

# **Cours de Physique appliquée**

## **Conversion Continu → Continu : Le hacheur série**

**Terminale STI Génie Electrotechnique**

**© Fabrice Sincère ; Version 1.1.2**

## Sommaire

- 1- Symbole général du convertisseur DC / DC
- 2- Principe du hacheur série (abaisseur de tension)
- 3- Application : commande de la vitesse d'un moteur à courant continu à excitation indépendante
- 4- Ondulation du courant

# 1- Symbole général du convertisseur DC / DC

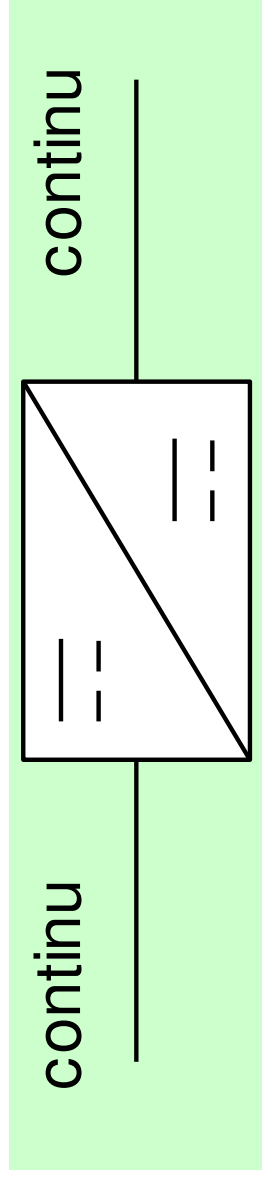


Fig. 1

## 2- Principe du hacheur série (abaisseur de tension)

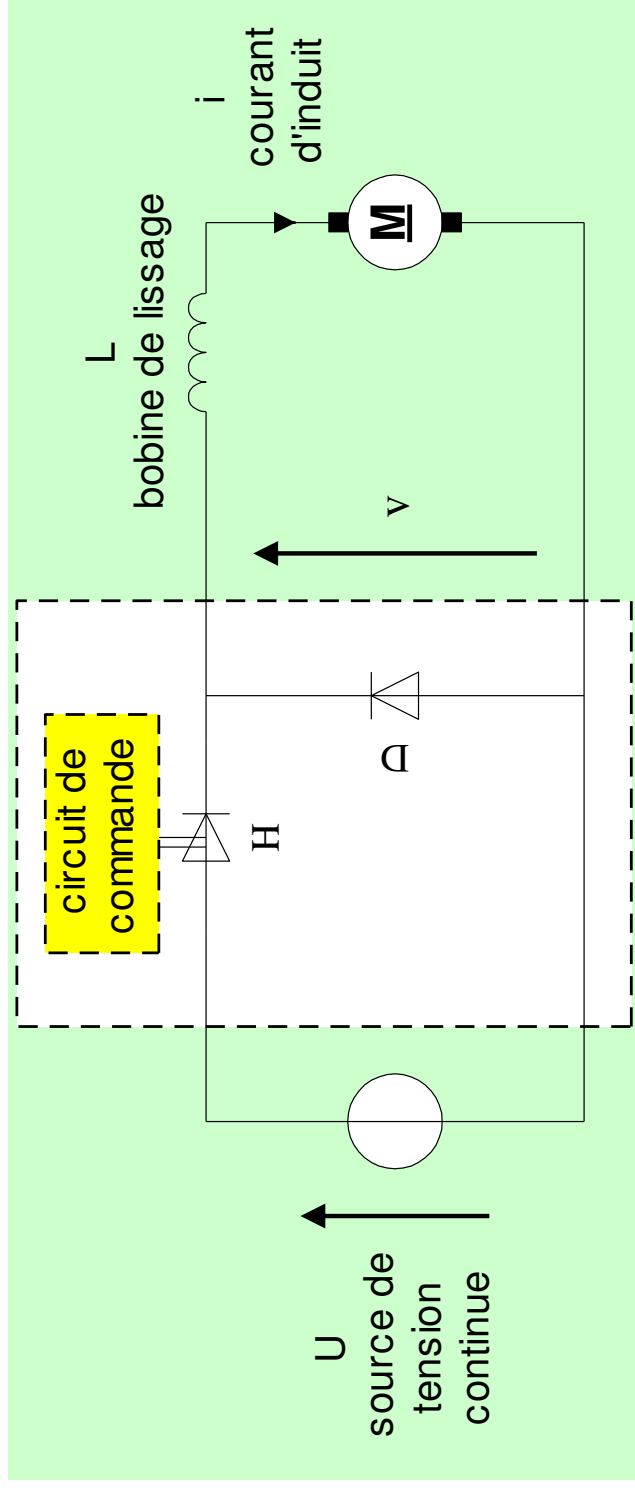


Fig. 2

Le hacheur série est alimenté par une source de tension continue  $U$  (200 V).  
La charge du hacheur est ici l'induit d'un moteur à courant continu.  
La bobine lisse le courant d'induit  $i$ .  
On suppose  $i$  quasiment constant ( $\langle i \rangle = 5 \text{ A}$ ).

