

Travaux dirigés N°4 : Commande de la MCC par des convertisseurs continu - continu

Exercice N°1: MCC ALIMENTEE PAR UN HACHEUR REVERSIBLE EN COURANT

Soit le montage de la figure 1. U_R est une tension continue constante : $U_R = 200 \text{ V}$.

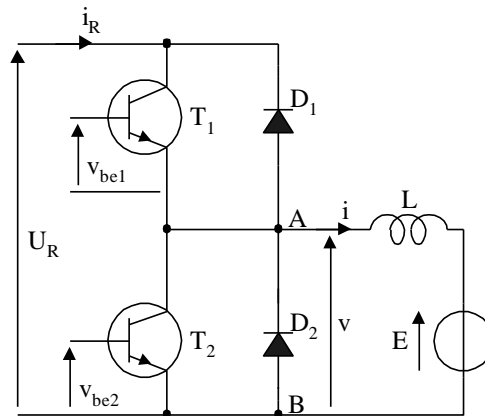


Figure 1

- L'inductance L représente l'inductance de l'induit de la machine et de la bobine de lissage sans pertes : $L = 11,8 \text{ mH}$.
 - La f.é.m. E représente la f.é.m. développée par l'induit : $0 < E < U_R$
 - T_1 et T_2 sont deux transistors de puissance jouant le rôle d'interrupteurs unidirectionnels commandés à la fermeture et à l'ouverture par leur tension base-émetteur, v_{be} .
 - pour $v_{be} > 0$ le transistor considéré est saturé,
 - pour $v_{be} \leq 0$ le transistor est bloqué.
 - Les temps de commutation sont négligés et la chute de tension aux bornes d'un interrupteur passant est nulle.
- 1- On commande périodiquement T_1 (figure 2). T_2 est maintenu bloqué ($v_{be2} < 0$). La conduction est continue, le courant est ininterrompu dans le moteur ($i > 0$).

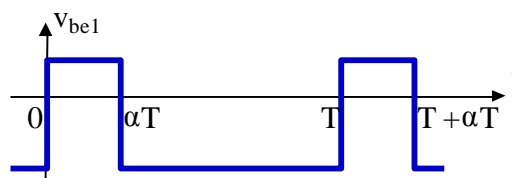


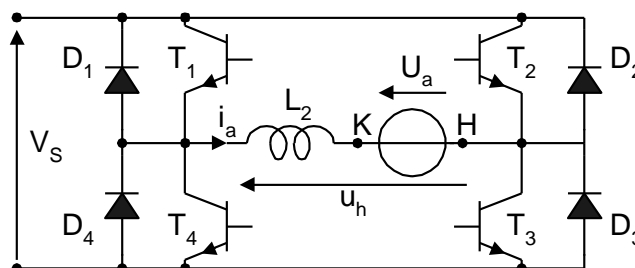
Figure 2

- a. Montrer que seuls T_1 et D_2 participent au fonctionnement en régime établi et faire les schémas utiles pour cette étude, respectivement pour $0 \leq t \leq \alpha T$ et pour $\alpha T \leq t \leq T$.
- b. Écrire les équations différentielles vérifiées par le courant $i(t)$ durant chaque séquence.
- c. En déduire l'expression $i(t)$ pendant chaque séquence, en appelant I_m et I_M les valeurs extrêmes de $i(t)$. On pourra poser $t' = t - \alpha T$.

