CONVERTISSEUR CONTINU(DC)-CONTINU(DC)
LES HACHEURS

I- Introduction

Les hacheurs sont des convertisseurs statiques qui permettent d'obtenir une tension continue constante et ce, avec un rendement voisin de l'unité. Ils jouent le même rôle que les transformateurs en courant alternatif.
Ils sont principalement utilisés pour la variation de vitesse des moteurs à courant continu ainsi que dans les alimentations à découpage à courant continu.
Ces convertisseurs permettent le contrôle du transfert d'énergie entre une source et une charge qui est, soit de nature capacitive (source de tension), soit de nature inductive (source de courant).

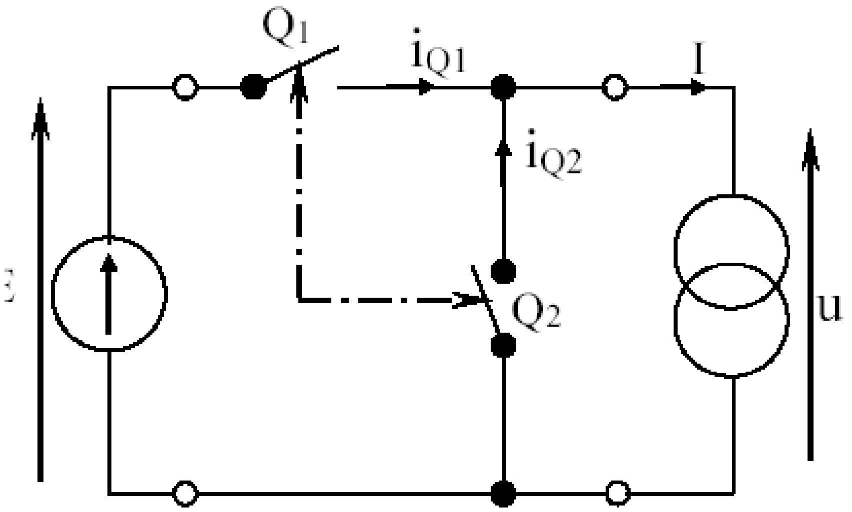
Définition des sources et des récepteurs

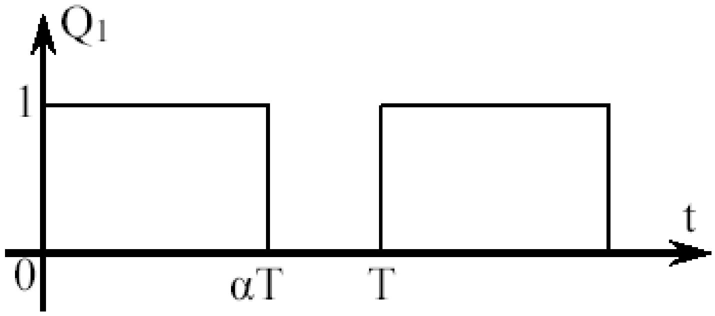
Pour déterminer si une source ou un récepteur réel doit être considéré comme étant une source de tension ou une source de courant et évaluer dans quelle mesure son comportement se rapproche de celui d'une source ou d'un récepteur parfait, il faut considérer deux échelles de temps:
La première, qui est, de l'ordre de la microseconde, correspond à la durée des commutations des semi-conducteurs d'un état à l'autre (fermeture ou ouverture).
La deuxième, qui est, de l'ordre de la centaine de micro seconde, correspond à la durée des cycles d'ouverture – fermeture des semi-conducteurs au sein du variateur.
C'est, l'échelle des temps correspondant aux commutations qui fixe la nature des sources et des récepteurs.
On est en présence d'une source ou d'un récepteur de courant si on ne peut pas interrompre le courant i(t) qui y circule par une commande à l'ouverture d'un semi-conducteur. Cette interruption provoquerait des pics importants dans l'onde de la tension u(t).

