

VII. Application – Fonctions réalisées

VII.1 Alimentation à découpage -convertisseur DC-DC non réversibles

On distingue les hacheurs *non isolés* et les hacheurs *isolés*

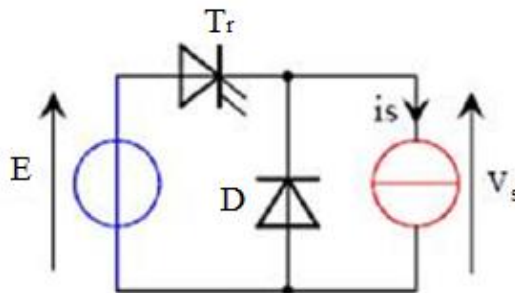
Les hacheurs non isolés (ou Alimentation à découpage non isolés)

NB :

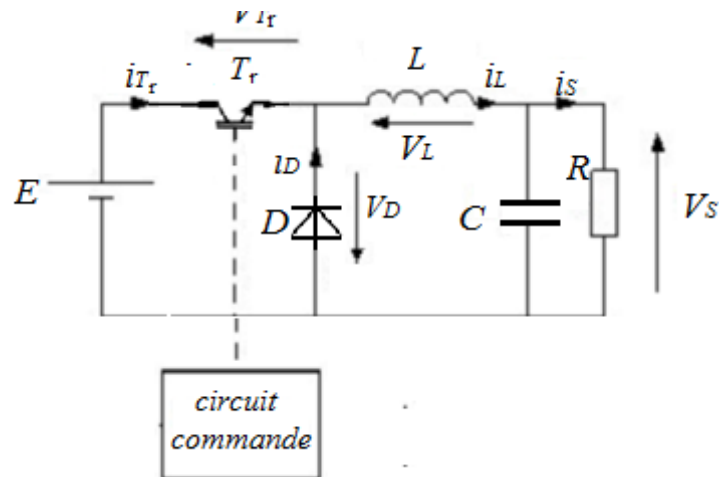
- Dans ce qui suit, on considère que les *interrupteurs sont idéaux*.
- Pour le calcul de ces différentes grandeurs, on considère ;
 - 1) la tension moyenne aux bornes d'une inductance est nulle ;
 - 2) le courant moyen dans un condensateur est nul ;
 - 3) la puissance moyenne à l'entrée du convertisseur est égale à la puissance de sortie puisque on suppose que tous les éléments sont parfaits.

VII. 1.1 Hacheur dévolteur (Buck converter)

Compte tenu des règles d'interconnexion et d'association des sources entrée-sortie, le convertisseur doit avoir une source d'entrée est de type tension continue et la charge de sortie continue est de type source de courant et les deux interrupteurs à semi conducteur T_r et D sont **complémentaires**.



Le montage pratique des hacheurs abaisseurs (buck) est représenté sur la figure ci-dessous. Les règles d'interconnexion des sources sont confirmées.



Ce montage contient un interrupteur T_r à amorçage et blocage commandés (transistors par exemple) et un interrupteur à blocage et amorçage spontanés.

On considère que la charge est purement résistive de résistance R .

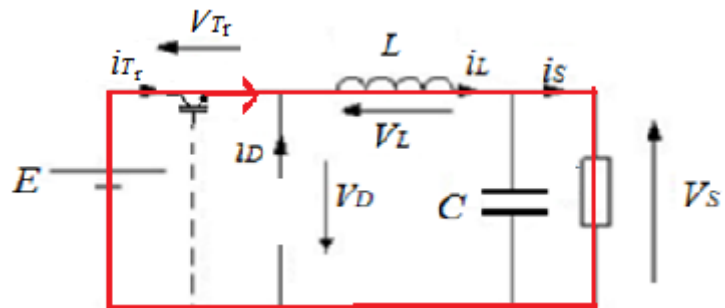
L'interrupteur T_r est passant sur l'intervalle $[0, \alpha T]$ et la diode D est passante sur $[\alpha T, T]$, α est le rapport cyclique ($0 < \alpha < 1$), T est la période de hachage.

T_r : passant sur $[0, \alpha T]$:

$$V_L = (E - V_s) > 0, \quad V_D = -E$$

$$V_L(t) = L \frac{di_L(t)}{dt} = E - V_s$$

$$\frac{di_L(t)}{dt} > 0 \quad \text{Magnétisation}$$



Donc :

$$i_L(t) = \frac{E - V_s}{L} t + cst$$

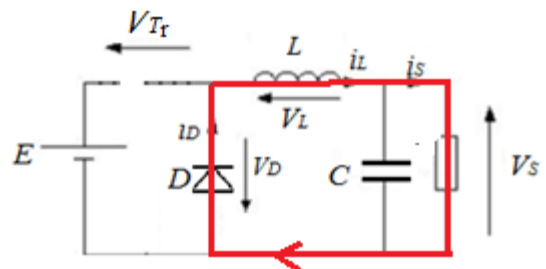
D : passante sur $[\alpha T, T]$:

$$V_L = (-V_s) < 0, \quad V_{Tr} = E$$

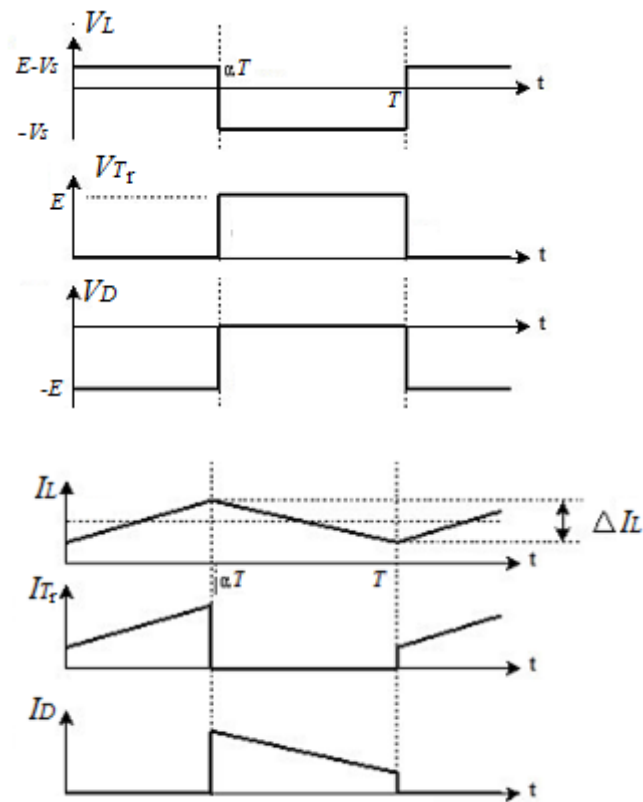
$$V_L(t) = L \frac{di_L(t)}{dt} = -V_s \quad (\text{démagnétisation})$$

Donc :

$$i_L(t) = \frac{-V_s}{L} t + cst$$



Les allures dans le cas d'une conduction continue (conduction ininterrompue) : la démagnétisation n'est pas complète :



On peut considérer que la valeur moyenne de la tension aux bornes de l'inductance est nulle : (soit L est une inductance pure)

$$V_{L\text{moy}} = \langle V_L \rangle = 0 \quad \text{donc}$$

$$V_{L\text{moy}} = \frac{1}{T} \int_0^T V_L(t) dt = 0$$

$$V_{L\text{moy}} = \frac{1}{T} \int_0^{\alpha T} (E - V_s) dt - \frac{1}{T} \int_{\alpha T}^T V_s dt = 0$$

$$V_{L\text{moy}} = (\alpha E - V_s) = 0$$

$$\text{Alors : } V_s = \alpha E$$

V_s ne dépend que de α , ce qui facilite la commande (indépendante des autres grandeurs électriques).

