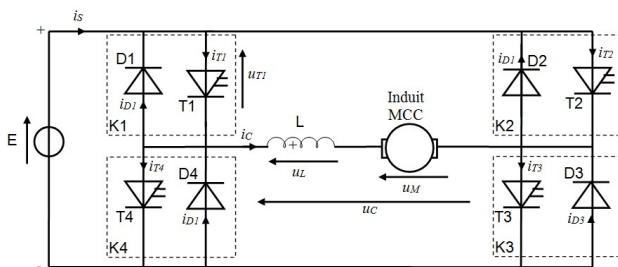
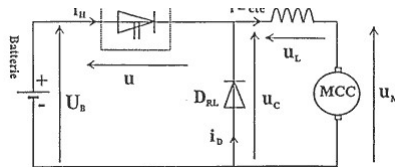


Physique appliquée

BTS 1 Electrotechnique

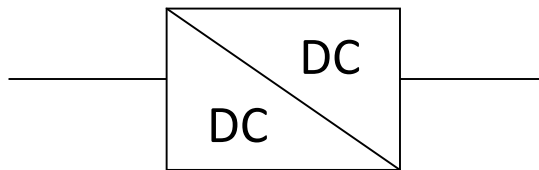


Les hacheurs

1.	Application sur les hacheurs série :	3
2.	Le hacheur série :	5
2.1.	Equation courant tension :	5
2.2.	Forme d'onde :	6
2.3.	Expression des grandeurs caractéristiques du hacheur série:	7
2.4.	Exercices sur le hacheur série:	8
3.	Le hacheur deux quadrants réversible en courant.....	16
5.1	Equation courant tension :	16
5.2	Forme d'onde :	17
5.	Le hacheur deux quadrants réversible en tension :	20
5.1.	Equation courant tension :	20
5.2.	Forme d'onde :	21
6.	Le hacheur quatre quadrants:	23

1. Application sur les hacheurs série :

Nous utilisons une conversion DC vers DC :



Dans les applications de conversion d'énergie, il est nécessaire de prévoir des adaptations de niveau de tension différentes entre sources et charge fonctionnant sous tension continu ou à valeurs moyennes non nulles.

Exemple :

- Le moteur d'un Kart électrique doit fonctionner sous tension comprise entre 0 et 48V à partir de quatre batteries de 12V DC en série.



- Un automate sur site isolé doit pouvoir fonctionner sous tension constante malgré les fluctuations de tension du parc batterie.



- Le dernier étage des alimentations à découpage utilise des conversions DC vers DC :



Il sera nécessaire d'utiliser des interrupteurs statiques dont les performances de fréquence, courant et tension commutés permettent un choix suivant les applications envisagées.

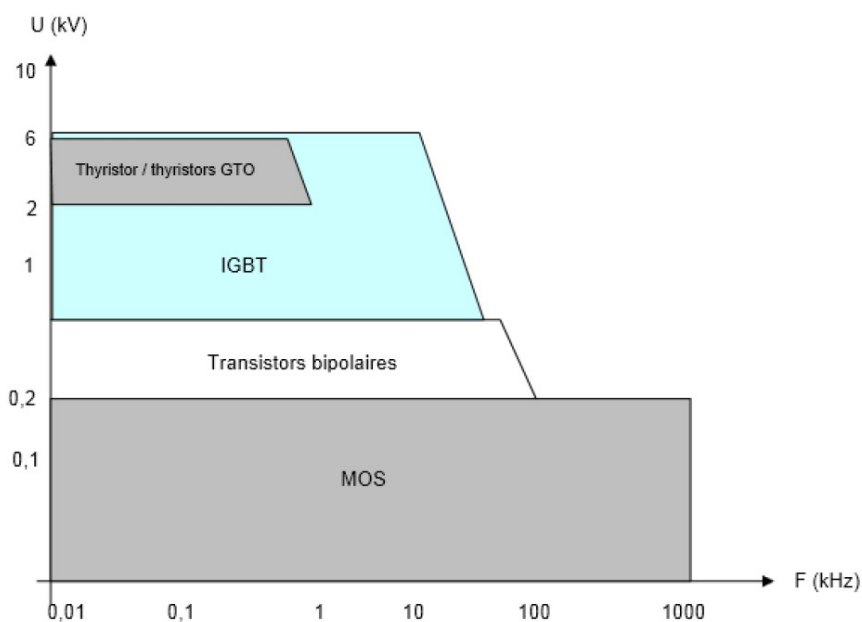
Il existe principalement les interrupteurs statiques suivants :

- Les thyristors.
- Les GTO.
- Les transistors bipolaires.
- Les MOS FET.
- Les IGBT.

Limites technologiques :

On peut dire que les Thyristors et GTO sont réservés pour de très grosses puissances à commuter, ce sont des composants assez lents.

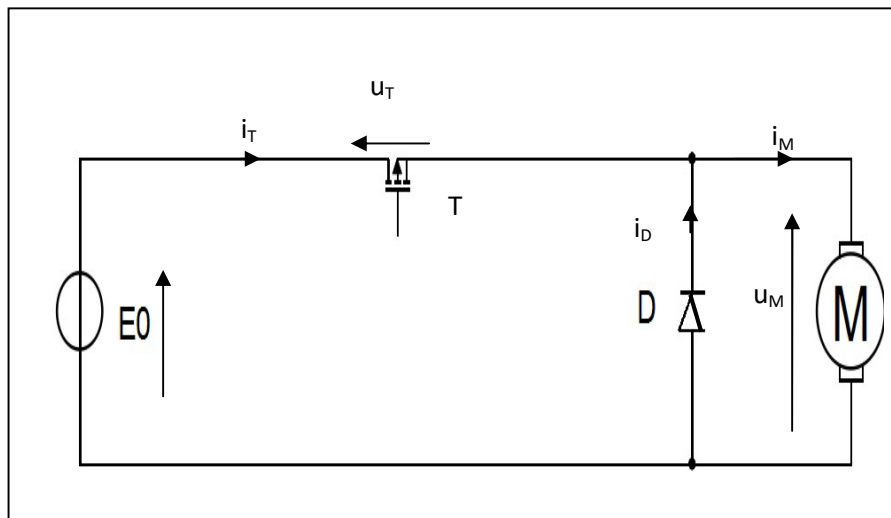
Les MOS FET et les IGBT permettent des fréquences de commutation très importantes mais les puissances commutées restent plus modestes.



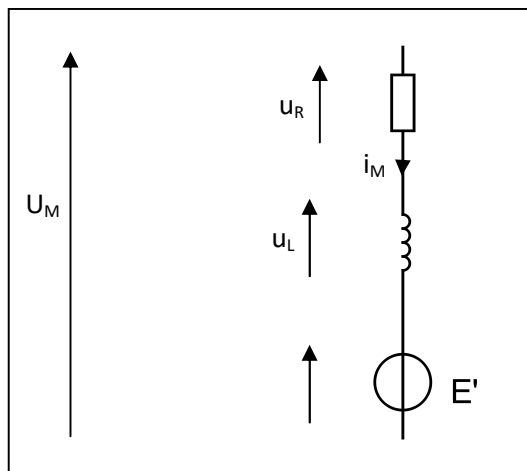
2. Le hacheur série :

Ce type de cellule est utilisé pour contrôler la variation de vitesse d'un moteur de petite puissance sans récupération d'énergie au freinage.

Schéma de principe :



Le modèle dynamique du moteur correspond à une charge RLE.



2.1. Equation courant tension :

Exercice 1 :

1. Ecrire la loi des mailles sur la charge.
2. Trouver la solution de l'équation différentielle obtenue en considérant que $R \simeq 0 \Omega$ pour le cas ou :

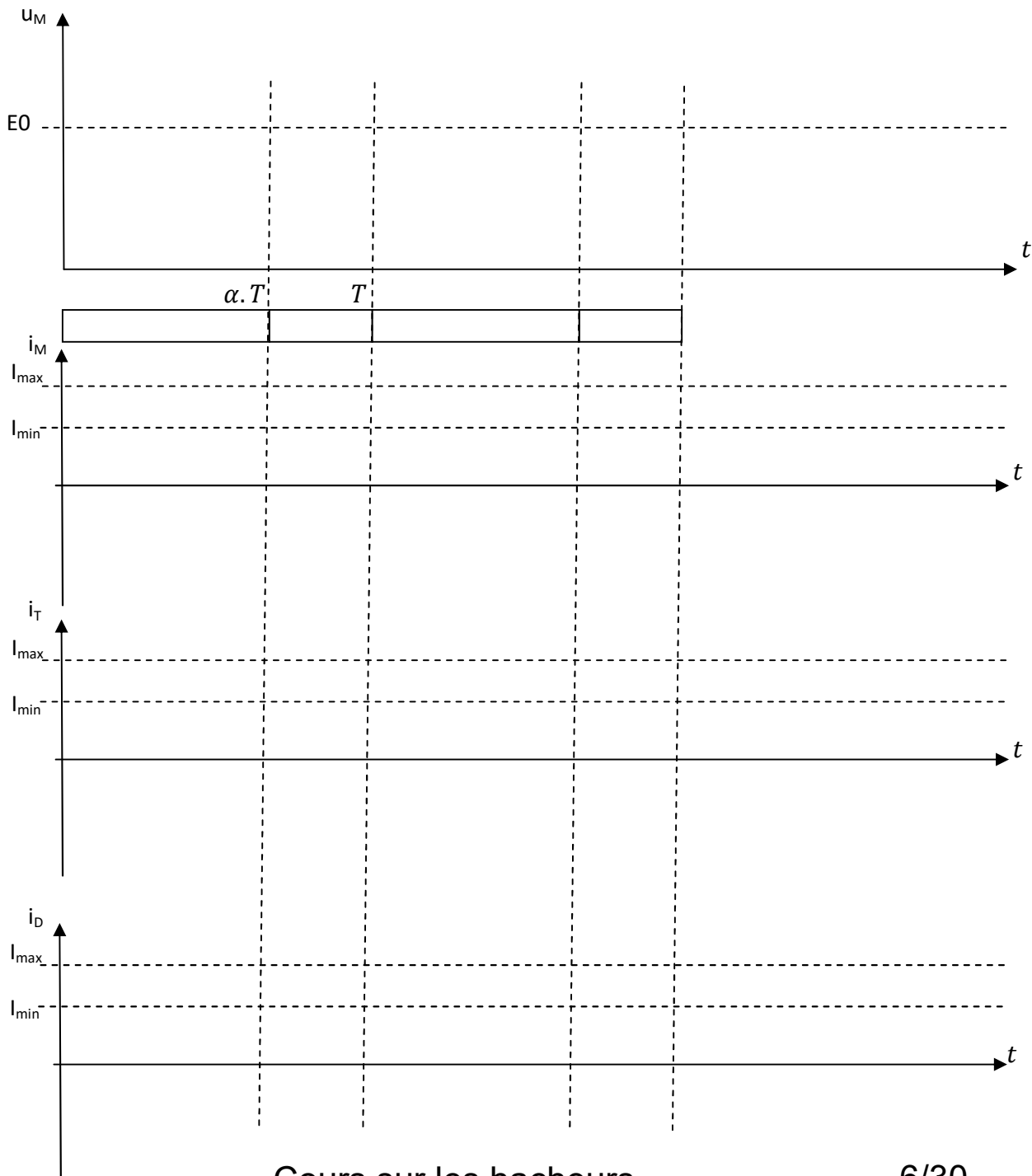
- T est passant et D bloquée.
- D est passante et T bloqué.