II-Hacheur série

II-1- Principe

L'hacheur série commande le débit d'une source de tension continu U dans un récepteur de courant I :
Pour régler le transfert d'énergie, on applique aux interrupteurs une commande périodique.
La période de pulsation T de celle-ci peut-être choisie arbitrairement dans la mesure où la source et le récepteur que relie le variateur de courant continu se comportent comme des circuits à fréquence de commutation nulle.
L'interrupteur Q_1 permet de relier l'entrée à la sortie, Q_2 court-circuite la source de courant quand Q_1 est, ouvert Q_1 □ (Q_2 barre).
On définit α rapport cyclique





II.2- Etude d’un hacheur série charge inductive
II-2-1- Montage

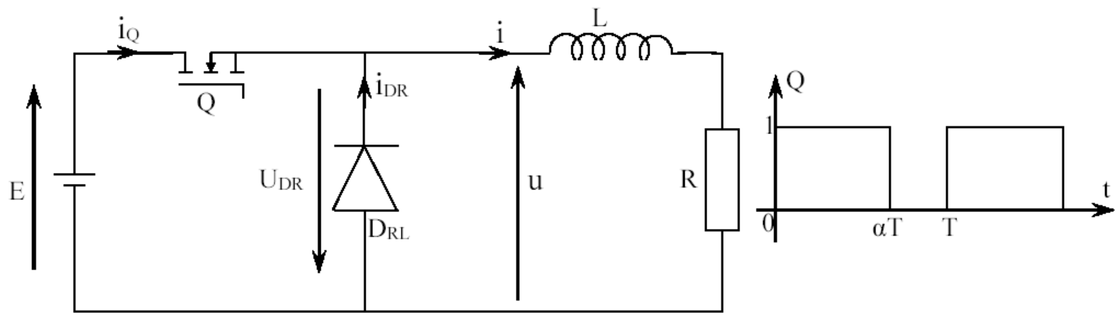
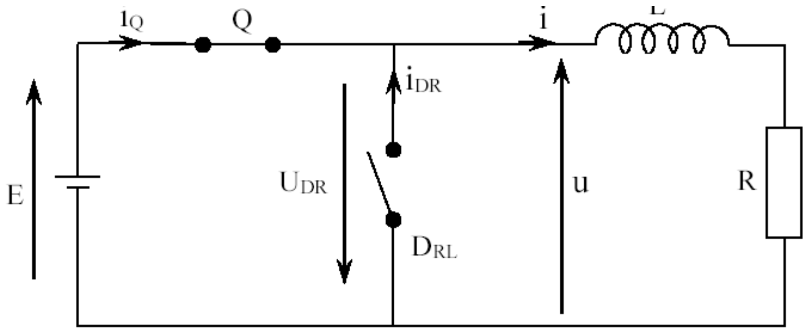


Figure N°4 : Schéma d’un Hacheur série charge R-L

Analyse :

1er cas : $0 < t < aT$ (Q fermé, D_{RL} ouverte) :



On' a : $\mathbf{U_{DR} = -E}$

$\mathbf{u = E}$

$\mathbf{i_Q = i}$

$\mathbf{i_{DR} = 0}$

et $\mathbf{E = Ri(t) + L\frac{di(t)}{dt}}$

Figure N°5 : Schéma équivalent d'un Hacheur série pour $t \in [0, \alpha T]$

Déterminon le courant i(t) : on a $E = Ri(t) + L\dfrac{di(t)}{dt}$ avec $i(0) = I_{MIN}$ et $i(\alpha T) = I_{MAX}$

* Solution sans second membre ($0 = Ri(t) + L\dfrac{di(t)}{dt}$)

$$0 = Ri(t) + L\frac{di(t)}{dt} \Rightarrow Ri(t) = -L\frac{di(t)}{dt} \Rightarrow \frac{di(t)}{i(t)} = -\frac{R}{L}dt \Rightarrow \int\frac{di(t)}{i(t)} = \int -\frac{R}{L}dt$$

$$\text{donc } \log[i(t)] = -\frac{R}{L}t + K \Rightarrow \mathbf{i(t) = A\left[\exp -\left(\frac{R}{L}t\right)\right]}$$

