIEUX, F. FOREST, *Alimentations à découpage - convertisseurs à résonance*, 3e édition revue et augmentée, 1999.
- [LIVRE025] R. BAUSIERE, F. LABRIQUE, G. SEGUIER, *Volume 3. La conversion continu-continu*, éditions TEC&DOC, 1997.
- [LIVRE032] P.-T. KREIN, *Element of power electronics*, Oxford University Press, 1997.
- [PAP146] [D3162][D3163], *Alimentations à découpage - Convertisseurs continu-continu non isolés*, FOCH H. et al, Techniques de l'Ingénieur, septembre 1990.
- [PAP147] [D3164], *Alimentations à découpage - Le transformateur dans les alimentations à découpage*, FOCH H. et al, Techniques de l'Ingénieur, juin 1991.
- [PAP110] [D3165], *Alimentations à découpage - Convertisseurs continu-continu isolés*, FOCH H. et al, Technique de l'Ingénieur, mars 1992.

# Alimentations industrielles : Solutions technologiques

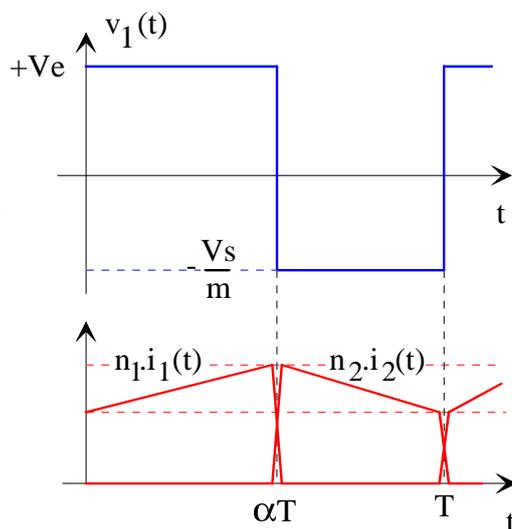


## Alimentation à découpage de type FLYBACK

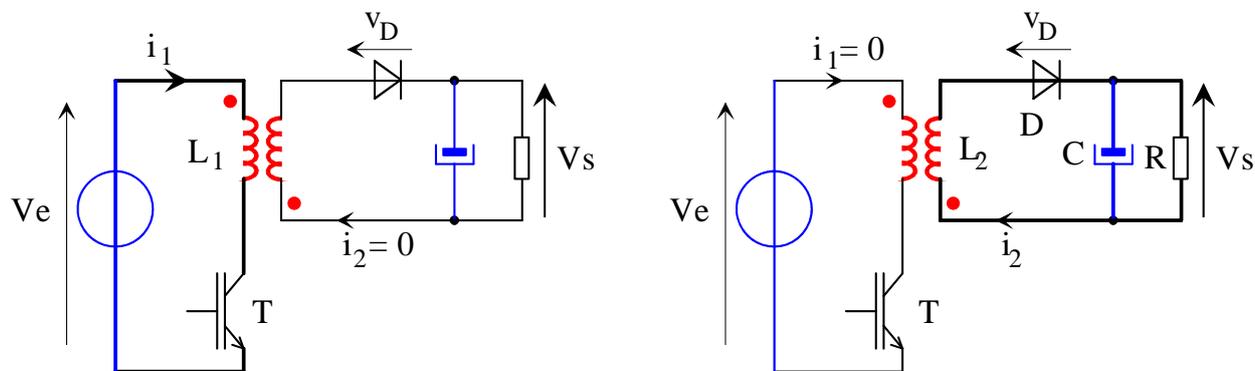
Schéma de principe :



Formes d'ondes :



Phases de fonctionnement :



$$L_2 = m^2 \times L_1$$

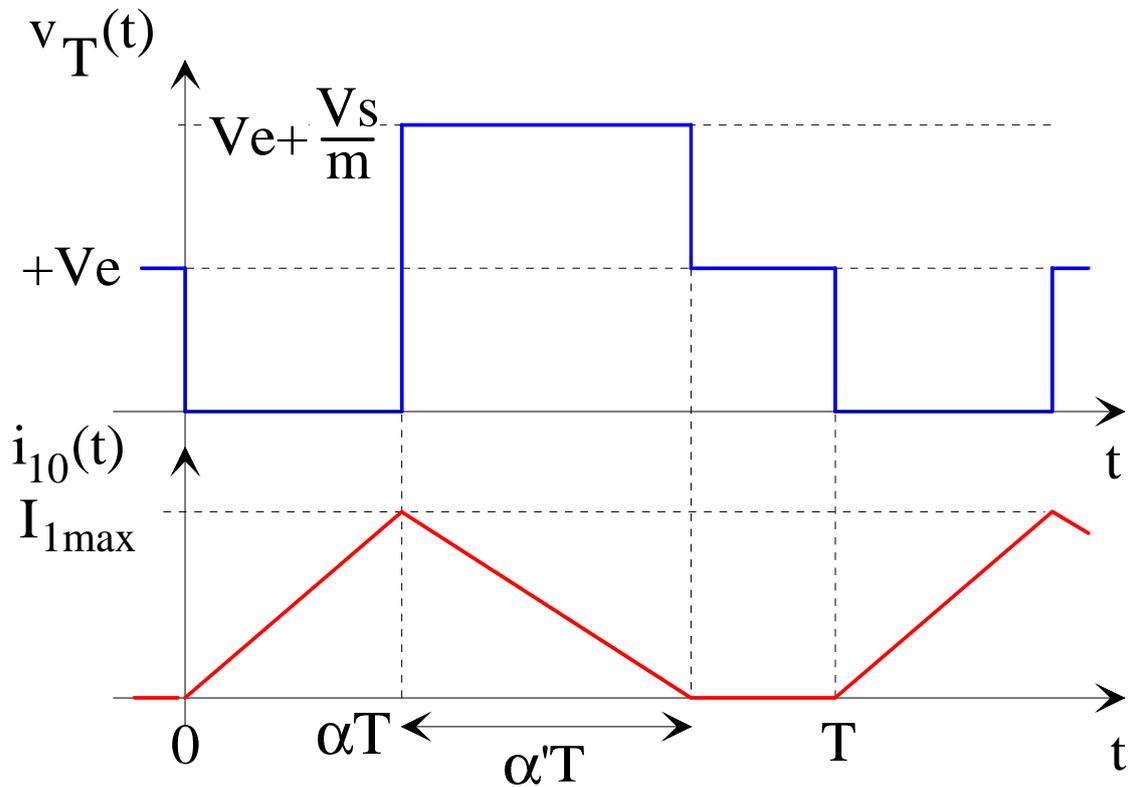
Valeur moyenne de la tension de sortie : 
$$V_s = m \cdot V_e \cdot \frac{\alpha}{1 - \alpha}$$

