

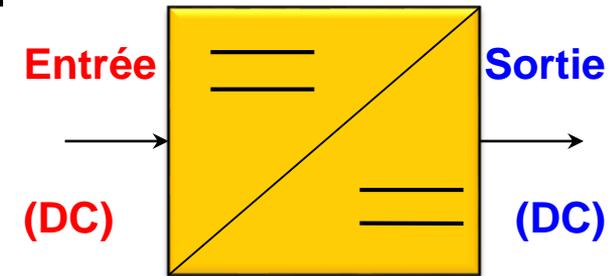
# **Cours d'Electronique de Puissance 1**

**A. ABOULOIFA**

# **Chapitre 3: Convertisseurs DC-DC (les hacheurs)**

# 1. Introduction

- Les hacheurs opèrent une conversion continu-continu. Ils permettent de régler la tension appliquée au récepteur ou le courant qui y circule.



- Les hacheurs peuvent être directs ou indirects:
  - **Les hacheurs directs** relient un générateur et un récepteur qui se comportent l'un comme une source de tension, l'autre comme une source de courant.
  - **Les hacheurs indirects** relient un générateur et un récepteur de même nature. Ils comportent, en plus des interrupteurs, un élément de stockage d'énergie( une inductance ou un condensateur)

## 2. Hacheurs directs

### Notations:

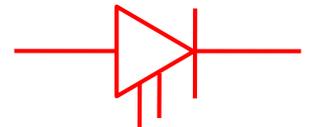
- $v_e, i_e$ : tension et courant d'entrée,
- $v_s, i_s$ : tension et courant de sortie,
- $V_e, I_e, V_s$  et  $I_s$  : valeurs moyennes de  $v_e, i_e, v_s$  et  $i_s$  .
- Si on néglige les pertes à l'intérieur du hacheur, les puissances moyennes à l'entrée et à la sortie sont les mêmes et, puisqu'il n'y a pas d'élément interne de stockage, il en est de même des puissances instantanées:

$$v_e i_e = v_s i_s$$

et

$$V_e I_e = V_s I_s$$

- Les interrupteurs électroniques unidirectionnels, quelle que soit leur nature, seront représentés par le symbole ci-contre.



## 2.1. Hacheur série

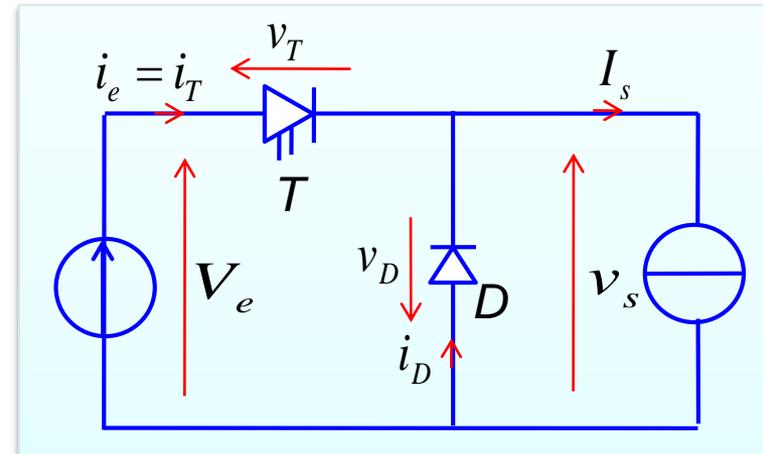
- Le hacheur série, dit aussi **abaisseur de tension** ou **buck converter**, commande le débit:
  - D'un **générateur de tension** dont la tension est toujours positive,
  - Dans un **récepteur de courant** dont le courant ne peut devenir négatif.

