

Cours Hacheurs:

* Hacheur Série *

"Buck" en anglais

1. Introduction:

un hacheur permet d'obtenir une tension unidirectionnelle de valeur moyenne réglable à partir d'une source de tension continue. C'est un convertisseur continu-continu (tension V_e continue - courant i_s continu) dont le symbole est:

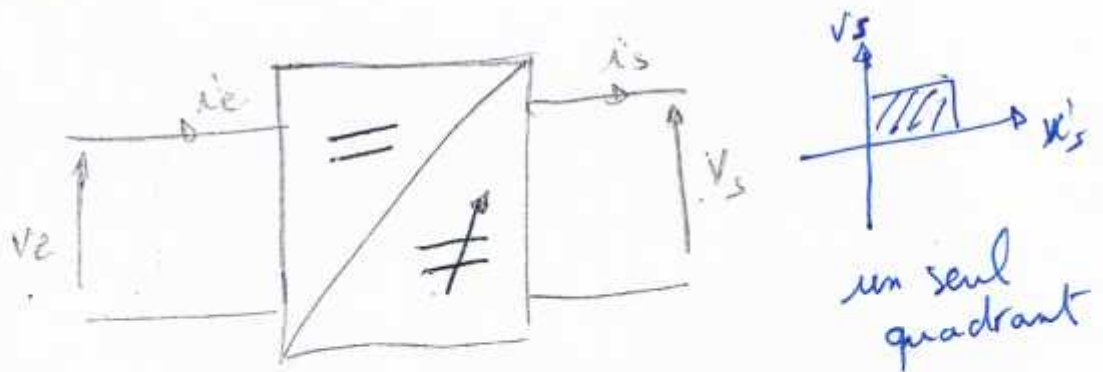


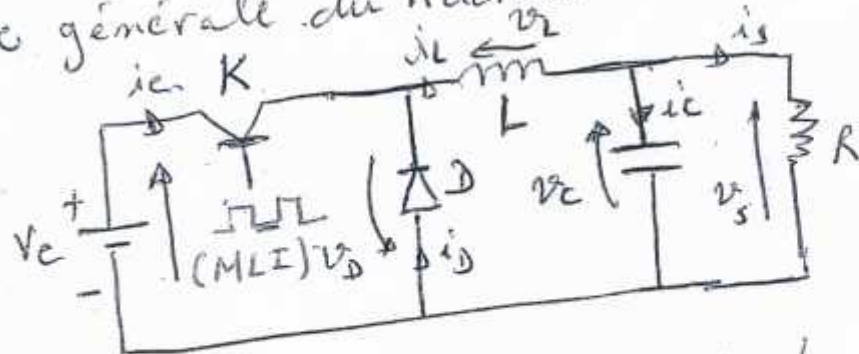
Fig. 1: Symbole d'un Hacheur.

2. Hacheur Série (abaisseur de tension): (devolteur)

2.1 mode continu:

La structure générale du hacheur série:

la diode de récupération



K est l'interrupteur ; MLI: Modulation de Largeur
 D est la diode ; d'impulsion en Anglais PWM
(1) : pulse width Modulation

Cours Hacheurs

* Hacheur Série *

• Technique MLI:

le principe de la technique de MLI pour un Hacheur Série :