Remarque : la valeur moyenne de la dérivée d'une fonction périodique est nulle. On a ; $V_L(t) = L \frac{di_L(t)}{dt}$

$$\langle V_L \rangle = \left\langle L \frac{di_L(t)}{dt} \right\rangle = L \left\langle \frac{di_L(t)}{dt} \right\rangle$$

$$\left\langle \frac{di_L(t)}{dt} \right\rangle = \frac{1}{T} \int_0^T \frac{di_L(t)}{dt} dt$$

$$= \frac{1}{T} [i]_0^T = \frac{1}{T} [i(T) - i(0)] = 0$$

Pour une fonction périodique $f(t)=f(t+T)$
Donc : $\langle V_L \rangle = 0$

Les ondulations des courants

L'ondulation de courant Δi_L ($\Delta i_L = I_{\max} - I_{\min}$) dans l'inductance se déduit de l'expression :

$$V_L(t) = L \frac{di_L(t)}{dt}$$

Pendant l'intervalle $[0, \alpha T]$ qui est le t_{on} : ($t_{on} = \alpha T$)

$$V_L(t) = L \frac{\Delta i_L}{t_{on}} = E - V_s$$

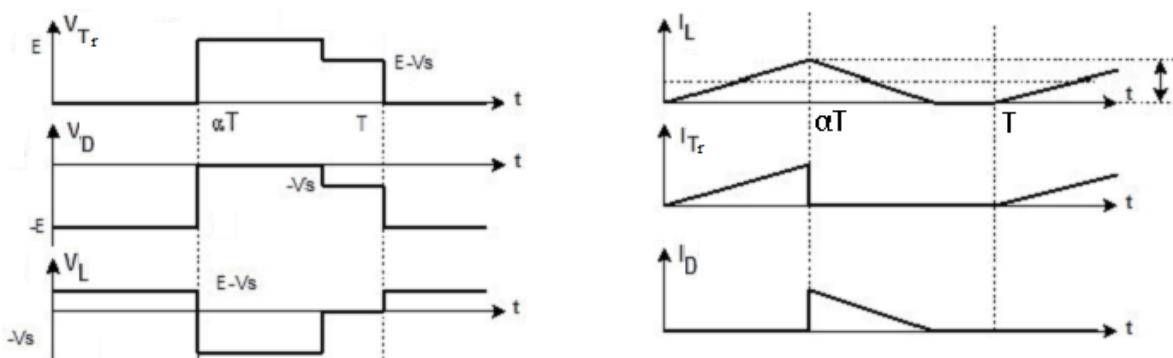
$$\text{Donc } \Delta i_L = \frac{E - V_s}{L} t_{on} = \frac{E - \alpha E}{L} \alpha T$$

$$\text{Finalement : } \Delta i_L = \alpha(1 - \alpha) \frac{E}{L f} \quad (\text{puisque } T = 1/f)$$

L'ondulation du courant est maximale lorsque $\alpha = 0.5$ est vau $\Delta i_{L\max} = \frac{E}{4L f}$

Dans le cas d'une **conduction discontinue (conduction interrompue)** :

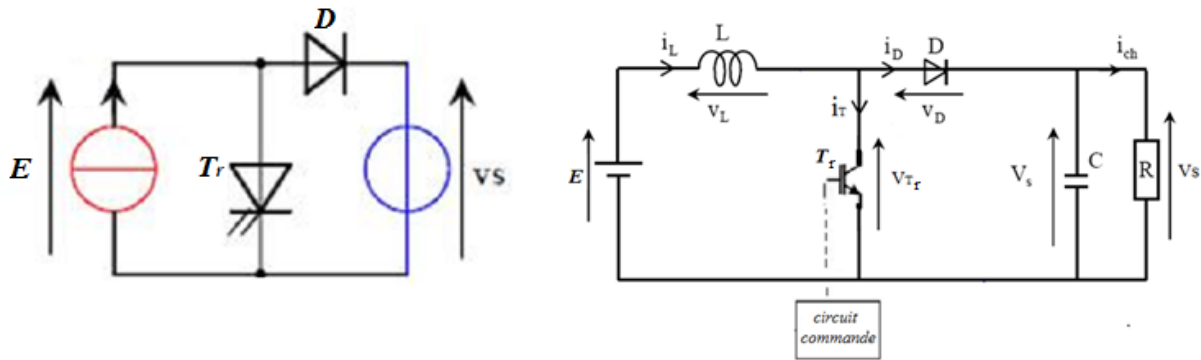
le courant s'annule avant la fin de la période, c'est-à-dire que la démagnétisation de l'inductance est complète lors des phases de décroissance du courant, dans ce cas, les interrupteurs se retrouvent ouverts dans cet intervalle ($I_{\min} = 0$).



VII. 1.2 Hacheur survolteur (Boost converter)

Dans ce cas la source d'entrée est une source de courant et source de sortie est de type source de tension.

Le montage de principe :



Les interrupteurs T_r (transistor) et D (diode) sont toujours complémentaires.

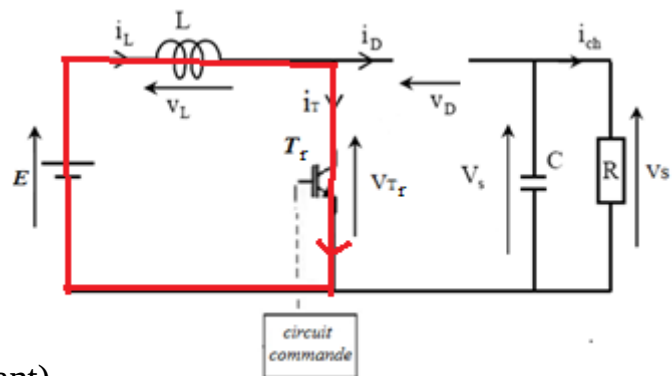
T_r est passant : $[0, \alpha T]$

$$V_L = E, \quad V_D = -V_s$$

$$i_T = i_L \text{ et } i_D = 0$$

$$V_L(t) = L \frac{di_L(t)}{dt} = E$$

$$i_L(t) = \frac{E}{L}t + cst \quad (\text{courant croissant})$$



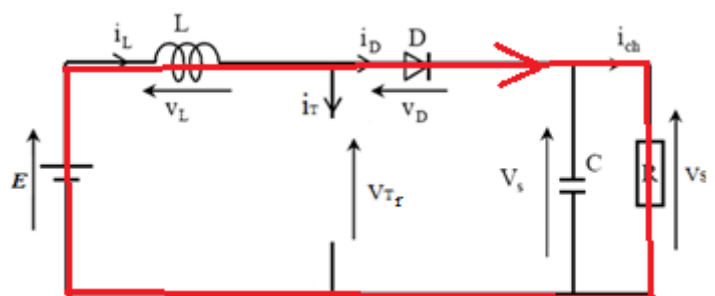
-Lorsque T_r est bloqué et D passante : $[\alpha T, T]$

