

Electrotechnique : alimentation et machines

Partie 2. Convertisseurs

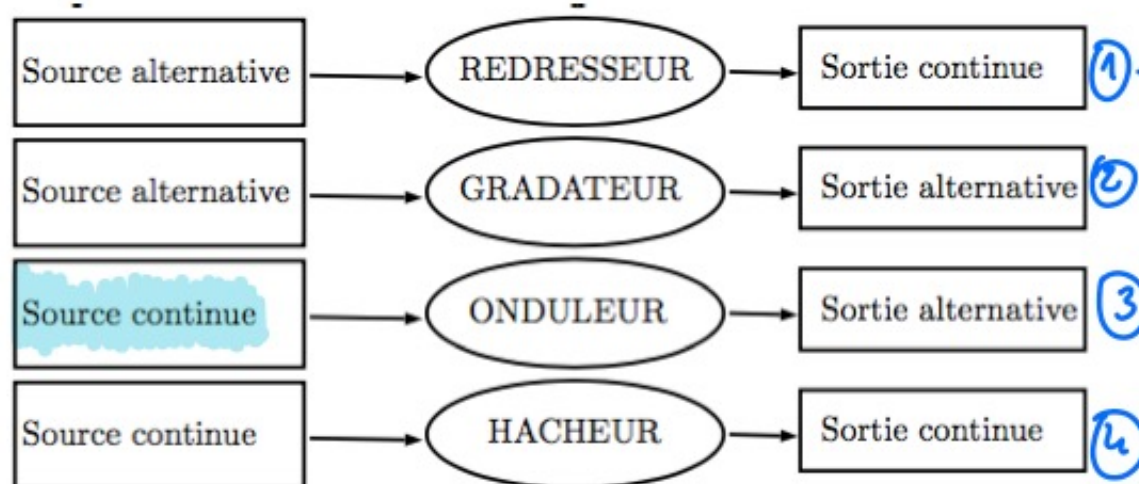
Olivier Gras

CPGE PSI / L3 GECCLEERE



2.B Convertisseur

Qu'est-ce qu'une conversion ?