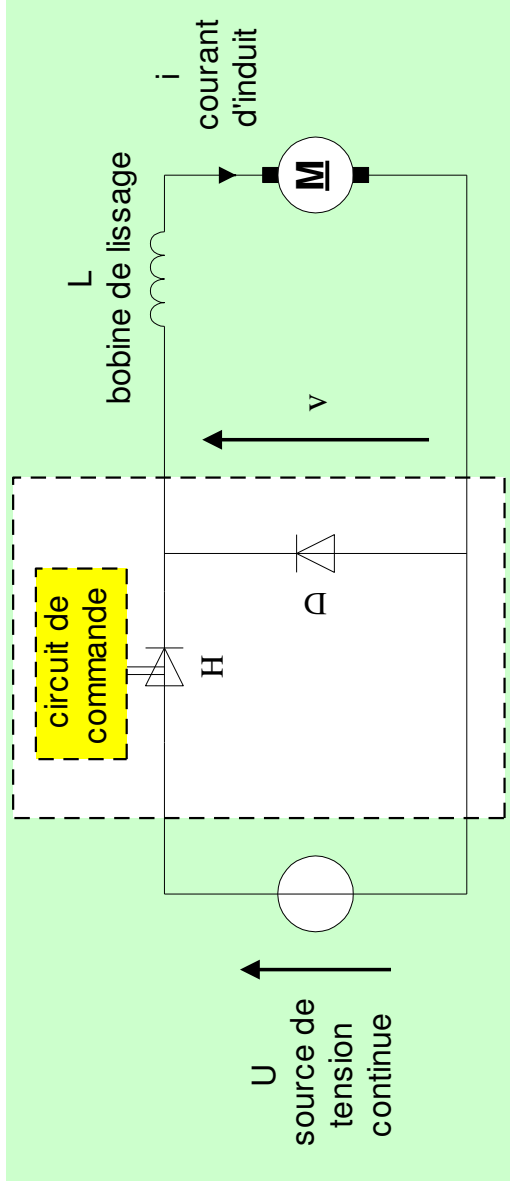
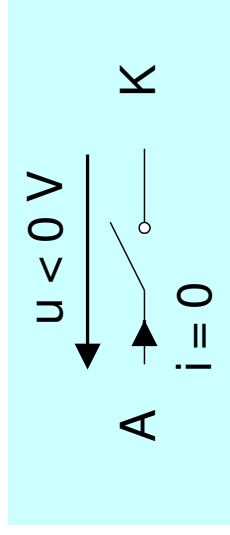
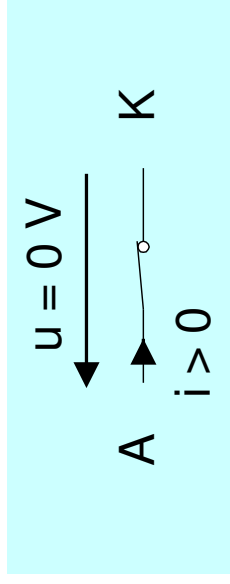
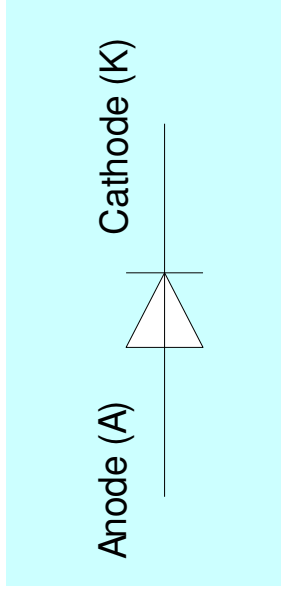


Fig. 2

- Rappel sur la diode (supposée idéale)

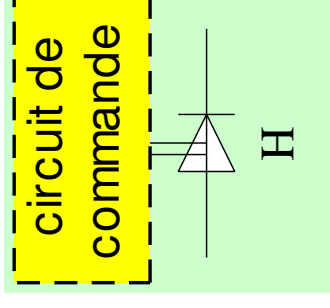
Diode passante (conductrice)  
 $\Leftrightarrow$  interrupteur fermé

Diode bloquée  
 $\Leftrightarrow$  interrupteur ouvert



• H est un interrupteur électronique :

- commandable à la fermeture
- commandable à l'ouverture
- unidirectionnel en courant



En pratique :

Fig. 3

- transistors bipolaires (NPN ou PNP), MOSFET
- thyristors GTO ...

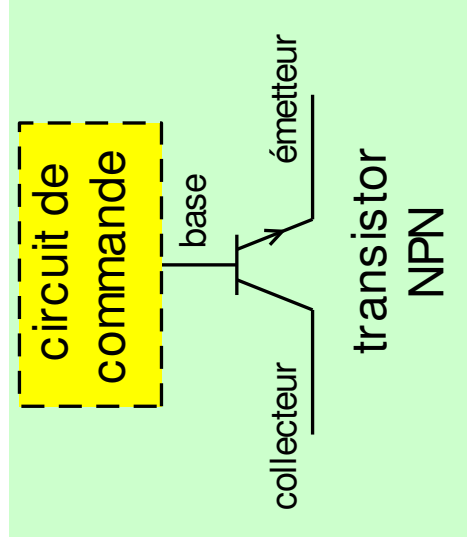


Fig. 4

H est commandé périodiquement :

- fermeture pendant une durée  $\alpha T$
- ouverture pendant une durée  $(1 - \alpha)T$

$\alpha$  est le rapport cyclique ( $0 < \alpha < 1$ ) :

$$\alpha = \frac{\text{durée de fermeture de H}}{T \text{ période de hachage}}$$

$f = 1 / T$  est la fréquence de hachage.

Le circuit de commande règle  $\alpha$  et  $T$ .

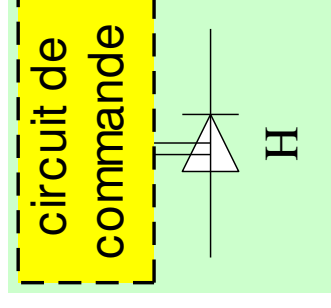


Fig. 3

- H fermé (H conduit) :