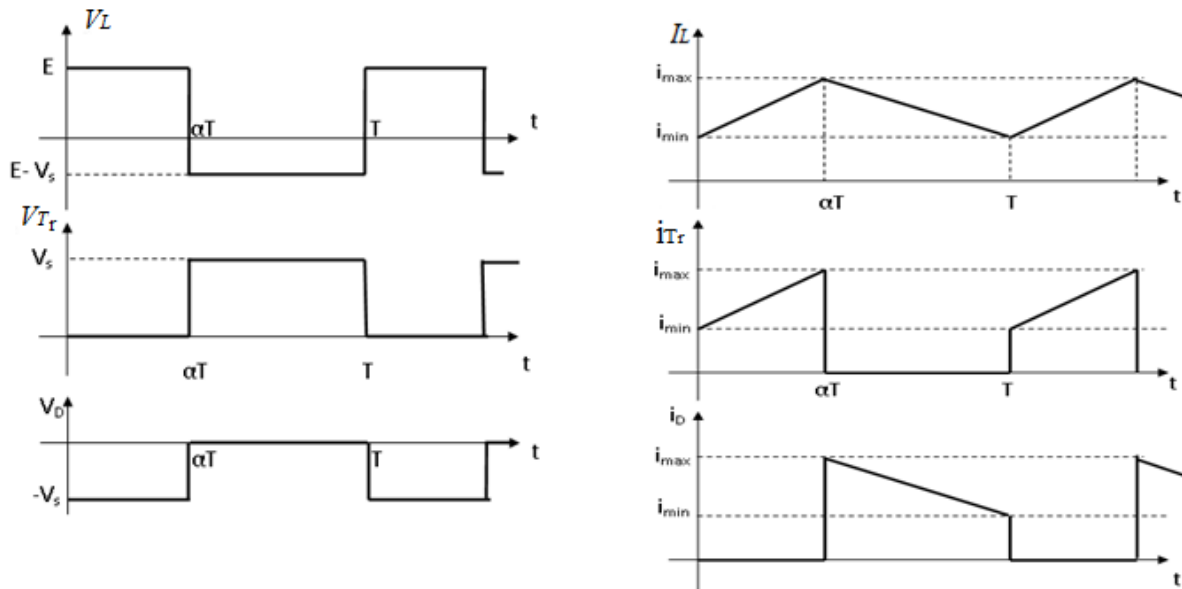
$$V_{Tr} = V_s, \quad V_L = E - V_s, \quad V_D = 0$$

$$i_{Tr} = 0 \text{ et } i_D = i_L$$

$$\text{Aussi : } V_L(t) = L \frac{di_L(t)}{dt} = E - V_s$$

$$i_L(t) = \frac{E - V_s}{L}t + cst$$





La valeur moyenne de la tension aux bornes de l'inductance étant nulle :

$$V_{L\text{moy}} = 0 \quad \text{donc} \quad V_{L\text{moy}} = \frac{1}{T} \int_0^T V_L(t) dt = 0$$

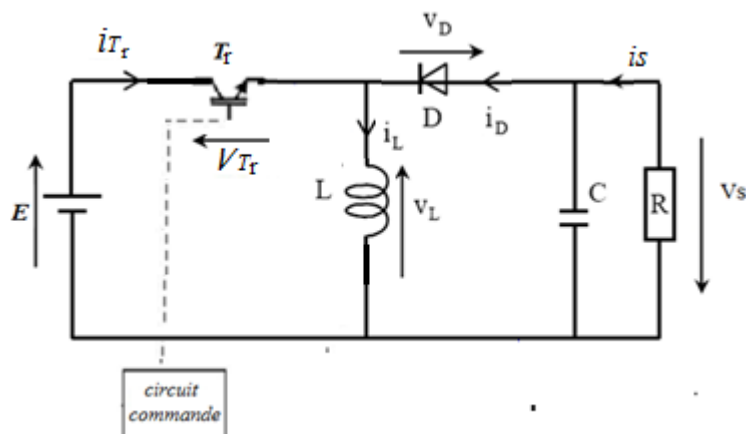
$$V_{L\text{moy}} = \frac{1}{T} \int_0^{\alpha T} E dt + \frac{1}{T} \int_{\alpha T}^T (E - V_s) dt = 0$$

$$V_{L\text{moy}} = (\alpha E + (1 - \alpha)(E - V_s)) = 0$$

Alors : $V_s = \frac{E}{1 - \alpha}$

VII. 1.3 Hacheur à accumulateur inductive (buck boost)

Appelé aussi hacheur à stockage, les interrupteur T_r et D sont complémentaire



Lorsque T_r est passant :

$$V_L(t) = E = L \frac{di_L(t)}{dt}$$

La dérivée est positive donc il y a stockage de l'énergie (énergie emmagasinée)

$$i_L(t) = \frac{E}{L}t + I_0 \quad (\text{courant croissant})$$

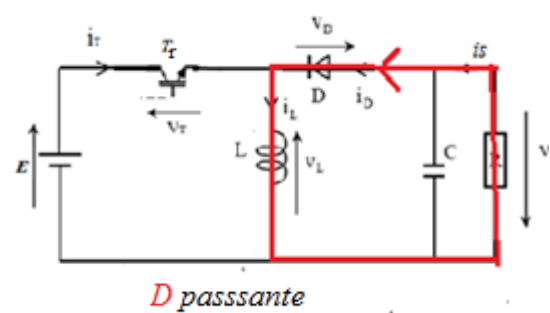
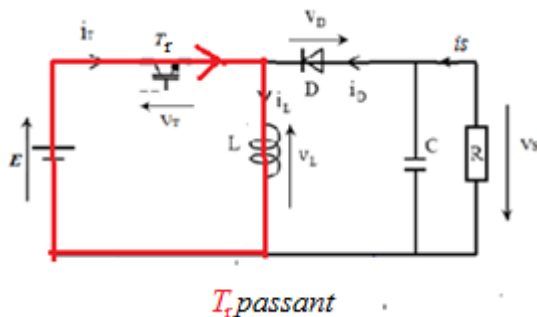
Lorsque la diode D est passante :