* Solution particuliere ($E = Ri(t)$)

$$\text{Donc } \mathbf{i(t) = \frac{E}{R}}$$

* Solution génerale $i(t) = \dfrac{E}{R} + A\,e^{-\frac{R}{L}t}$ on pose $\tau = \dfrac{L}{R}$ donc $\mathbf{i(t) = \dfrac{E}{R} + A\,e^{-\frac{t}{\tau}}}$

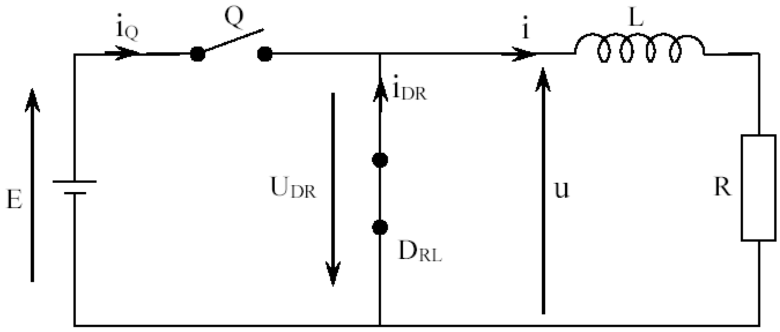
$$\text{à } t = 0 \quad \text{on a} \quad i(0) = I_{MIN} = \frac{E}{R} + A \Rightarrow A = I_{MIN} - \frac{E}{R}$$

$$\text{donc } \mathbf{i(t) = \frac{E}{R} + \left(I_{MIN} - \frac{E}{R}\right)e^{-\frac{t}{\tau}}}$$

calcul de I_{MAX} ?

à $t = \alpha T$ on a $i(\alpha T) = I_{MAX} = \dfrac{E}{R} + \left(I_{MIN} - \dfrac{E}{R}\right)e^{-\frac{\alpha T}{\tau}} \Rightarrow \mathbf{I_{MAX} = I_{MIN}\,e^{-\frac{\alpha T}{\tau}} + \dfrac{E}{R}\left(1 - e^{-\frac{\alpha T}{\tau}}\right)}$

2er cas : áT < t < T (Q ouvert, D_{RL} fermée) :



On' a : $\mathbf{U_{DR} = 0}$

$\mathbf{u = 0}$

$\mathbf{i_Q = 0}$

$\mathbf{i_{DR} = i}$

et $\mathbf{0 = Ri(t) + L\dfrac{di(t)}{dt}}$

Figure N°6 : Schéma équivalent d'un Hacheur série pour $t \in [\alpha T, T]$

Déterminon le courant i(t) : on a $0 = Ri(t) + L\dfrac{di(t)}{dt}$ avec $i(T) = I_{MIN}$ et $i(\alpha T) = I_{MAX}$

$$0 = Ri(t) + L\frac{di(t)}{dt} \Rightarrow Ri(t) = -L\frac{di(t)}{dt} \Rightarrow \frac{di(t)}{i(t)} = -\frac{R}{L}dt \Rightarrow \int\frac{di(t)}{i(t)} = \int -\frac{R}{L}dt$$

$$\text{donc } \log[i(t)] = -\frac{R}{L}t + K \Rightarrow \mathbf{i(t) = A\,e^{-\frac{t}{\tau}}} \quad \text{avec } \tau = \frac{L}{R}$$