2.2. Forme d'onde :

On considèrera que par la suite entre 0 et $\alpha.T$, T est passant et D bloquée, puis entre $\alpha.T$ et T , T est bloqué et D est passante.

Si le courant évolue entre $I_{min} \neq 0$ et I_{max} , on dira que la conduction est continue ou ininterrompue.

Si le courant évolue 0 et I_{max} , on dira que la conduction est discontinue ou interrompue.



2.3. Expression des grandeurs caractéristiques du hacheur série:

Exercice 2:

1. Exprimer la valeur moyenne $\langle u_M \rangle$.
2. Exprimer la valeur moyenne de $\langle i_M \rangle$.
3. Mettre en relation l'ondulation $\Delta I = I_{\max} - I_{\min}$, L , f , α et $\langle i_M \rangle$.
4. Déterminer la valeur de la fréquence de hachage si un moteur possède une inductance de 100mH et qu'on règle la valeur de α à 0.8, et que le moteur absorbe un courant de $I_N = 10A$ pour une ondulation de 5% de I_N . La fem de la machine est de $E' = 100V$ dans cette étude.
5. Déterminer les points de fonctionnement possible du hacheur dans le repère $i_M = f(u_M)$ figure 1.
6. Associer la grandeur mécanique correspondant aux grandeurs électriques du moteur à courant continu

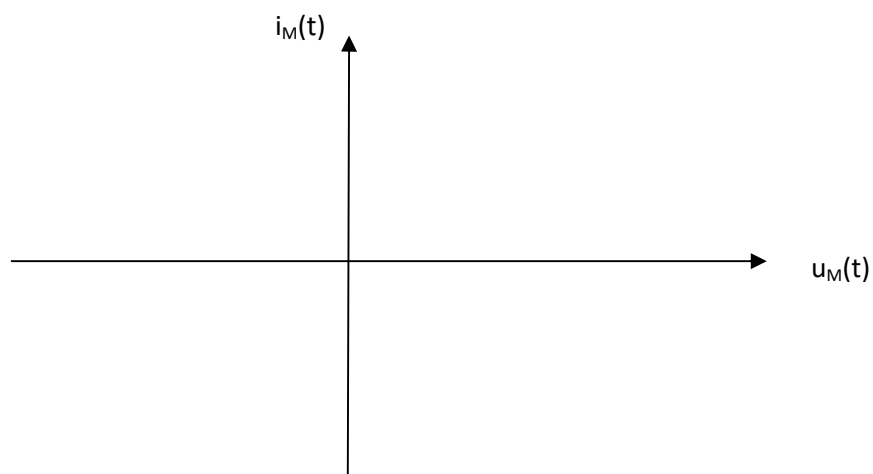
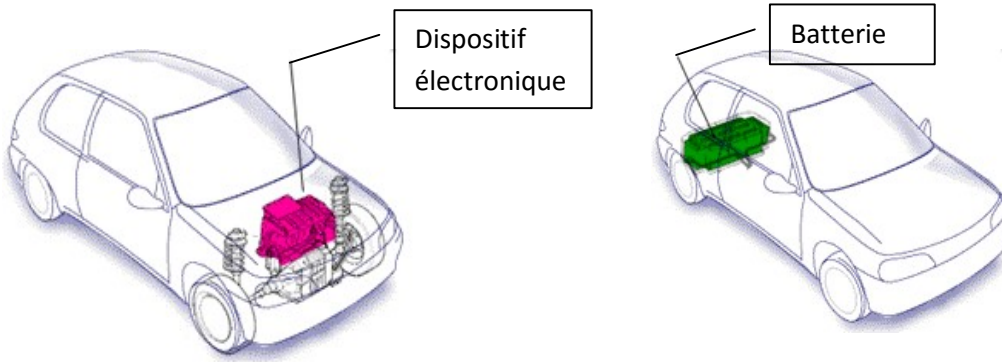


Figure 1

2.4. Exercices sur le hacheur série:

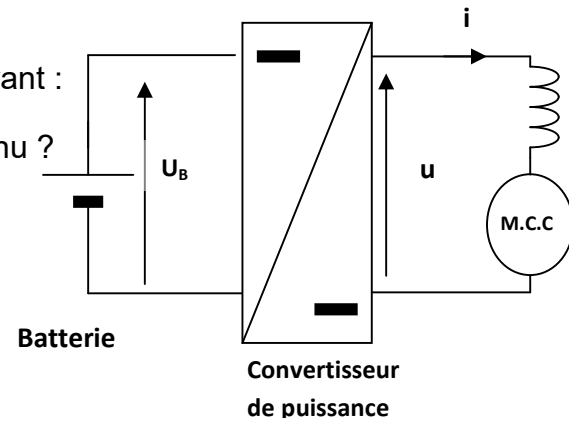
Exercice 3 :

Le moteur est alimenté par l'intermédiaire d'un convertisseur continu-continu. L'énergie électrique est stockée dans une batterie placée à l'arrière du véhicule.

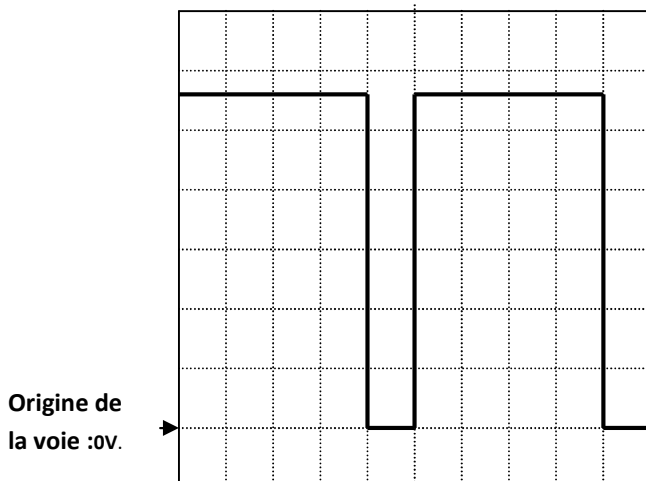


Le schéma de principe du circuit de puissance est le suivant :

- 1°) Quel est le nom de ce convertisseur continu-continu ?
- 2°) Quel est le rôle de la bobine ?



- 3°) On observe la tension u aux bornes de la charge. L'oscillogramme de la tension u aux bornes de la charge est donné ci-contre :



Base de temps : $10 \mu\text{s}$ par division.

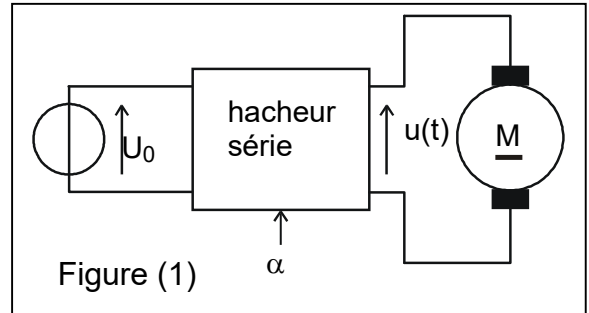
Calibre tension : 50 V par division.

Déterminer :

- 3.1) la fréquence de la tension u ;
- 3.2) le rapport cyclique α .
- 3.3) la valeur moyenne $\langle u \rangle$ de la tension u .
- 3.4) Préciser le réglage de l'appareil de mesure permettant de mesurer la valeur moyenne de la tension u ?