$$V_L(t) = L \frac{di_L(t)}{dt} = -V_s$$

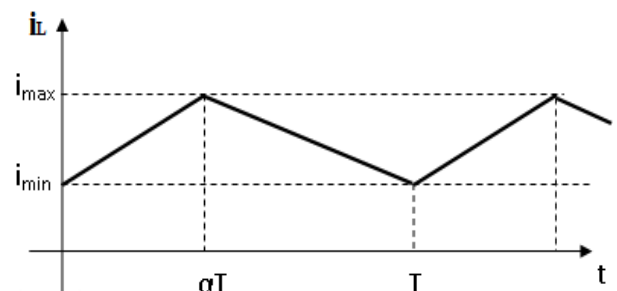
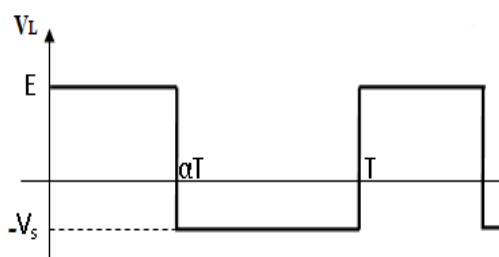
$$i_L(t) = \frac{-V_s}{L}t + cst \quad \text{courant décroissant (démagnétisation)}$$

$$\rightarrow i_L(\alpha T) = I_M \rightarrow i_L(t) = \frac{-V_s}{L}t + \frac{(E + V_s)}{L}\alpha T + I_0$$

$$I_0 = I_{min} \quad \text{et} \quad I_M = I_{max}$$



Les allures dans le cas d'une conduction continue (conduction ininterrompue) :



On sait que la valeur moyenne de la tension aux bornes de l'inductance est nulle

$$V_{L\text{moy}} = 0 \quad \text{donc} \quad V_{L\text{moy}} = \frac{1}{T} \int_0^T V_L(t) dt = 0$$

$$V_{L\text{moy}} = \frac{1}{T} \int_0^{\alpha T} E dt + \frac{1}{T} \int_{\alpha T}^T (-V_s) dt = 0$$

$$V_{L\text{moy}} = (\alpha E + (1 - \alpha)(-V_s)) = 0$$

$$\text{Alors :} \quad V_s = \frac{\alpha E}{1 - \alpha} \quad \text{et} \quad I_s = \frac{\alpha E}{R(1 - \alpha)}$$

Si $\alpha < 0.5$ donc $V_s < E$

Si $\alpha > 0.5$ donc $V_s > E$

Si $\alpha = 0.5$ donc $V_s = E$

L'alimentation avec hacheur à stockage inductif (buck-boost) permet donc de rendre la tension de sortie V_s inférieure ou supérieure à la tension d'entrée E .

Remarque :

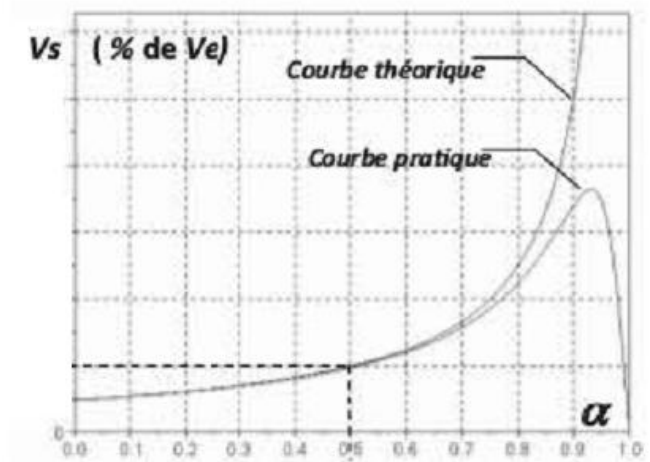
Les tension de sorties pour les hacheurs boost et Buck-Boost qui sont respectivement $V_s = \frac{E}{1-\alpha}$ et $V_s = \frac{\alpha E}{1-\alpha}$ tendent vers l'infinie pour $\alpha = 1$, ce qui donne une limite de formule entrée-sortie de ces hacheurs.

En effet pour les grande valeur de α , on néglige pas la résistance r_L série réellement existante dans la bobine, ce qui conduit à ne pas considérer la valeur moyenne la bobine nulle ($V_{Lmoy} = 0 + r_L i_{Lmoy}$).

En pratique les hacheurs de type boost et Buck-Boost sont généralement commandés avec un α qui dépasse pas 0.8.

Si on prend on considération la résistance r_L de la bobine, la tension de sortie s'exprime :

$$V_s = \frac{(1 - \alpha) E}{(1 - \alpha)^2 + \frac{r_L}{R}}$$



Convertisseur DC-DC montage isolé :

Alimentation à découpage avec transformateur :

Une alimentation à découpage ou **convertisseurs continu DC -continu DC isolés** permet à l'aide d'un transformateur à noyau en ferrite d'assurer l'isolation entre la source de tension et la charge.

Dans ce genre d'alimentation, le transistor fonctionne en régime de commutation et le transformateur fonctionne à hautes fréquences.

VII. 1.4 Alimentation à découpage de type Flyback

La source est isolée de la charge (isolation galvanique) par l'intermédiaire du transformateur.

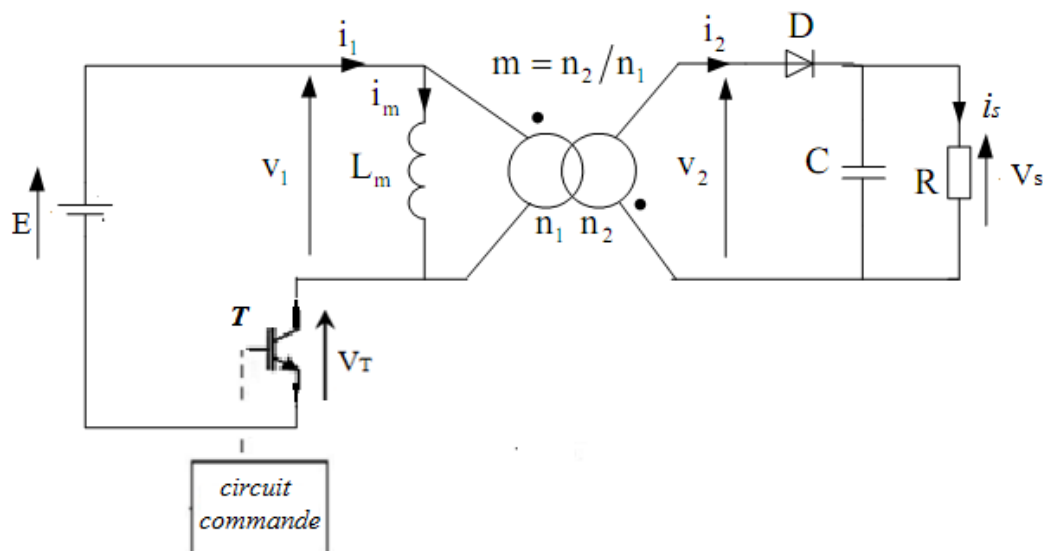
Le rapport de transformation est $m = n_2/n_1$.

n_1 : nombre de spires primaire.

n_2 : nombre de spires secondaire.

