

Figure 22: Hacheur réversible en tension (modulation $+E$ 0, $-E$ 0)
Caractéristique de charge.

Exemple :

Un exemple d'application est le freinage avec récupération d'énergie d'un moteur de traction à courant continu.

En phase de traction, l'interrupteur T_2 est conducteur en permanence et le contrôle de la puissance électrique fournie au moteur est assurée par la commutation cyclique de la cellule (T_1, D_1).

Une phase de freinage comporte les opérations suivantes :

- 1/ blocage de l'élément T_1 , le courant i_c s'annule
- 2/ blocage de l'élément T_2 (ou inversion du commutateur électromécanique)
- 3/ inversion de la polarité d'alimentation de l'inducteur du moteur, d'où inversion de la f.e.m.
- 4/ amorçage et commande cyclique de l'interrupteur T_1 , avec contrôle du courant $i_{c \text{ moy}}$ qui impose le couple résistant de freinage.

7-2/ Modulation +E -E

Ce mode de modulation utilise systématiquement la structure en pont du montage: Il ne fait pas appel à la séquence de roue libre, mais alterne les deux séquences actives obtenues par croisement des connexions de l'entrée et de la sortie (S 3-2-2). Les interrupteurs T_1 et T_2 sont alors commandés simultanément à l'amorçage et au blocage (figure 23a).

Il n'y a pas lieu de distinguer deux cas de fonctionnement suivant le sens d'échange de la puissance moyenne puisque celui-ci est lié au signe de $V_{c \text{ moy}}$ qui varie continuellement entre +E et -E:

$$V_{c \text{ moy}} = \alpha E \quad \text{avec } \alpha = (t_f - t_o)/T$$

t_f : temps de conduction de T_1 et T_2 t_o : temps de conduction de D_1 et D_2

Si $t_f > t_o$ $\alpha > 0$ donc $P > 0$ Si $t_f < t_o$ $\alpha < 0$ donc $P < 0$

7-2-1/ Fonctionnement en conduction continue

Les relations générales sur les tensions et les courants sont toujours en valeurs instantanées:

$$v_c = L \frac{di_c}{dt} + R i_c + E_c = F_m E$$

$$i_o = F_m i_c$$

Mais ici F_m prend alternativement les valeurs +1 et -1, ce qui entraîne des expressions différentes des grandeurs caractéristiques.

réversibilité en tension de E_c et en courant de la source de tension E .

7-2-2/ Expression de l'ondulation de courant

Nous pouvons conduire l'étude de la même manière que pour le hacheur non réversible (hacheur dévolteur).

Soit I_{c0} et I'_{c0} les valeurs maximale et minimale du courant i_c (figure 23b)

$$I_{\infty} = I'_{\infty} e^{-\frac{t_f}{\tau}} + \frac{E - E_c}{R} \left(1 - e^{-\frac{t_f}{\tau}} \right) \quad I'_{\infty} = I_{\infty} e^{-\frac{t_o}{\tau}} - \frac{E + E_c}{R} \left(1 - e^{-\frac{t_o}{\tau}} \right)$$

posons $I_k = \frac{E}{R} \quad a = \frac{E_c}{E} \quad \varepsilon I_c = I_{\infty} - I'_{\infty}$

Ecrivons directement les résultats obtenus à partir de ces relations

$$\frac{I_{\infty}}{I_k} = \frac{1 - 2e^{-\frac{t_f}{\tau}} + e^{-\frac{T}{\tau}}}{1 - e^{-\frac{T}{\tau}}} - a \quad \frac{I'_{\infty}}{I_k} = 2 \frac{e^{-\frac{t_o}{\tau}} - e^{-\frac{T}{\tau}}}{1 - e^{-\frac{T}{\tau}}} - (1 + a)$$

$$\frac{\varepsilon I_c}{I_k} = 2 \frac{\left(1 - e^{-\frac{t_f}{\tau}} \right) \left(1 - e^{-\frac{t_o}{\tau}} \right)}{1 - e^{-\frac{T}{\tau}}}$$