### a) Principe:

- Le hacheur est formé d'un transistor  $T$  et d'une diode  $D$ .
- Quand  $T$  est ON:

$$v_s = V_e, \quad i_e = I_s, \quad v_T = 0, \quad i_T = I_s, \quad v_D = -V_e, \quad i_D = 0$$

- Quand  $T$  est OFF:  $v_s = 0, \quad i_e = 0, \quad v_T = +V_e, \quad i_T = 0, \quad v_D = 0, \quad i_D = I_s$

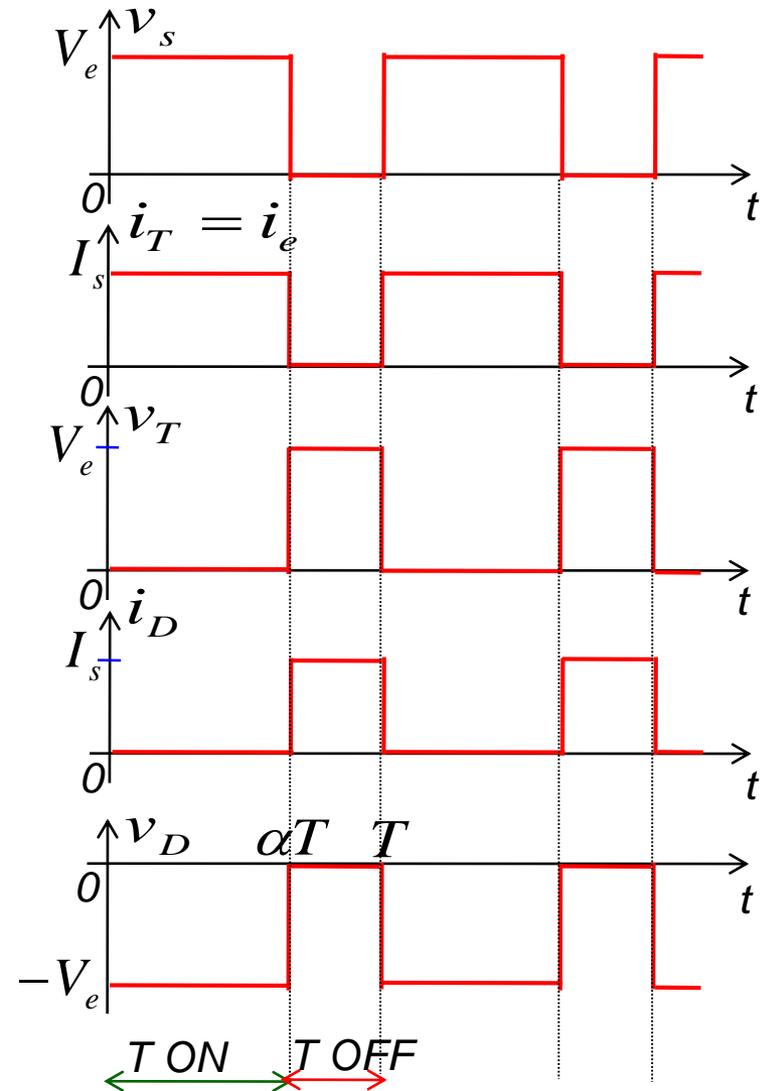


## b) Valeur moyenne de $v_s$ :

- Si  $T$  est la période de fonctionnement et  $\alpha T$  la durée des intervalles de conduction du transistor, la tension de sortie a pour valeur moyenne:

$$V_s = \frac{1}{T} \int_0^T v_s(t) dt = \alpha V_e$$

- En faisant varier  $\alpha$  de 0 à 1, on fait varier  $V_s$  de 0 à  $V_e$ .
- La tension  $V_s < V_e$ . Le hacheur série est bien abaisseur de tension ou « *hacheur dévolteur* »



## 2.2. Hacheur parallèle

- Le hacheur parallèle, dit aussi **élévateur de tension** ou **boost converter**, commande le débit:
  - *D'un générateur de courant* dont le courant  $i_e$  est toujours positif,
  - *Dans un récepteur de tension* dont la tension  $v_s$  ne peut devenir négative.