- d. Montrer que $\Delta I = I_M - I_m = \alpha \cdot \frac{U_R - E}{L \cdot f}$ et $E = \alpha U_R$; f : fréquence du signal V_{be1} .
- e. Application numérique : En régime établi, le hacheur fonctionne à ondulation de courant constante et à fréquence et rapport cyclique variables (commande par fourchette de courant), $\Delta I = 1$ A.
- ✓ Calculer, pour $n = 1200$ tr/min, les valeurs de α et f .
 - ✓ Représenter $i(t)$ si sa valeur moyenne I_{moy} vaut 15 A puis déterminer la fréquence maximale de fonctionnement f_M (on précisera la valeur correspondante de α).
- 2- On commande périodiquement T_2 (document réponse n°1). T_1 est bloqué. La conduction est continue ($i < 0$).
- a. En régime établi seuls T_2 et D_1 interviennent. En déduire les schémas pour : $0 \leq t \leq \beta T$ et $\beta T \leq t \leq T$
- b. Représenter l'allure de la tension $v(t)$ sur le document réponse n°1.
- c. Écrire la relation liant $v(t)$, $i(t)$ et E .
- d. En déduire que l'on a : $U_R = \frac{E}{1-\beta}$.
- e. En écrivant les équations différentielles vérifiées par le courant i , donner l'allure de $i(t)$. En déduire que : $\Delta I = U_R \cdot \beta \cdot \frac{(1-\beta)}{L \cdot f}$. On notera I_0 et I_1 les valeurs de i à $t = 0$ et $t = \beta T$.
- f. Pour $n = 1200$ tr/min, $|I_{moy}| = 30$ A et $f = 4$ kHz, calculer β , ΔI , I_0 et I_1 . Calculer la puissance mise en jeu au niveau du réseau (U_R , i_R) en précisant le sens du transfert. Quel est le type de réversibilité de ce montage ?
- 3- Les transistors T_1 et T_2 sont commandés de manière complémentaire. La charge peut être active. Pour trois valeurs de couple, on a relevé les oscillogrammes de courant (document réponse n°2).
- a. Déterminer, pour chaque cas, la séquence de conduction des quatre interrupteurs. Que peut-on dire de la vitesse de rotation du groupe si α a la même valeur dans les 3 cas ?
- b. En considérant le cas *b*, quel est l'avantage d'une commande complémentaire de T_1 , T_2 par rapport aux fonctionnements envisagés aux paragraphes 1. et 2. ?

Exercice N°2: COMMANDE D'UNE MCC PAR UN HACHEUR 4 QUADRANTS :

Une machine à courant continu est commandée par un hacheur 4 quadrants à transistors (figure ci-dessous).



La machine idéalisée vérifie les lois :

$$U_a = k \Omega \text{ et } T_e = k i_{a\text{moy}}$$

La tension V_s est continue : $V_s = 300$ volts.

La bobine de lissage d'inductance L_2 est parfaite : $L_2 = 100$ mH.

Les transistors et les diodes sont également considérés comme parfaits.

I. ETUDE DU FONCTIONNEMENT DU MOTEUR

Les transistors sont commandés avec la période $T = 1,2$ ms. Pour ce fonctionnement :

- T_2 et T_4 restent bloqués.
- T_1 et T_3 sont commandés avec le rapport cyclique a .

Pendant la première période considérée, ils sont :

- passants entre 0 et aT ;
- bloqués entre aT et T .

On suppose le régime établi et la conduction permanente.

■ Étude de la tension u_h :

- a. Quels composants sont passants entre aT et T ? Que vaut alors u_h ?

En déduire pour $a = 2/3$ la représentation graphique de u_h en fonction du temps (sur le document réponse n°3).

- b. Déterminer dans le cas général l'expression de la tension moyenne u_{hmoy} en fonction de a et V_s . Dans quel cas est-elle positive ? Application numérique $a = 2/3$.

- c. Quelle relation existe-t-il entre u_{hmoy} et U_a ? Justifier la réponse.

■ Étude du courant d'intensité i_a

L'intensité i_a varie entre I_M (maximum) et I_m (minimum).

- d. Pour $0 < t < aT$:

- Ecrire l'équation différentielle à laquelle satisfait i_a .
- Déterminer l'expression de $i_a(t)$.
- En déduire l'expression de l'ondulation $\Delta i_a = I_M - I_m$ en fonction de a , V_s , L_2 et T .
Application numérique : $a = 2/3$.

- e. Pour $aT < t < T$:

- Ecrire l'équation différentielle vérifiée par i_a .
- Déterminer l'expression de $i_a(t)$.