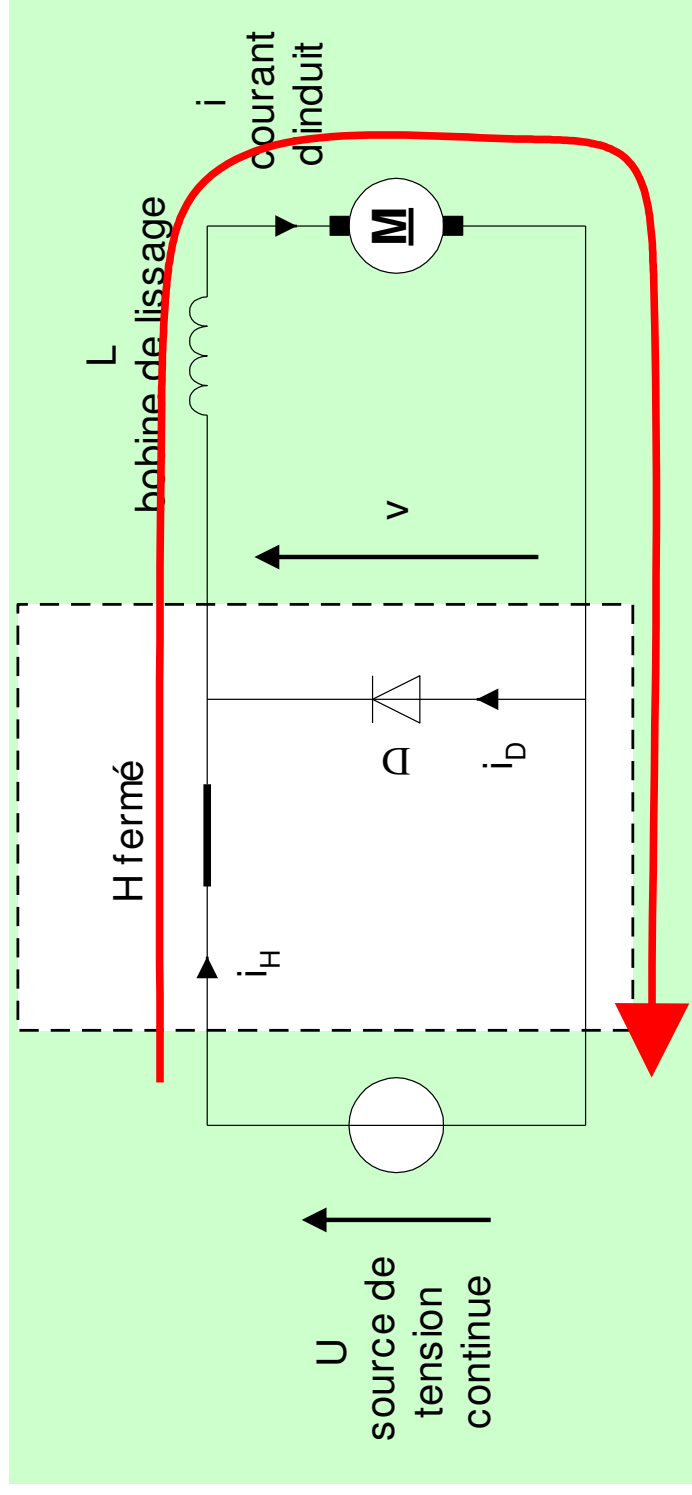


Fig. 5

$$v = U = 200 \text{ V}$$

$$i_D = 0 \text{ A (diode bloquée)}$$

$$i_H = i = 5 \text{ A}$$



- H ouvert

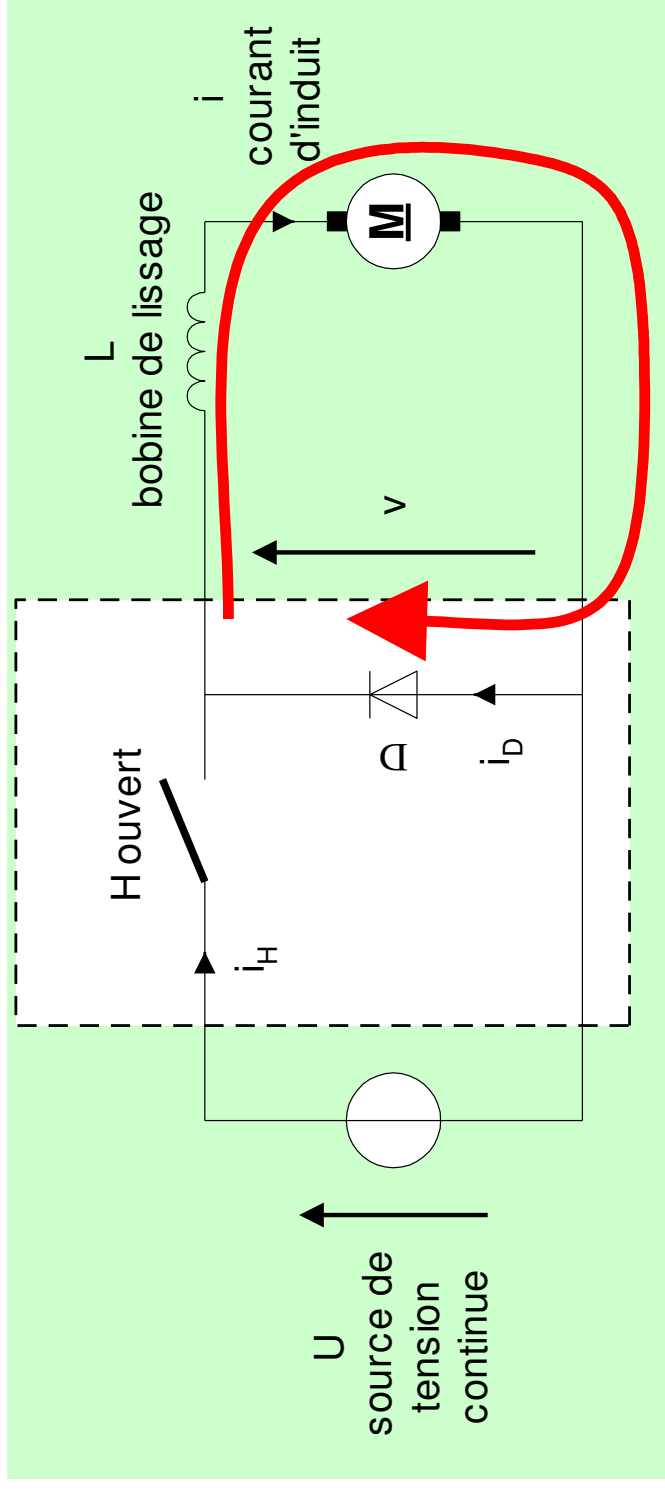


Fig. 6

$$i_H = 0 \text{ A}$$

$$i_D = i = 5 \text{ A}$$

$$v = 0 \text{ V (diode conductrice)}$$

D est une diode de « roue libre ».

Elle est nécessaire quand la charge est inductive, pour éviter l'interruption du courant  $i$  quand H s'ouvre.