### a) Principe:

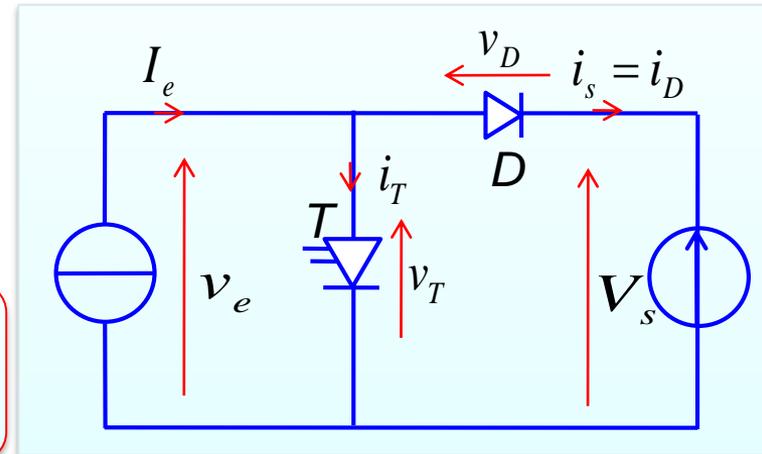
- Pour  $0 < t < \alpha T$  le transistor  $T$  est ON:

$$v_e = 0, \quad i_s = 0$$

$$i_D = 0, \quad v_D = -V_s, \quad i_T = I_e, \quad v_T = 0$$

- Pour  $\alpha T < t < T$  le transistor  $T$  est OFF,  $D$  est ON:

$$v_e = V_s, \quad i_s = I_e, \quad i_D = I_e, \quad v_D = 0, \quad i_T = 0, \quad v_T = +V_s$$



## b) Valeurs moyennes:

- La tension d'entrée  $v_e$  a pour valeur moyenne:

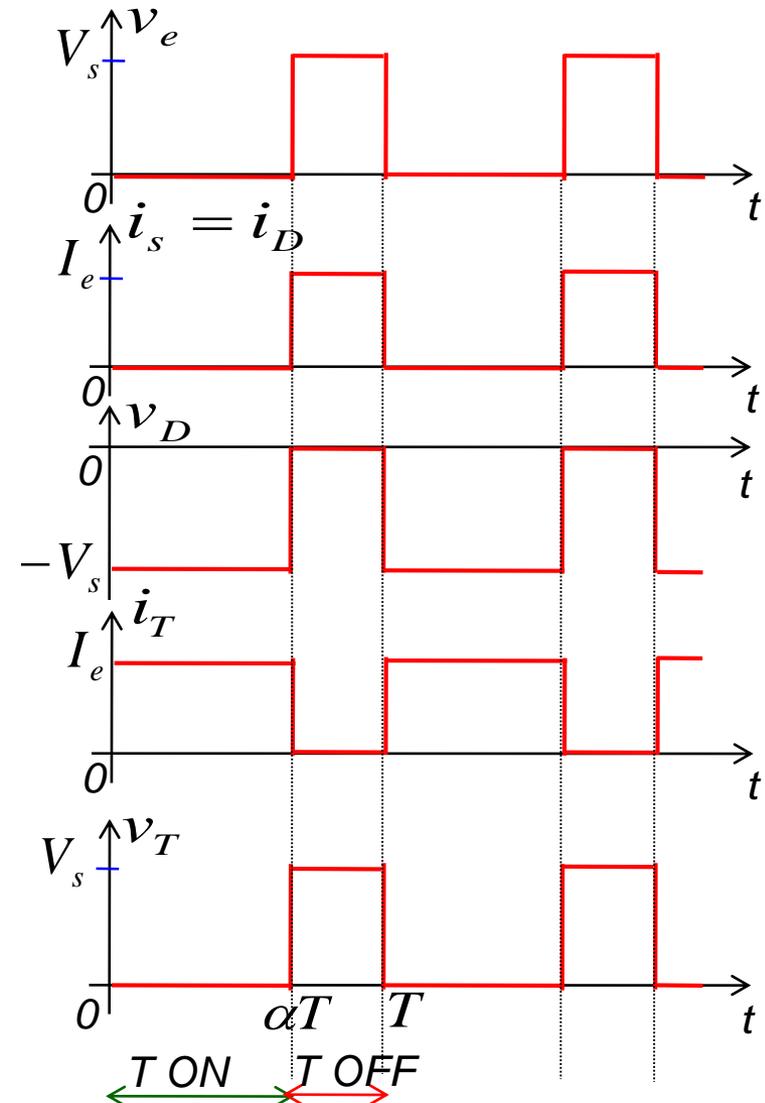
$$V_e = (1 - \alpha)V_s$$

- Le courant de sortie  $i_s$  a pour valeur moyenne:

$$I_s = (1 - \alpha)I_e$$

- Quand  $\alpha$  va de 1 à 0,  $V_e$  va de 0 à  $V_s$ , et  $I_s$  va de 0 à  $I_e$ .

- La tension  $V_e > V_s$ , Le hacheur parallèle est bien élévateur de tension ou « *hacheur survolteur* » .

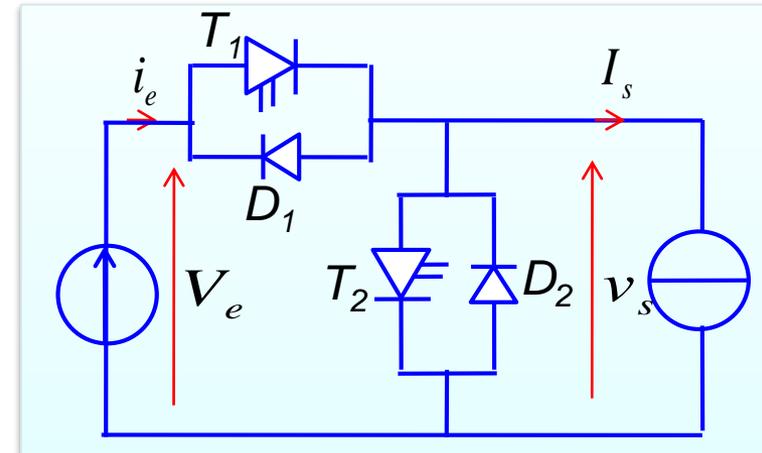


## 2.3. Hacheur réversible en courant

- Avec un schéma à deux interrupteurs on peut commander le transfert d'énergie dans les deux sens entre:
  - Une *source de tension*,
  - et une *source de courant*.
- Les sources doivent présenter la ou les mêmes réversibilités (toutes deux réversibles en tension, ou en courant, ou en tension et en courant).
- On s'intéresse à l'étude du schéma le plus utilisé, celui d'un *hacheur reliant deux sources réversibles en courant*.

### a) Principe:

- Ce convertisseur résulte de l'association d'un *hacheur série* (formé par  $T_1$  et  $D_2$ ), et d'un *hacheur parallèle* (formé par  $T_2$  et  $D_1$ ).



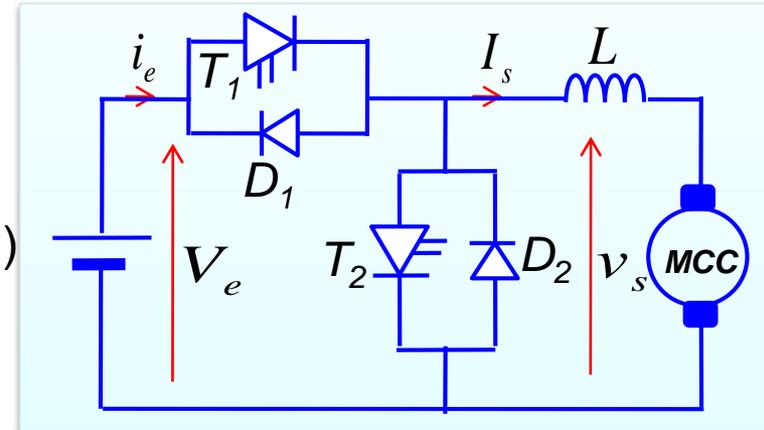
- Pour  $I_s$  positif, il fonctionne en hacheur série: le courant  $I_s$  passant tantôt par  $T_1$ , tantôt par  $D_2$ . Si  $\alpha_1$  est la durée relative de la fermeture de  $T_1$  pendant chaque période,  $v_s$  a pour valeur moyenne:  $V_s = \alpha_1 V_e$