Ondulation de la tension de sortie : 
$$\Delta V_s = \frac{I_s \cdot \alpha}{C \cdot F}$$

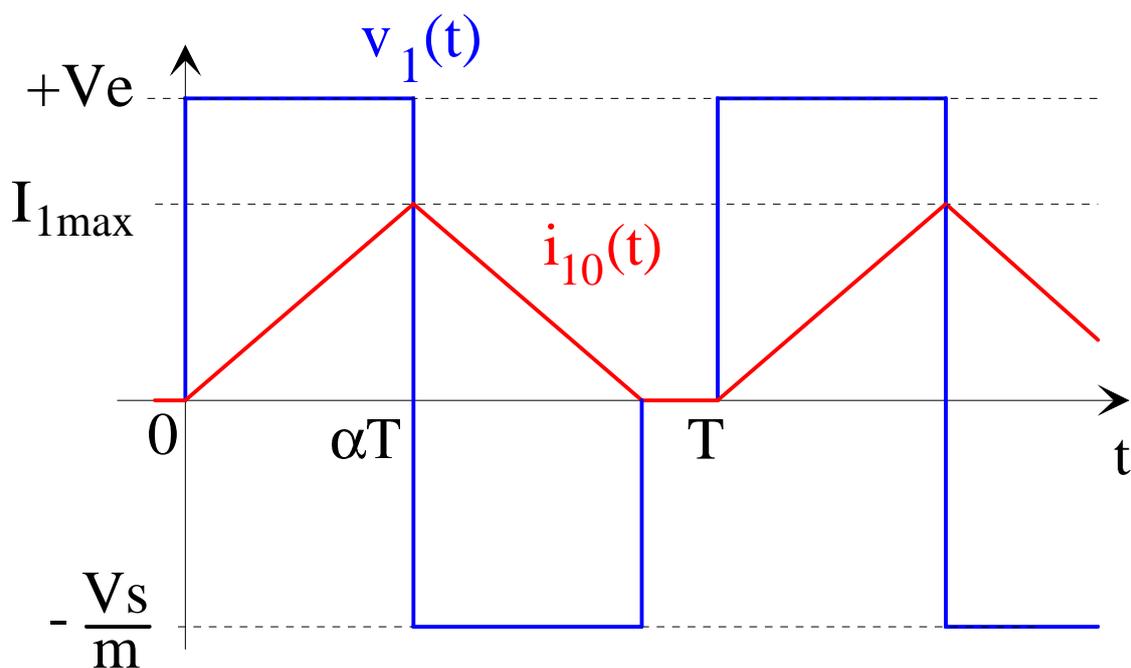
Ondulation du courant d'entrée : 
$$\Delta I_1 = \frac{\alpha \cdot V_e}{L_1 \cdot F}$$

## Fonctionnement en conduction discontinue (FLYBACK)

### Tension aux bornes du transistor et courant magnétisant



### Tension aux bornes de l'enroulement « 1 » et courant magnétisant



## Caractéristique de sortie de l'alimentation FLYBACK

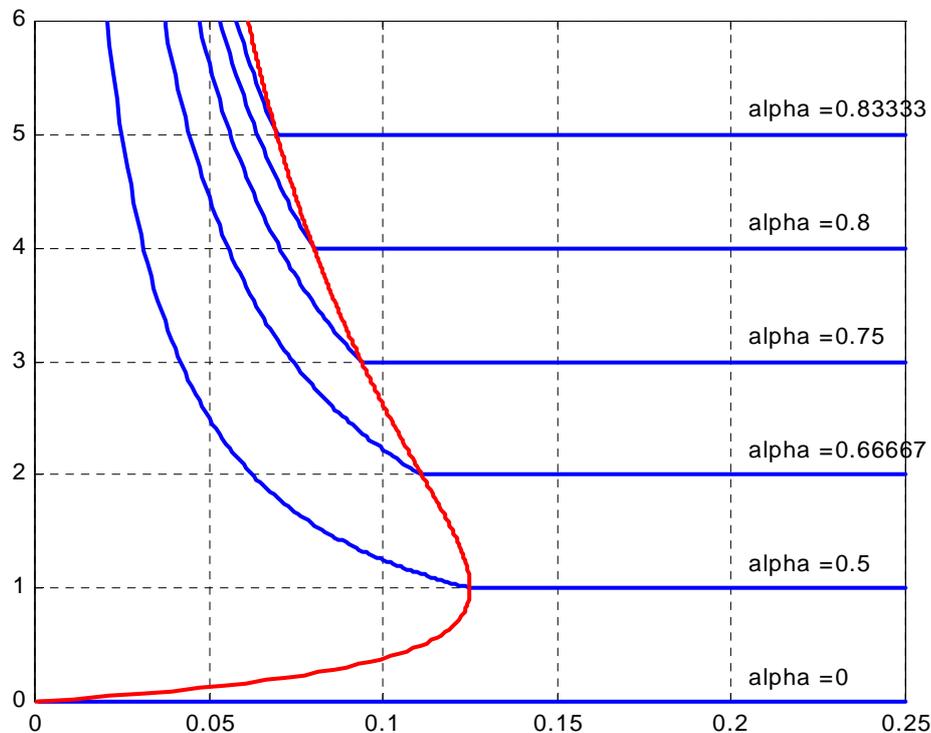
La tension normalisée vaut  $y = \frac{Vs}{mVe}$ . Le courant de charge normalisé vaut  $x = \frac{L_2 \cdot F}{m \cdot Ve} \cdot Is = \frac{m \cdot L_1 \cdot F}{Ve} \cdot Is$ .