Exercice 4 :

Un hacheur série (figure 1) est placé entre la batterie d'accumulateurs fournissant une tension continue U_0 et l'induit du moteur



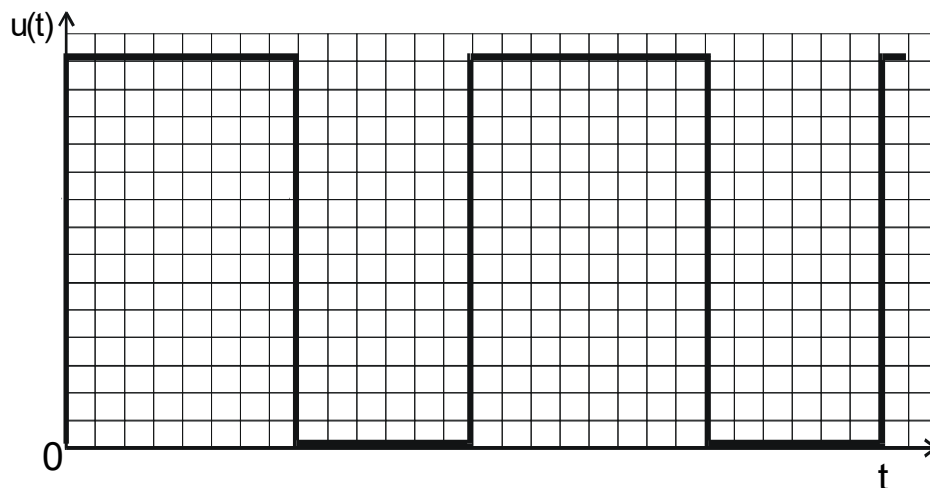
1°) Parmi les fonctions suivantes, quelle est celle du hacheur série :

- a) convertisseur continu / alternatif ;
- b) convertisseur alternatif / continu ;
- c) convertisseur continu / continu variable ;
- d) convertisseur alternatif / continu variable ;
- e) convertisseur alternatif / alternatif ?

La figure (2) représente le chronogramme de la tension $u(t)$ fournie par le hacheur série ;

temps : 0,1 ms par div. ;

tension : 1 V par div.



2°) Déterminer la valeur U_0 de la tension à l'entrée du hacheur ainsi que la fréquence de hachage.

3°) Définir, à l'aide des grandeurs t_0 et T , le rapport cyclique α de la tension $u(t)$. Donner la valeur numérique de α .

4°) On note $\langle u \rangle$ la valeur moyenne de la tension $u(t)$. Exprimer cette valeur moyenne $\langle u \rangle$ en fonction de α et de U_0 .

5°) Déterminer la valeur α que l'on doit donner au rapport cyclique pour obtenir la valeur moyenne $\langle u \rangle = 10$ V aux bornes de l'induit du moteur.

Exercice 5 :

L'induit du moteur est alimenté par le dispositif représenté par le schéma figure 1.

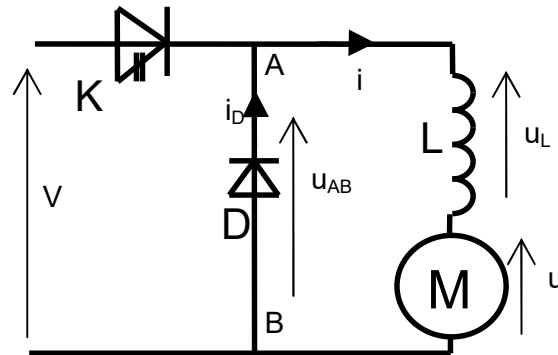


Figure 1

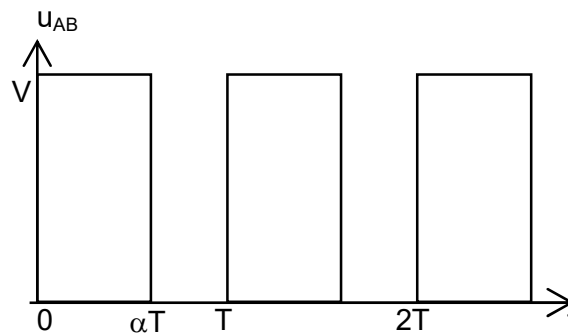


Figure 2

Ce dispositif comprend :

- une source de tension continue fournissant la tension constante : $V=240\text{ V}$;
- un interrupteur K ;
- une diode D (supposée idéale) ;
- une inductance L .

L'interrupteur K est commandé électroniquement : il se ferme et s'ouvre périodiquement . A chaque période T , il est fermé de 0 à αT et ouvert de αT à T (avec $0 < \alpha < 1$) .

La tension u_{AB} est représentée figure 2 .

- 1-
 - a- Comment appelle-t-on le dispositif qui alimente le moteur ?
 - b- Avec quel composant électronique peut-on réaliser l'interrupteur K ?
 - c- Comment appelle-t-on le coefficient α ? Comment le définit-on ?
 - d- Quel est le rôle de l'inductance L ?
 - e- Quel est le rôle de la diode de roue libre D ?

- 2-
 - a- Etablir l'expression de la valeur moyenne $\langle u_{AB} \rangle$ de la tension u_{AB} en fonction de α et V .
 - b- Pour quelle valeur de α aura-t-on $\langle u_{AB} \rangle = 220$ V ?

- 3- On souhaite visualiser à l'oscilloscope la tension u_{AB} d'une part et l'image de l'intensité i du courant dans l'induit du moteur d'autre part . Pour visualiser le courant, on place une résistance $R_s = 0,10 \Omega$ en série avec l'induit comme l'indique le schéma figure 3 .
On supposera que cette résistance ne perturbe pas le fonctionnement du montage.

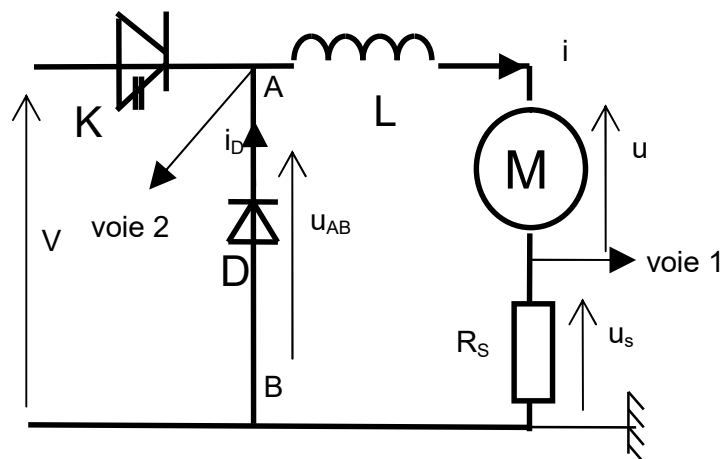
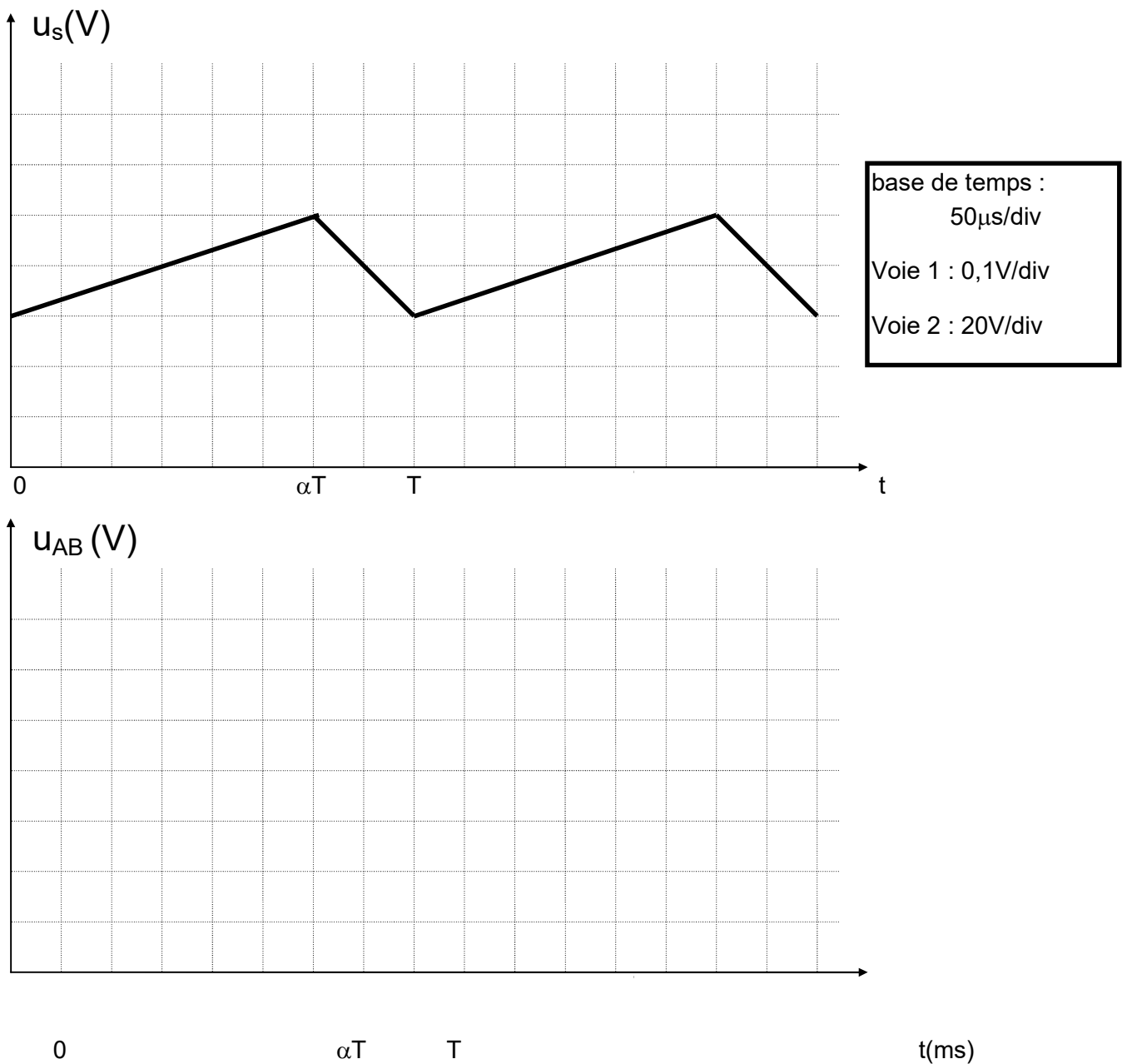