- Chronogrammes

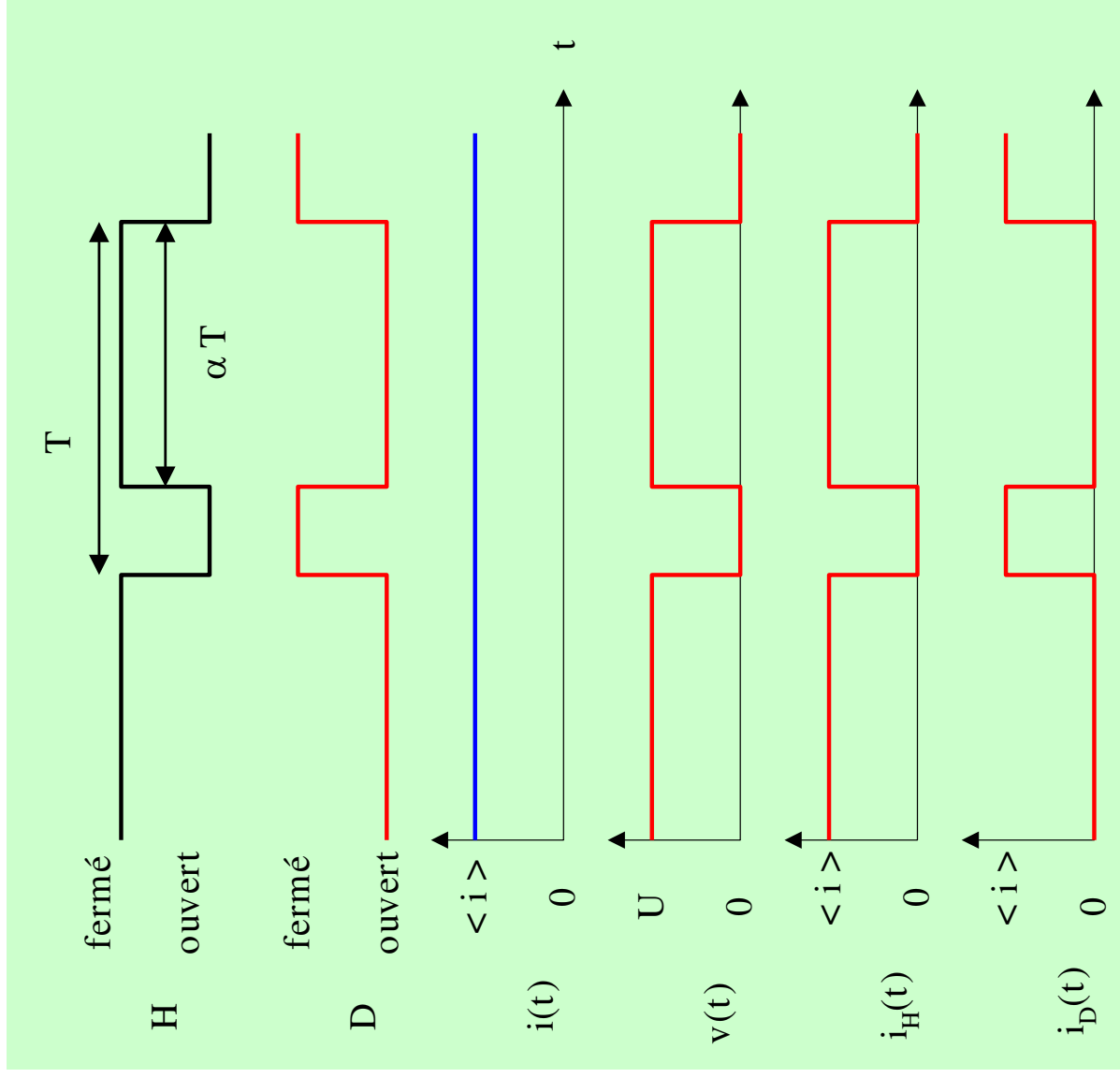


Fig. 7

A.N. Mesurer le rapport cyclique.

$$\alpha = 0,75$$

- Valeurs moyennes

$\langle v \rangle$  ?

Méthode des aires :

$$\langle v \rangle = \frac{\text{Aire}}{T} = \frac{\alpha T \times U}{T}$$

$$\langle v \rangle = \alpha U$$

$$\text{A.N. } \langle v \rangle = 0,75 \times 200 = 150 \text{ V}$$

$$\langle i_H \rangle = \alpha \langle i \rangle$$

$$\text{A.N.} \quad \langle i_H \rangle = 0,75 \times 5 = 3,75 \text{ A}$$

$$\langle i_D \rangle = (1 - \alpha) \langle i \rangle$$

$$\text{A.N.} \quad \langle i_D \rangle = (1 - 0,75) \times 5 = 1,25 \text{ A}$$

Remarque :

Loi des nœuds :

$$i(t) = i_H(t) + i_D(t)$$

$$\Rightarrow \langle i \rangle = \langle i_H \rangle + \langle i_D \rangle$$

- Valeur efficace  $V$  de la tension  $v$

Par définition :  $V = \sqrt{\langle v^2 \rangle}$

Méthode des aires :

$$\langle v^2 \rangle = \frac{\text{Aire}}{T} = \frac{\alpha T \times U^2}{T} = \alpha U^2$$

$$V = U\sqrt{\alpha}$$

A.N.