- a) En régime continu,  $Vs = mVe \frac{\alpha}{1-\alpha}$ , donc  $y = \frac{\alpha}{1-\alpha}$ .
- b) En régime discontinu, y vaut alors  $y = \frac{\alpha^2}{2 \cdot x}$  qui est une hyperbole paramétrée en  $\alpha$ .
- c) La condition de passage d'un régime à l'autre est liée à la présence d'un courant moyen limite, noté  $Is_{limite}$  égal au courant moyen dans la diode. Avec  $\alpha' = 1 - \alpha = \frac{m \cdot Ve}{Vs} \alpha$ , on a :

$$I_{S_{limite}} = \frac{I_{1max}}{2 \cdot m} \alpha' = \frac{\Delta I_1}{2 \cdot m} \alpha' = \frac{\alpha^2 \cdot Ve^2}{2 \cdot L_1 \cdot F \cdot Vs} \text{ de forme normalisée } x_{limite} = \frac{y}{2(1+y)^2}$$

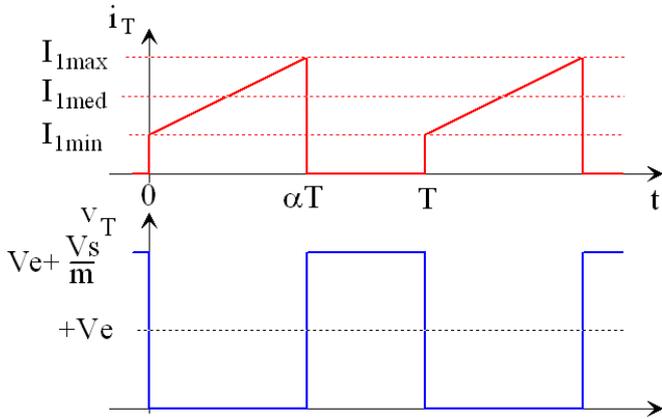
Dans le plan courant/tension  $y(x)$ , ceci se traduit par une courbe limite de forme hyperbolique. Cette courbe s'exprime aussi par :

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



# Contraintes sur les interrupteurs de l'alimentation FLYBACK

## Le transistor T :



$$I_{TM} = I_{1max} = \frac{m \cdot Is}{1 - \alpha} + \frac{\alpha \cdot Ve}{2L_1 F}$$

$$I_{T(AV)} = \frac{\alpha}{1 - \alpha} m \cdot Is = I_{e_{moy}}!$$

$$V_{TM} = Ve + \frac{Vs}{m}$$

Transistor MOSFET :  $P_0 = R_{DSon} \cdot I_{DS(RMS)}^2 \cdot$

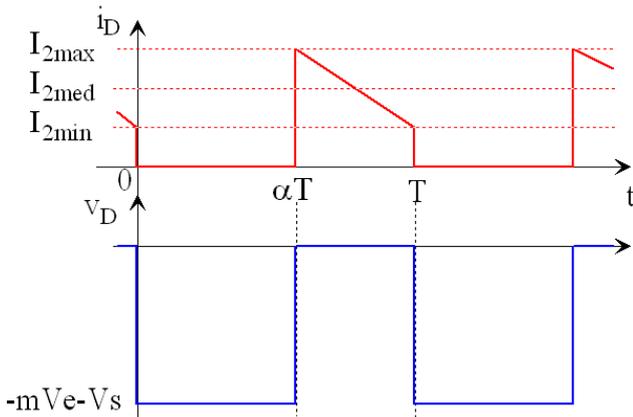
Bipolaire :  $P_0 = R_D \cdot I_{C(RMS)}^2 + V_{CEsat} \cdot I_{C(AV)}$

$$I_{T(RMS)} = I_{1eff} = \sqrt{\left[ \left( \frac{m \cdot Is}{1 - \alpha} \right)^2 + \frac{\Delta I_1^2}{12} \right]} \cdot \alpha \quad \text{avec} \quad \frac{m \cdot Is}{1 - \alpha} = I_{1med} = I_{10moy}$$

Dans la cas ou l'ondulation est faible  $\frac{\Delta I_1}{I_{1min}} \ll 1$ ,  $I_{1min} \approx I_{10moy} \approx I_{1max}$  et  $I_{T(RMS)} \approx I_{10moy} \sqrt{\alpha}$ .

Lorsque l'alimentation travail à  $I_{1min} = 0$ ,  $I_{T(RMS)} = \Delta I_1 \sqrt{\frac{\alpha}{3}} = I_{1max} \sqrt{\frac{\alpha}{3}}$ .

## La diode D :



$$I_{Dmax} = I_{FRM} = \frac{Is}{1 - \alpha} + \frac{\alpha \cdot Ve}{2mL_1 F}$$

$$I_{Dmoy} = I_{F(AV)} = Is$$

$$V_{Dinv\ max} = V_{DRM} = +mVe + Vs$$

Les pertes statiques dans la diode valent :

$$P_0 = R_D \cdot I_{F(RMS)}^2 + V_{D0} \cdot I_{F(AV)}$$

$$I_{F(RMS)} = I_{Deff} = I_{2eff} = \sqrt{\left[ \left( \frac{Is}{1 - \alpha} \right)^2 + \frac{\Delta I_2^2}{12} \right]} \cdot (1 - \alpha) \quad \text{et} \quad \frac{Is}{1 - \alpha} = I_{2med} = \frac{I_{10moy}}{m}$$

Si l'ondulation est faible  $\frac{\Delta I_2}{I_{2max}} \ll 1$ , l'expression devient  $I_{F(RMS)} \approx \frac{I_{10moy}}{m} \sqrt{1 - \alpha}$ .

Lorsque l'alimentation travail à  $I_{2min} = 0$ ,  $\Delta I_L = I_{2max}$  et  $I_{F(RMS)} = \frac{\Delta I_1}{m} \sqrt{\frac{(1 - \alpha)}{3}} = \frac{I_{1max}}{m} \sqrt{\frac{(1 - \alpha)}{3}}$ .