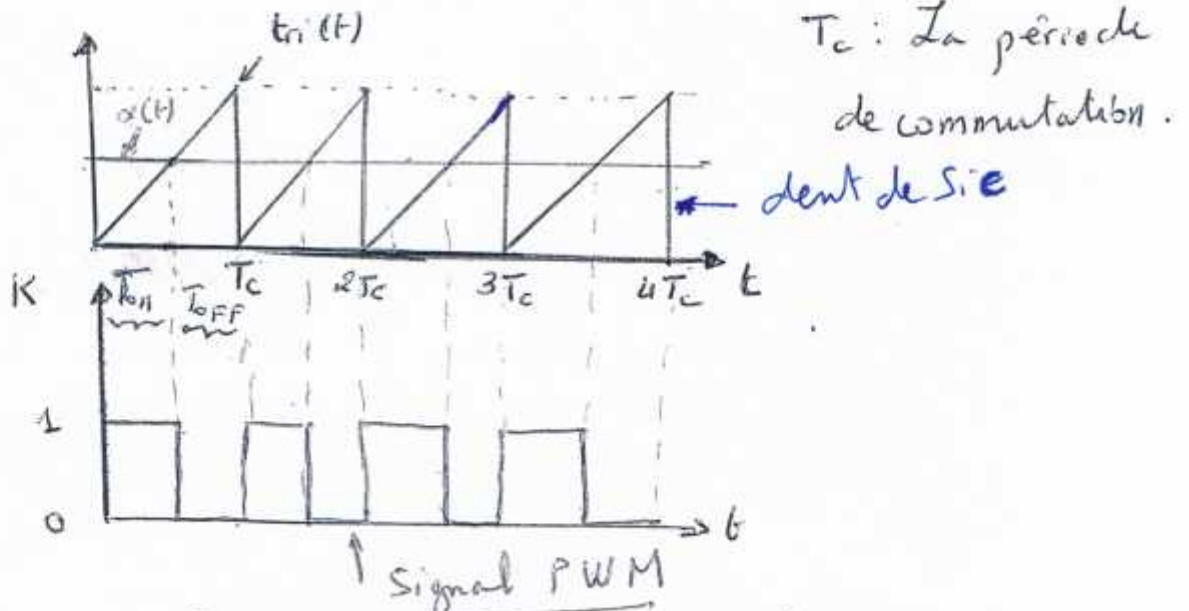


Fig. 2: Principe de la PWM.

$$T_{on} = \alpha \cdot T_c$$

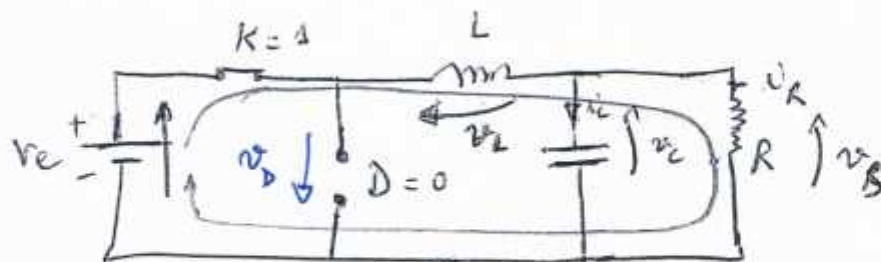
$$\left\{ \begin{array}{l} T_{off} = T_c - T_{on} = T_c - \alpha T_c \Rightarrow (1 - \alpha) T_c \end{array} \right.$$

• Étude des courants et des tensions :

On peut remarquer (à partir de la fig. 2) - deux cas de fonctionnement :

$$\textcircled{1} \quad 0 \leq t < \alpha T_c \quad \left\{ \begin{array}{l} K \text{ fermé.} \\ D \text{ bloquée.} \end{array} \right.$$

$$\begin{aligned} V_c + V_D &= 0 \\ V_D &= -V_c \end{aligned}$$



$$i_L = i_c + i_R; \quad i_c = i_L; \quad V_D = -V_c$$

(2)

Cours Hacheurs + Hacheur série +

$$V_e = V_L + V_S \rightarrow \boxed{V_L = V_e - V_S}$$

L'inductance se charge sous tension $V_e - V_S$ ($V_e > V_S$)

$$V_e = L \frac{di_L}{dt} + V_S \Rightarrow V_e - V_S = L \frac{di_L}{dt} \quad \text{d'où : } i_L(t) = \int (V_e - V_S) dt$$

$$i_L(t) = \frac{V_e - V_S}{L} t + cte, \quad \text{si } t=0 \quad i_L(0) = I_{Lmin} \text{ on}$$

a alors :

$$\boxed{i_L(t) = \frac{V_e - V_S}{L} t + I_{Lmin}} \quad \dots \dots (1)$$

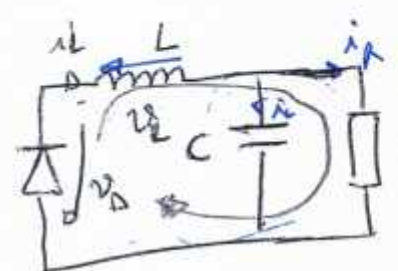
$$\cancel{V_L = V_e - V_S} \quad \boxed{V_L = V_e - V_S} \quad \dots \dots (2)$$