Figure 3

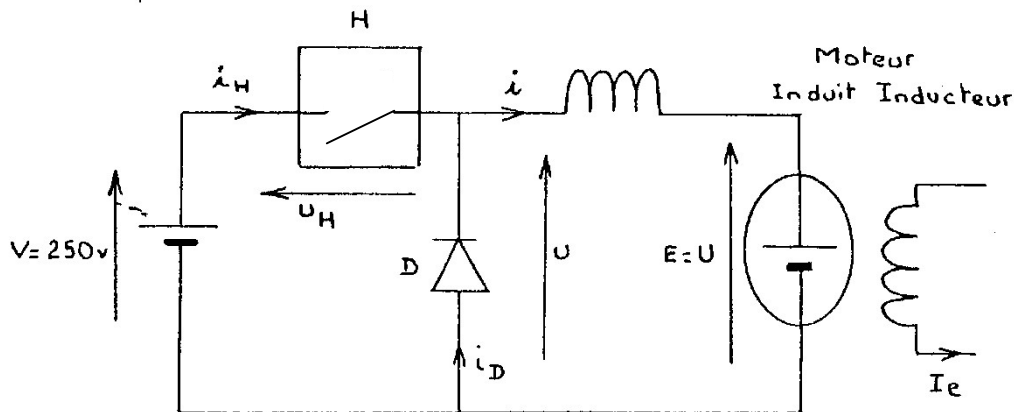
L'oscillogramme de $u_s(t)$ est fourni sur le document réponse .

- a- Représenter sur le document réponse l'oscillogramme de $u_{AB}(t)$.
- b- Quelle est la période de $u_{AB}(t)$? Quelle est sa fréquence ?
- c- Déterminer la valeur de α . En déduire la valeur moyenne de u_{AB} .
- d- Déterminer les valeurs maximale et minimale de l'intensité i du courant dans l'induit du moteur .



Exercice 6 :

Le schéma de principe du hacheur est le suivant :



H : interrupteur électronique.

D : diode idéale.

L : inductance de lissage permettant d'obtenir un courant d'intensité constante $i = I_0$.

E : f.e.m. du moteur à courant continu.

La résistance de l'induit est négligée pour l'étude du hacheur.

Le moteur est traversé par un courant d'intensité constante $I_0 = 40A$. Le graphe de la tension u est représenté sur le document réponse. On note α le rapport cyclique du hacheur

1°) Pour l'intervalle de temps 0 à αT

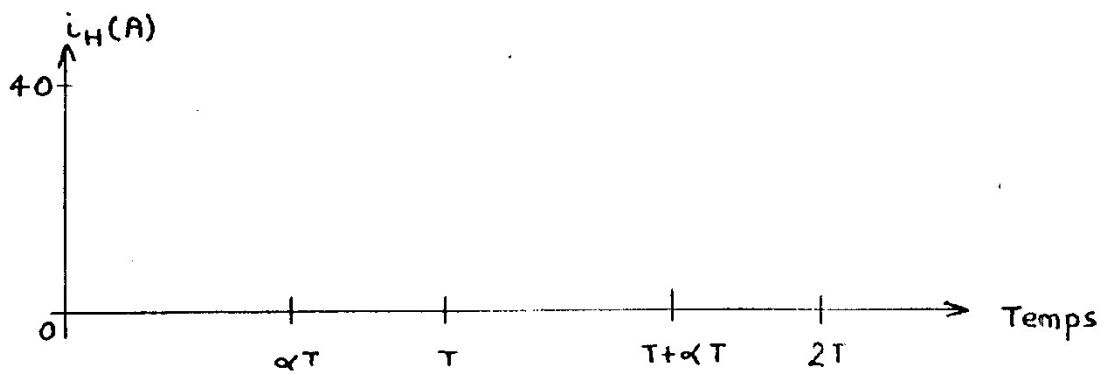
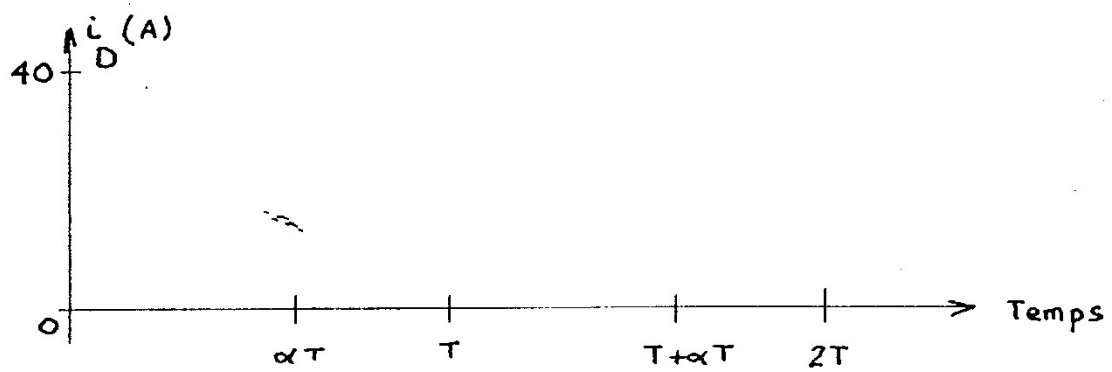
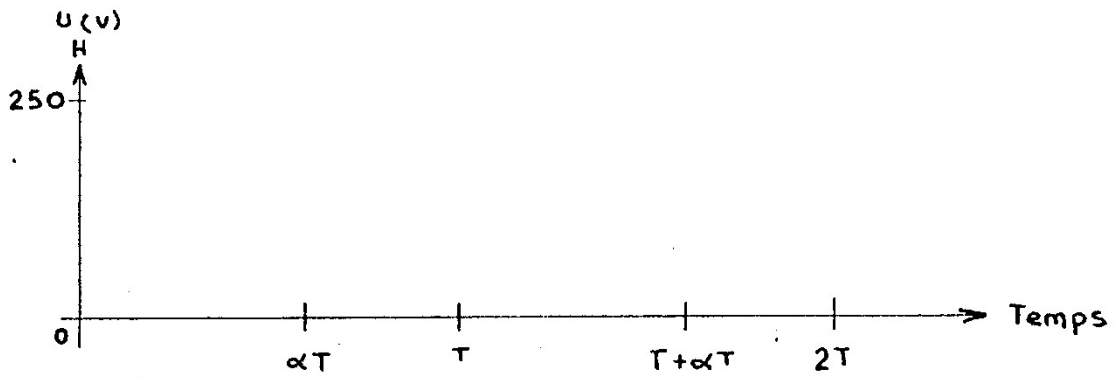
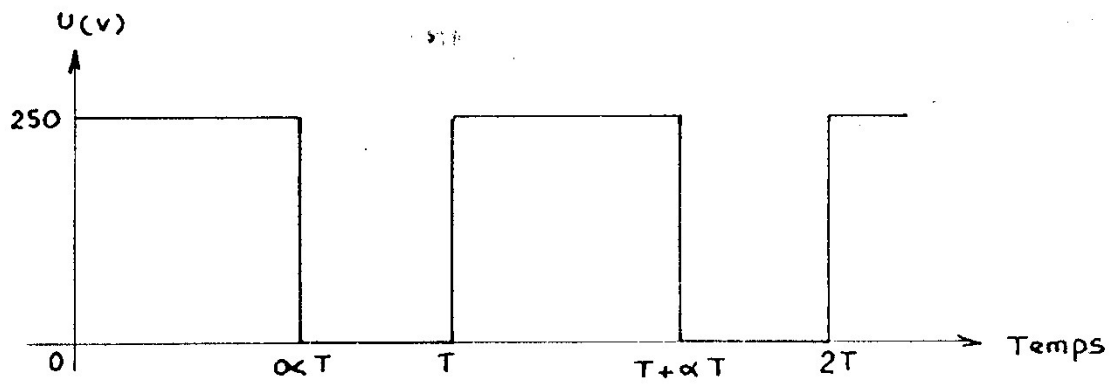
- 1.1) Redessiner le schéma du montage en remplaçant les composants H et D par des interrupteurs ouverts ou fermés selon le cas.
- 1.2) En déduire les valeurs numériques de u_H , i_H et i_D

2°) Pour l'intervalle de temps αT à T

- 2.1) Redessiner le schéma du montage en remplaçant les composants H et D par des interrupteurs ouverts ou fermés selon le cas.
- 2.2) En déduire les valeurs numériques de u_H , i_H et i_D .

3 °) Représenter, sur le document réponse, les graphes de $u_H(t)$, $i_D(t)$ et $i_H(t)$ en respectant la concordance du temps entre ces trois grandeurs électriques et la tension u .

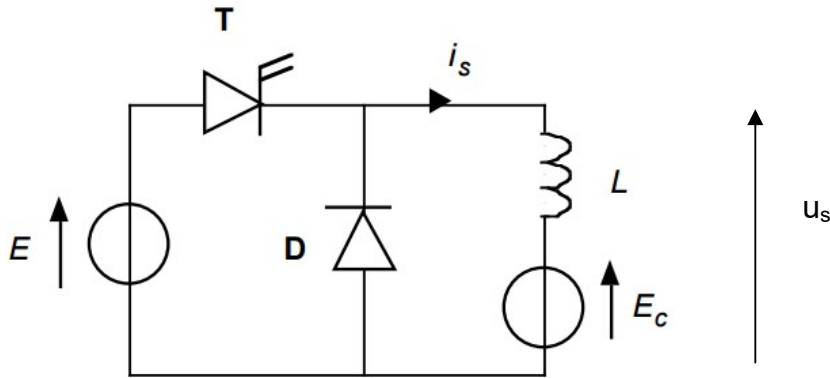
4 °) Donner l'expression de la valeur moyenne U de la tension $u(t)$, en fonction de V et α .