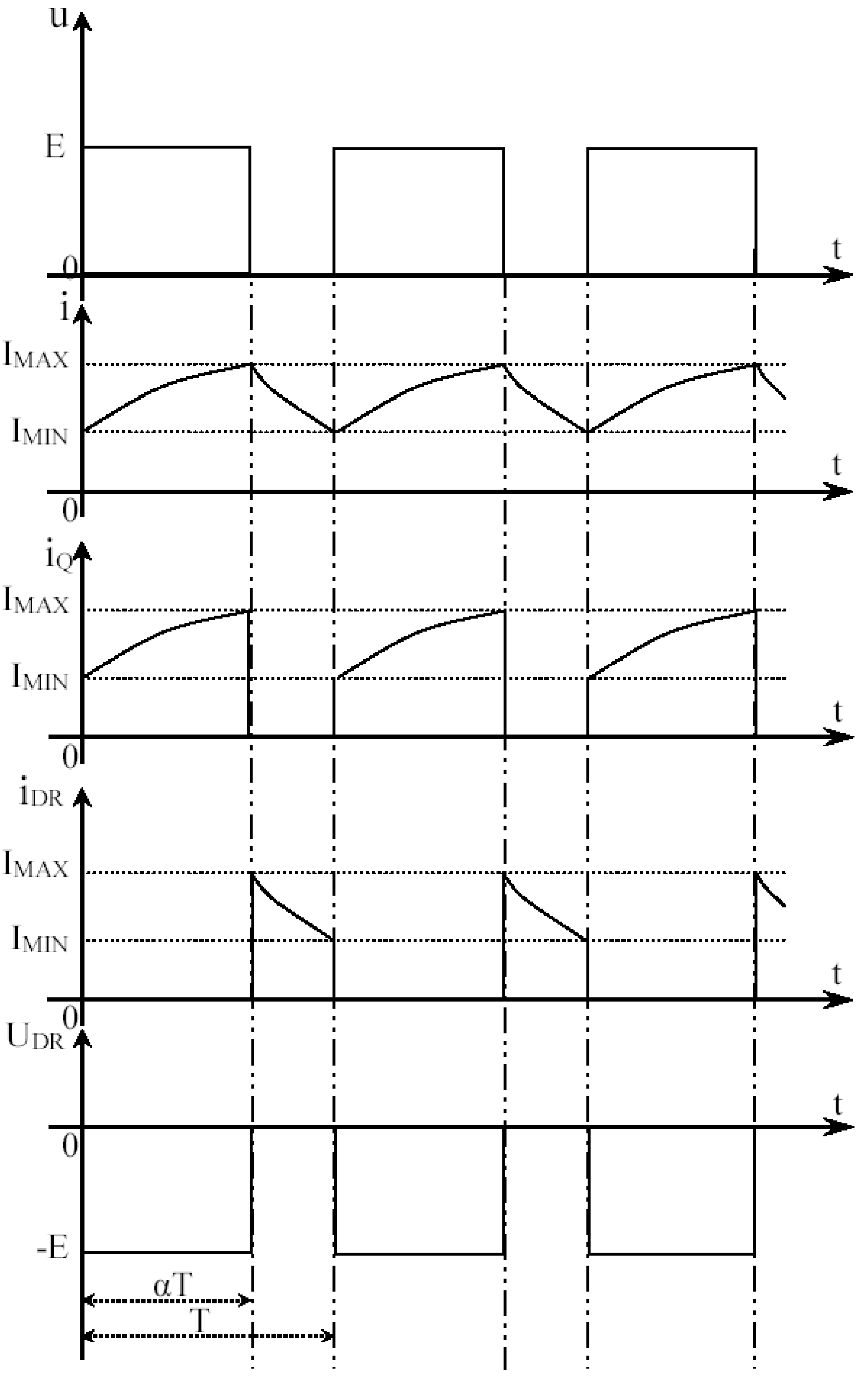
$$\text{à } t = \alpha T \quad \text{on a } i(\alpha T) = I_{MAX} = A\,e^{-\frac{\alpha T}{\tau}} \Rightarrow A = I_{MAX}\,e^{\frac{\alpha T}{\tau}}$$

$$\text{donc } \mathbf{i(t) = I_{MAX}\,e^{-\frac{(t-\alpha T)}{\tau}}}$$

calcul de I_{MIN} ?