(2) $\alpha T_c \leq t < T_c$ $\left\{ \begin{array}{l} K \text{ ouvert} \\ D \text{ passant} \end{array} \right.$

On a le circuit équivalent suivant :

$$L \frac{di_L}{dt} = -V_S \Rightarrow \frac{di_L}{dt} = -\frac{V_S}{L}$$

et $i_L(t) = -\frac{V_S}{L} t + cte$



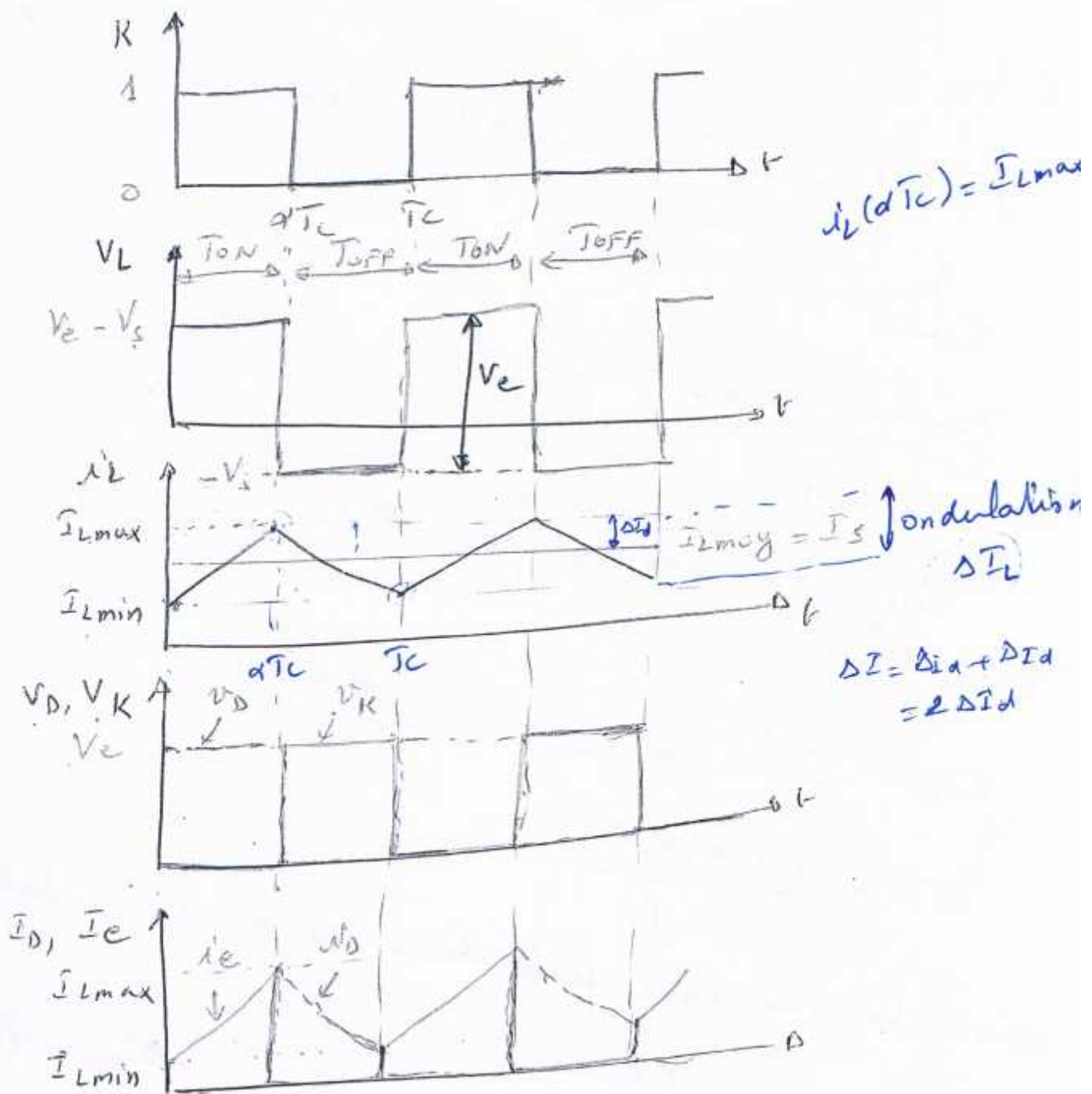
$V_D = 0$
 $i_L = i_D + i_R$
 $i_D = i_L$
 $V_L + V_S = 0$
 $V_L = -V_S$