Exercice 7 :

Un hacheur série formé par un semi-conducteur réalisant une fonction T et par une diode D, est alimenté par une source de tension supposée parfaite.

Il débite sur un récepteur unidirectionnel en courant ($i_s > 0$) comportant en série une inductance L et une fém E_c .



On désigne par T la période de fonctionnement et par αT la durée des intervalles de conduction du semi-conducteur commandé.

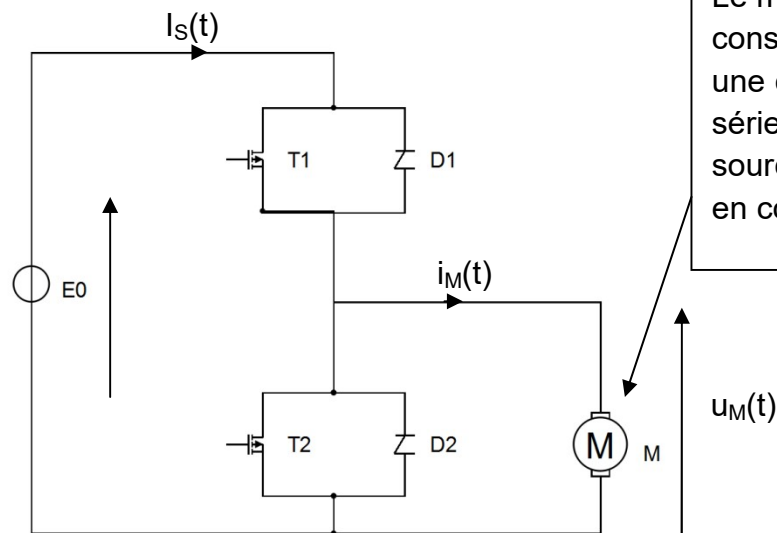
- 1- On part de l'état initial $i_s=0$. Mettre en évidence, en traçant l'allure des courant $i_s(t)$ des deux types de fonctionnement, l'un continu pour lequel le courant i_s ne s'annule plus par la suite, et l'autre discontinu pour lequel i_s s'annule à nouveau.
- 2- Pour avoir une conduction continue quelque soit la valeur de α , indiquer le critère de réglage sur lequel il faut agir.
- 3- Que se passerait 'il si la fréquence était infiniment grande.

3. Le hacheur deux quadrants réversible en courant

On utilise ce hacheur lorsque l'on doit faire fonctionner un moteur dans un seul sens de rotation avec contrôle du temps d'accélération et de décélération.

Le contrôle ici se fera sur le courant moyen circulant dans le moteur donc c'est un contrôle du couple permettant la décélération.

Schéma de principe :



On commande T1 en association avec D2, et on retrouve la structure du hacheur série. (1^{er} quadrant).

On commande T2 pendant la phase de freinage afin de contrôler la valeur du courant dans le moteur (On rappelle que le courant est directement relié au couple et qu'en inversant son signe, on crée un couple de freinage). (2^{ème} quadrant).

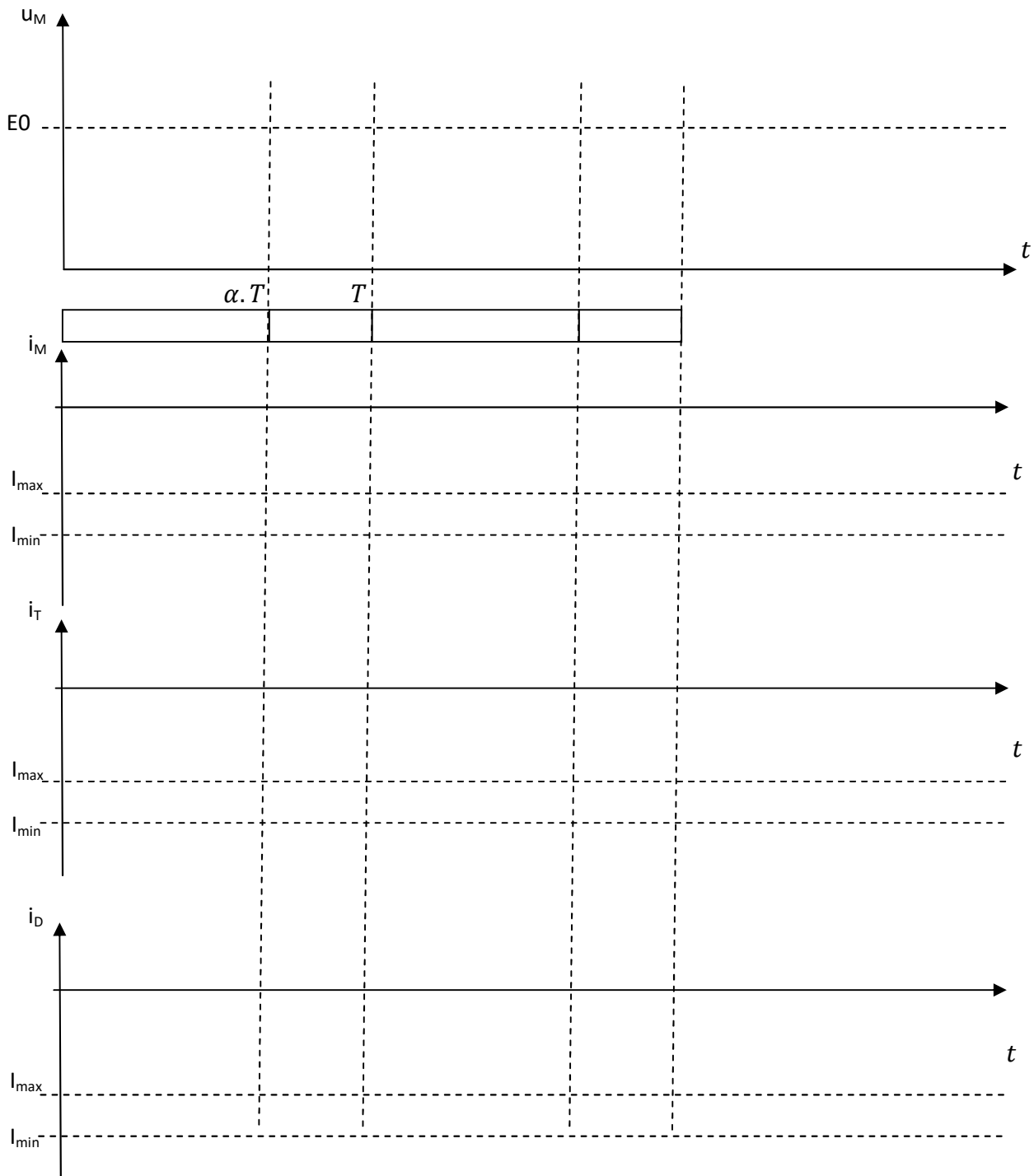
5.1 Equation courant tension :

Exercice 8 :

3. Ecrire la loi des mailles sur la charge.
4. Trouver la solution de l'équation différentielle obtenue en considérant que $R \simeq 0 \Omega$ pour le cas où :
 - T2 est passant et D1 bloquée *entre $\alpha.T$ et T* .
 - D1 est passante et T2 bloqué *entre 0 et $\alpha.T$* .

5.2 Forme d'onde :

On considèrera que par la suite entre 0 et $\alpha.T$, $D1$ est passante et $T2$ bloquée, puis entre $\alpha.T$ et T , $D2$ est bloquée et $T2$ est passant.



Exercice 9:

1. Exprimer la valeur moyenne $\langle u_M \rangle$.
2. Exprimer la valeur moyenne de $\langle i_M \rangle$.
3. Déterminer les points de fonctionnement possible du hacheur dans le repère $i_M = f(u_M)$ figure 1.
4. Associer la grandeur mécanique correspondant aux grandeurs électriques du moteur à courant continu