## Facteurs de dimensionnement de l'alimentation FLYBACK

Pour la diode D :

$$Fd(D) = \frac{V_{RRM} \cdot I_F(AV)}{P_s} = \frac{1}{\alpha}$$

Pour le transistor T :

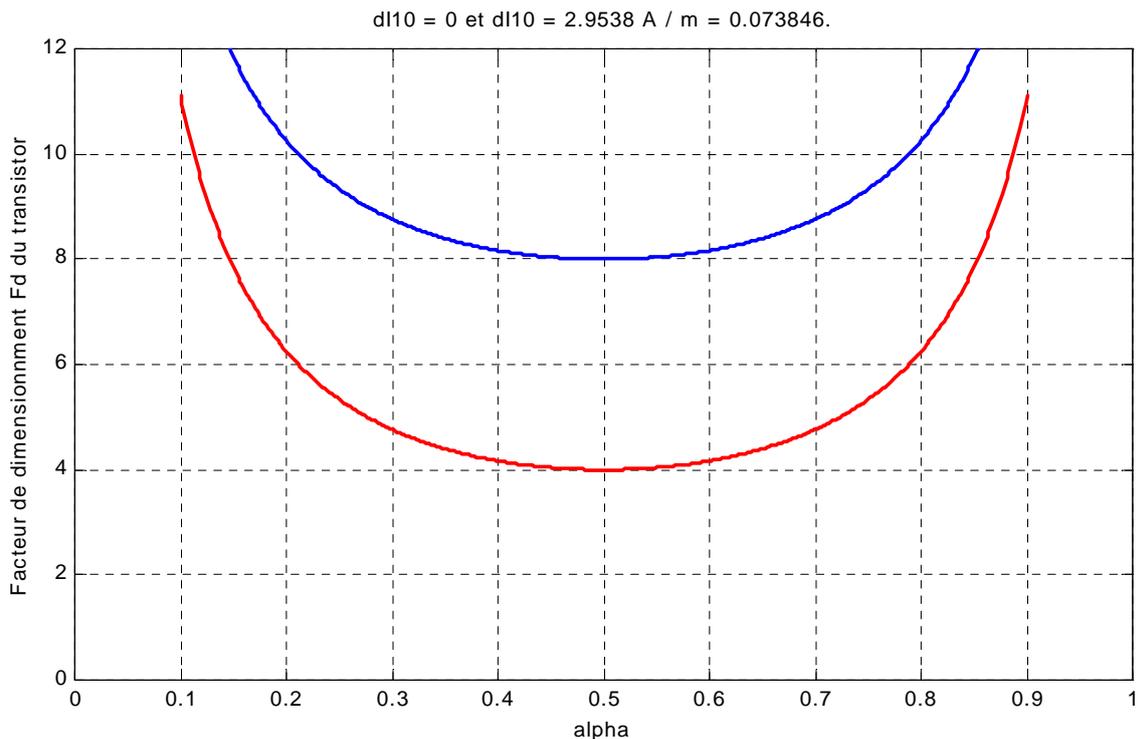
$$Fd(T) = \frac{V_{TM} \cdot I_{TM}}{V_s \cdot I_s} = \frac{1}{\alpha(1-\alpha)} + \frac{m \cdot V_e}{2 \cdot L_2 \cdot F \cdot I_s}$$

### Choix de $\alpha$ – Contraintes sur le transistor

Si l'ondulation du courant magnétisant est faible :  $Fd(T) \approx \frac{1}{\alpha \cdot (1-\alpha)}$ ,

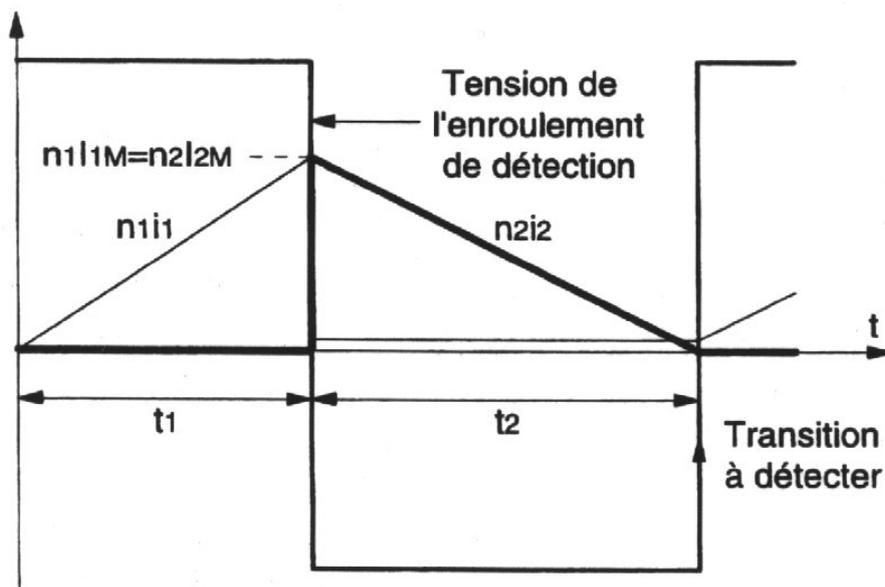
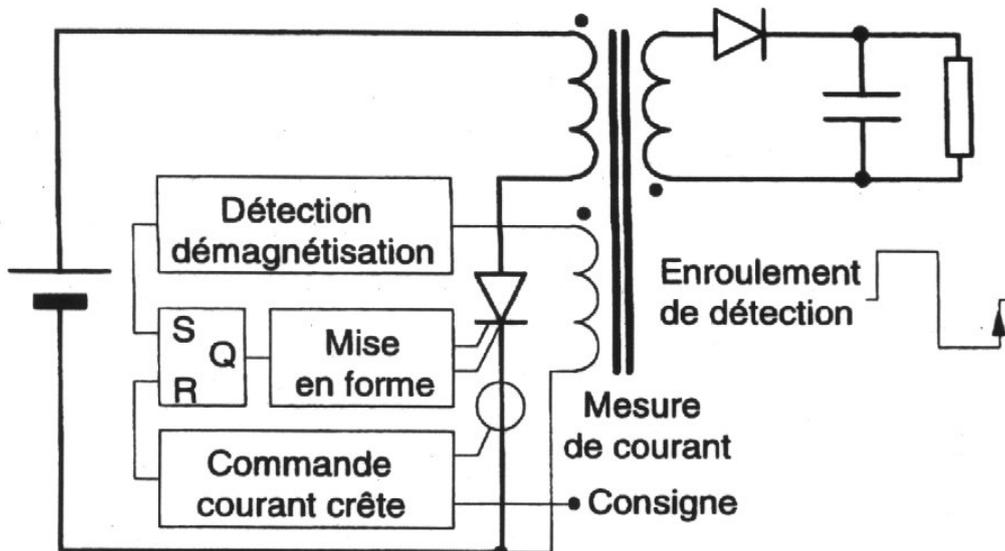
Dans cette configuration, la tension de sortie vaut  $V_s = mV_e \frac{\alpha}{1-\alpha} = mV_e$ .