Le transistor T est commandé pour hacher la tension délivrée au primaire.

Le montage d'une telle alimentation :



Lors de l'étude on prend en considération les points suivant :

- Les résistances et les inductances de fuites des enroulements primaire et secondaire sont négligeables ;
- Le transistor et la diode sont des composants parfaits.

- On néglige la saturation du circuit magnétique du transformateur (cas linéaire)
- Pas de conduction simultanée dans les deux bobines

On considère que le fonctionnement est en démagnétisation incomplète (courant ininterrompu)

Dans ce cas il n'y a pas de *discontinuité du flux et de l'énergie magnétique* c.à.d. que le flux dans le circuit magnétique ne s'annule pas.

Lorsque T est passant : [0, αT]

$$V_1(t) = E = L_1 \frac{di_1(t)}{dt}$$

$$i_1(t) = \frac{E}{L_1} t + cst \quad (\text{courant croissant})$$

Le courant i_1 croît linéairement et l'énergie dans l'inductance primaire W_{L1} croît aussi. $W_{L1} = \frac{1}{2} L_1 i_1^2$ (Magnétisation du transformateur)

Lorsque T est bloqué et la diode D est passante : [αT, T]

$$V_2(t) = L \frac{di_2(t)}{dt} = V_s$$

$$i_2(t) = \frac{V_s}{L_2} t + cst \quad (\text{démagnétisation du transformateur})$$

Dans cette séquence on dit que l'énergie stockée est refoulée au secondaire.

$$V_1 = \frac{-V_2}{m} = \frac{-V_s}{m} \quad (\text{par convention de signe})$$

la valeur moyenne de la tension aux bornes de l'inductance primaire est nulle

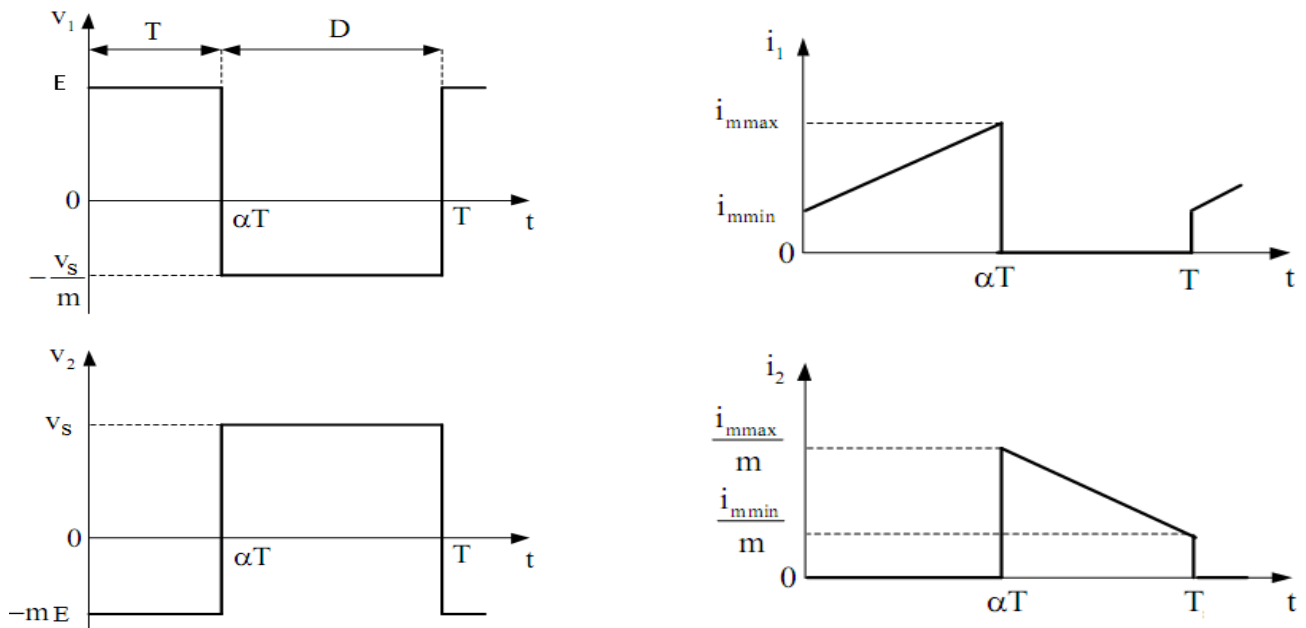
$$V_{1\text{moy}} = 0 \quad \text{donc} \quad V_{L\text{moy}} = \frac{1}{T} \int_0^T V_1(t) dt = 0$$

$$V_{1\text{moy}} = \frac{1}{T} \int_0^{\alpha T} E dt + \frac{1}{T} \int_{\alpha T}^T \left(-\frac{V_s}{m}\right) dt = 0$$

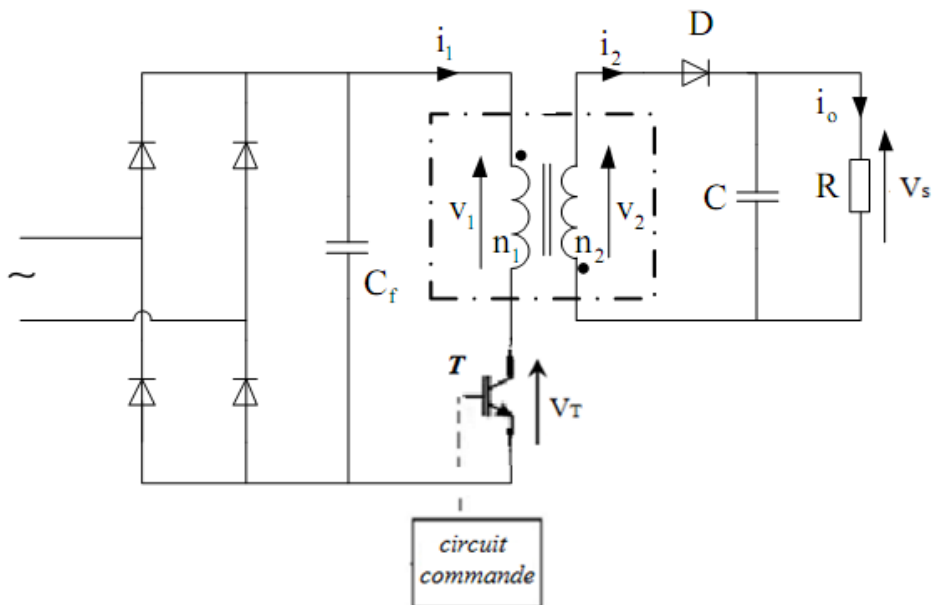
$$V_{1\text{moy}} = \left(\alpha E + (1 - \alpha) \left(-\frac{V_s}{m}\right)\right) = 0$$

$$\text{Alors : } V_s = \frac{m \alpha E}{1 - \alpha} \quad \text{et} \quad I_s = \frac{m \alpha E}{R(1 - \alpha)}$$

Les allures (démagnétisation incomplète)



Montage pratique des alimentations à découpages type flyback



Les redresseurs et les condensateurs doivent être correctement dimensionnés.