$$\text{à } t = T \text{ on a } i(T) = I_{MIN} = I_{MAX}\,e^{-\frac{(T-\alpha T)}{\tau}} \Rightarrow \mathbf{I_{MIN} = I_{MAX}\,e^{-\frac{T}{\tau}(1-\alpha)}}$$

II-2-2- Forme d'ondes des principales grandeurs :



u
E
0
t
i
IMAX
IMIN
t
0
iQ
IMAX
IMIN
t
0
iDR
IMAX
IMIN
t
0
UDR
t
0
-E
αT
T

III- Hacheur parallèle ou élévateur de tension

III-1-Principe

Le hacheur parallèle permet de varier le courant fourni par une source de courant I dans un récepteur de tension U.

Ce hacheur est, constitué d'un interrupteur à ouverture commandée en parallèle avec le récepteur et d'un interrupteur à fermeture et ouverture spontanée entre la source et le récepteur.

III-2-Montage :

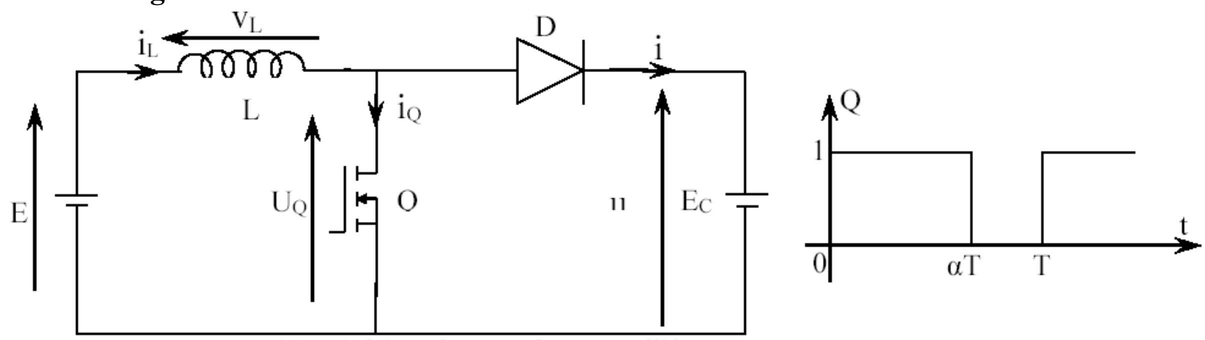
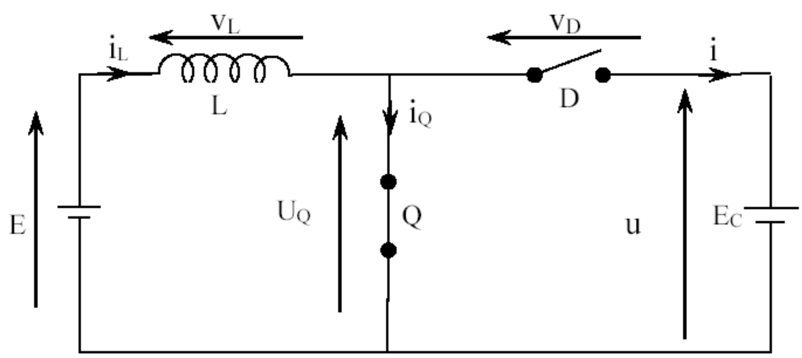


Figure N°17 : Schéma d'un Hacheur parallèle

III-3-Analyse :

Nous pouvons décomposer cette analyse en deux parties distinctes :

1er cas : 0 < t < áT (Q fermé, D ouverte).



