

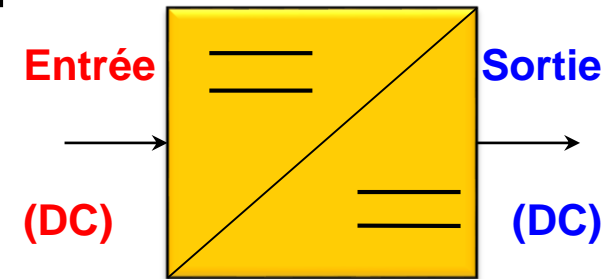
Cours d'Electronique de Puissance 1

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:

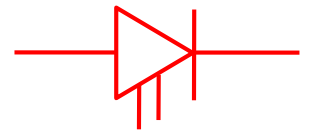
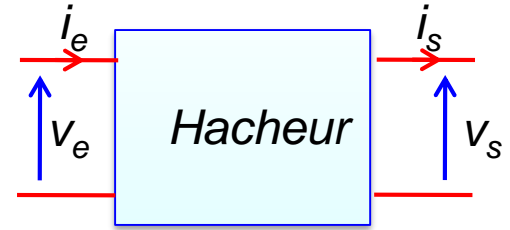
- v_e, i_e : tension et courant d'entrée,
- v_s, i_s : tension et courant de sortie,
- V_e, I_e, V_s et I_s : valeurs moyennes de v_e, i_e, v_s et i_s .
- Si on néglige les pertes à l'intérieur du hacheur, les puissances moyennes à l'entrée et à la sortie sont les mêmes et, puisqu'il n'y a pas d'élément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

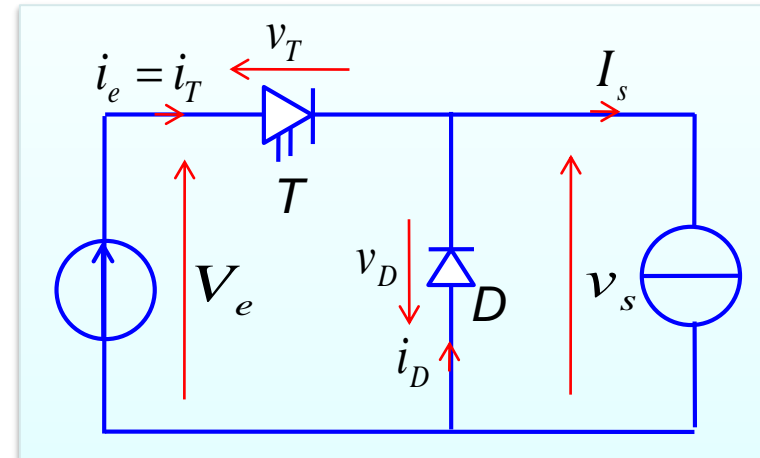
- Le hacheur série, dit aussi **abaisseur de tension** ou **buck converter**, commande le débit:
 - **D'un générateur de tension** dont la tension est toujours positive,
 - **Dans un récepteur de courant** dont le courant ne peut devenir négatif.