Comme nous l'avons fait précédemment cette expression générale peut être simplifiée pour $T \ll \tau$. Elle apparaît alors sous la forme suivante :

$$\varepsilon I_c = \frac{2E(1-R)R}{L} T = \frac{ET}{2L} (1-\alpha)^2$$

Remarque : cette expression simplifiée peut être retrouvée simplement en raisonnant sur l'accroissement du courant i_c pendant la phase active et en négligeant la résistance R .

$$\frac{\Delta I}{I_f} = \frac{E - E_c}{L} \quad \text{d'où} \quad \Delta I = \frac{I_f}{T} \frac{T}{L} (E - E_c)$$

soit avec

$$E_c = (2R - 1)E \quad \Delta I = R(1 - R) \frac{2ET}{L} = \frac{ET}{2L} (1 - \alpha)^2$$

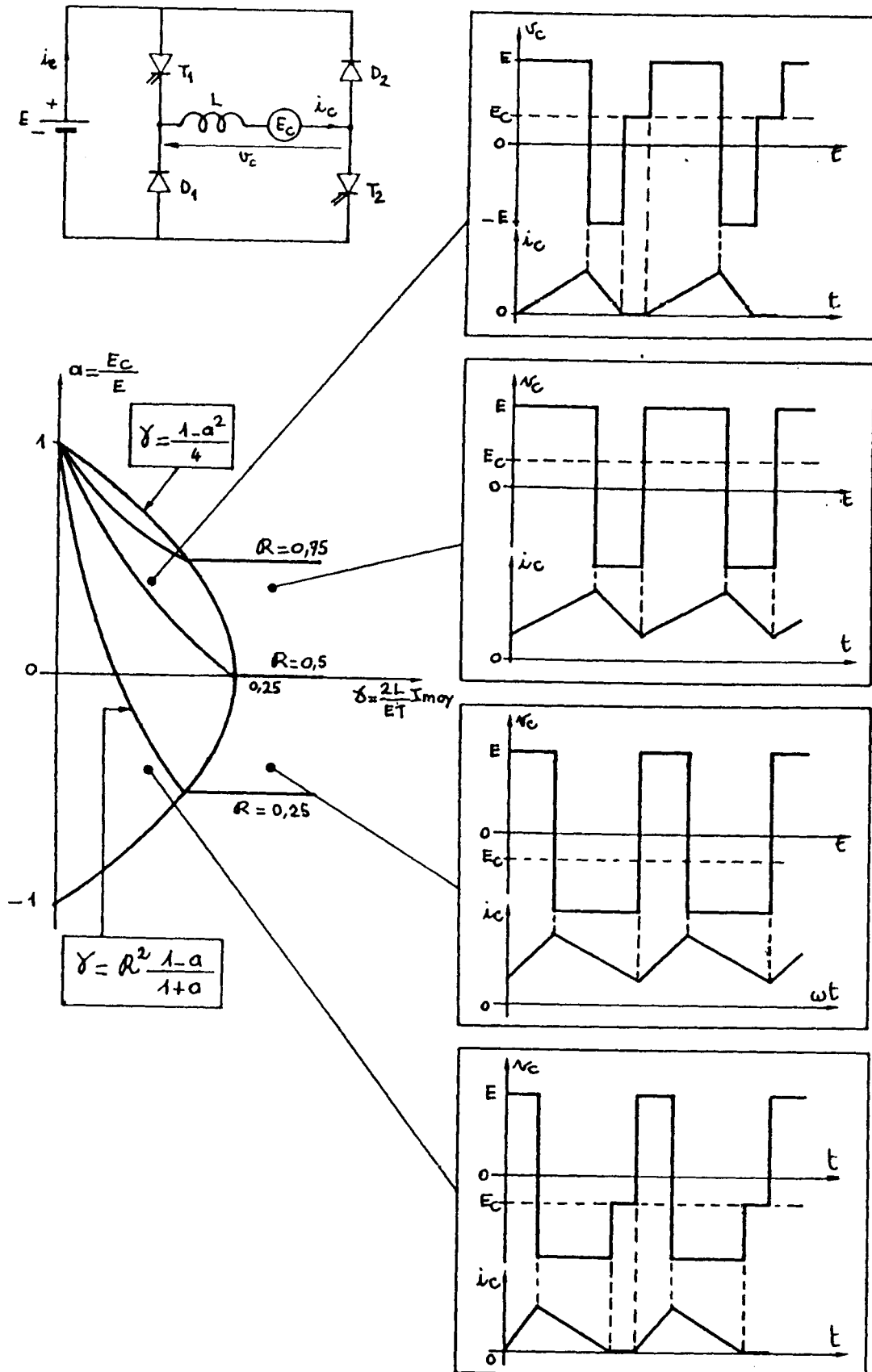


Figure 24: Hacheur réversible en tension (modulation +E, -E)
Caractéristiques de charge

Pour une même valeur du rapport cyclique \mathcal{R} , l'ondulation de courant est double de celle d'un hacheur dévolteur ou survolteur. Résultat évident qui correspond à une amplitude double ($2E$) de la composante alternative de la tension périodique v_c .

Les résultats établis dans l'étude du hacheur dévolteur sont directement transposables.

En particulier, nous notons que dans le cas d'un réglage à T constant et t_f variable, l'ondulation est maximale pour $\mathcal{R} = 0,5$. Il faut remarquer que cela ne correspond plus à une valeur moyenne de la tension v_c égale à $E/2$, mais à une valeur moyenne nulle ($\alpha = 0$).

7-2-2/ Caractéristiques de charge

En conduction discontinue, en supposant $\tau \gg T$ donc R négligeable, les formes d'ondes de v_c et de i_c sont celles de la figure 23c.

Calculons $I_{c \text{ moy}}$:

$$I_{c \text{ moy}} = \frac{i_m}{2} \frac{t_f + t_o}{T} \quad \text{et} \quad i_m = \frac{E - E_c}{L} t_f = \frac{E + E_c}{L} t_o$$