- Pour  $I_s$  négatif, il fonctionne en hacheur parallèle: le courant  $I_s$  passant tantôt par  $T_2$ , tantôt par  $D_1$ . Si  $\alpha_2$  est la durée relative des intervalles de fermeture de  $T_2$ ,  $v_s$  a pour valeur moyenne:  $V_s = (1 - \alpha_2) V_e$

**b) Exemple d'application:**

● Placé entre une source de tension  $V_e$  constante réversible en courant (une batterie d'accumulateur par exemple), et une machine à courant continu (source de courant de constante  $E, R, L$ ), le hacheur en courant réversible permet:

- De faire varier la vitesse de la machine;
- Que celle-ci fonctionne en moteur ( $I_s > 0$ ) ou en génératrice  $I_s < 0$ .



● A flux inducteur constant, la vitesse  $\Omega$  est proportionnelle à la f.é.m.  $E$ , et le couple  $C$  au courant  $I_s$ . La marche en génératrice correspond au *freinage par récupération*: la machine prend l'énergie mécanique de la charge qu'elle freine et la transforme en énergie électrique.

## ...Hacheur réversible en courant

- En moteur, si  $T_1$  conduit pendant la partie  $\alpha_1 T$  de la période:

$$V_s = \alpha_1 V_e \quad E = V_s - RI_s \quad \text{avec} \quad I_s > 0$$

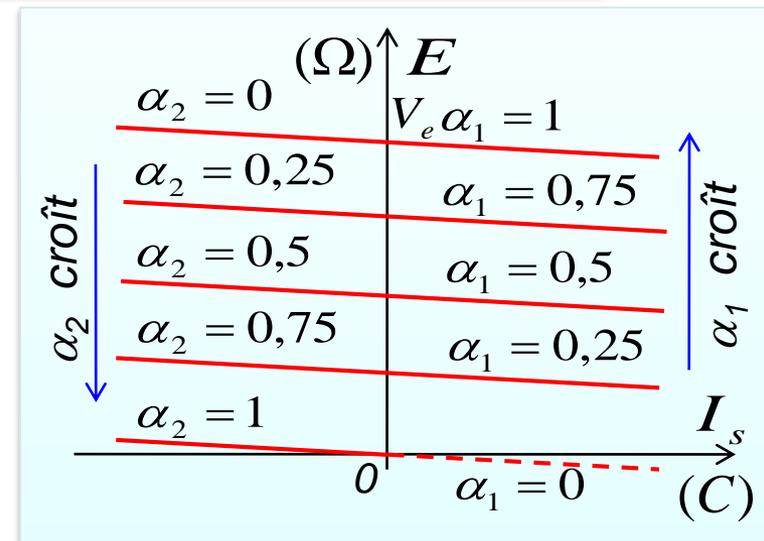
- En génératrice, si  $T_2$  conduit pendant la partie  $\alpha_2 T$  de la période:

$$V_s = (1 - \alpha_2) V_e \quad E = V_s - RI_s \quad \text{avec} \quad I_s < 0$$

- Si on adopte la commande complémentaire, qui consiste à commander la fermeture de  $T_1$  de 0 à  $\alpha_1 T$  et la fermeture de  $T_2$  pendant le reste de la période, ce qui revient à imposer:  $\alpha_1 + \alpha_2 = 1$

- La tension  $V_s$  est alors égale à:

$$V_s = \alpha_1 V_e \quad \forall I_s$$



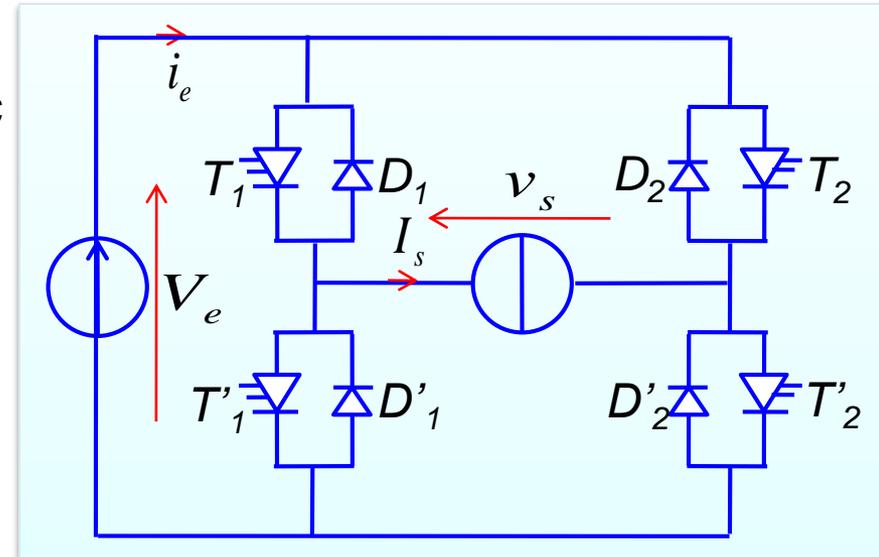
Allure des caractéristiques  $E(I_s)$  ou  $\Omega(C)$  pour diverse valeurs de  $\alpha_1$ .

## 2.4. Hacheur en pont

- La structure à quatre interrupteurs ou *en pont* offre plus de possibilités que celle à deux interrupteurs car elle permet de relier chacune des bornes de sortie à chacune des bornes d'entrée ou de les séparer.
- Les sources d'entrée et de sortie doivent être de *nature différentes* (*l'une de tension, l'autre de courant*). Mais on peut commander le transfert entre sources de *réversibilités différentes*.
- Parmi les nombreuses possibilités offerte par cette structure, l'une des plus utilisées correspond au hacheur reliant:
  - *Une source de tension réversible en courant:*  $V_e > 0, i_e > 0$  ou  $i_e < 0$
  - *Et une source de courant réversible en courant et en tension:*  
 $I_s > 0$  ou  $I_s < 0$  ;  $v_s > 0$  ou  $v_s < 0$

**a) Principe:**

- Chaque interrupteur est réalisé avec une semi-conducteur à fermeture et ouverture commandées du type transistor et une diode montée en parallèle inverse.



**b) Commande séquentielle:**

- Si l'on veut réduire le nombre de commutations, pour chacun des quatre modes de fonctionnement:

<b>1</b>	{	$V_s > 0$ et $I_s > 0$ $V_s > 0$ et $I_s < 0$		<b>2</b>	{	$V_s < 0$ et $I_s > 0$ $V_s < 0$ et $I_s < 0$
----------	---	--	--	----------	---	--

- On ne commande que deux « interrupteurs »:

- Pour  $0 < t < \alpha T$ , T est ON:

$$i_e = i_T = i_L ; i_s = 0 ; v_D = -(V_e + V_s)$$

Puisque  $L \frac{di_L}{dt} = V_e$ ,  $i_L$  croît linéairement.

- Pour  $\alpha T < t < T$ , D est ON:

$$i_L = i_s = i_D ; i_e = 0 ; v_T = +(V_e + V_s)$$

Puisque  $L \frac{di_L}{dt} = -V_s$ ,  $i_L$  décroît linéairement.