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

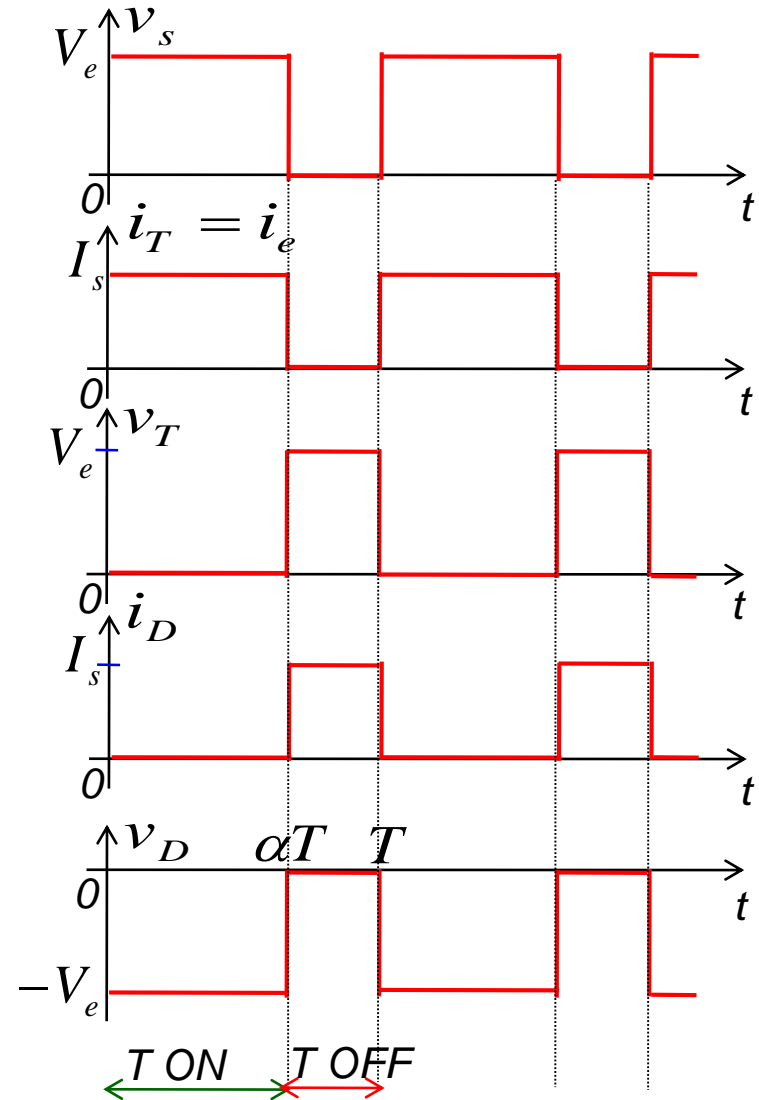


b) Valeur moyenne de v_s :

- Si T est la période de fonctionnement et αT 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 α 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:

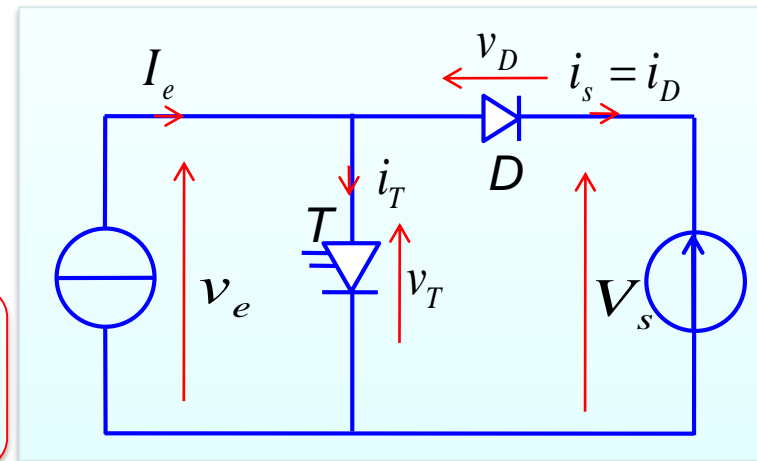
- Pour $0 < t < \alpha T$ le transistor T est ON:

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

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

- 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:

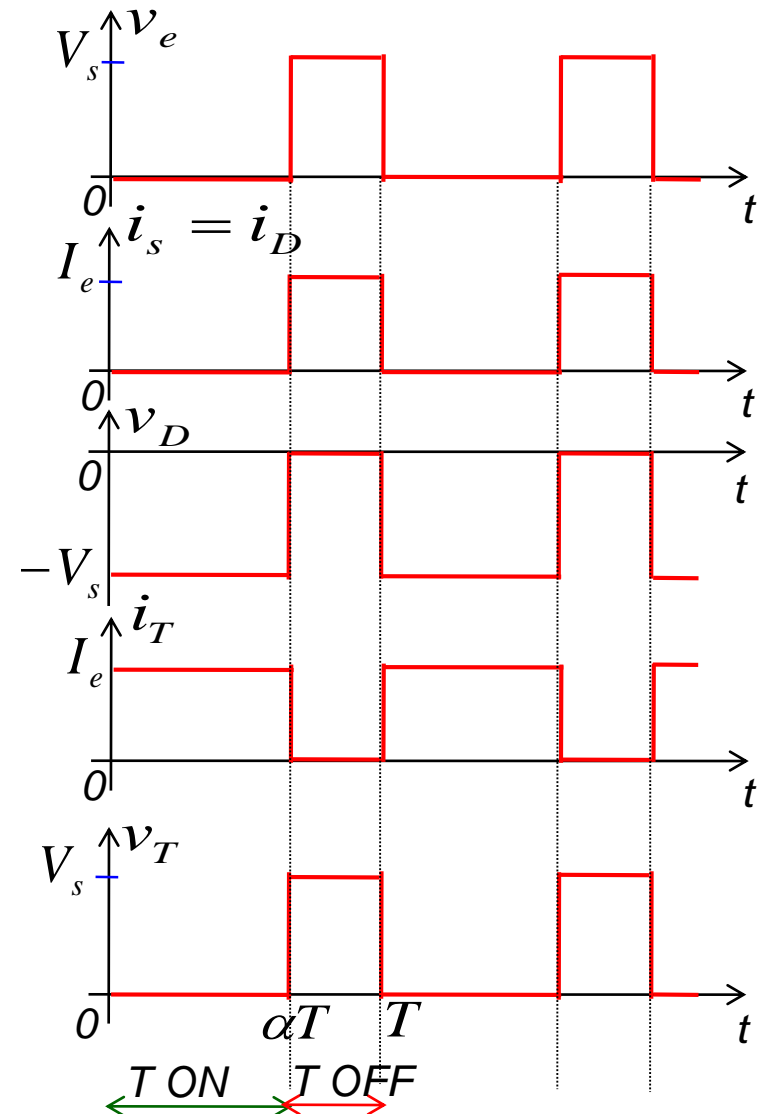
- La tension d'entrée v_e a pour valeur moyenne:

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

- Le courant de sortie i_s a pour valeur moyenne:

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

- Quand α 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 éleveur de tension ou « *hacheur survolteur* » .

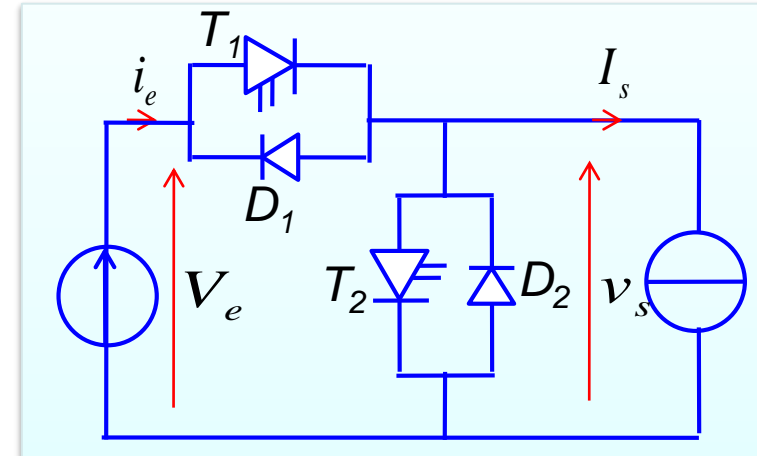


2.3. Hacheur réversible en courant

- 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).