$$V = 200 \times \sqrt{0,75} = 173 \text{ V}$$

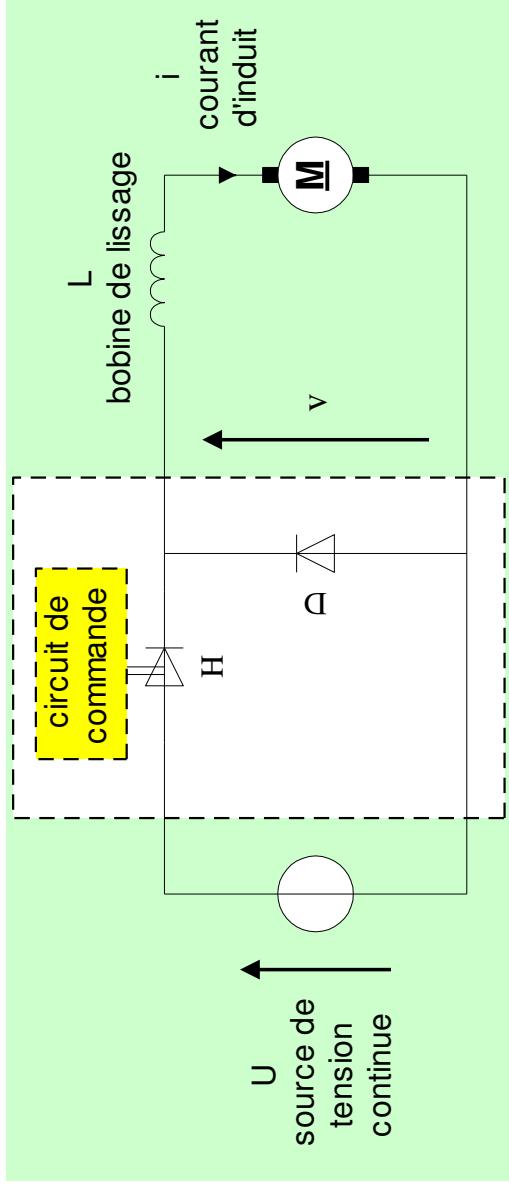


Fig. 2

- Puissance moyenne fournie par la source  $U$

$$\langle U \times i_H \rangle = U \langle i_H \rangle$$

$$\text{A.N. } 200 \times 3,75 = 750 \text{ W}$$

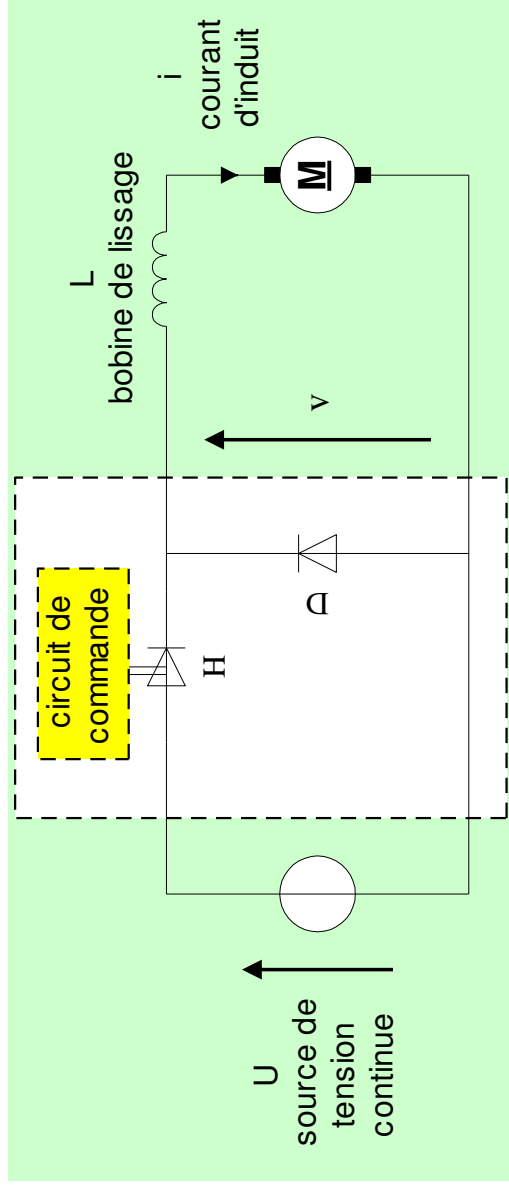


Fig. 2

- Puissance moyenne fournie à la charge

$$\langle V \times \dot{i} \rangle = \langle v \rangle \cdot i$$

$$\text{A.N. } 150 \times 5 = 750 \text{ W}$$

⇒ Rendement du hacheur : 100 %

C'est normal car on a supposé H et D parfaits.  
En pratique, le rendement est très bon. 😊

### 3- Application : commande de la vitesse d'un moteur à courant continu à excitation indépendante et constante

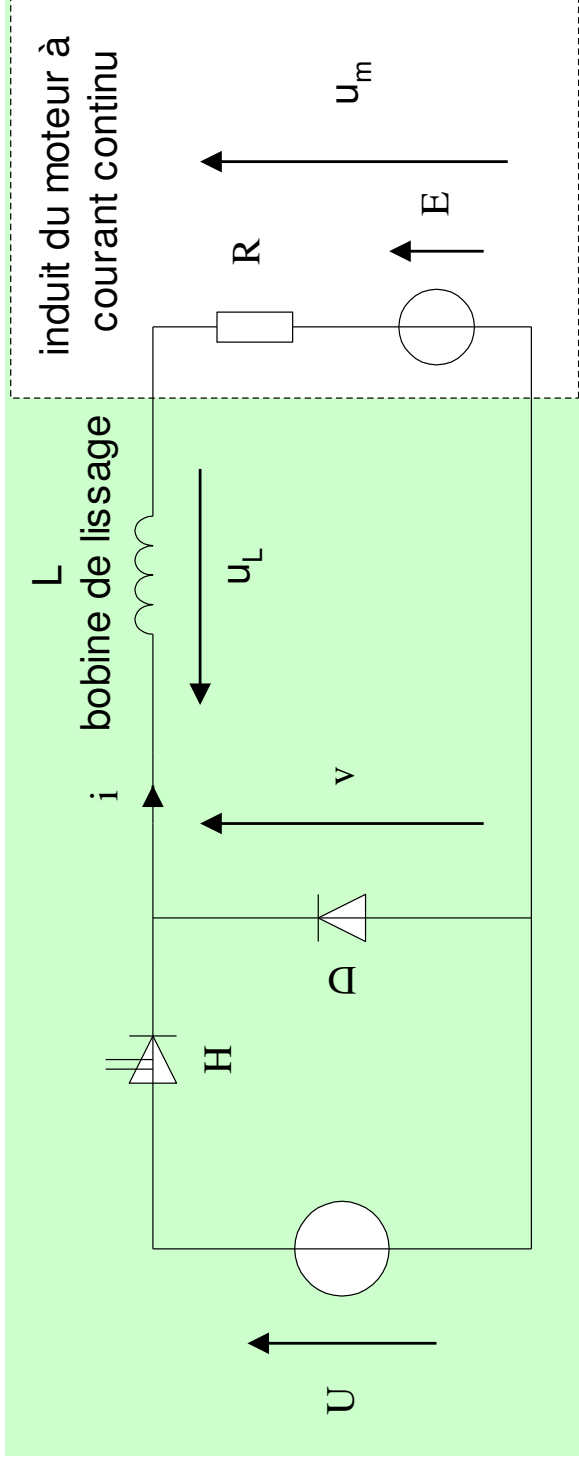


Fig. 8

f.e.m d'une machine à flux constant :

$$E(V) = k \times n \text{ (tr/min)}$$

On donne :