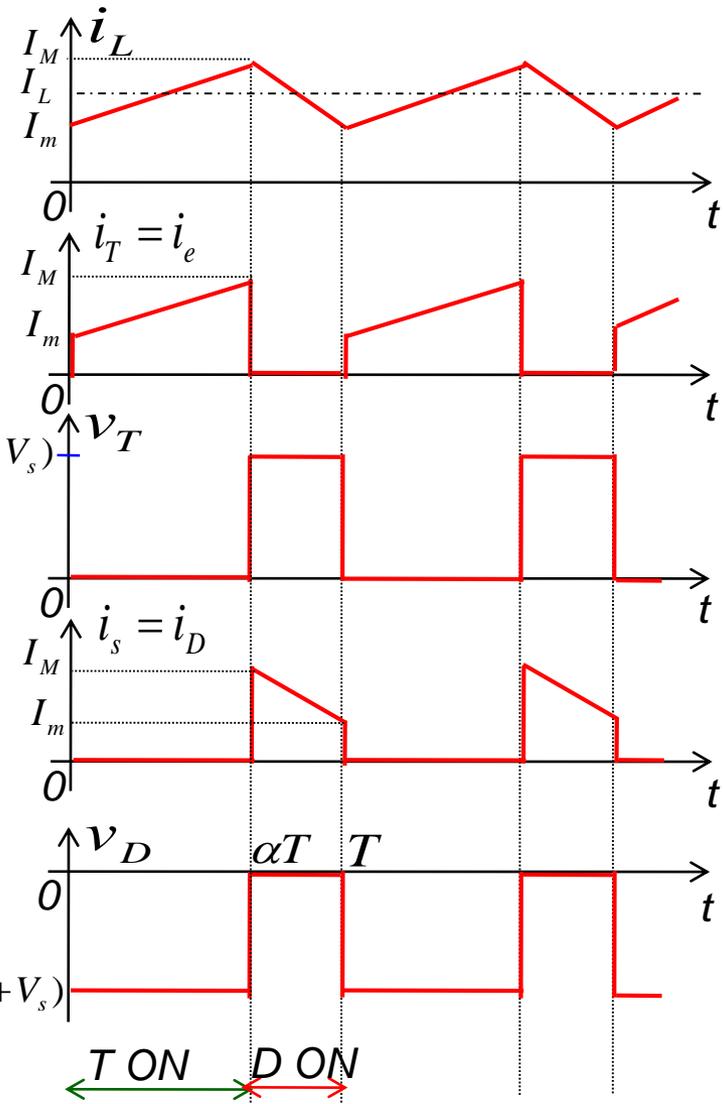
## b) Valeurs moyennes:

$$I_e = \alpha I_L \qquad I_s = (1 - \alpha) I_L$$

- Si on néglige les pertes à l'intérieur du hacheur:  $V_s I_s = V_e I_e$ . On a alors:

$$\frac{V_s}{V_e} = \frac{I_e}{I_s} = \frac{\alpha}{1 - \alpha}$$

Si  $\alpha$  varie de 0 à 1,  $V_s/V_e$  varie, théoriquement de 0 à l'infini.



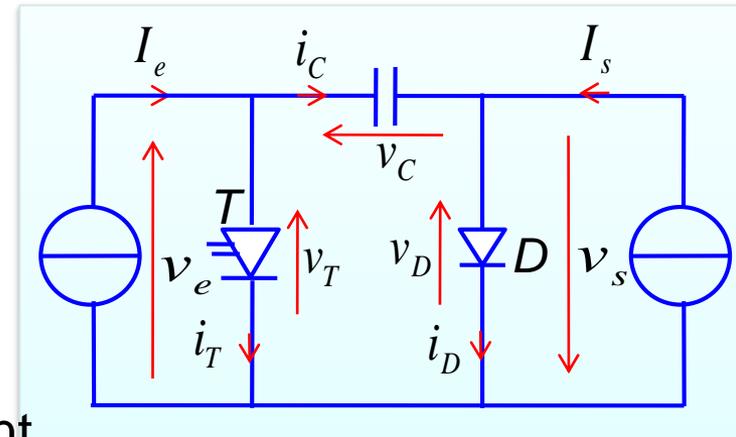
### 3.1. Hacheur à stockage capacitif:

- Si le hacheur doit relier deux sources de courant, l'élément d'accumulation doit être un *condensateur* qui joue le rôle de source de tension intermédiaire. Ce hacheur est connu sous le nom de *hacheur de Cùk* ou *Cùk converter*.