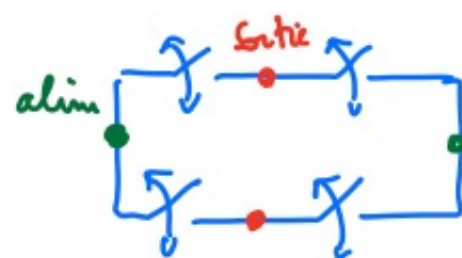


②

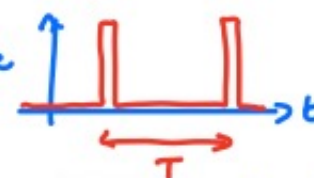
③

④

↓ méthode du pont avec 4 interrupteurs



commande de chaque interrupteur
↓
tension externe

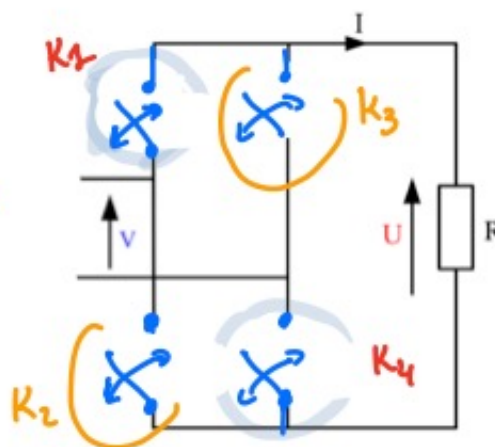


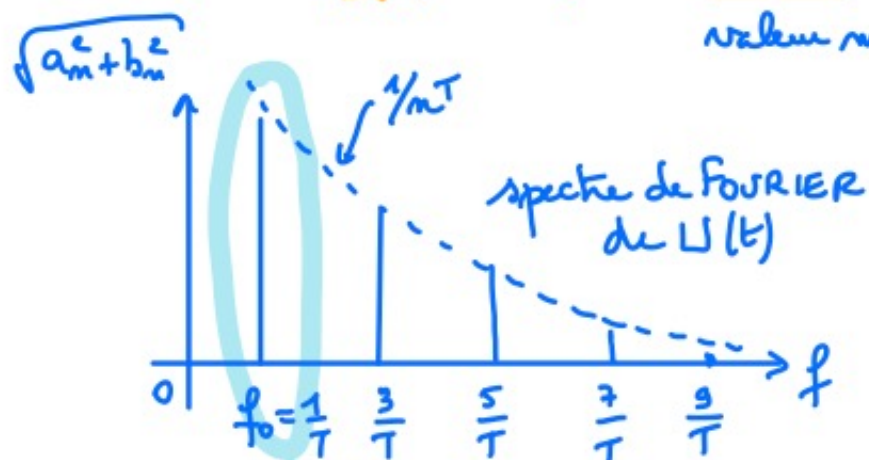
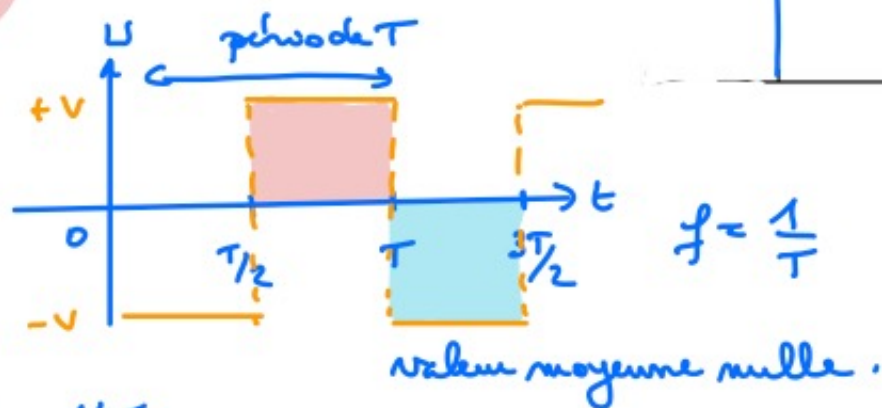
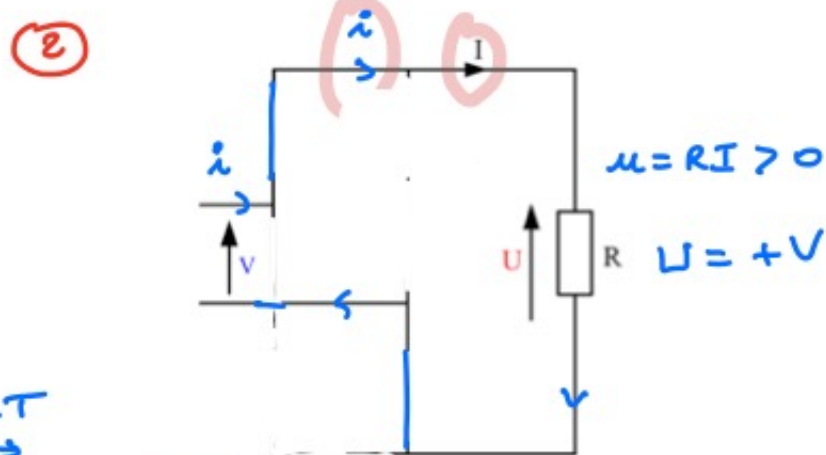
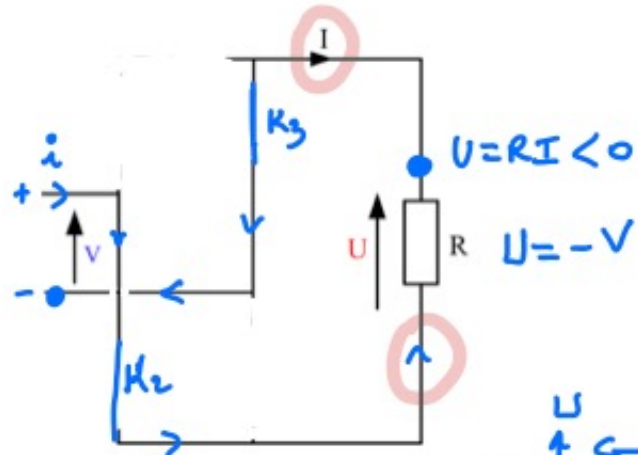
choix d'alimentation externe de contrôle :

① $\begin{cases} K_1 \text{ et } K_4 \text{ ouverts} \\ K_2 \text{ et } K_3 \text{ fermés} \end{cases}$
pendant $\frac{T}{2}$

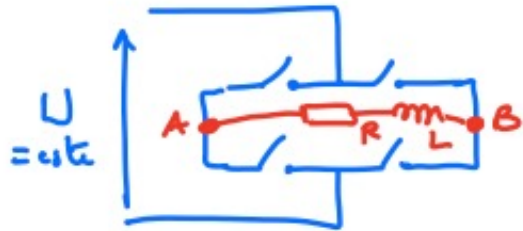
et ② $\begin{cases} K_1 \text{ et } K_4 \text{ fermés} \\ K_2 \text{ et } K_3 \text{ ouverts} \end{cases}$
pendant $\frac{T}{2}$ à la suite

$V = U_{\text{batterie}}$
(batterie)





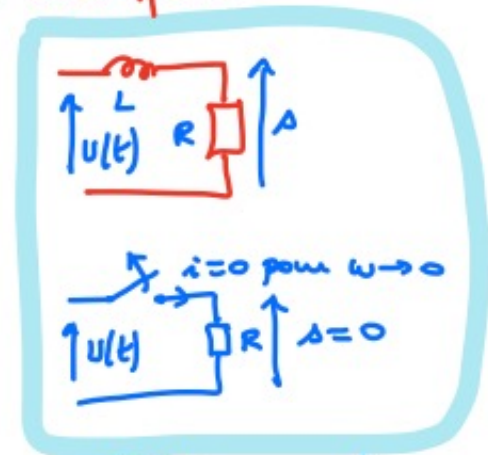
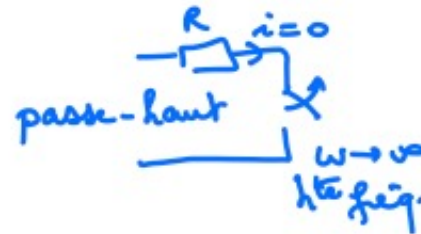
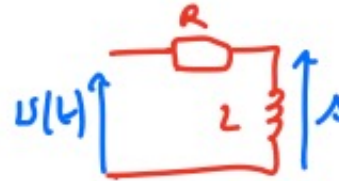
pour alimenter avec $f_0 = 50 \text{ Hz}$ un app. élec,
on voudrait du sinusoïdal donc 1 seul pic.



$$V_A - V_B = RI = U(t).$$

ajout de $L \Rightarrow$ circuit RL filtre

$$Z_L = j\omega L$$



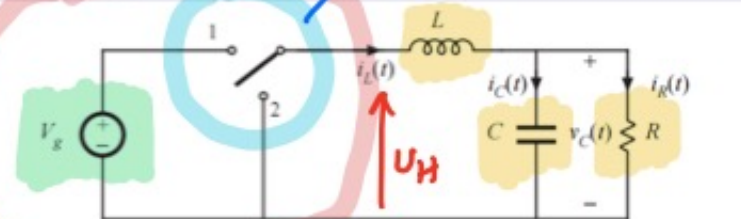
Filtre passe-bas



2.B Convertisseur

2.7 hacheur série

Hacheur série : principe

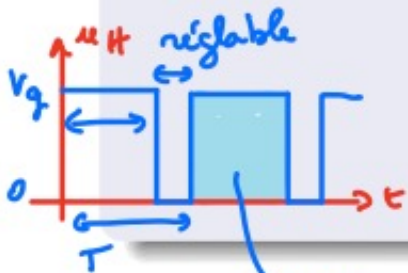


interrupteur à 2 positions.