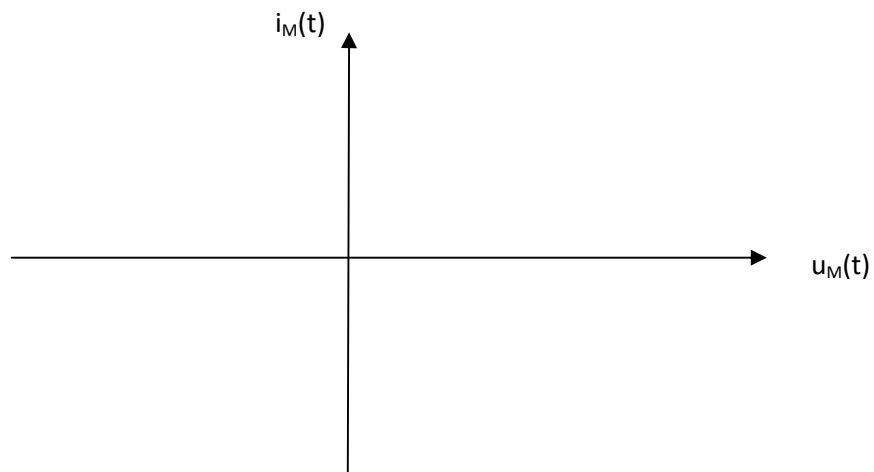
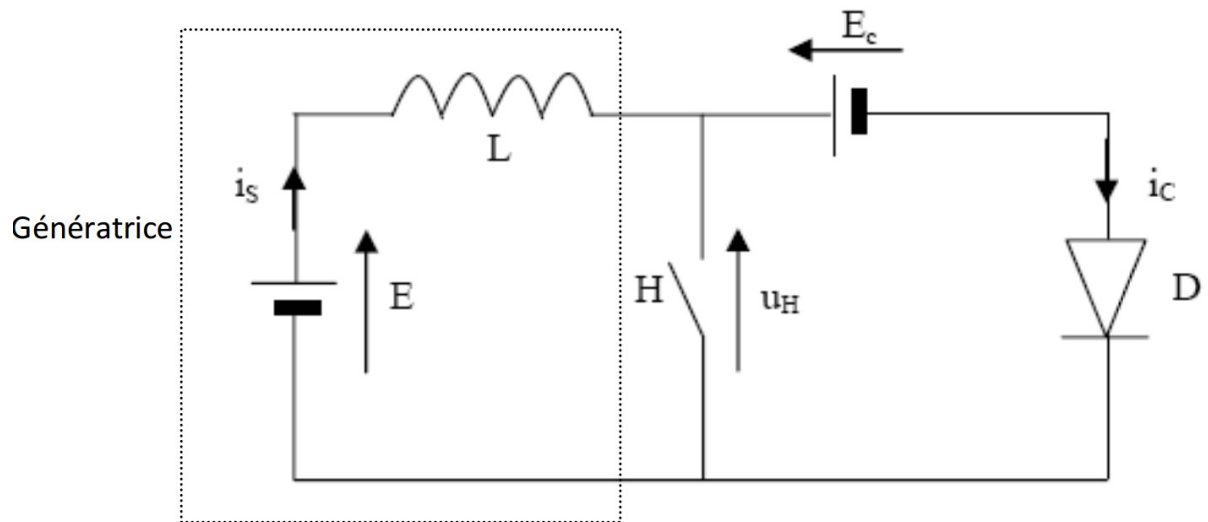


Figure 1

Exercice 10:

On considère une application où une machine à courant continu fonctionne en génératrice. Sur le montage fourni ci-dessous, H désigne un interrupteur commandable à l'ouverture et à la fermeture.



On se place en régime permanent de fonctionnement : De $t_0 = 0$ à $t_1 = 2.T/3$: H est fermé ; de $t_1 = 2.T/3$ à $t_2 = T$: H est ouvert.

On précise les valeurs des composants et de la période : $E = 48 \text{ V}$; $L = 25 \text{ mH}$; $T = 0,5 \text{ ms}$.

1. Quel est l'état de la diode D lorsque H est fermé ?
2. Comment évolue le courant $i_s(t)$ durant cette phase ?

On supposera connue la valeur du courant à l'instant $t_0 = 0$: $i_s(t_0) = I_{\min} = 12 \text{ A}$.

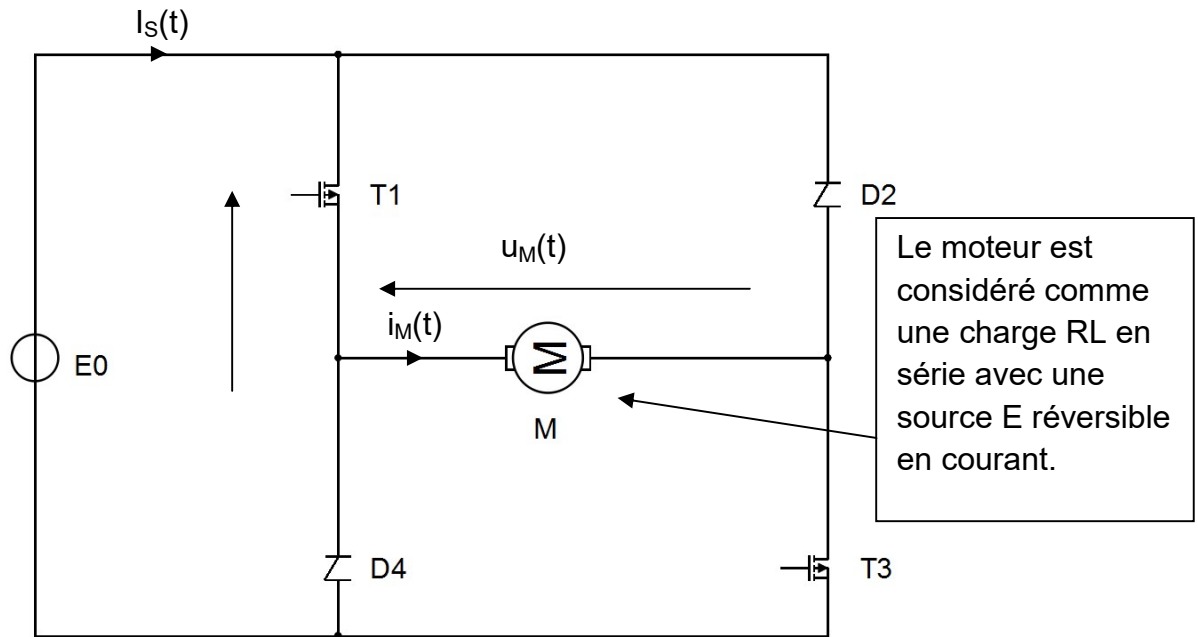
3. Lorsque l'interrupteur H est ouvert, que vaut la tension u_H ? Représenter les allures de u_H et de $i_s(t)$ pour l'intervalle t_0 à t_1 puis à t_2 .
4. Exprimer la valeur moyenne de la tension aux bornes de H, et en déduire la valeur de E_c .
5. Calculer l'ondulation de i_s . Quelle est sa valeur maximum ?

5. Le hacheur deux quadrants réversible en tension :

On utilise ce hacheur lorsque l'on doit faire fonctionner un moteur dans un seul sens de rotation avec contrôle du temps d'accélération et de décélération.

Le contrôle ici se fera sur la tension moyenne aux bornes du moteur donc c'est un contrôle de la vitesse de décélération.

Schéma de principe :



On commande T1 et T3 pour établir une tension positive aux bornes du moteur avec un courant $i_M(t)$ positif entre 0 et αT .

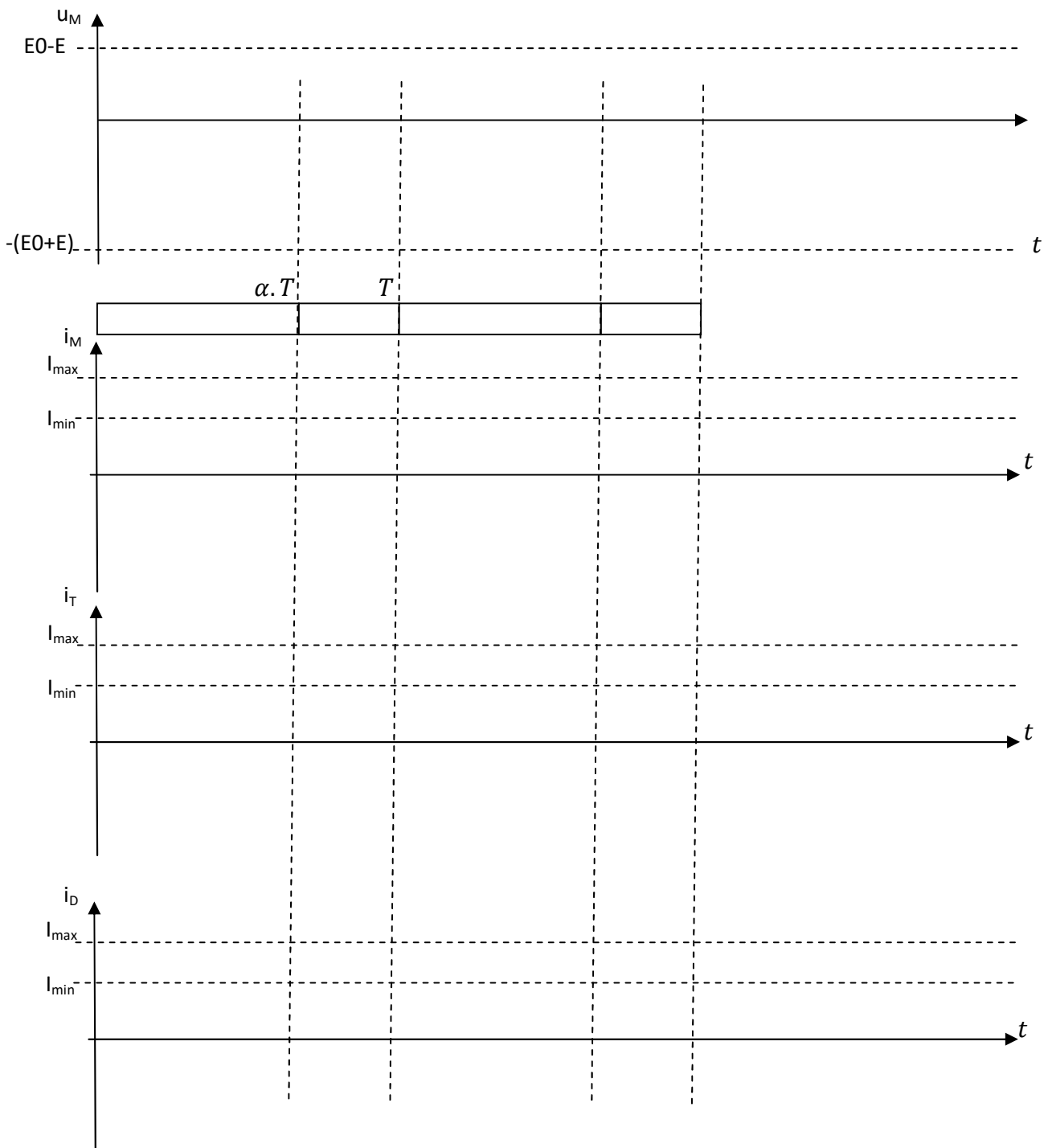
Les diodes D2 et D4 permettent d'assurer la continuité du courant en fonctionnement roue libre entre αT et T.