La tension aux bornes du transistor est égale à  $2V_e$ .



## Alimentation FLYBACK en régime auto-oscillant

Schéma de principe et formes d'ondes :



Valeur moyenne de la tension de sortie :

$$V_s = m \cdot V_e \cdot \frac{t_1}{t_2}$$

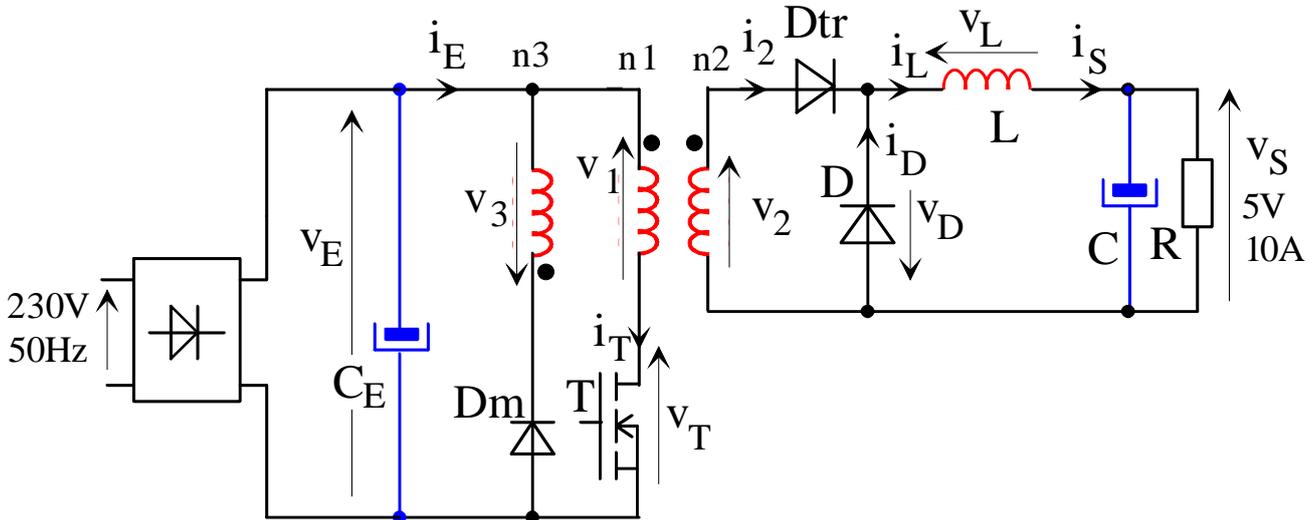
Fréquence de commutation :

$$F = \frac{V_s}{m L_1 I_{1\max} \left( 1 + \frac{V_s}{m \cdot V_e} \right)}$$

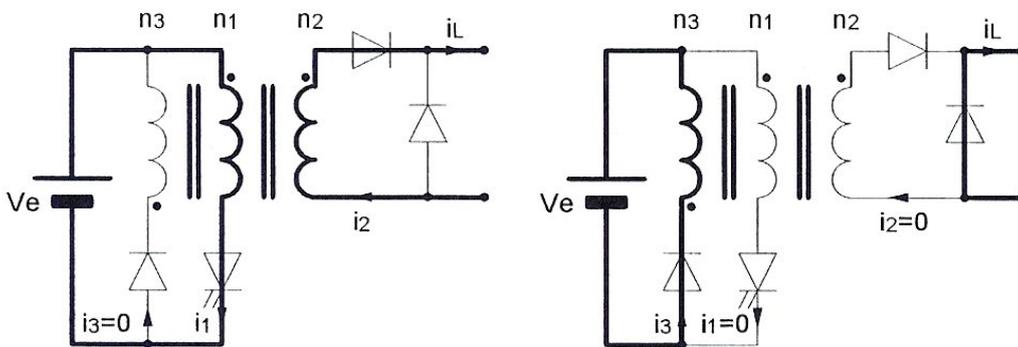


## Alimentation à découpage de type FORWARD

Schéma de principe :

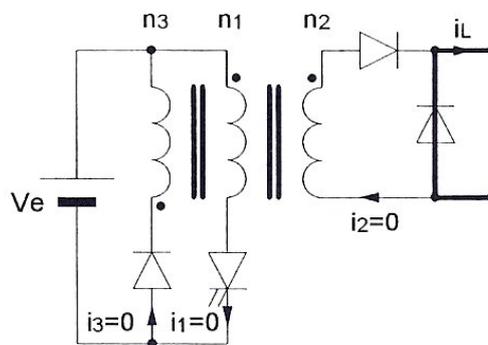


3 phases de fonctionnement :