C est optionnel (lissage en tension).



on choisit u_H entre 2 valeurs : 0 ou V_g

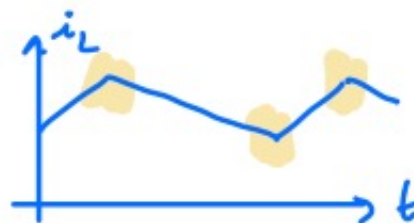


Utilisation d'interrupteurs commandés ou non.

Source : continu constant.

Sortie : quasi-continu réglable.

c'est un % de puissance transmis à la "charge" R



la branche qui contient L va avoir un courant i_L qui sera continu (sens : non discontinu).



R est ensuite remplacé par le rotor d'un moteur élec.

exemple: MCC (moteur à courant continu) $\Rightarrow \Omega = K \times i_R$
 $\uparrow$ rad.s⁻¹

donc si $\left| \begin{array}{l} C \text{ absent} \\ L \text{ absent} \end{array} \right.$

$$\Rightarrow u_R = u_H$$



donc Ω va varier brutalement

R+L



$\Rightarrow$ effets sur le moteur et une irrégularité !

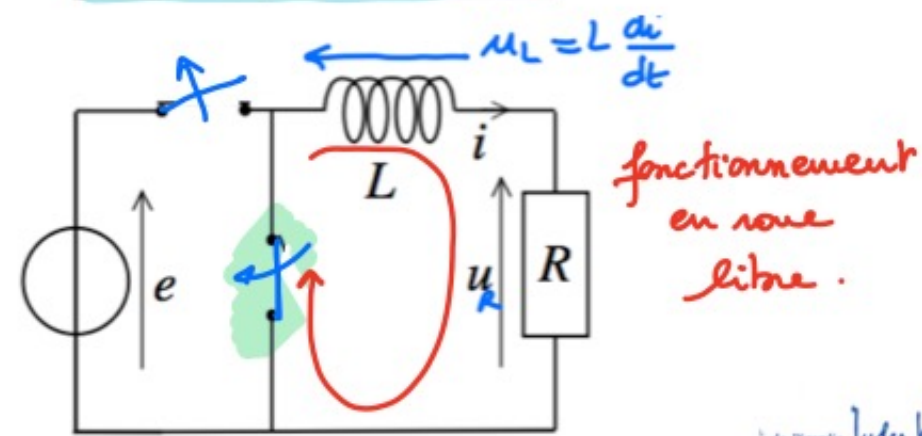
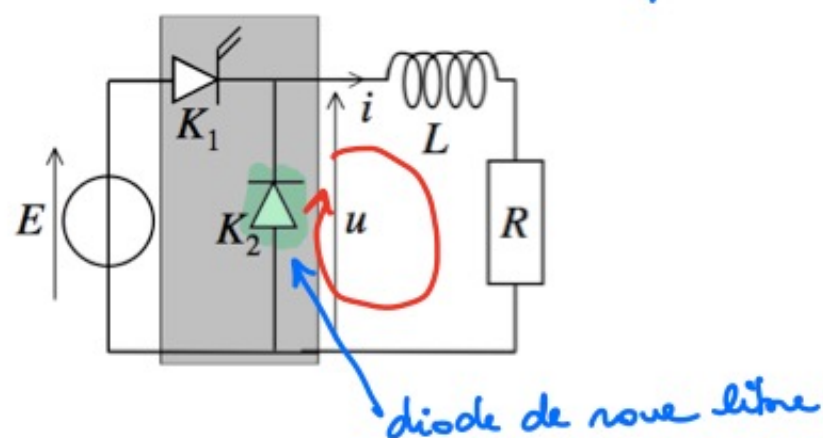
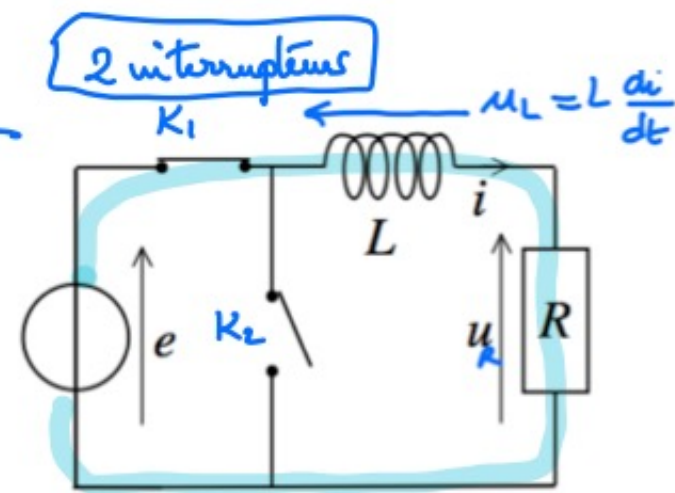
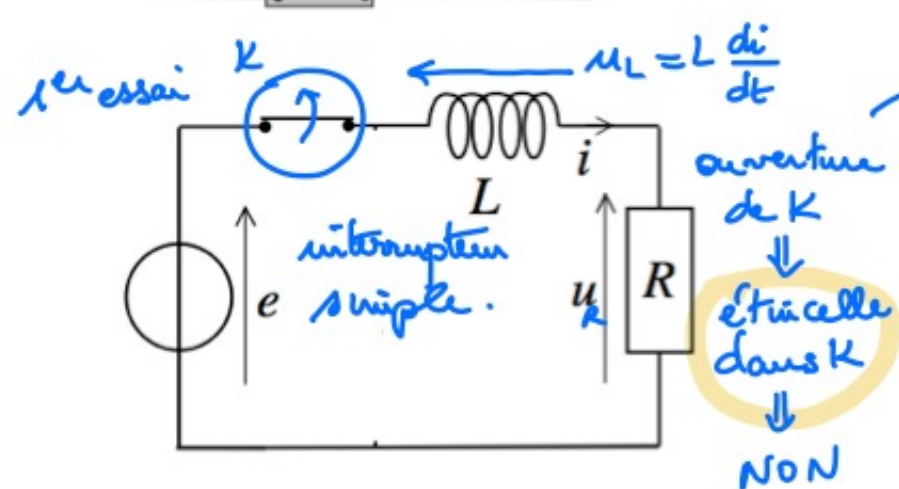
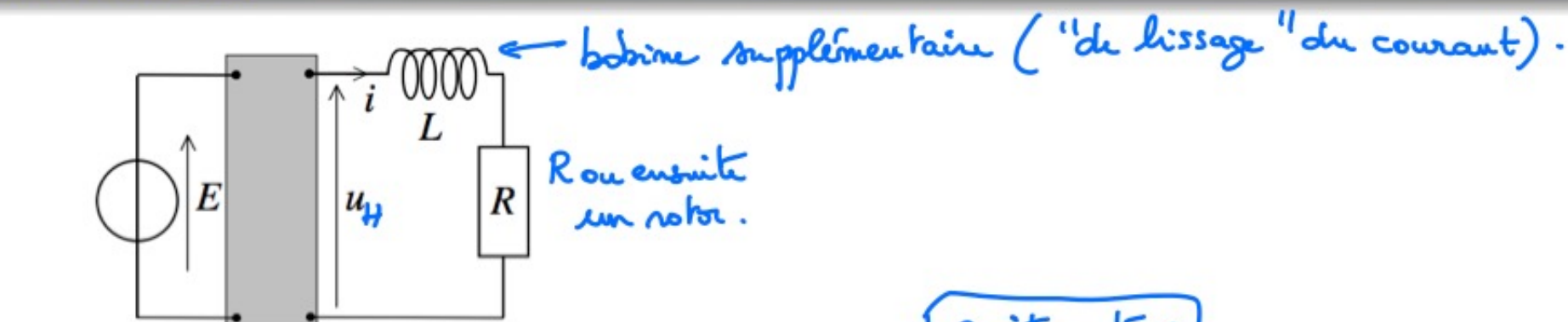
donc L est nécessaire dans les hacheurs.