$$k = 0,16 \text{ V} \cdot \text{tr}^{-1} \cdot \text{min}$$

Résistance de l'induit :  $R = 4 \Omega$



$$v(t) = u_L(t) + u_m(t)$$

$$\Rightarrow \langle v \rangle = \langle u_L \rangle + \langle u_m \rangle$$

La tension moyenne aux bornes d'une bobine pure parcourue par un courant périodique est nulle :

$$\langle u_L \rangle = \langle L \cdot \frac{di}{dt} \rangle = 0 \text{ V}$$

$$\langle u_m \rangle = \langle v \rangle = \alpha U$$

$$\text{A.N. } \alpha = 0,75$$

$$\langle u_m \rangle = 0,75 \times 200 = 150 \text{ V}$$

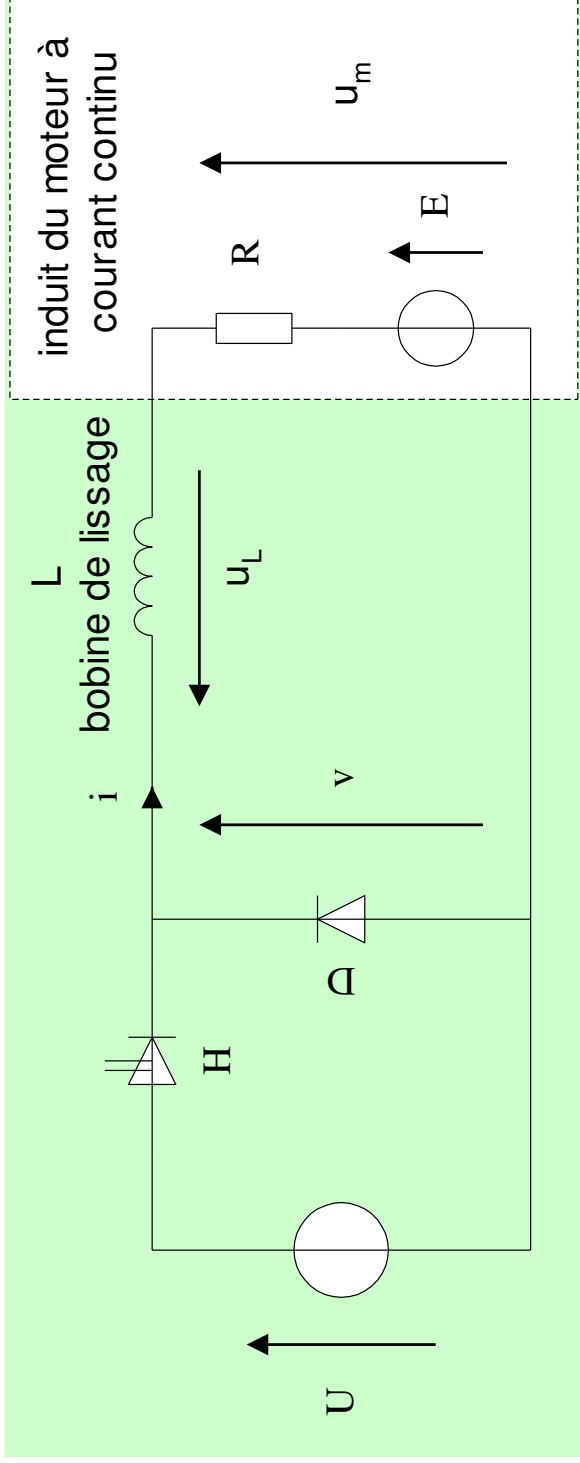


Fig. 8

D'autre part :

$$u_m(t) = E + Ri(t)$$

$$\Rightarrow \langle u_m \rangle = E + R \langle i \rangle$$

A.N. On donne :  $\langle i \rangle = 5 \text{ A}$

$E ?$

$$E = 150 - 4 \times 5 = 130 \text{ V}$$

$n ?$

$$n = E / k = 130 / 0,16 = 812,5 \text{ tr/min}$$

A.N. Le rapport cyclique est maintenant  $\alpha = 0,5$ .

Calculer  $\langle u_m \rangle$ .

En déduire  $E$  puis  $n$ .

On donne :  $\langle i \rangle = 5 \text{ A}$  (couple résistant supposé constant)

$$\langle u_m \rangle = \alpha U = 0,5 \times 200 = 100 \text{ V}$$

$$E = 100 - 4 \times 5 = 80 \text{ V}$$

$n$  ?

$$n = E / k = 80 / 0,16 = 500 \text{ tr/min}$$

- Conclusion

En agissant sur le rapport cyclique  $\alpha$  du hacheur, on règle la vitesse de rotation. 😊