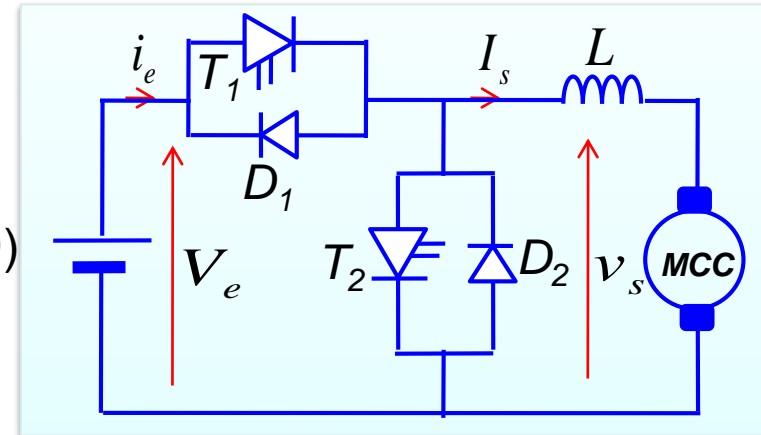
- Pour I_s positif, il fonctionne en hacheur série: le courant I_s passant tantôt par T_1 , tantôt par D_2 . Si α_1 est la durée relative de la fermeture de T_1 pendant chaque période, v_s a pour valeur moyenne: $V_s = \alpha_1 V_e$

- Pour I_s négatif, il fonctionne en hacheur parallèle: le courant I_s passant tantôt par T_2 , tantôt par D_1 . Si α_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 Ω 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:

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

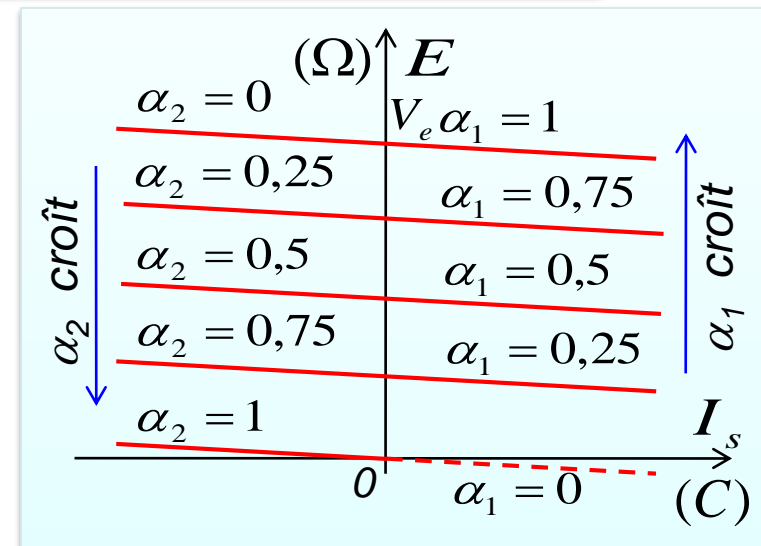
- En génératrice, si T_2 conduit pendant la partie $\alpha_2 T$ de la période:

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

- 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:

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



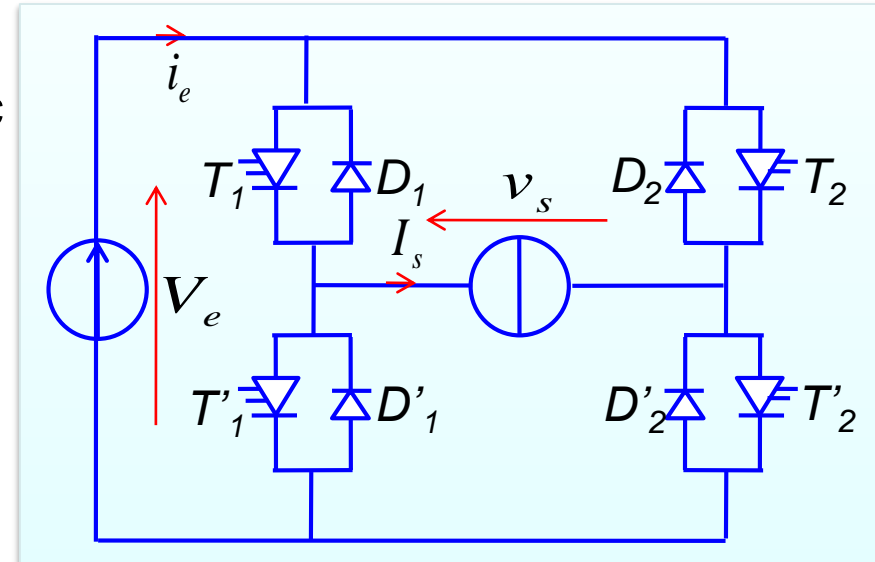
Allure des caractéristiques $E(I_s)$ ou $\Omega(C)$ pour diverse valeurs de α_1 .