$$\text{d'où } I_{c \text{ moy}} = \frac{E - E_c}{2L} \frac{t_f^2}{T} \left(1 + \frac{E - E_c}{E + E_c} \right) = \frac{TE}{L} \left(\frac{t_f}{T} \right)^2 \frac{E - E_c}{E + E_c}$$

$$\text{posons } \gamma = \frac{L}{2E} I_{c \text{ moy}} \quad \mathcal{R} = \frac{t_f}{T} \quad a = \frac{E_c}{E} \approx \frac{V_{c \text{ moy}}}{E}$$

$$\gamma = \mathcal{R}^2 \frac{1-a}{1+a}$$

A la conduction critique nous avons:

$$a = \frac{V_{c \text{ moy}}}{E} = 2\mathcal{R} - 1$$

La limite de conduction critique est obtenue pour:

$$\gamma = \left(\frac{1+a}{2} \right)^2 \frac{1-a}{1+a} \quad \gamma = \frac{1}{4} (1-a^2)$$

D'où les caractéristiques de la figure 24.

Cette figure met en évidence la possibilité pour un tel montage d'assurer la réversibilité d'une manière continue par variation du rapport cyclique:

$\mathcal{R} > 0,5$: sens direct de la puissance

$\mathcal{R} < 0,5$: sens inverse

Exemple d'application

Soit un moteur à courant continu entraînant une charge à couple constant (engin de levage, ascenseur).

Dans le sens direct ($\mathcal{R} > 0,5$) le moteur fournit de la puissance et entraîne la charge à vitesse N_0 (montée).

Le contrôle du rapport cyclique permet d'amener le moteur à vitesse nulle puis d'assurer la réversibilité (descente).

Pour $\mathcal{R} < 0,5$ le moteur fonctionne à $-N_0$ en génératrice, avec récupération d'énergie électrique vers la source de tension E .

8/ HACHEUR REVERSIBLE EN COURANT SUR CHARGE R L E

La structure du hacheur réversible en courant est représentée sur la figure 25a.

Un premier mode de contrôle consiste à dissocier les commandes des interrupteurs T_1 et T_2 pour assurer soit un fonctionnement en dévolteur avec T_1 , soit un fonctionnement en survolteur avec T_2 .

Le mode de contrôle le plus intéressant et le plus simple consiste à commander les deux interrupteurs T_1 et T_2 de manière complémentaire, en permanence.