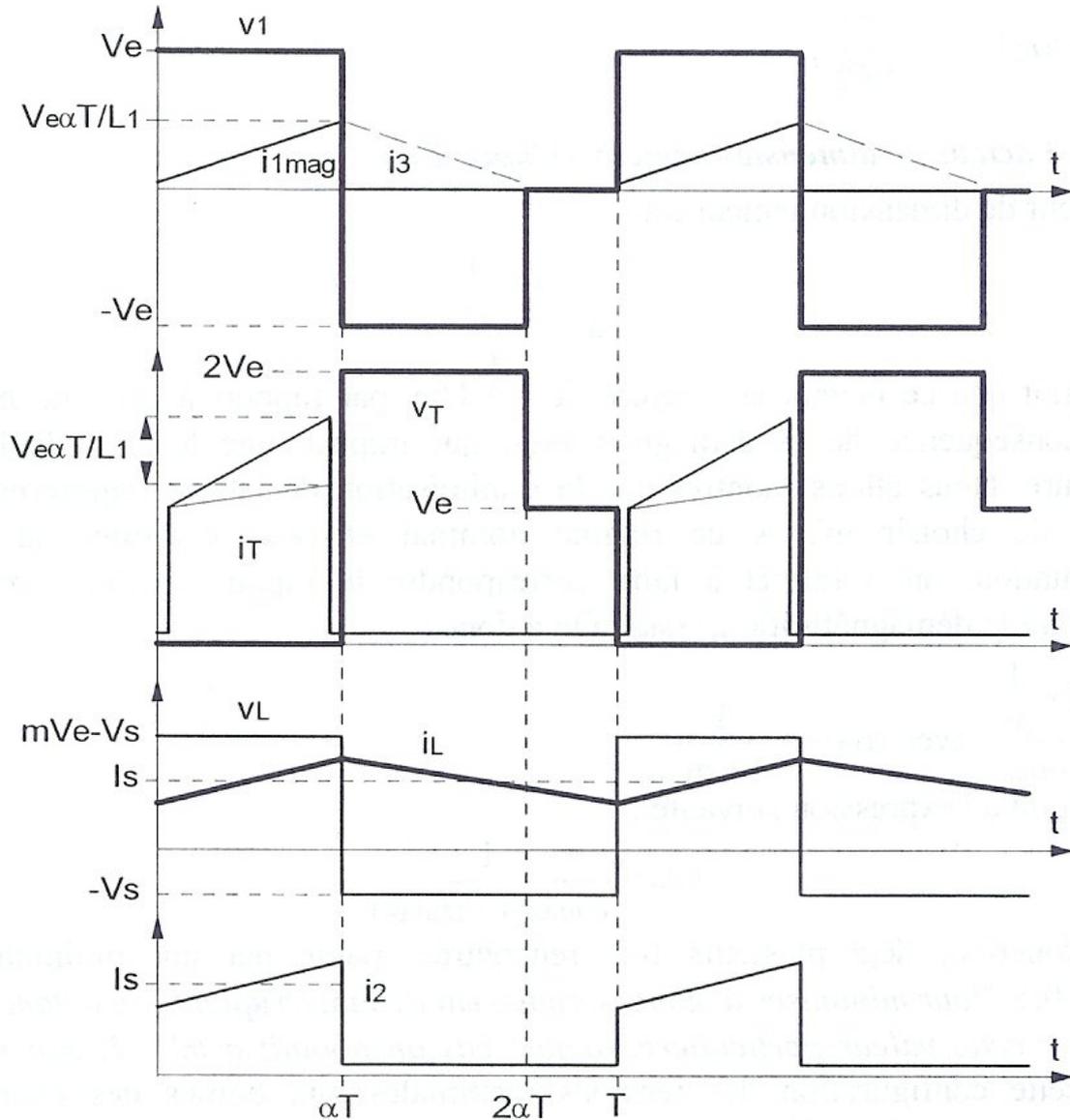
*a -  $0 \leq t \leq \alpha T$   
conduction de  $T_p$  et  $D_{tr}$*

*b -  $\alpha T \leq t \leq 2\alpha T$   
roue libre par  $D$ , démagnétisation par  $D_m$*



*c -  $2\alpha T \leq t \leq T$   
phase morte, roue libre par  $D$*

## Alimentation FORWARD – Formes d'ondes



Valeur moyenne de la tension de sortie :

$$V_s = m \cdot \alpha \cdot V_e$$

Ondulation du courant de sortie :

$$\Delta I_L = \alpha(1 - \alpha) \frac{m \cdot V_e}{L \cdot F}$$

Ondulation de la tension de sortie :

$$\Delta V_s = \alpha(1 - \alpha) \frac{m \cdot V_e}{8LC \cdot F^2}$$

## Caractéristique de sortie de l'alimentation FORWARD

La caractéristique de l'alimentation FORWARD est identique à celle du hacheur série, en remplaçant  $V_e$  par  $mV_e$ .

La tension normalisée vaut  $y = \frac{V_s}{mV_e}$ . Le courant de charge normalisé vaut  $x = \frac{LF}{mV_e} \cdot I_s$ .