5.1. Equation courant tension :

Exercice 11 :

6. Ecrire la loi des mailles sur la charge.
7. Trouver la solution de l'équation différentielle obtenue en considérant que $R \simeq 0 \Omega$ pour le cas où :
 - T1 et T3 passants et D2 et D4 bloquées.
 - D2 et D4 passantes et T1 et T3 bloqués.

5.2. Forme d'onde :



Exercice 12:

5. Exprimer la valeur moyenne $\langle u_M \rangle$.
6. Donner le graphe $\langle u_M \rangle = f(\alpha)$
7. Déterminer les points de fonctionnement possible du hacheur dans le repère $i_M = f(u_M)$ figure 1.
8. Associer la grandeur mécanique correspondant aux grandeurs électriques du moteur à courant continu

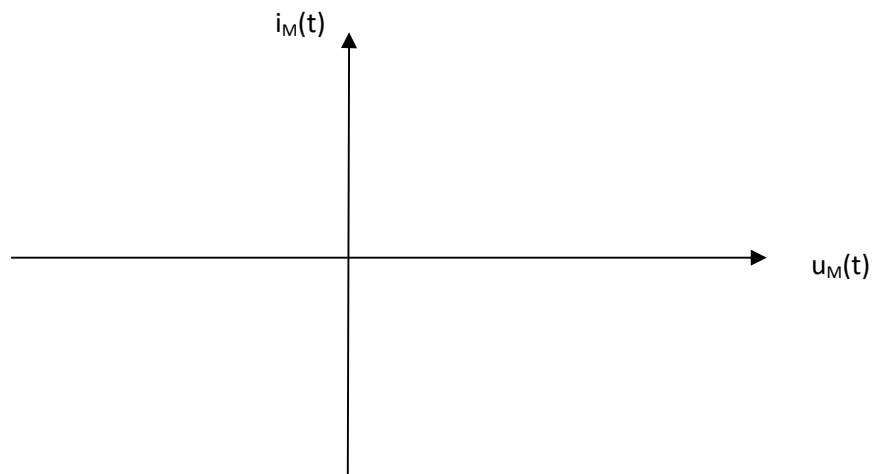
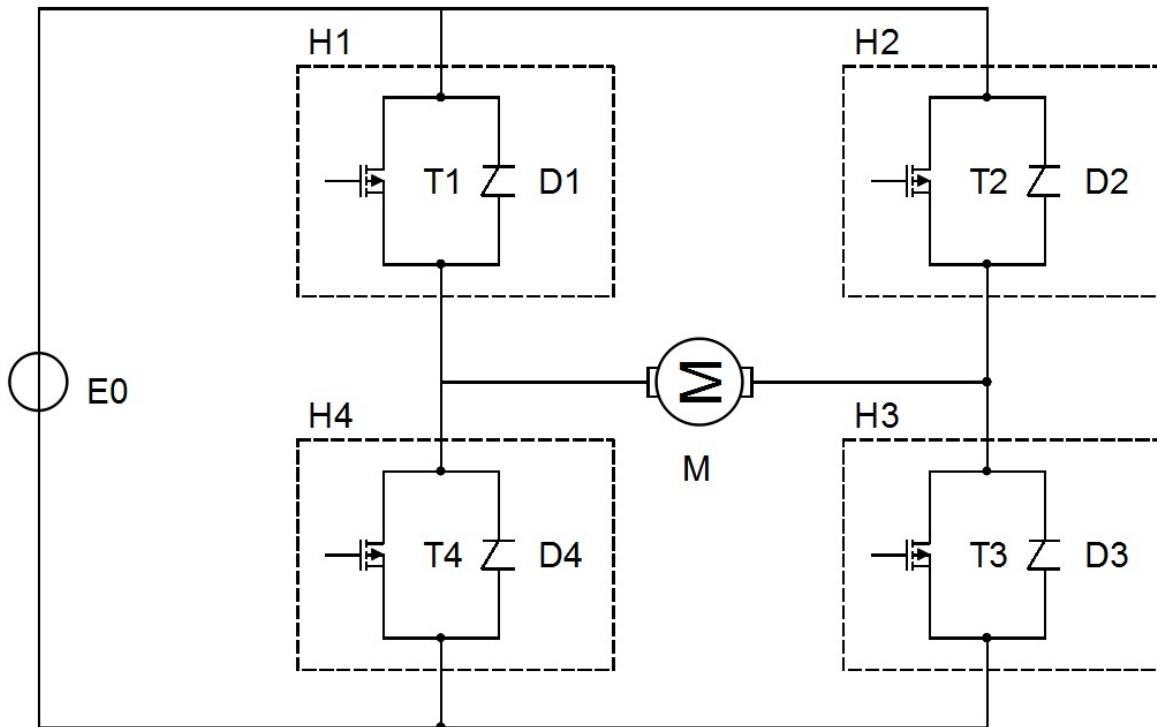


Figure 1

6. Le hacheur quatre quadrants:

Le Hacheur quatre quadrants correspond au hacheur réversible en tension précédent ou on a rendu chaque interrupteur statique bidirectionnel en courant permettant d'utiliser tous les quadrants possibles.

Schéma de principe :



Exercice d'application :

ASSERVISSEMENT DE POSITION

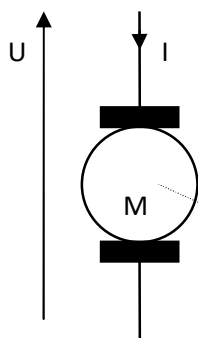
Ce sujet comporte 2 parties indépendantes.

1ere Partie : étude de la machine à courant constant.

2eme Partie : étude du convertisseur

1ERE PARTIE : ETUDE DE LA MACHINE A COURANT CONTINU

Caractéristiques



- Inducteurs à aimants permanents
- Induit : résistance $R = 4,0 \Omega$
- constante de f.é.m. et de couple : $k = 0,30 \text{ V.s.rad}^{-1}$
- intensité nominale : $I_n = 4,0 \text{ A}$

Ω Les frottements ainsi que les pertes dans le fer seront négligés.

On notera en outre :

C_e le moment du couple électromagnétique,

Ω la vitesse angulaire de rotation,

n la fréquence de rotation en tr/s,

E la f.é.m ; $E = k \Omega$,

U la tension aux bornes de la machine,

1.1. Etablir l'expression du moment du couple électromagnétique,

1.2. Pour le courant nominal d'intensité I_n , calculer les valeurs numériques de la tension d'alimentation U et du moment du couple électromagnétique pour les fréquences de rotation

a) $n = 0$

b) $n = 50 \text{ tr/s}$

1.3 On applique sur l'arbre de la machine, un couple résistant, de moment $C_R = 0,80 \text{ N.m}$.

1.3.1. Quelle relation lie les moments des couples électromagnétique et résistant en régime permanent ?

1.3.2. Déterminer la relation exprimant Ω en fonction de U , R , k et C_R en régime permanent.

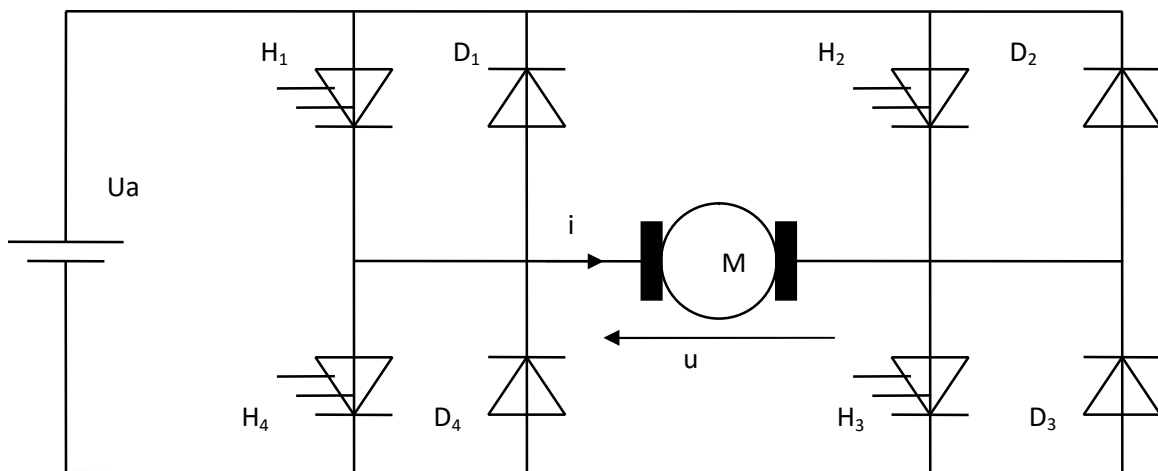
1.3.3 A partir de quelle valeur de l'intensité I , le moteur peut-il démarrer ?
Quelle est la tension U correspondante ?

1.4 Quelle tension U maximale doit-on s'imposer au démarrage pour que l'intensité I_d de démarrage demeure inférieure à $1,25 I_n$?

2eme PARTIE : ETUDE DU CONVERTISSEUR

La machine est alimentée par le convertisseur dont le schéma est représenté ci-dessous. Les ordres d'ouvertures et de fermetures des interrupteurs commandés (H1, H2, H3, H4) sont élaborés à partir d'une tension de contrôle V_c .