$$\text{à } t = \alpha T \quad i_L(t) = I_{Lmax}$$

$$\boxed{i_L(t) = -\frac{V_S}{L} t + I_{Lmax}} \quad \dots \dots (3)$$

$$\text{et } \boxed{V_L = -V_S} \quad \dots \dots (4)$$

Cours Hacheurs * Hacheur Série *



* Valeur moyenne de la tension

$$\begin{aligned}
 V_{Lmoy} &= \frac{1}{T_c} \int_0^{T_c} v_L(t) dt = \frac{1}{T_c} \left[\int_0^{T_{on}} (V_e - V_s) dt + \int_{T_{on}}^{T_c} (-V_s) dt \right] \\
 &= (V_e - V_s) \frac{T_{on}}{T_c} - V_s \left(\frac{T_c - T_{on}}{T_c} \right) = V_e \frac{T_{on}}{T_c} - V_s \frac{T_{on}}{T_c} - V_s + V_s \frac{T_{on}}{T_c} \\
 &= V_e \frac{T_{on}}{T_c} - V_s
 \end{aligned}$$

(4)

$$i(t) = \frac{V_e - V_s}{L} t + I_{Lmin}$$

$$\text{à } t = \alpha T_c$$

$$i(\alpha T_c) = \frac{V_e - V_s}{L} \alpha T_c + I_{Lmin}$$

$$\uparrow$$

$$I_{Lmax}$$

$$\underbrace{I_{Lmax} - I_{Lmin}}_{\Delta I_L} = \frac{V_e - V_s}{L} \alpha T_c$$

$$V_{Lmoy} = V_e \alpha - V_s \Rightarrow \boxed{V_s = \alpha V_e}$$

$$T_c = \frac{1}{f_c}$$

$$\Delta I_L = \frac{V_e - \alpha V_e}{L} \alpha T_c \Rightarrow \frac{(1-\alpha)\alpha V_e T_c}{L}$$

$$\Delta I_L = \frac{(1-\alpha)\alpha V_e}{L f_c}$$

on va chercher pour quelle valeur de α l'ondulation est maximale (ΔI_{Lmax})

$$\frac{\partial \Delta I_L}{\partial \alpha} = 0$$

$$\frac{\partial \Delta I_L}{\partial \alpha} = \frac{(1-2\alpha)V_e}{L f_c} = 0$$

$$1-2\alpha=0 \Rightarrow \boxed{\alpha = \frac{1}{2}}$$

(4)

$$\Delta I_{Lmax} \left(\alpha = \frac{1}{2} \right) = \frac{V_e}{4L f_c}$$

Cours Hacheurs * Hacheur Série *

Or : $V_{Lmoy} = 0 \Rightarrow V_e \frac{T_{on}}{T_c} - V_s = 0$

$\Rightarrow V_s = V_e \frac{T_{on}}{T_c}$

On pose : $\frac{T_{on}}{T_c} = \alpha$

$V_s = V_e \cdot \alpha$ avec : $0 \leq \alpha < 1$

démonstration : $V_{Lmoy} = 0$

$v_L = L \frac{di_L}{dt}$

$\frac{v_L}{L} dt = di_L$

$\frac{1}{T_c} \int_0^{T_c} \frac{v_L}{L} dt = \frac{1}{T_c} \int_0^{T_c} di_L$

$\frac{1}{L} \left(\frac{1}{T_c} \int_0^{T_c} v_L dt \right) = \frac{1}{T_c} \int_0^{T_c} di_L$