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:

1 $\begin{cases} V_s > 0 \text{ et } I_s > 0 \\ V_s > 0 \text{ et } I_s < 0 \end{cases}$

2 $\begin{cases} V_s < 0 \text{ et } I_s > 0 \\ V_s < 0 \text{ et } I_s < 0 \end{cases}$

- 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.

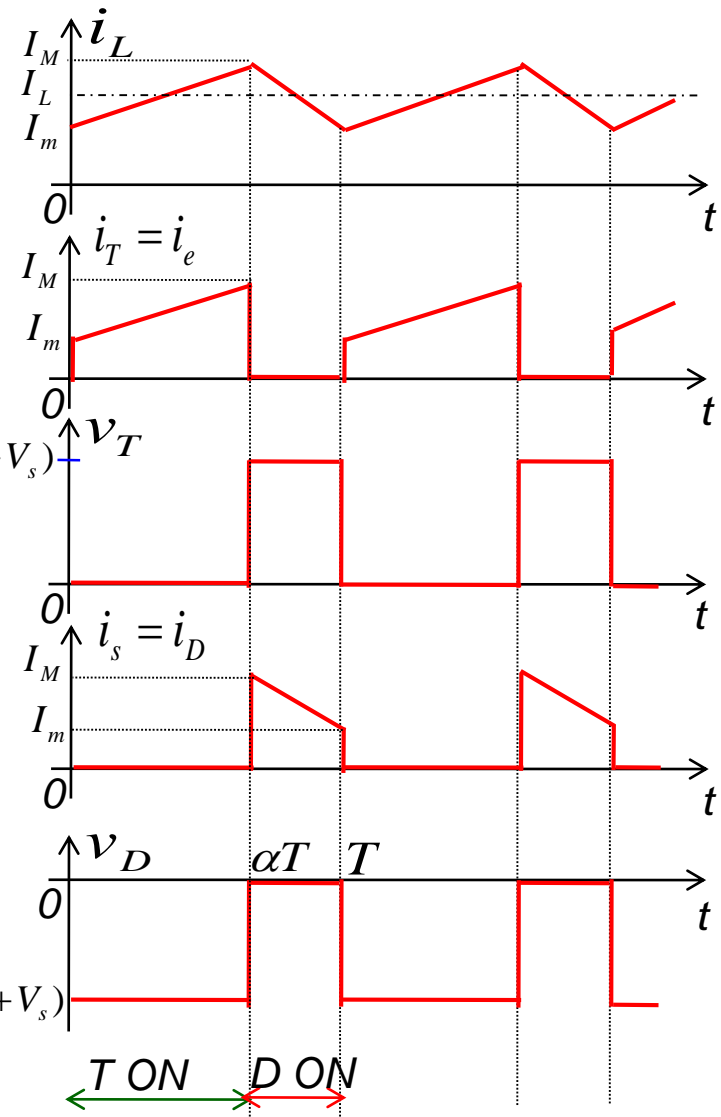
b) Valeurs moyennes:

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

- 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 α varie de 0 à 1, V_s/V_e varie, théoriquement de 0 à l'infini.