- f. Représenter graphiquement i_a en fonction du temps pour : $i_{a\text{moy}} = 4,0$ A et

$$a = 2/3.$$

Calculer préalablement I_M et I_m .

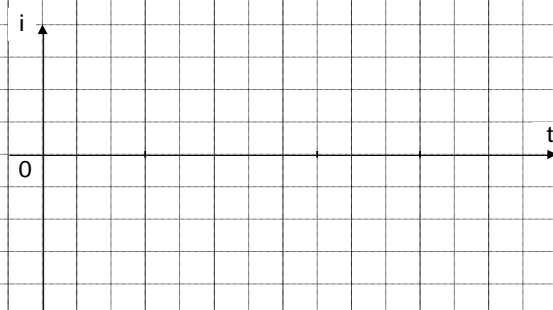
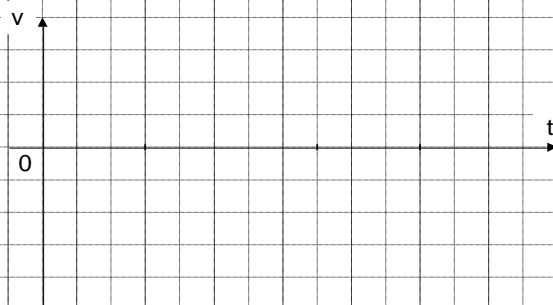