#### a) Principe:

- Pour  $0 < t < \alpha T$ , le semi-conducteur commandé conduit; le condensateur alimente le récepteur à courant  $I_s$  constant, la tension  $v_C$  diminue linéairement:

$$\begin{aligned} v_e = 0 \quad ; \quad v_s = v_C & \quad i_C = -I_s \quad ; \quad \frac{dv_C}{dt} = \frac{-I_s}{C} \\ i_T = I_e + I_s \quad ; \quad v_T = 0 \quad ; \quad i_D = 0 \quad ; \quad v_D = -V_s \end{aligned}$$



## ...Hacheur à stockage capacitif

- Pour  $\alpha T < t < T$ , la diode conduit; le générateur charge le condensateur à courant  $I_e$  constant, la tension  $v_C$  croît linéairement:

$$v_e = v_C \quad ; \quad v_s = 0 \quad ; \quad i_C = I_e \quad ; \quad \frac{dv_C}{dt} = \frac{I_e}{C}$$

$$i_T = 0 \quad ; \quad v_T = v_C \quad ; \quad i_D = I_e + I_s \quad ; \quad v_D = 0$$

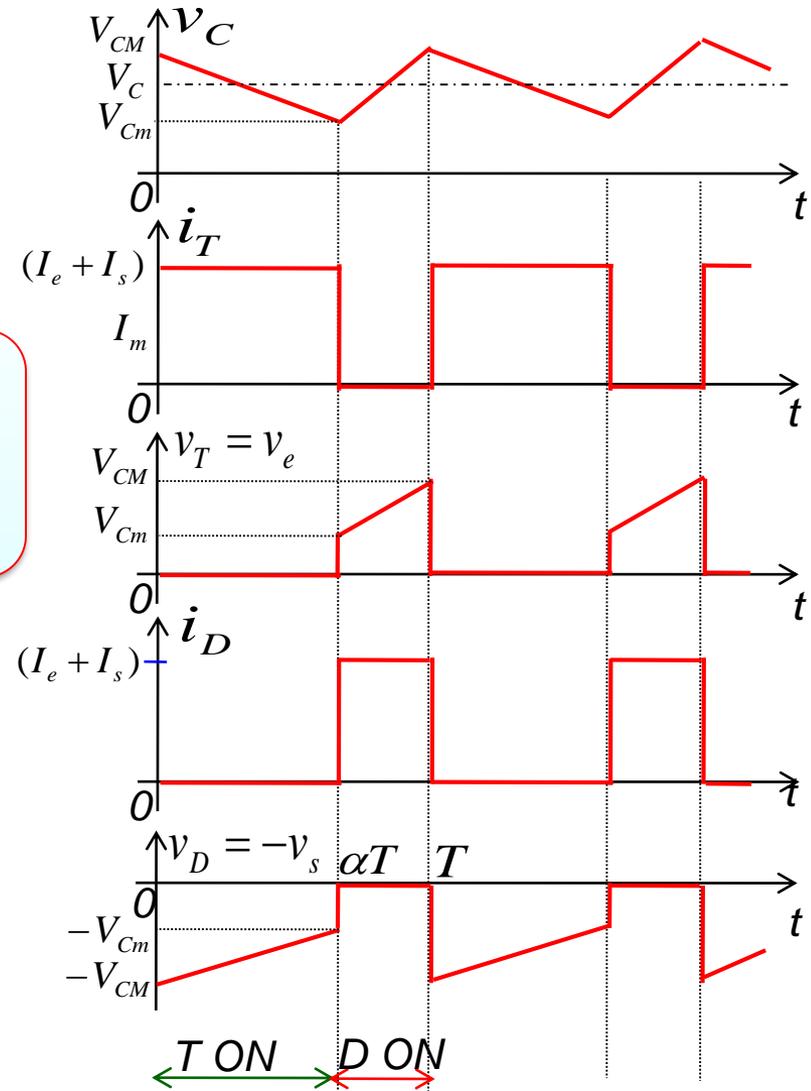
### b) Valeurs moyennes:

- Valeurs moyenne de  $v_e$  et  $v_s$  :

$$V_s = \alpha V_C \quad ; \quad V_e = (1 - \alpha) V_C$$

- Conservation de puissance implique:

$$\frac{V_s}{V_e} = \frac{I_e}{I_s} = \frac{\alpha}{1 - \alpha}$$





**FIN**

**Questions**

**?**