Les avantages sont les suivants :

- il n'y a plus de fonctionnement possible en conduction discontinue
- la commande est simplifiée au maximum
- le passage d'un fonctionnement à l'autre se fait de manière continue, sans temps mort et sans discontinuité du courant.

Dans ce type de fonctionnement, l'une ou l'autre des commandes de T_1 ou de T_2 est surabondante suivant que l'on fonctionne en survolteur ou en dévolteur. Mais l'interrupteur correspondant est alors bloqué par la tension inverse imposée par la diode placée en tête-bêche et qui se trouve à l'état conducteur.

Rappelons que pour un même rapport cyclique, l'ondulation de courant a une amplitude constante.

Si la valeur moyenne du courant est faible, le système étant réversible en courant, le courant i_c peut être bidirectionnel, ce que montre la figure 25.

A la limite, le hacheur peut donc fonctionner avec un courant i_c alternatif et un courant moyen nul. Au changement de signe du courant, il y a commutation à l'intérieur d'un même interrupteur entre la diode et l'interrupteur commandé qui le composent. La commande des interrupteurs T_1 et T_2 doit être prévue en conséquence.

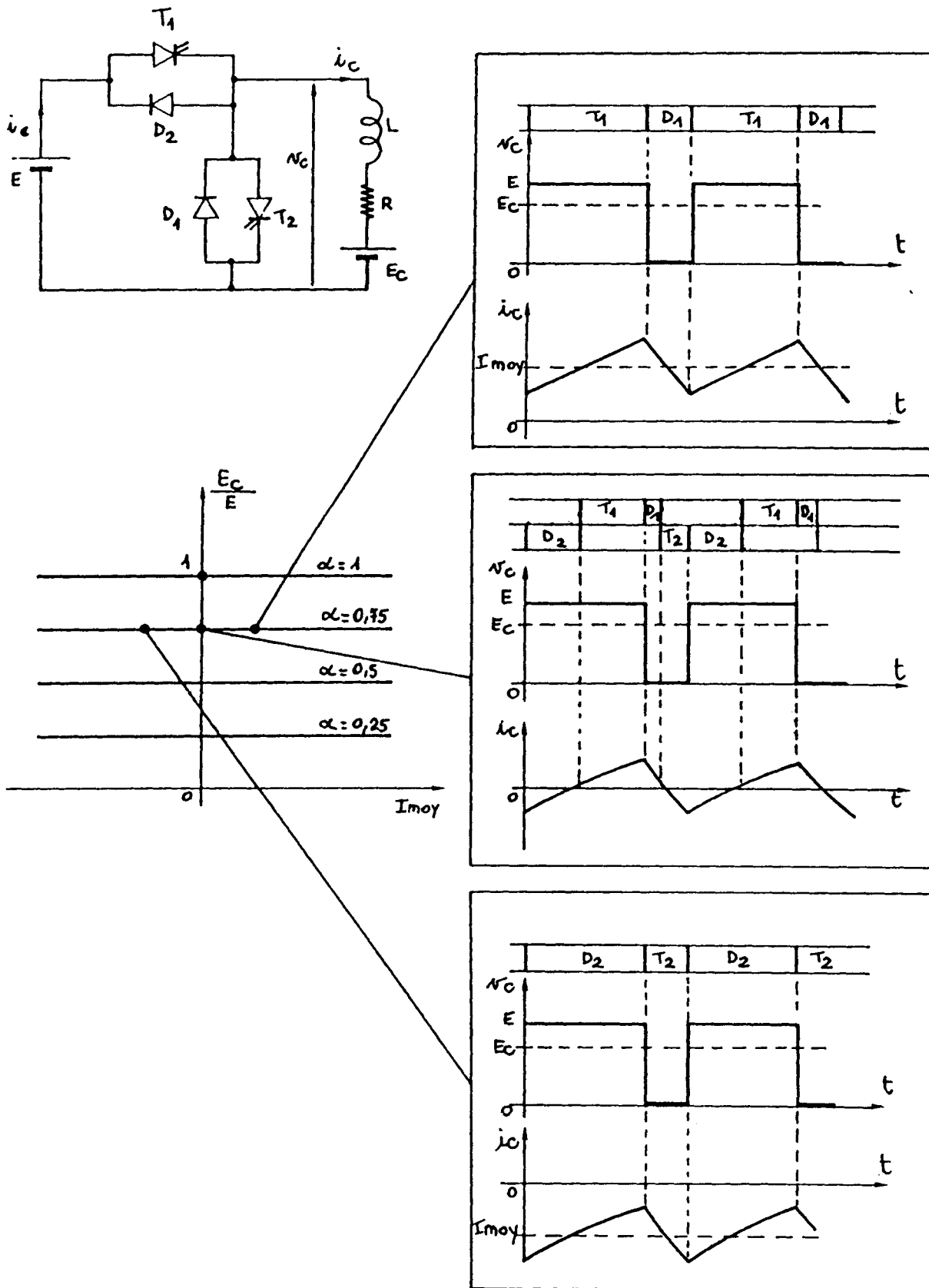