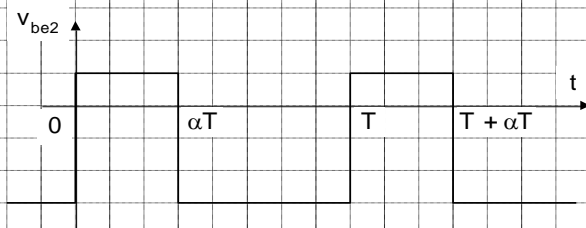
II. FREINAGE :

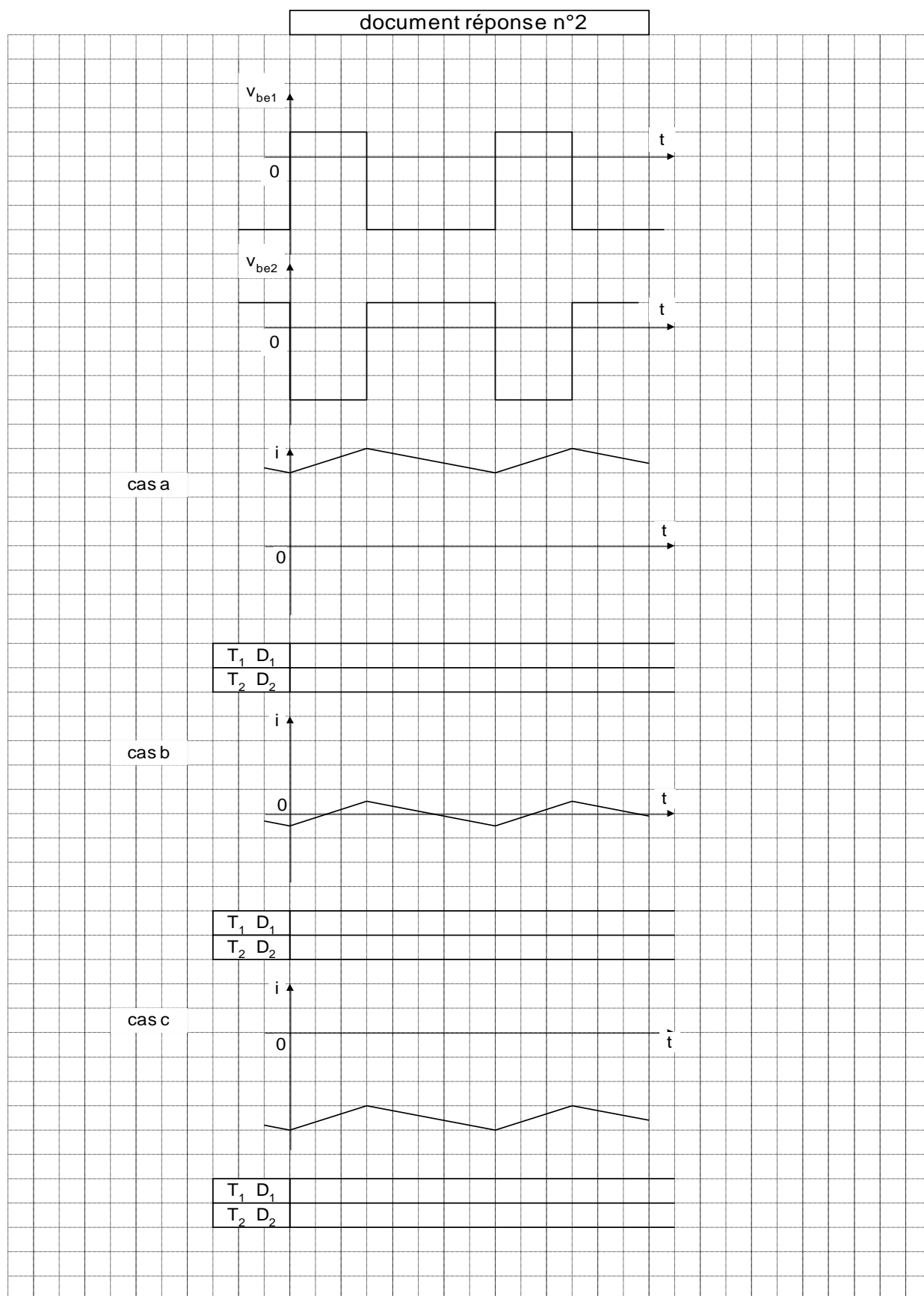
La machine fonctionnant dans le même sens de rotation, on désire la freiner en "récupération".