hacheur "survolteur" 3,6V $\rightarrow$ 5V



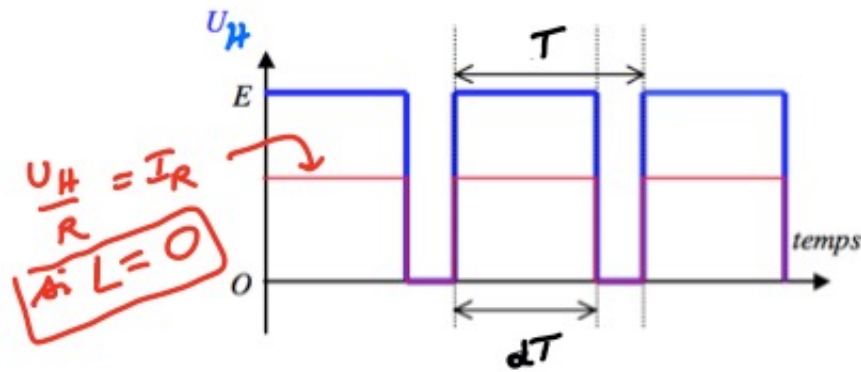
2.B Convertisseur

2.7 hacheur série



2.B Convertisseur

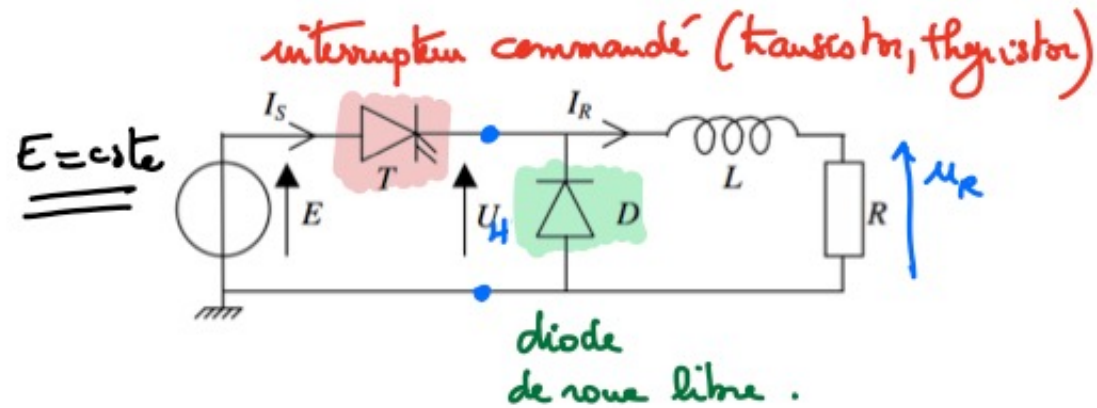
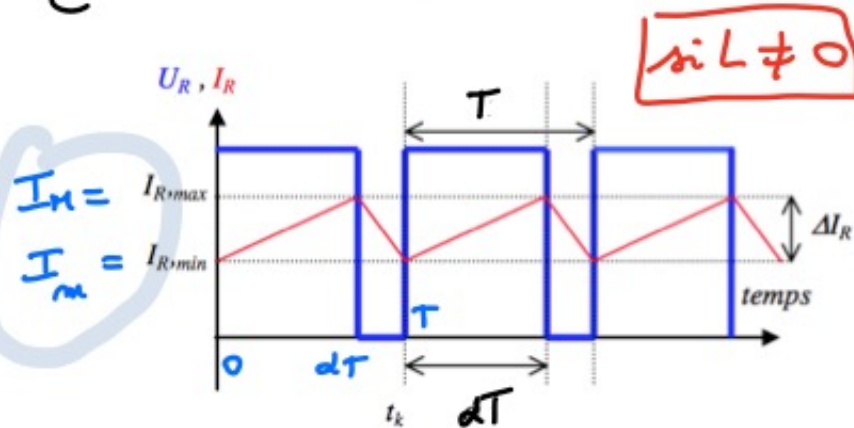
2.7 hacheur série