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

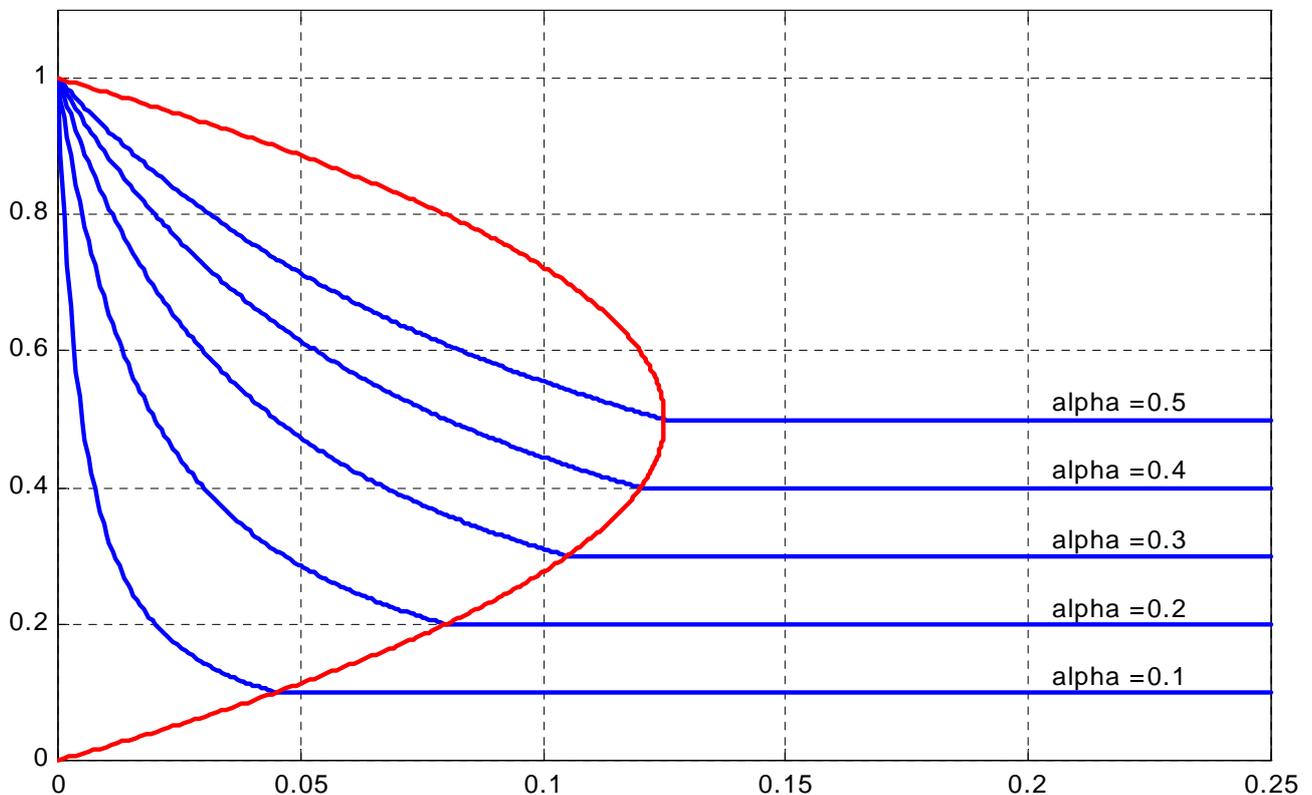
b) En régime discontinu  $y$  vaut alors  $y = \frac{1}{1 + \frac{2 \cdot x}{\alpha^2}}$  qui est une hyperbole paramétrée en  $\alpha$ .

c) 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 :

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

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 :

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



## Contraintes sur les composants

<p style="text-align: center;">Interrupteur :</p> $I_{Tmax} = m \cdot \left[ I_s + \alpha(1-\alpha) \frac{m \cdot V_e}{2 \cdot L \cdot F} \right] + \frac{V_e}{L_1 \cdot F} \cdot \alpha$ $V_{Tmax} = \left( 1 + \frac{1}{m'} \right) \cdot V_e$	<p style="text-align: center;">Diode Dtr :</p> $V_{RRM} = \frac{m}{m'} \cdot V_e$ $I_{moy} = I_{F(AV)} = \alpha \cdot I_s$
<p style="text-align: center;">Diode Dm :</p> $V_{RRM} = (1 + m') \cdot V_e$ $I_{moy} = \frac{1}{2} \cdot \frac{V_e}{L_1 \cdot F} \cdot \frac{\beta - \alpha}{m'} \quad (\text{ok}) \quad (\text{faible})$	<p style="text-align: center;">Diode D :</p> $V_{RRM} = m \cdot V_e$ $I_{moy} = I_{F(AV)} = (1 - \alpha) \cdot I_s$

## Facteur de dimensionnement - Choix de m'

Le facteur de dimensionnement de l'interrupteur vaut :

$$F_d = \frac{V_{Kmax} \cdot I_{Kmax}}{P} \approx \frac{\left( 1 + \frac{1}{m'} \right) \cdot V_e \cdot m \cdot I_s}{\alpha \cdot m \cdot V_e \cdot I_s} = \frac{1 + \frac{1}{m'}}{\alpha}$$

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 :

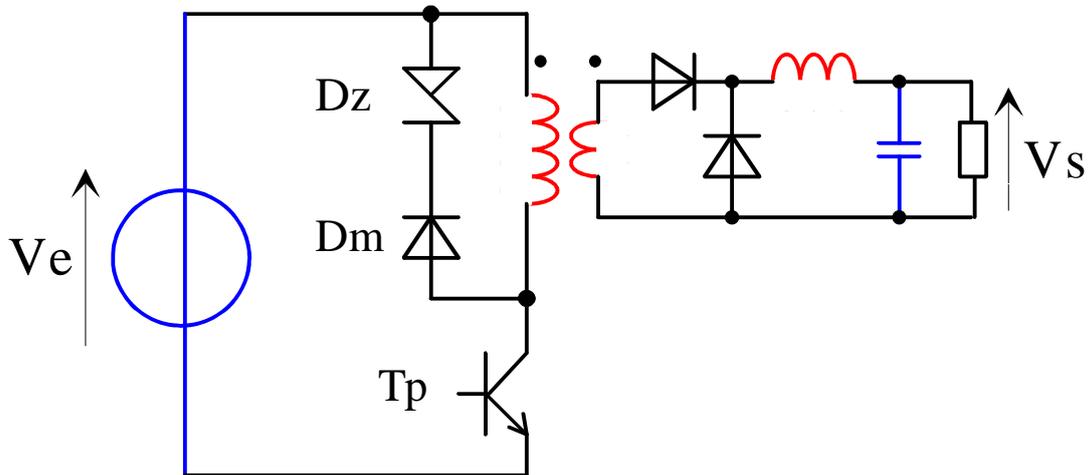
$$I_{10max} = \frac{E}{L_1} \alpha T = \frac{n_1}{n_3} \frac{E}{L_1} \cdot (1 - \alpha) T \Rightarrow \alpha \cdot m' = 1 - \alpha \Rightarrow \alpha_{max} = \frac{1}{1 + m'}$$

Le facteur de dimensionnement devient alors  $F_d = \frac{1}{\alpha_{max} \cdot (1 - \alpha_{max})}$ . Cette fonction passe par un minimum pour  $\alpha_{max} = 0,5$ .