- a. Quels doivent être les signes de U_a et $i_{a\text{moy}}$?

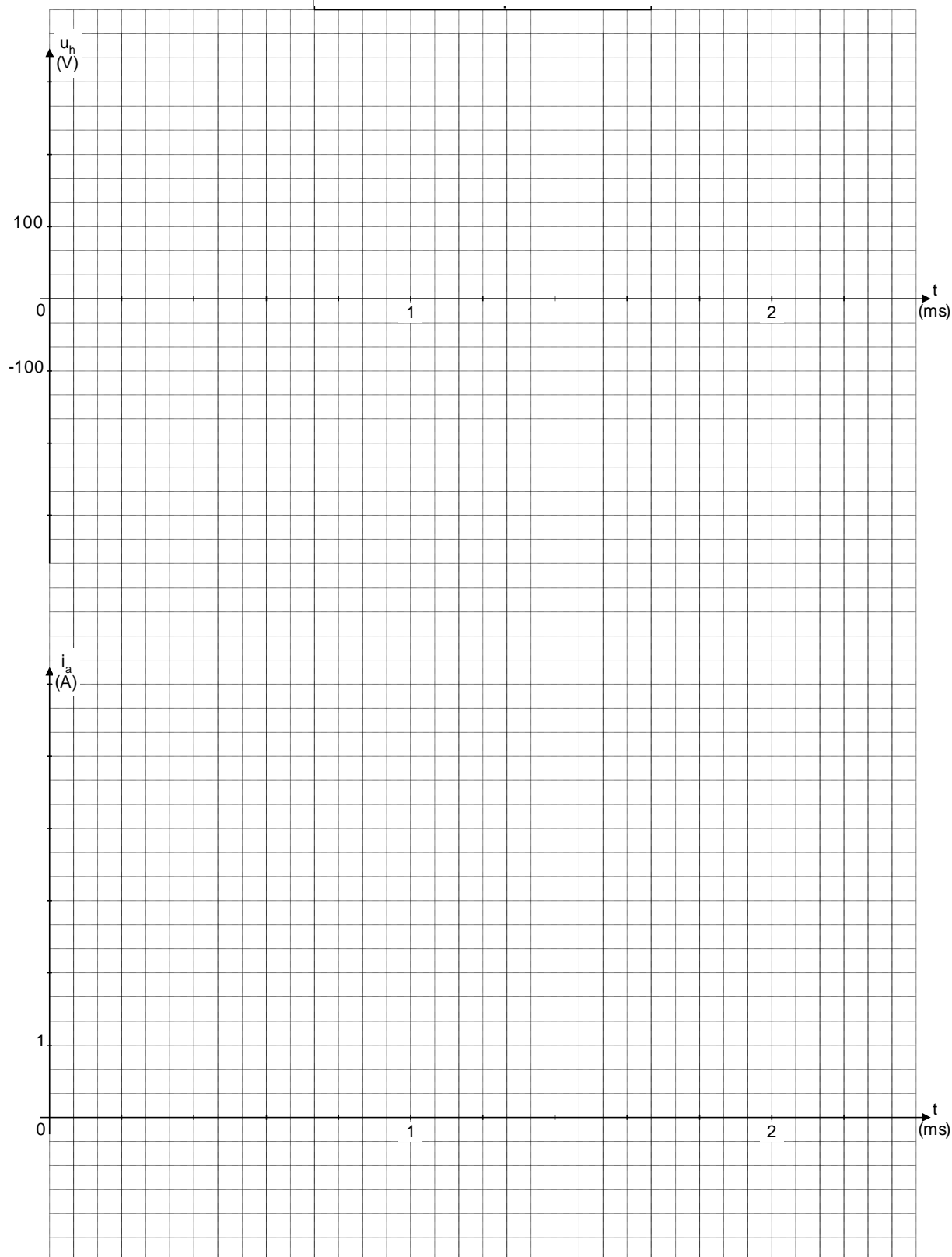
L'onduleur de la première partie convient-il ? Pourquoi ? Si non, proposer une modification convenable.

- b. Cette modification étant réalisée, indiquer quels transistors il faut commander (simultanément) en précisant les valeurs possibles du rapport cyclique a .





Document réponse N° 3



Corrigé

Exercice1

1.

1.1.

1.1.1

$$1.1.2 \quad U_R = E + L \frac{di}{dt} ; 0 = E + L \frac{di}{dt'}, \text{ en posant } t' = t - \alpha T$$

$$1.1.3 \quad i = \frac{U_R - E}{L} t + I_m ; i = -\frac{E}{L} t' + I_M$$

$$1.1.4 \quad \text{On écrit qu'à } t = \alpha T, i = I_M \rightarrow \Delta i = \frac{U_R - E}{L} \alpha T ; \text{ On écrit qu'à } t' = (1 - \alpha)T, i = I_m \rightarrow$$

$$\Delta i = (1 - \alpha) \frac{ET}{L}. \text{ En comparant les deux expressions, on tire : } E = \alpha U_R.$$

1.1.5 $\alpha = 0,383$; $f = 4 \text{ kHz}$; $i(t)$ est périodique, de période $T = 0,25 \text{ ms}$. La courbe représentative est décrite par deux segments de droite : l'un allant de $\{0 \text{ ms}, 14,5 \text{ A}\}$ à $\{95,8 \mu\text{s}, 15,5 \text{ A}\}$, l'autre allant de $\{95,8 \mu\text{s}, 15,5 \text{ A}\}$ à $\{0,25 \text{ ms}, 14,5 \text{ A}\}$.

$$f_M = 4,24 \text{ kHz} ; \alpha_M = 0,5.$$

1.2.