On' a : $\mathbf{U_Q = 0}$

$\mathbf{v_D = -E_C}$

$\mathbf{i_Q = i_L}$

$\mathbf{i_D = 0}$

et $\mathbf{E = v_L = L\frac{di_L(t)}{dt}}$

Figure N°18 : Schéma équivalent d'un Hacheur parallèle pour $t \in [\,0\,,\alpha T\,]$

Déterminons le courant $i_L(t)$: on a $E >> Ri_L(t)$ donc $E = L\frac{di_L(t)}{dt}$ avec $i_L(0) = I_{LMIN}$ et $i_L(\alpha T) = I_{LMAX}$

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

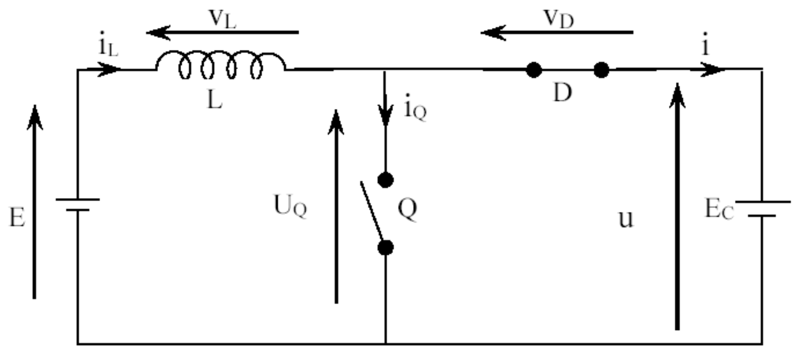
$$\text{donc } i_L(t) = \frac{E}{L}t + K \quad \text{à } t = 0 \quad \text{on a} \quad i_L(0) = I_{LMIN} = K$$

$$\text{donc } i_L(t) = \frac{E}{L}t + I_{LMIN}$$

calcul de I_{LMAX} ?

$$\text{à } t = \alpha T \text{ on a } i(\alpha T) = I_{LMAX} = \frac{E}{L}\alpha T + I_{LMIN} \qquad \mathbf{I_{LMAX} = \frac{E}{L}\alpha T + I_{LMIN}}$$

2eme cas : áT < t < T (Q ouvert, D fermée).



On' a : $\mathbf{U_Q = E_C}$
$\mathbf{v_D = 0}$
$\mathbf{i_Q = 0}$
$\mathbf{i_D = i_L}$
et $\mathbf{v_L = E - E_C = L\frac{di_L(t)}{dt}}$

Figure N°19 : Schéma équivalent d'un Hacheur parallèle pour $t \in [\alpha T, T]$

Déterminon le courant $i_L(t)$: on a $E = E_C + L\frac{di_L(t)}{dt}$ avec $i_L(\alpha T) = I_{LMAX}$ et $i_L(T) = I_{LMIN}$

$$E = E_C + L\frac{di_L(t)}{dt} \Rightarrow E - E_C = -L\frac{di_L(t)}{dt} \Rightarrow di_L(t) = \frac{E - E_C}{L}dt \Rightarrow \int di_L(t) = \int \frac{E - E_C}{L}dt$$

$$\text{donc } i_L(t) = \frac{E - E_C}{L}t + K$$

$$\text{à } t = \alpha T \quad \text{on a} \quad i_L(\alpha T) = I_{LMAX} = \frac{E - E_C}{L}\alpha T + K \Rightarrow K = I_{LMAX} - \frac{E - E_C}{L}\alpha T$$

$$\text{donc } i_L(t) = \frac{E - E_C}{L}t + I_{LMAX} - \frac{E - E_C}{L}\alpha T \Rightarrow \mathbf{i_L(t) = \frac{E - E_C}{L}(t - \alpha T) + I_{LMAX}}$$

calcul de I_{LMIN} ?

$$\text{à } t = T \text{ on a } i_L(T) = I_{LMIN} = \frac{E - E_C}{L}T(1-\alpha) + I_{LMAX} \Rightarrow \mathbf{I_{LMIN} = \frac{E - E_C}{L}T(1-\alpha) + I_{LMAX}}$$

III-4-Formes d'ondes des principales grandeurs :