Figure 25: Hacheur réversible en courant.
Caractéristiques de charge.

9/ GROUPEMENT DE HACHEURS

Plusieurs hacheurs identiques sont disposés en parallèle et alimentent un même récepteur. L'entrée est commune (source de tension). Les sorties sont mises en parallèle par l'intermédiaire de bobines d'inductance L . (figure 26)

Les n hacheurs fonctionnent avec le même rapport cyclique, mais les commandes sont décalées de T/n , T étant la période commune.

Dans ces conditions :

- la valeur moyenne de la tension aux bornes de la charge est égale à la valeur moyenne de la tension qui serait fournie par un hacheur élémentaire avec la même modulation:

$$V_{\text{moy}} = \alpha E$$

- chaque hacheur fournit une fraction P/n de la puissance totale P
- le courant moyen total est n fois le courant moyen de chaque hacheur
- le courant impulsionnel i fourni par la source de tension a une fréquence n fois plus élevée que celle d'un hacheur élémentaire. Cette augmentation de fréquence aura comme avantage de faciliter le filtrage de tension et de courant à l'entrée du dispositif.

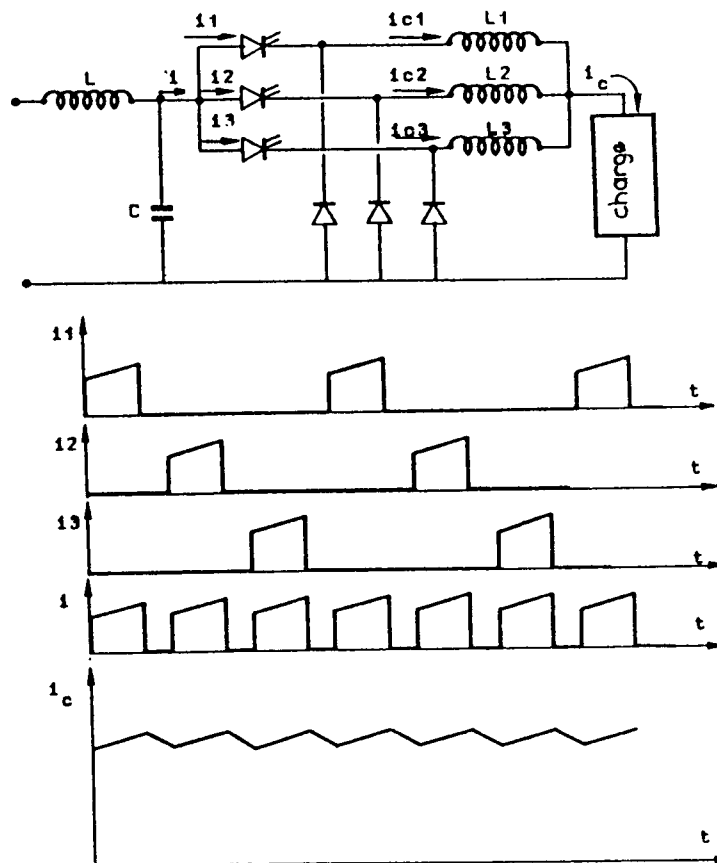


Figure 25: Groupement de hacheurs