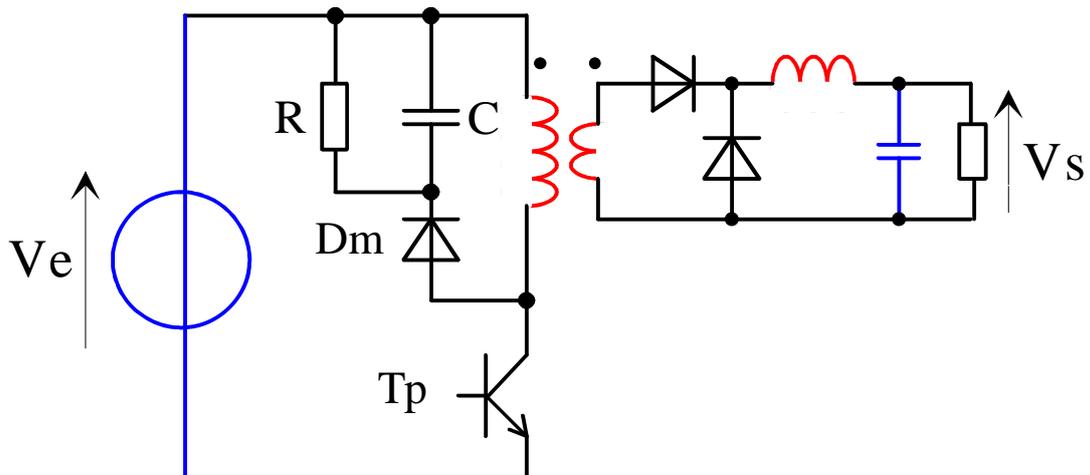
On en déduit que pour minimiser le dimensionnement de l'interrupteur, il faut choisir cette valeur particulière du rapport cyclique et donc prendre  $m' = 1$ , soit  $n_1 = n_3$ . Dans cette configuration, la tension aux bornes des composants primaires sont égales à  $2V_e$ .

## Circuits de démagnétisation pour le montage FORWARD

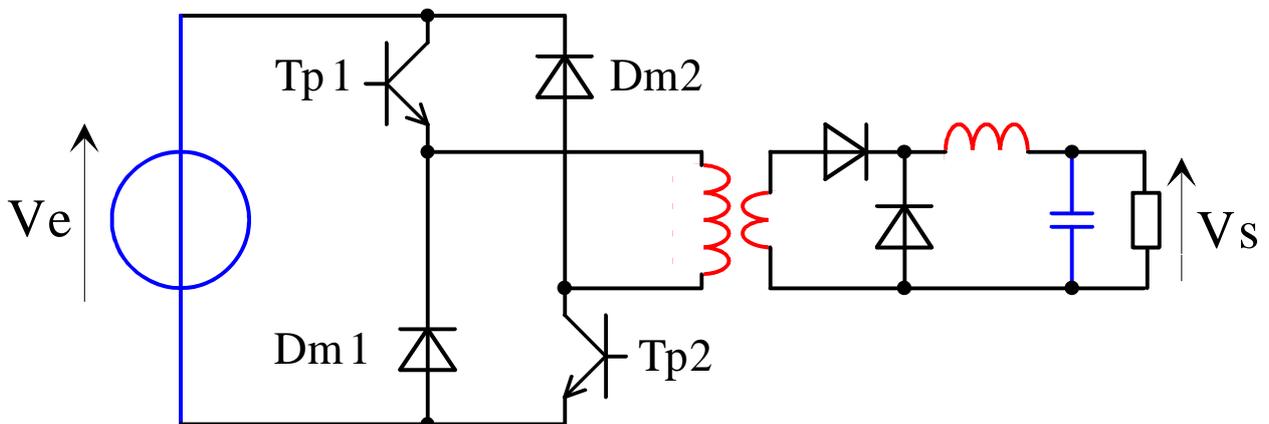
Par diode zener :



Par réseau RCD :

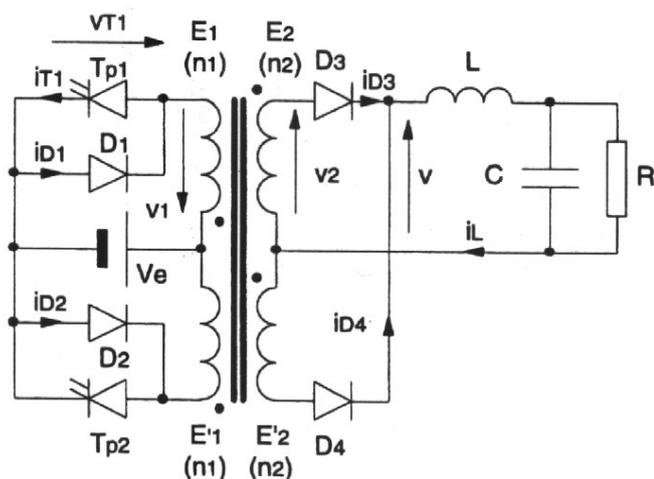


Par pont asymétrique :

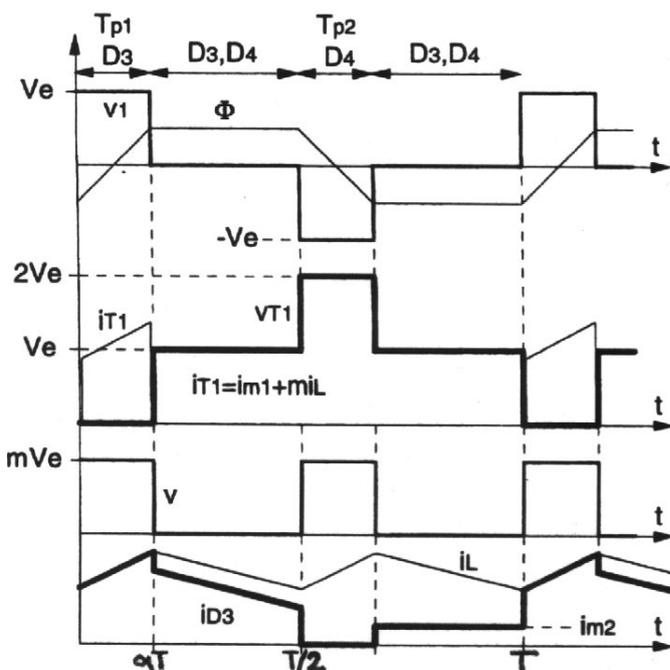


## Alimentation à découpage symétriques montage "PUSH-PULL"

Schéma de principe :



Formes d'ondes en charge :



Fonctionnement à vide :