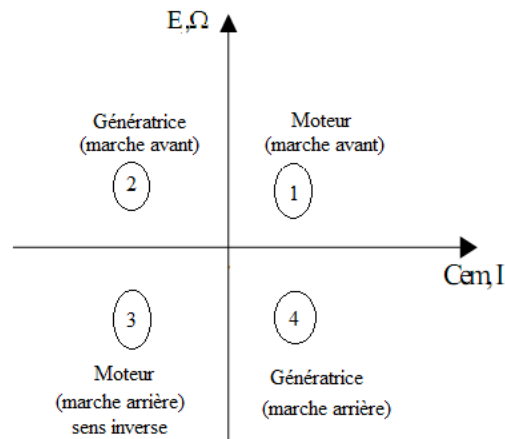
Avantage :

- Encombrement réduit
- Adaptateurs miniaturisés
- Fort rendement.

VII. 2 MONTAGES HACHEURS RÉVERSIBLES

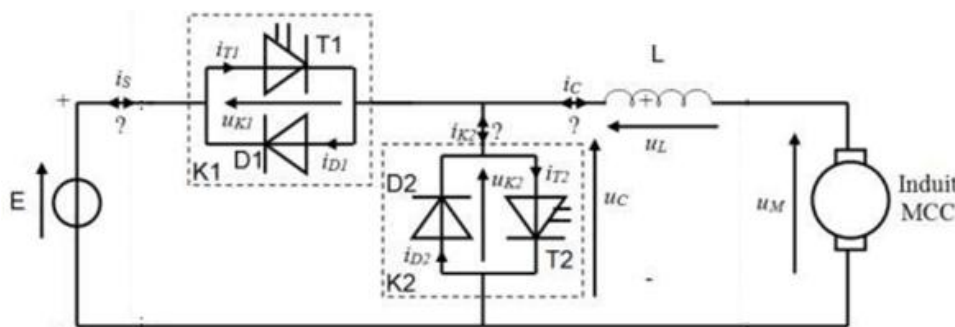
En fonction des applications, il peut être nécessaire qu'un hacheur permette une inversion de tension, de courant ou encore du sens de la puissance transmise. Par exemple, l'alimentation en vitesse variable d'un moteur à courant continu, si elle permet l'inversion du sens du courant, permet ainsi de réaliser un freinage efficace du moteur, voire une récupération de l'énergie correspondante.

Pour assurer de telles réversibilités, il faut choisir des interrupteurs réversibles en courants qui assurent les quadrants de fonctionnement du dispositif selon les besoins.



VII. 2.1. Hacheur réversible en courant:

Les hacheurs réversibles en courant ou « hacheur à deux quadrants » sont des structures qui présentent une réversibilité en courant uniquement. On considère le schéma d'un hacheur réversible en courant alimentant une MCC :



La bobine L est utilisée pour lisser le courant.

Les interrupteurs K_1 et K_2 sont **complémentaires**

L'interrupteur K_1 est commandé de 0 à αT et K_2 est commandé de αT à T .

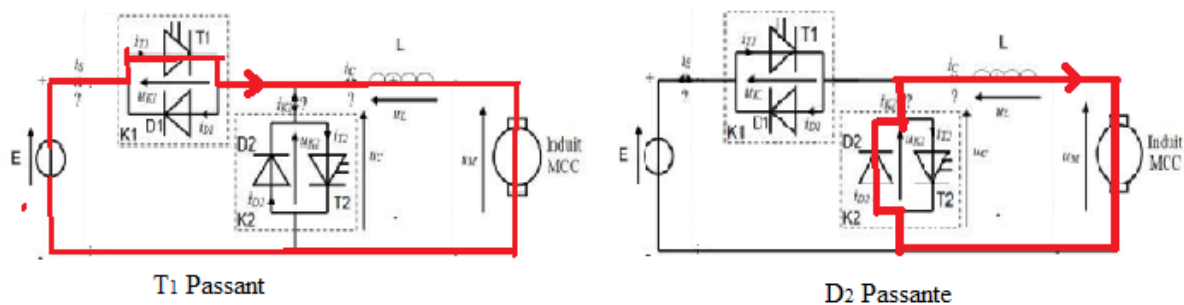
Il se trouve que :

- Pour $0 < t < \alpha T$: T_1 est passant T_2 est bloqué
- Pour $\alpha T < t < T$: T_1 est bloqué T_2 est passant

Deux cas à considérer :

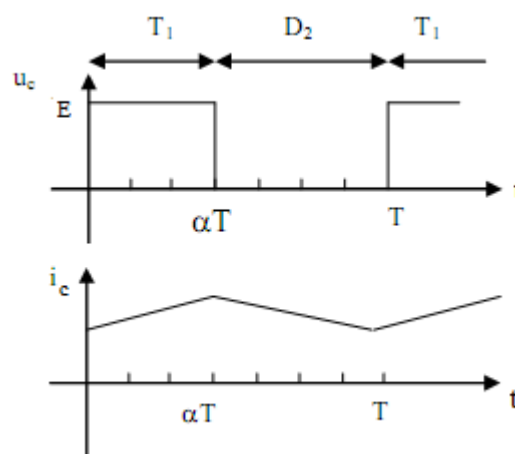
1er cas : le transfert de l'énergie s'effectue de la source vers la charge.
Fonctionnement moteur.

La conduction du courant est assurée par les interrupteurs T_1 et D_2 . Le montage fonctionne alors selon le schéma suivant



L'énergie va de la source de tension vers le moteur

On a alors les allures sur une période :



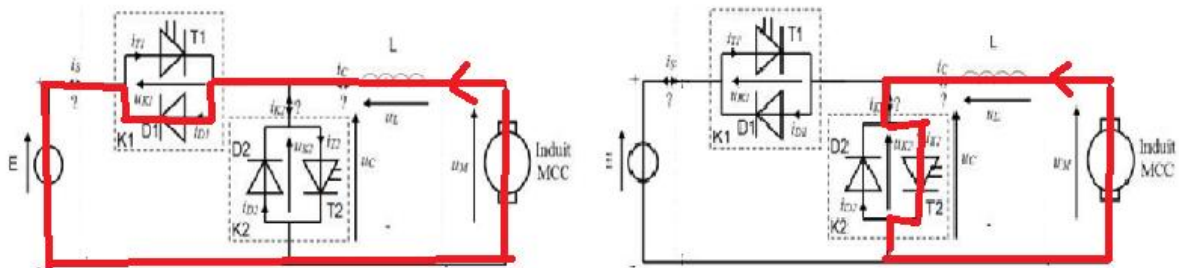
La valeur moyenne de U_c est $u_{cmoy} = \alpha E$