H1, H2, H3, H4 sont des interrupteurs unidirectionnels en courant commandés à l'ouverture et à la fermeture; à l'état fermé, ils ne présentent pas de chute de tension à leurs bornes.



2.1. T est la période de fonctionnement; α est un coefficient compris entre 0 et 1.

Pour $0 < t < \alpha T$ H_1 et H_3 sont commandés à l'état fermé;

H_2 et H_4 sont commandés à l'état ouvert.

Pour $\alpha T < t < T$ H_1 et H_3 sont commandés à l'état ouvert;

H_2 et H_4 sont commandés à l'état fermé.

2.1.1. Dans ces conditions, représenter sur l'annexe 1, à rendre avec la copie, la tension $u(t)$ en fonction du temps.

2.1.2. Calculer la valeur moyenne U_{moy} de $u(t)$.

2.1.3. Comment varie le signe de U_{moy} en fonction de α ?

2.2. L'annexe 2 présente 4 cas de fonctionnement. Pour chacun de ces 4 cas, $i(t)$ évolue entre une valeur minimale I_m et une valeur maximale I_M : la conduction est ininterrompue.

2.2.1. Tracer $u(t)$ et en déduire le signe de U_{moy} .

2.2.2. Tracer l'allure de $i(t)$ et en déduire le signe de I_{moy} .

2.2.3. Quel est le régime de fonctionnement de la machine à courant continu (moteur ou génératrice) ?

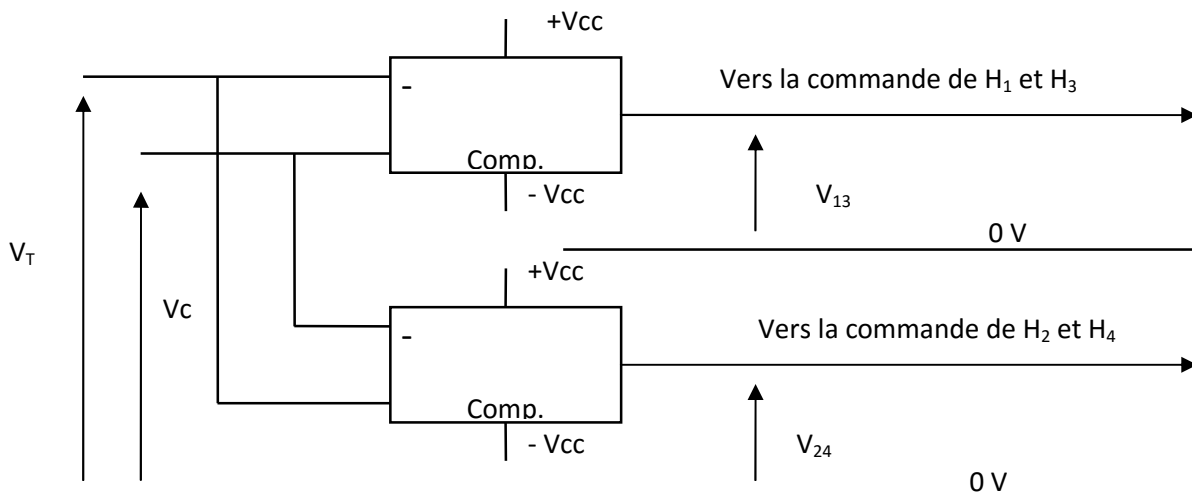
2.2.4. Compléter l'annexe 2, à rendre avec la copie, en indiquant pour chacun des cas les éléments du convertisseur en conduction.

2.3 On désire piloter le convertisseur avec une tension de commande V_c pour avoir la relation

$$U_{moy} = H V_c$$

H est une constante propre au montage.

L'ensemble ci-dessous sert à élaborer 2 signaux V13 et V24 utilisé pour la commande des interrupteurs.



Les 2 comparateurs sont alimentés entre $-V_{cc}$ et $+V_{cc}$. La tension de sortie de chacun de ces comparateurs commute entre $+V_{cc}$ et $-V_{cc}$.

Lorsque la tension de sortie d'un comparateur est au niveau $-V_{cc}$, les interrupteurs associés sont commandés à la fermeture; quand cette tension est au niveau $+V_{cc}$, les interrupteurs sont commandés à l'ouverture.

La tension V_t est définie en annexe 3 ; sa période est T , elle évolue entre $-V_{tm}$ et $+V_{tm}$.

On considère le cas ou $V_c > C$

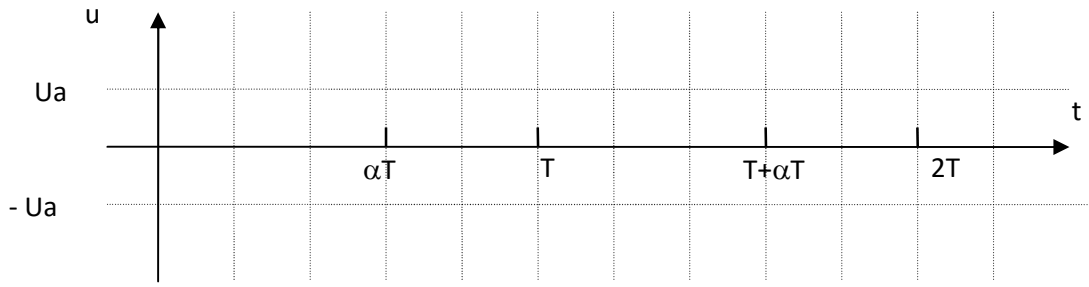
2.3.1. Représenter les signaux V_{13} e= V_{24} en complétant l'annexe 3, à rendre avec la copie.

2.3.2. Calculer la date t_1 en fonction T , V_c , V_{TM} .

2.3.3. Repérer αT et l'exprimer en fonction de t_1 .

2.3.4. En déduire α en fonction de V_c et de V_{TM} ; exprimer ensuite la constante H en fonction de U_a et V_{TM} .

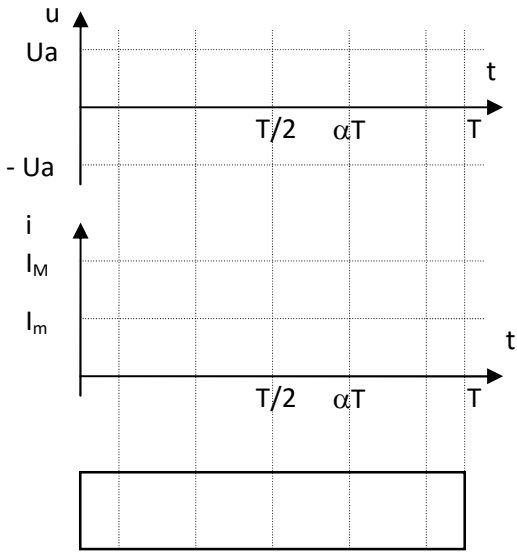
ANNEXE 1



Cas n°1

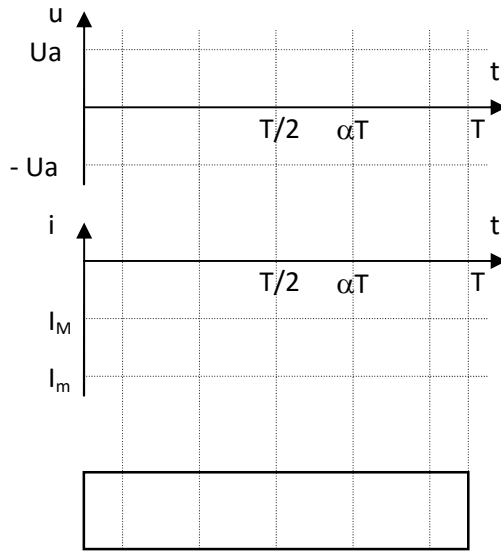
ANNEXE 2

Cas n°2



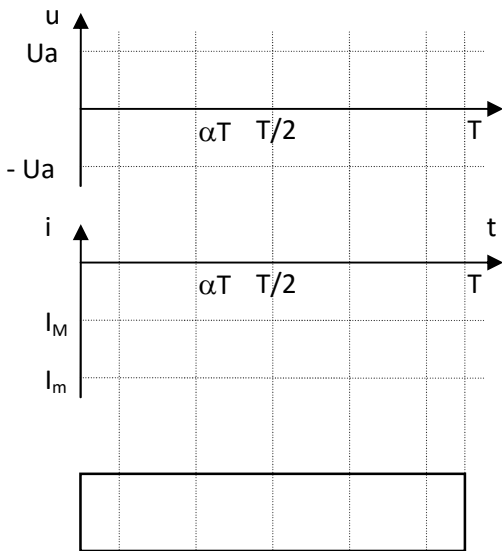
Conductions

Cas n°3

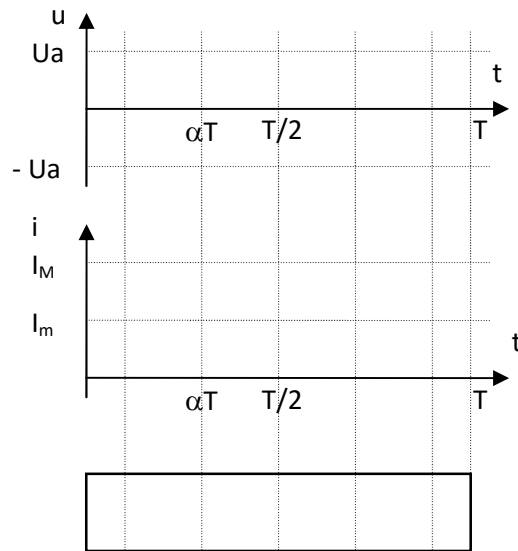


Conductions

Cas n°4



Conductions



Conductions

ANNEXE 3