d : mtrc ; $\alpha \in [0,1]$

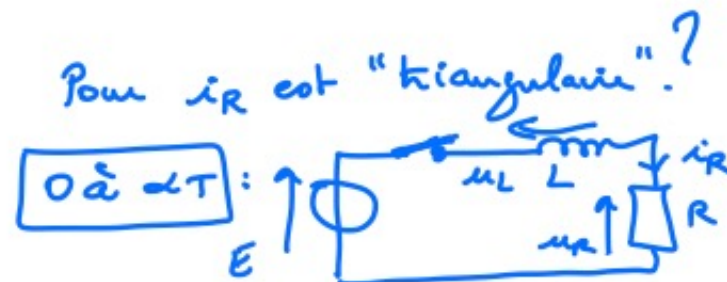
α est le % du tps (sur une période) où le géné E alimente R .

$1-\alpha$: — % — où R n'est pas alimentée.



$u_H = u_D$

"hache" diode



$$E = u_L + u_R$$

$$E = L \frac{di}{dt} + Ri$$

$$\hookrightarrow \frac{E}{L} = \frac{di}{dt} + \frac{R}{L} i \quad \text{et} \quad \left[\frac{di}{dt} \right] = \left[\frac{i}{L/R} \right]$$

dont la solution est $\begin{cases} i(t) = a e^{-t/\tau} + \frac{E}{R} \\ \text{avec } i(0) = I_m \end{cases}$ avec $\tau = \frac{L}{R}$

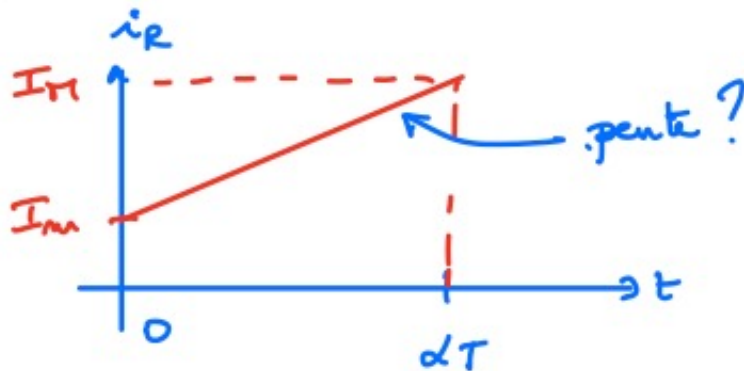
résolue Eq. diff. $\uparrow$

Rem pourquoi cette forme convient ?

$$\frac{di}{dt} = -\frac{a}{\tau} e^{-t/\tau} + 0$$

car $\left[\frac{d}{dt} e^{mt} = m e^{mt} \right]$
ici $m = -\frac{1}{\tau}$

donc $\left[\frac{di}{dt} + \frac{R}{L} i = -\frac{a}{\tau} e^{-t/\tau} + \frac{R}{L} a e^{-t/\tau} + \frac{E}{R} \right]$
 $= -\frac{aR}{L} e^{-t/\tau} + \frac{Ra}{L} e^{-t/\tau} + \frac{E}{R} = 0 + \frac{E}{R}$



$$i_R(t) = b t + c$$

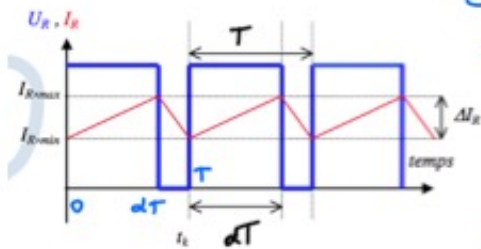
$$\begin{cases} t=0 : i_R = I_m \\ t=\alpha T : i_R = I_n \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} I_m = c \\ I_n = b \alpha T + c \end{cases}$$

$$I_n - I_m = \alpha b T$$

$$\frac{I_n - I_m}{\alpha T} = b$$

pente: $\frac{di_R}{dt} = \frac{I_n - I_m}{\alpha T - 0}$
 $\uparrow$
 droite

$\Rightarrow$ Expression de la pente en fonction de α , de E et de R ?



On va utiliser les caract de l'objectif
recherché: i_R sera dans le rotor donc
 $\mathcal{R} = K \cdot i_R$ doit être constant
(ou du moins fluctuer peu).