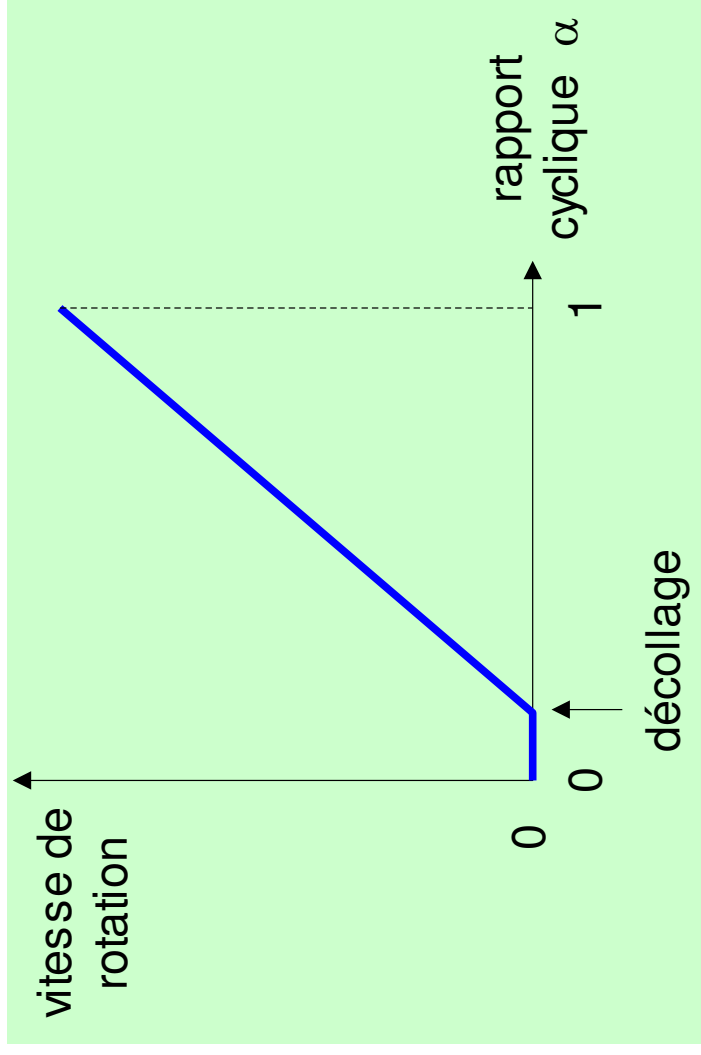


Fig. 9

A.N. Montrer que :  $n$  (en tr/min) =  $1250\alpha - 125$

$$\langle u_m \rangle = E + R \langle i \rangle$$

$$\alpha U = kn + R \langle i \rangle$$

$$n = \frac{\alpha U - R \langle i \rangle}{k} = \left( \frac{U}{k} \right) \alpha - \frac{R \langle i \rangle}{k}$$

$$= \left( \frac{200}{0,16} \right) \alpha - \frac{4 \times 5}{0,16} = 1250\alpha - 125$$

Calculer n pour  $\alpha = 0,2$ .

$$n = 1250 \times 0,2 - 125 = 125 \text{ tr/min}$$

Quel doit être le rapport cyclique pour démarrer le moteur ?

$$n = 0 \Rightarrow \alpha_{\min} = 125 / 1250 = 0,1$$

## 4- Ondulation du courant

En réalité,  $i$  n'est jamais complètement constant. 😞

Si l'inductance de lissage est suffisamment grande ( $L/R \gg T$ ) alors :

- conduction ininterrompue ( $i$  ne s'annule jamais)
- ondulation du courant  $i$  de forme triangulaire

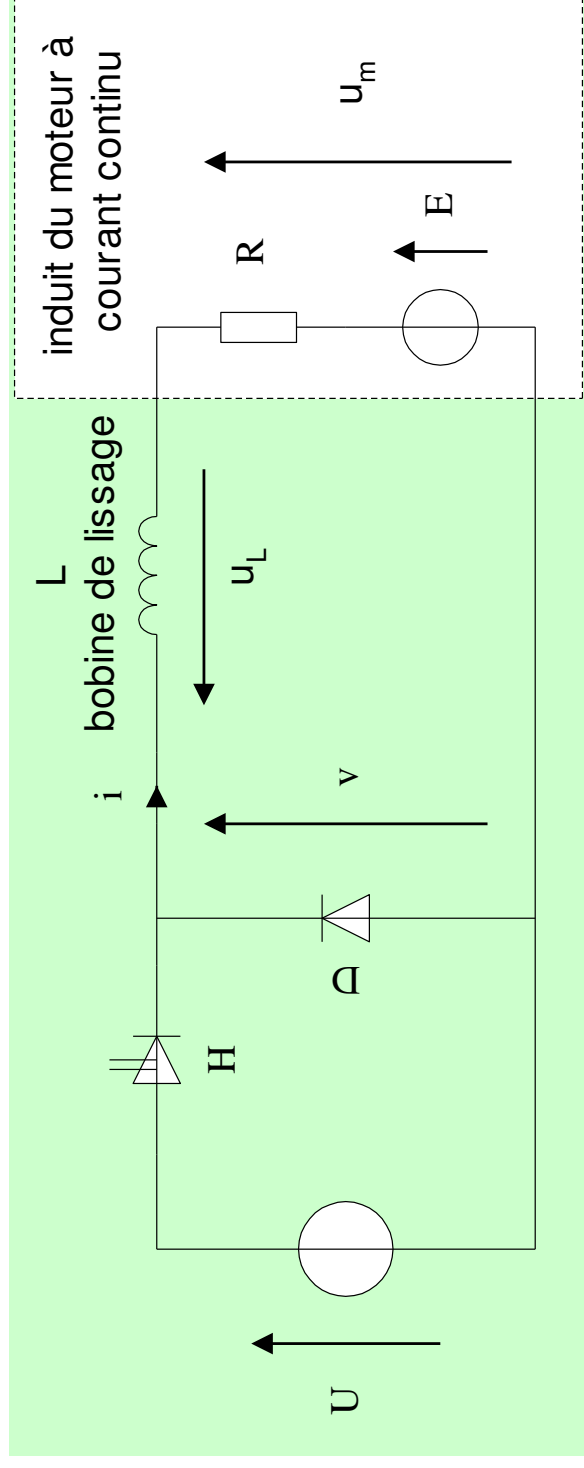


Fig. 8

- Oscillogrammes

Voie 1 :  $v(t)$

Voie 2 : on utilise une pince ampèremétrique de sensibilité 100 mV/A pour visualiser le courant  $i(t)$ .

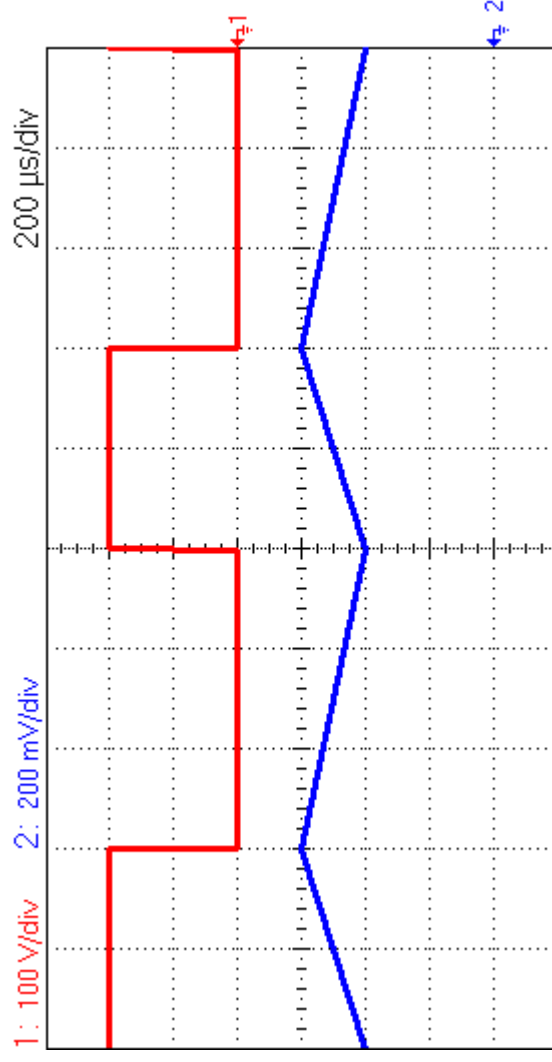


Fig. 10

A.N.