1.2.1

$$1.2.2 \quad v(t) \text{ est nulle de } 0 \text{ à } \beta T \text{ et égale } U_R \text{ de } \beta T \text{ à } T ; v = E + L \frac{di}{dt} \rightarrow V_{\text{moy}} = E \text{ et avec la}$$

$$\text{courbe de } v(t) \text{ on obtient } U_R = \frac{E}{1 - \alpha}.$$

$$1.2.3 \quad \text{De } 0 \text{ à } \beta T : i = -\frac{E}{L} t + I_0 ; \text{ de } \beta T \text{ à } T : i = \frac{U_R - E}{L} t' + I_1 \rightarrow \Delta i$$

1.2.4 $\beta = 0,617$; $\Delta i = 1 \text{ A}$; $I_1 = -30,5 \text{ A}$; $I_0 = -29,5 \text{ A}$; $P = -2300 \text{ W}$; La puissance transite de la machine vers le réseau ; montage réversible en courant.

1.3.

1.3.1

cas a : T_1 quand i augmente puis D_2 quand i diminue

cas b : D_1 quand $i < 0$ augmente, puis T_1 quand $i > 0$ augmente, puis D_2 quand $i > 0$ diminue, puis T_2 quand $i < 0$ diminue.

cas c : D_1 quand i augmente puis T_2 quand i diminue.

Même vitesse dans les trois cas.

1.3.2 Permet une conduction continue dans la machine.

Exercice2

1. Hacheur à transistors 4 quadrants

1.1. Etude du fonctionnement du moteur

1.1.1. Etude de u_h :1.1.1.1. Entre aT et T , D_2 et D_4 sont passantes (conduction permanente) $\rightarrow u_h = -V_s$.Alors : $u_h = 300 \text{ V}$ de 0 à aT ; $u_h = -300 \text{ V}$ de aT à T .1.1.1.2. $U_{\text{hmoy}} = (2a - 1)V_s$. Alors $U_{\text{hmoy}} > 0$ si $a > 0,5$. Si $a = 2/3 \rightarrow U_{\text{hmoy}} = 100 \text{ V}$.

1.1.1.3. On voit figure 2 que $u_h = L_2 \frac{di_a}{dt} + U_a$. En fonctionnement périodique, la valeur moyenne de $L_2 \frac{di_a}{dt}$ étant nulle on a $U_{hmoy} = U_a$.

1.1.2. Etude de i_a .

1.1.2.1. Pour $0 \leq t \leq aT$: $L_2 \frac{di_a}{dt} = V_s - U_a$.

Alors $i_a = \frac{V_s - U_a}{L_2} \cdot t + I_m \rightarrow i_a = 2(1-a) \frac{V_s}{L_2} \cdot t + I_m \rightarrow \Delta i_a = 2(1-a) \frac{V_s}{L_2} \cdot aT \rightarrow \Delta i_a = 1,6 \text{ A}$.

1.1.2.2. Pour $aT \leq t \leq T$ et en posant $t' = t - aT$: $L_2 \frac{di_a}{dt'} = -2aV_s$.

Alors $i_a = -\frac{2aV_s}{L_2} \cdot t' + I_M$

1.1.2.3. D'où le graphe de $i_a(t)$: avec $I_{amoy} = 4 \text{ A}$ et $\Delta i_a = 1,6 \text{ A} \rightarrow I_M = 4,8 \text{ A}$ et $I_m = 3,2 \text{ A}$.

De $0 \leq t \leq 2T/3$, $i_a(t)$ évolue en rampe croissante de 3,2 à 4,8 A.

De $2T/3 \leq t \leq T$, $i_a(t)$ évolue en rampe décroissante entre 4,8 et 3,2 A.

1.2. Freinage

Même sens de rotation \rightarrow même signe pour $\Omega \rightarrow U_a > 0$ et $I_{amoy} < 0$. L'onduleur de la première partie ne convient pas car les thyristors imposent I_0 , donc $I_{amoy} > 0$. On doit donc utiliser un deuxième pont en antiparallèle (montage tête-bêche) sur le premier. T_1 et T_3 resteront bloqués. On commandera T_2 et T_4 . Pour que U_{hmoy} , donc $U_a > 0$ il faut que $a < 0,5$.