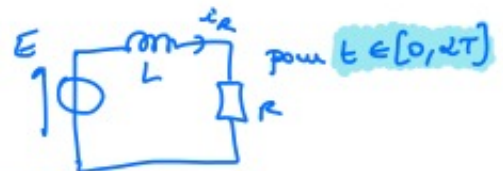
donc $\underline{I_R} \simeq \langle I_R \rangle$

donc l'éq. élc $R \dot{i}_R + L \frac{di_R}{dt} = E$ sur $t \in [0, dT]$

donc $\frac{d\varphi_R}{dt} \approx \frac{E - R \langle i_R \rangle}{L}$ qui est la pente b

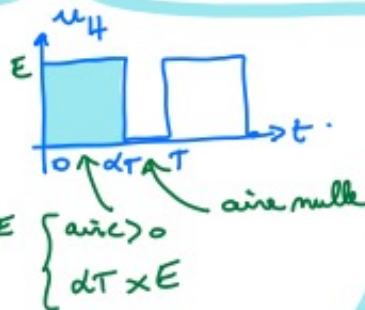
Preis $\langle i_R \rangle = ?$

on regarde $R\langle i_R \rangle = \langle Ri_R \rangle = \langle u_R \rangle$



done $\mu_L = E - R \mu_R$
done $\langle \mu_L \rangle = \langle E \rangle - \langle \mu_R \rangle$ sur $t \in [0, T]$

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

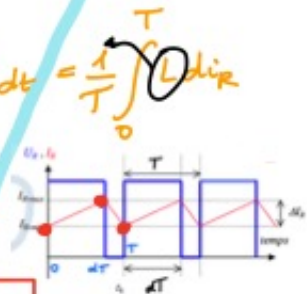


donc $\langle \mu_H \rangle = \frac{\alpha T E}{T} = \alpha E$

oder $\langle u_L \rangle$? $\langle u_L \rangle = \frac{1}{T} \int_0^T u_L dt = \frac{1}{T} \int_0^T L \frac{d\varphi}{dt} dt = \frac{1}{T} \int_0^T L d\varphi$

donc $\langle u \rangle = \frac{1}{T} \left(\overset{\text{Im}}{i_R(T)} - \overset{\text{Im}}{i_R(0)} \right)$

$\Rightarrow \langle \mu_L \rangle = 0$ $\frac{d}{d\alpha}$ $\langle \mu_R \rangle = \alpha E$



En résumé :

$$\begin{cases} \langle u_L \rangle = 0 \\ \langle u_R \rangle = \alpha E \\ \langle i_R \rangle = \frac{\alpha E}{R} \end{cases} \quad \text{et rotor : } \Omega = K \langle i_R \rangle = \frac{K \alpha E}{R}$$

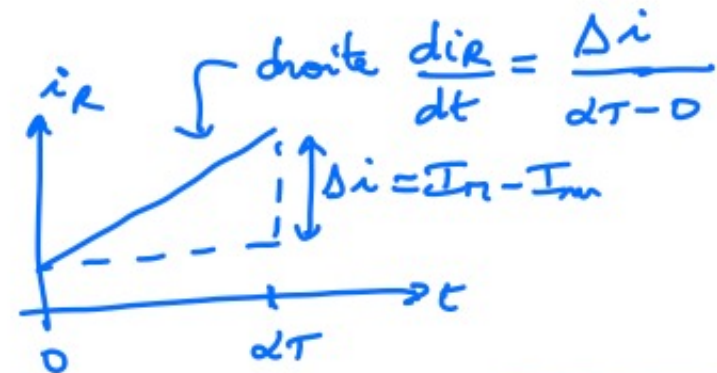
donc la commande de α va contrôler le Ω du rotor d'un moteur.

On vérifie à quelles conditions cela fonctionne

On a supposé : $(\Delta i) \ll \langle i_R \rangle$.

On a vu :

$$\boxed{\frac{di_R}{dt} \approx \frac{E - R \langle i_R \rangle}{L}} \quad \text{pour } t \in [0, \alpha T]$$