Fréquence de hachage ?

Rapport cyclique ?

$\langle v \rangle$  ?

$i_{\max}$  ?

$i_{\min}$  ?

Ondulation  $\Delta i$  ?

$\langle i \rangle$  ?

$T = 1 \text{ ms}$   
 $f = 1 \text{ kHz}$   
 $\alpha = 0,4$   
 $\langle v \rangle = 0,4 \times 200 = 80 \text{ V}$   
 $i_{\max} = 6 \text{ A}$   
 $i_{\min} = 4 \text{ A}$

$$\Delta i = \hat{i} - \check{i} \quad \Delta i = 2 \text{ A}$$

Pour un signal triangulaire :

$$\langle i \rangle = \frac{\hat{i} + \check{i}}{2}$$

$$\langle i \rangle = 5 \text{ A}$$



- Ondulation

$$\Delta i = \frac{\alpha(1-\alpha)U}{L \cdot f}$$

A.N.

Calculer l'inductance de lissage L.

$$L = \frac{\alpha(1-\alpha)U}{f \cdot \Delta i} = \frac{0,4(1-0,4)200}{1000 \times 2} = 24 \text{ mH}$$

Que fait l'ondulation si on augmente la fréquence de hachage ?

L'ondulation diminue. 😊

- Chronogrammes

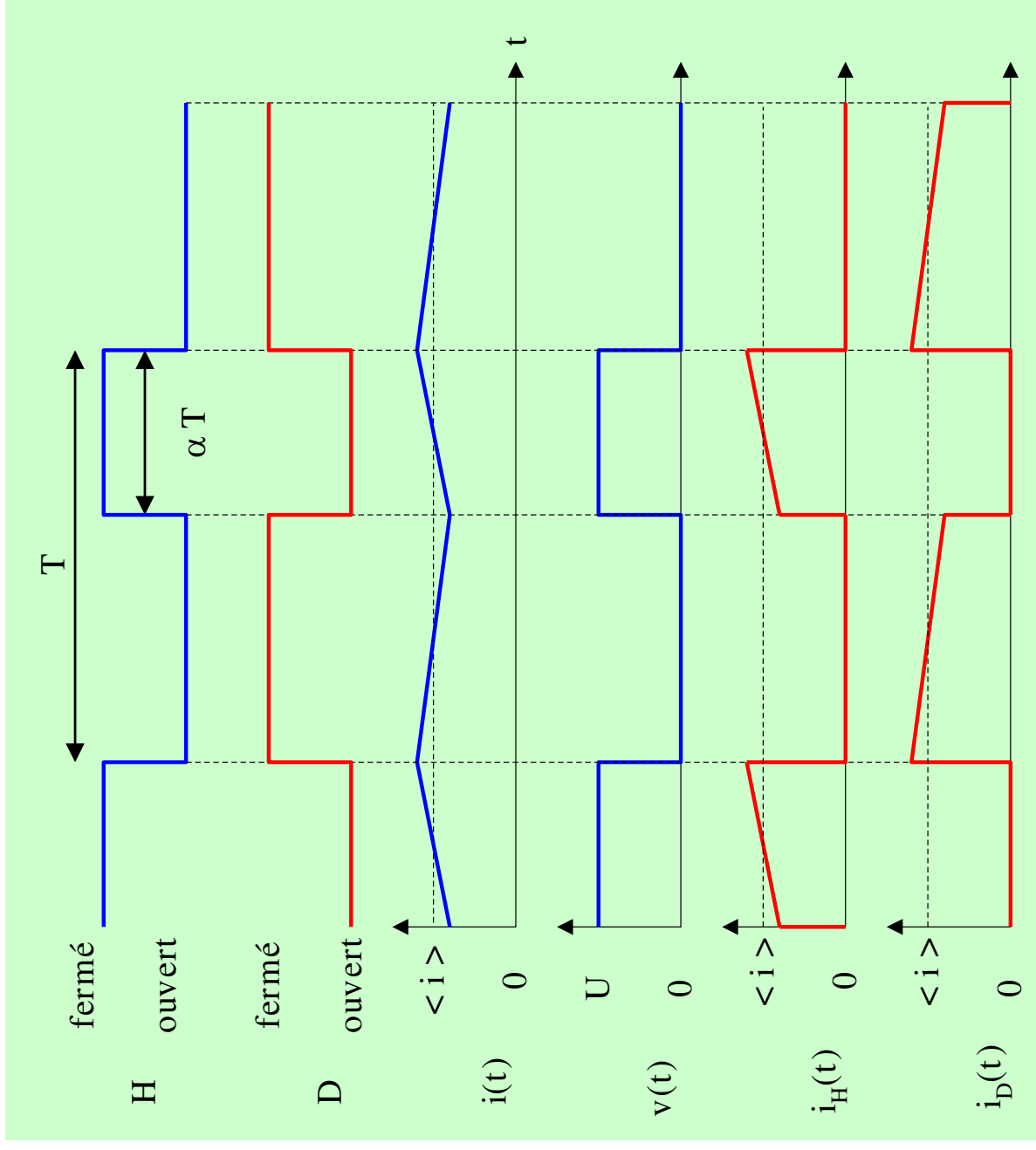


Fig. 11

A.N.

$$\langle i_H \rangle = ?$$

$$\langle i_D \rangle = ?$$

$$\langle i_H \rangle = \alpha \langle i \rangle$$

$$\text{A.N. } 0,4 \times 5 = 2 \text{ A}$$

$$\langle i_D \rangle = (1 - \alpha) \langle i \rangle$$

$$\text{A.N. } (1 - 0,4) \times 5 = 3 \text{ A}$$