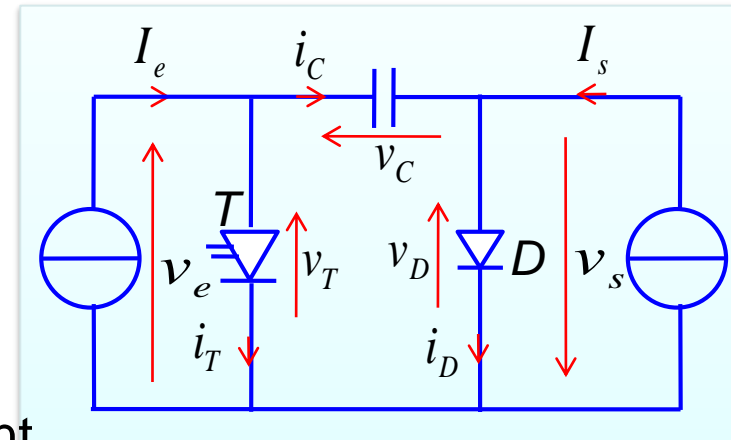


3.1. Hacheur à stockage capacitif:

- 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:



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

...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:

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

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

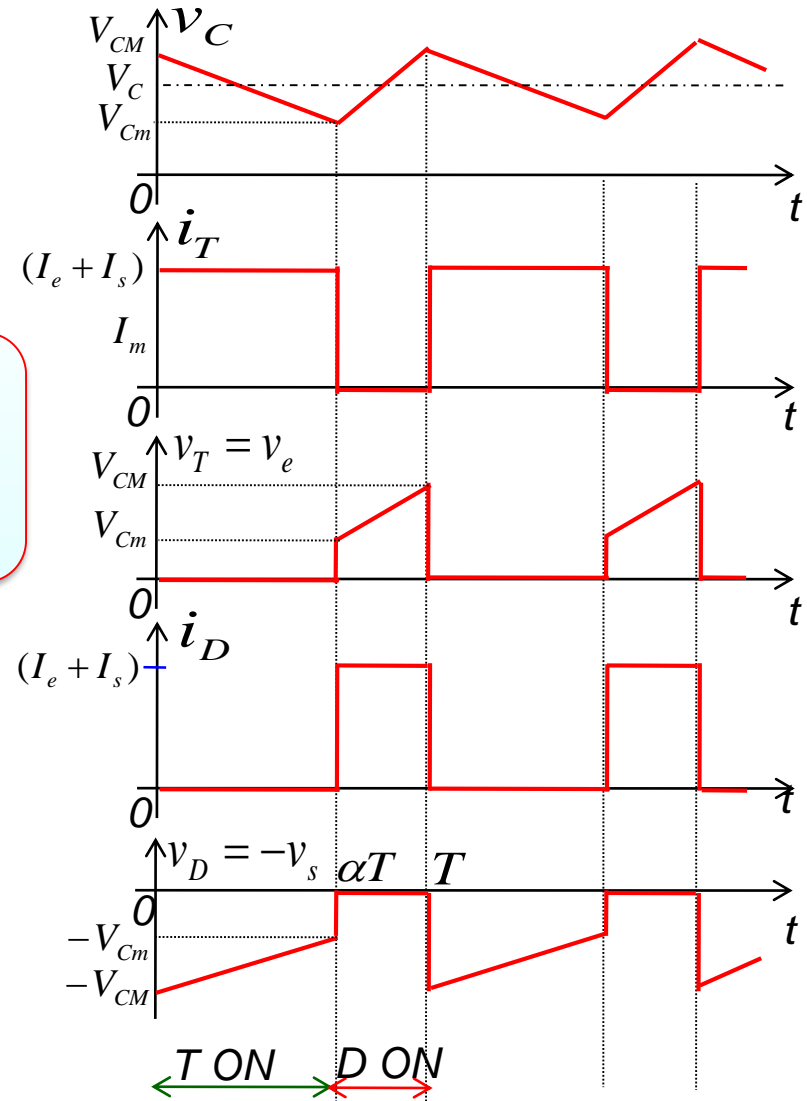
b) Valeurs moyennes:

- Valeurs moyennes 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

?