$\frac{1}{L} v_{Lmoy} = \frac{1}{T_c} (i_L(T_c) - i_L(0))$

$i_L(T_c) = i_{Lmin} \text{ car } i_L(0) = i_{Lmin}$

$v_{Lmoy} = 0$

• Remarque :

- 1) Bobine lisse le courant ($v_{Lmoy} = 0$)
- 2) Filtre la tension (condensateur) ($i_{cmoy} = 0$)

$\frac{T_{on}}{T_c} = \alpha$

$T_{on} = \alpha T_c$

la tension moyenne
dans la bobine est
nulle

$\frac{1}{L} \left\{ \frac{1}{T_c} \int_0^{T_c} v_L dt \right\}$

v_{Lmoy}

$\frac{1}{L} v_{Lmoy}$

Cours Hacheurs

* Hacheur Série *

- Induction du courant ΔI_L :

$$\Delta I_L = I_{Lmax} - I_{Lmin}$$

À partir de l'équation (1) $i_L(t) = \frac{V_c - V_s}{L} t + I_{Lmin}$

à $t = \alpha T_c$ $i_L(\alpha T_c) = I_{Lmax}$
 $t = \alpha T_c$

$$I_{Lmax} = \frac{V_c - V_s}{L} \alpha T_c + I_{Lmin}$$

$$\underbrace{I_{Lmax} - I_{Lmin}}_{\Delta I_L} = \frac{V_c - V_s}{L} \alpha T_c$$

On remplace V_s par αV_c

$$\Delta I_L = \frac{V_c (1 - \alpha)}{L} \alpha T_c; \quad T_c = \frac{1}{f_c}$$

$$\Delta I_L = \frac{V_c}{L f_c} (1 - \alpha) \alpha$$

* Calcul de ΔI_{Lmax} pour α :

$$\Delta I_{Lmax} = \frac{\partial \Delta I_L}{\partial \alpha} = \frac{V_c}{L f_c} \times (1 - 2\alpha) = 0$$

$$1 - 2\alpha = 0$$

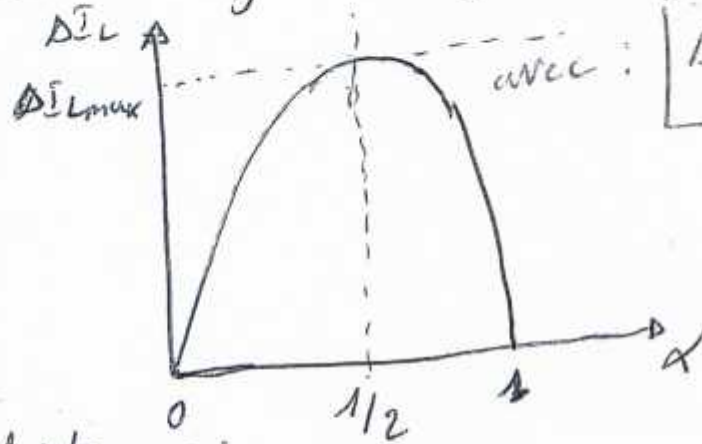
$$\begin{cases} 1 - 2\alpha = 0 \\ \Rightarrow \alpha = \frac{1}{2} \end{cases}$$

pour $\alpha = \frac{1}{2}$ ΔI_L est maximale:

Cours Hacheurs

* Hacheur Série *

On peut tracer la courbe $\Delta \bar{I}_L = f(\alpha)$.



$$\Delta \bar{I}_{Lmax} = \frac{V_e}{4L f_c}$$

le choix de L se fait par :

$$L \geq \frac{V_e}{4 f_c \Delta \bar{I}_{Lmax}}$$