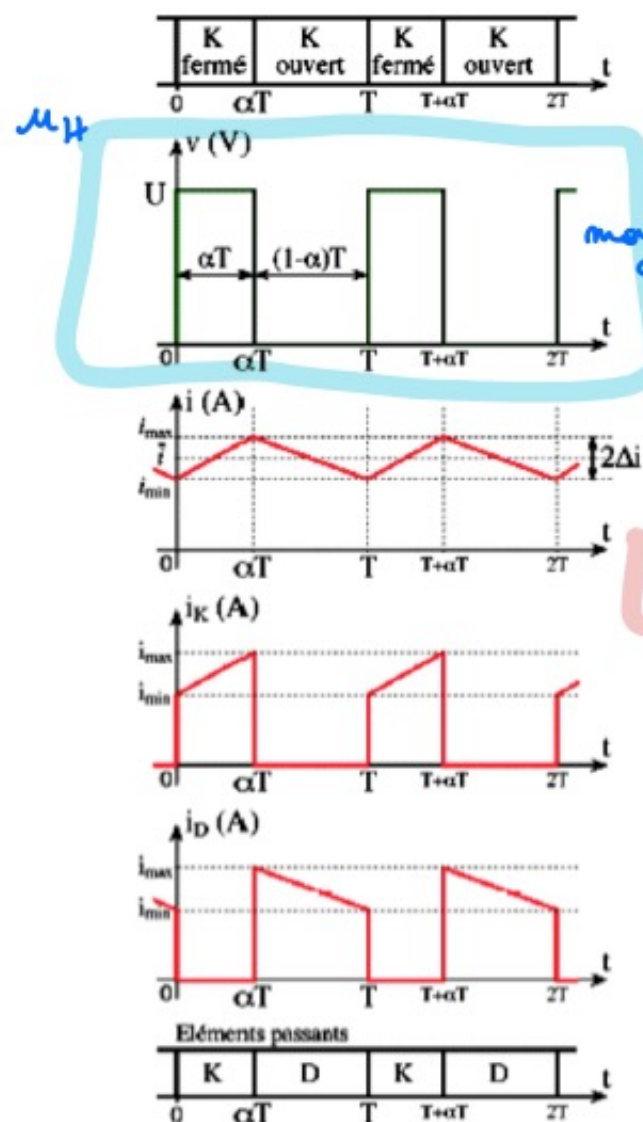


donc $\boxed{\Delta i = \alpha T \times \frac{E - \langle u_R \rangle}{L} = \alpha T \times \frac{E - \alpha E}{L} = \frac{E(1-\alpha)\alpha T}{L}}$

donc on veut Δi petit $\Rightarrow L$ grand et $f = \frac{1}{T}$ grande

2.B Convertisseur

2.7 hacheur série



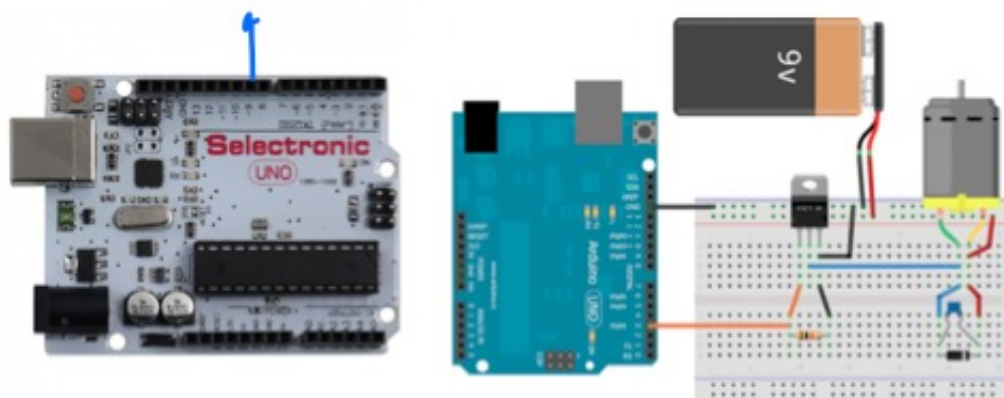
⚠ il faut $f = \frac{1}{T}$ grande
 moy: $\underline{\underline{2U < U}} \Rightarrow$ "fréquence élevée de hachage"

$f \approx 10 \text{ kHz} \text{ à } 1 \text{ MHz}$.

circuit: RL

hacheur "dévolteur"
 HACHEUR SERIE

commande de α



Carte Arduino exploitant la sortie PWM

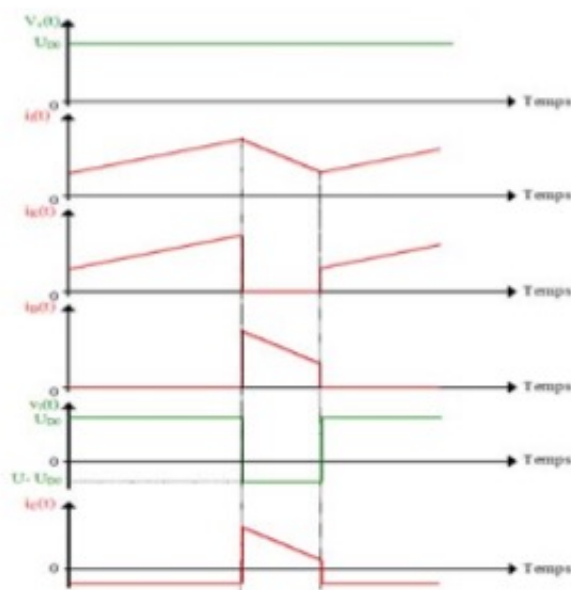
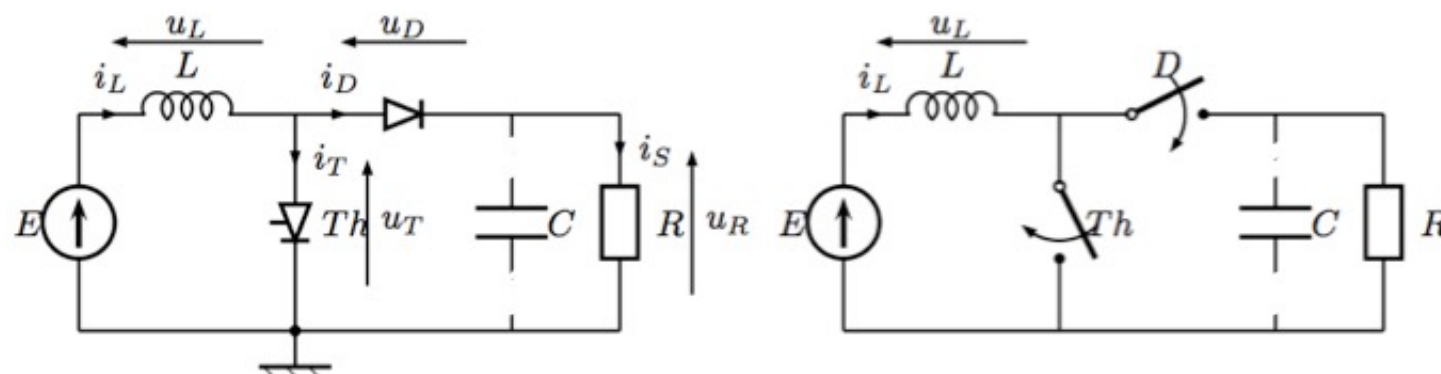
2.B Convertisseur