On a donc le courant **$i_c > 0$ et $u_c > 0$** : fonctionnement dans **le quadrant 1**

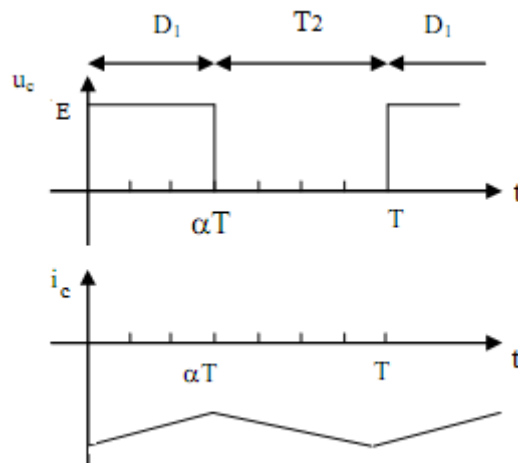
L'énergie va de la source de courant vers le récepteur de tension

2ème cas : le transfert de l'énergie s'effectue de la charge vers la source. Fonctionnement génératrice ou freinage électrique.

La conduction du courant est assurée par les interrupteurs D1 et T2. Le montage fonctionne alors selon le schéma suivant :



On a alors les allures sur une période :

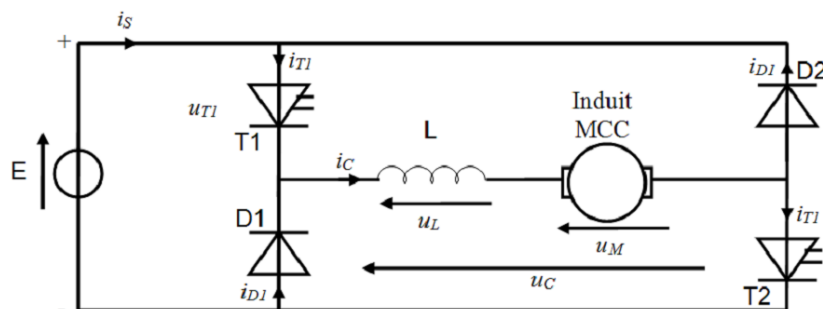


On a donc le courant **$i_c < 0$ et $u_c > 0$** : fonctionnement dans **le quadrant 2**
L'énergie va du moteur vers la source de tension

VII. 2.2. Hacheur réversible en tension :

Les hacheurs réversibles en tension ou « hacheur **à deux quadrants** » aussi sont des structures qui présentent une **réversibilité en tension uniquement** (et irréversible en courant)

Le montage d'un tel hacheur réversible en tension alimentant une MCC :

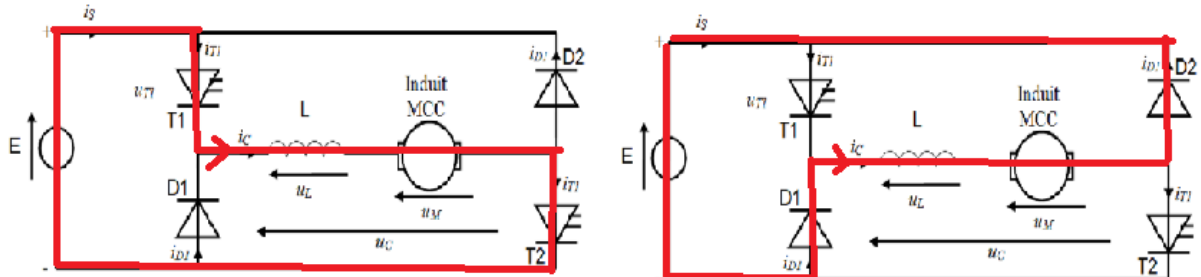


- Pour $0 < t < \alpha T$: T_1, T_2 sont passants et D1, D2 sont bloquées

$$U_c = E$$

- Pour $\alpha T < t < T$: T_1, T_2 sont bloqués et D1, D2 sont passantes

$$U_c = -E$$



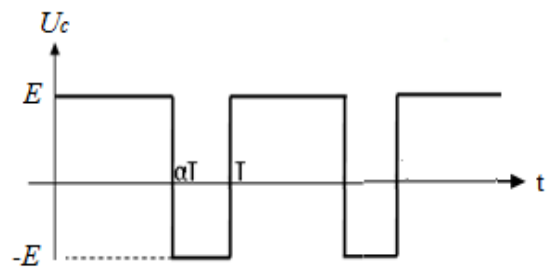
On obtient l'allure de U_c :

La valeur moyenne de U_c :

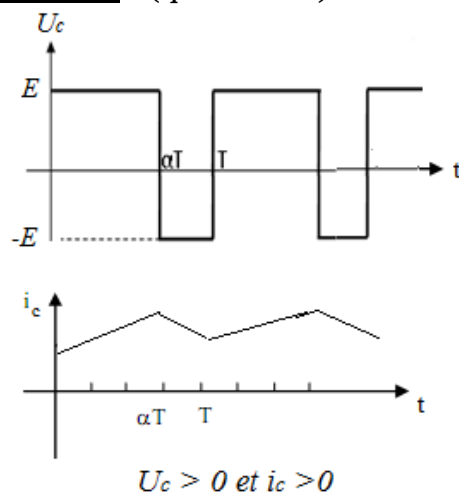
$$U_{cmoy} = \frac{1}{T} \int_0^{\alpha T} E dt + \frac{1}{T} \int_{\alpha T}^T (-E) dt$$

$$= (\alpha E + (1 - \alpha)(-E))$$

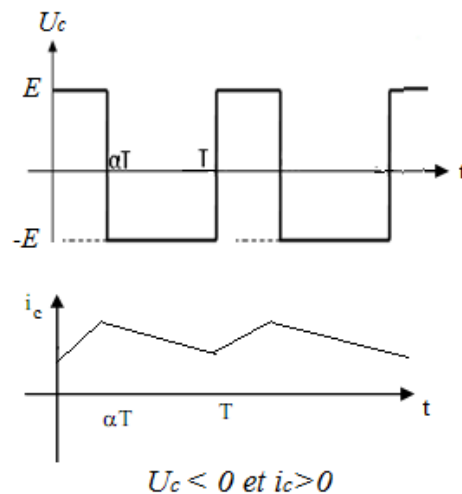
$$U_{cmoy} = (2\alpha - 1)E$$



Si $\alpha > 0,5$ (quadrant 1) en moteur



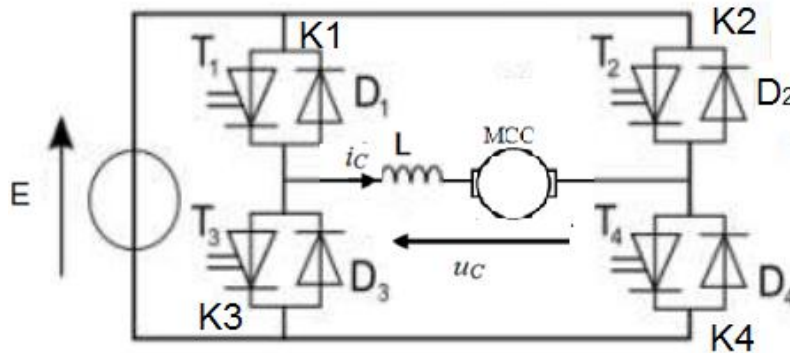
Si $\alpha < 0,5$ (quadrant 4) en freinage



VII. 2.3. Hacheur réversible en courant et en tension :

Ce type de hacheur ou « hacheur à quatre quadrants » sont des structures complètement réversibles, aussi bien en courant et en tension, et ainsi donc en puissance.