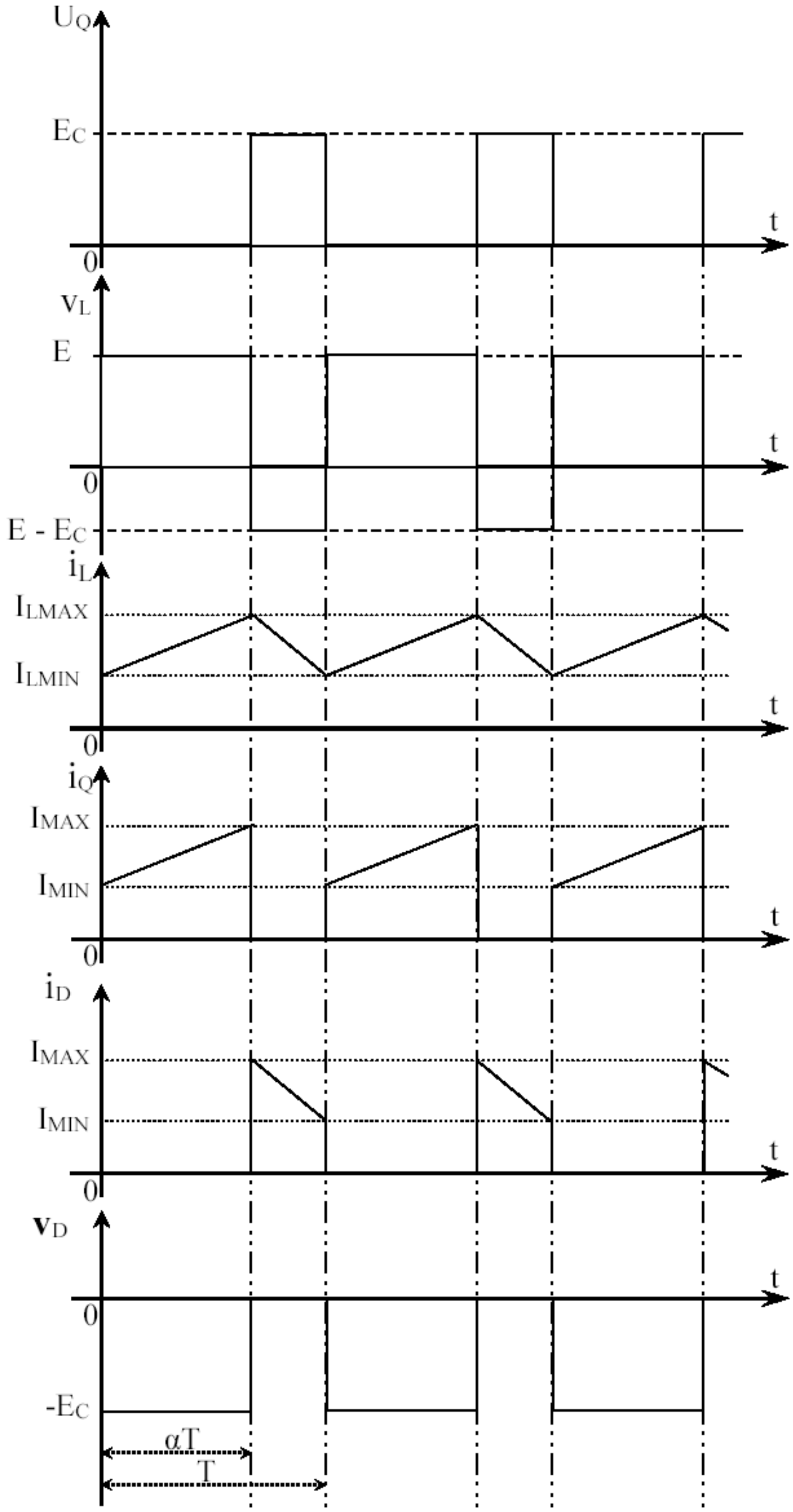


Figure N°20: Forme d'ondes des principales grandeurs d'un Hacheur parallèle (Conduction continue)