2.8 hacheur parallèle

AUTRE HACHEUR $\Rightarrow$ parallèle ou SURVOLTEUR

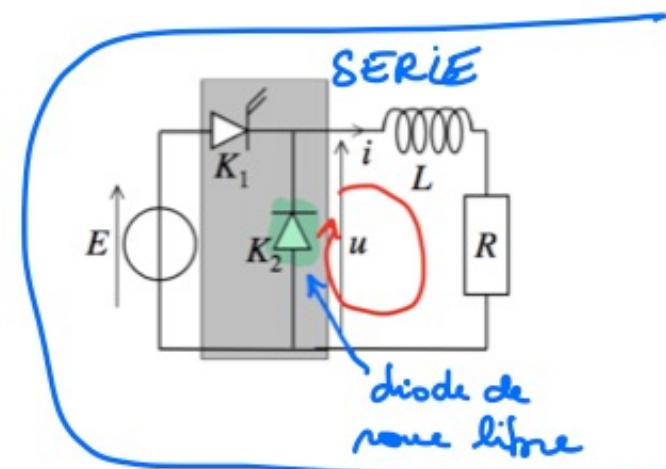
Hacheur parallèle : différence

Attention à la position de la bobine et à l'inversion des interrupteurs



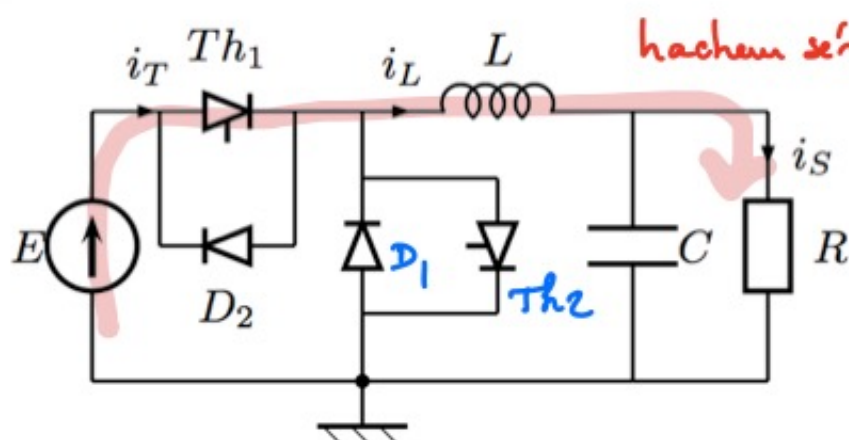
$\langle u_R \rangle$ supérieur à $E \Rightarrow$ "SURVOLTEUR".

On montre que
 $\langle u_R \rangle = \frac{E}{1-d} > E$



Hacheur série + parallèle : réversibilité en courant

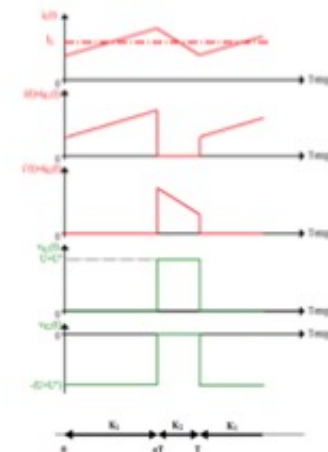
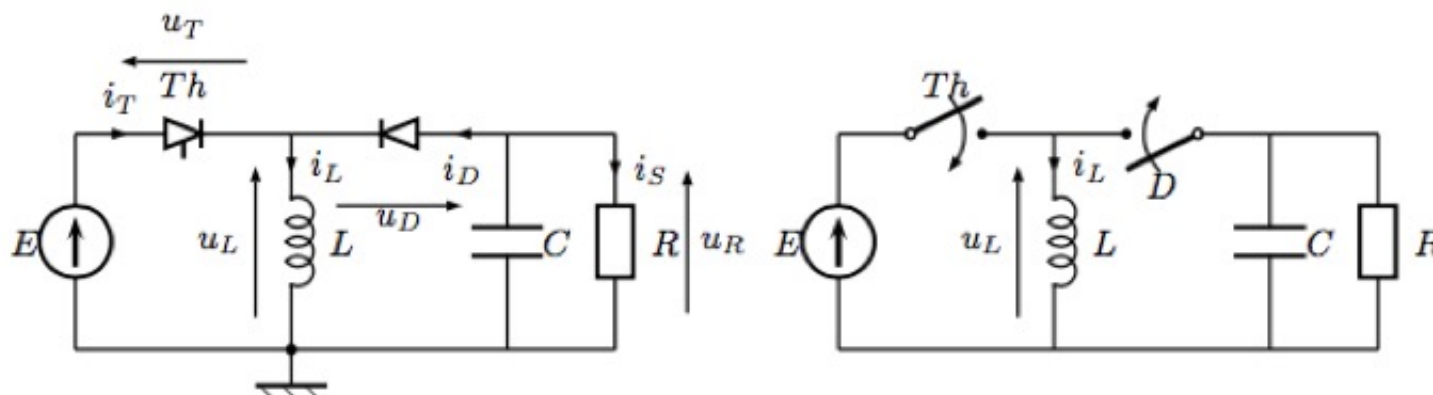
Un courant peut circuler du moteur vers le générateur (batterie rechargeable)



hacheur série $\rightarrow$ on fournit de l'énergie au rotor.

mais / décélération / descente $\Rightarrow$ Moteur = génératrice.
de l'énergie peut retourner à la batterie E grâce à D_2
et ça peut être régulé grâce Th_2

Hacheur à stockage inductif



Hacheur à stockage capacitif