On considère le montage en pont « H » suivant :



K1 et K3 sont complémentaire ainsi que K2 et K4.

➤ Pour $0 < t < \alpha T$: K1 et K4 sont passants $U_c = E$

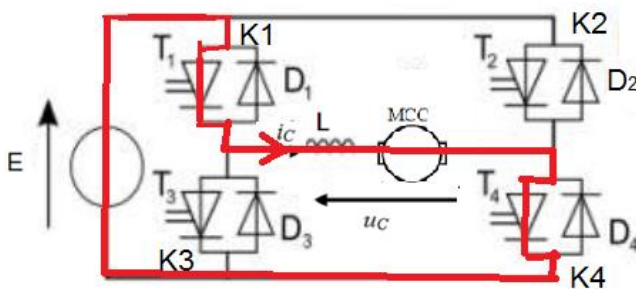
➤ Pour $\alpha T < t < T$: K2 est bloqué K3 est passan $U_c = -E$

La valeur moyenne de U_c :

$$U_{cmoy} = \frac{1}{T} \int_0^{\alpha T} E dt + \frac{1}{T} \int_{\alpha T}^T (-E) dt = (\alpha E + (1 - \alpha)(-E))$$

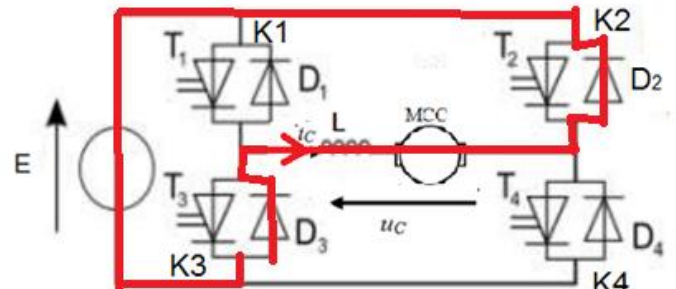
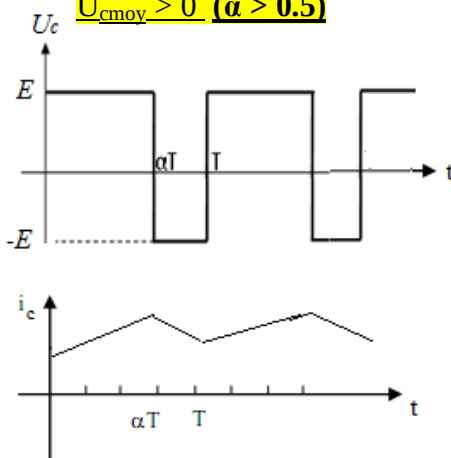
$$U_{cmoy} = (2\alpha - 1) E$$

➤ Lorsque le courant i_c est positive $i_c > 0$:



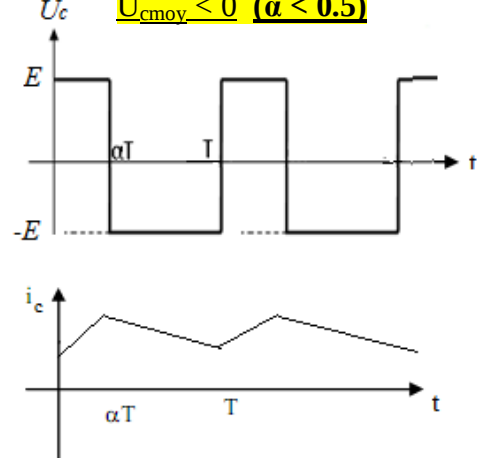
fonctionnement en moteur si

$$U_{cmoy} > 0 \quad (\alpha > 0.5)$$

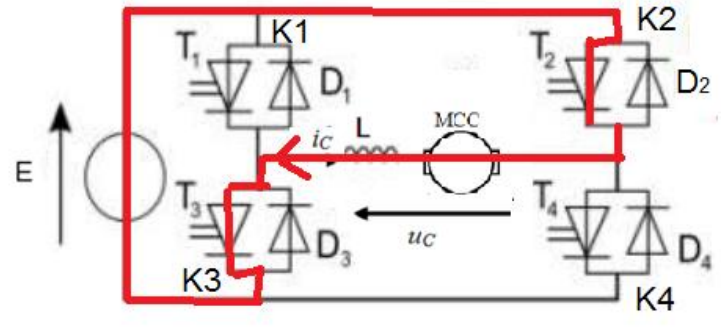
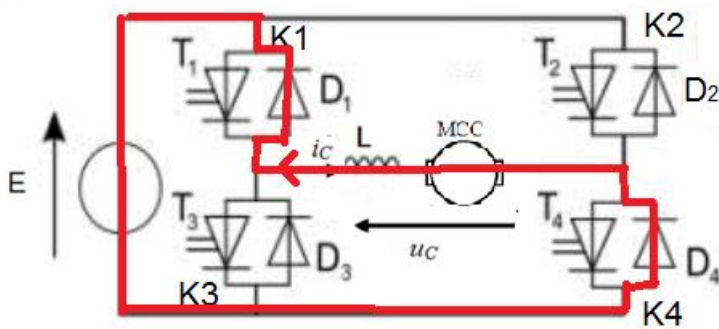


fonctionnement en génératrice si

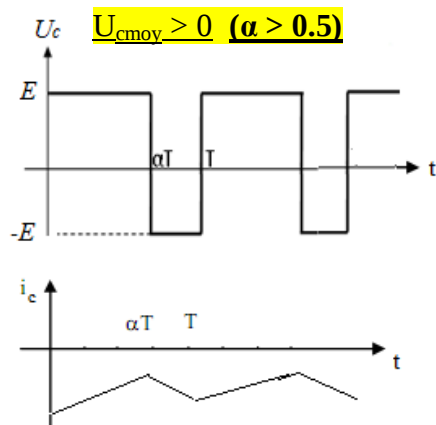
$$U_{cmoy} < 0 \quad (\alpha < 0.5)$$



➤ Lorsque le courant i_c est négatif $i_c < 0$:



fonctionnement en génératrice si



fonctionnement en moteur si

