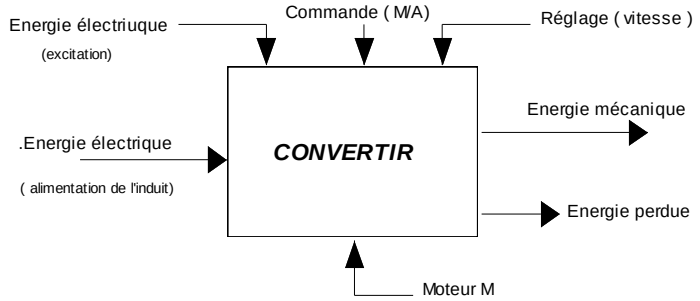
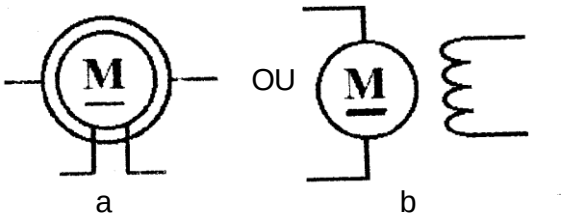
LES MOTEURS À COURANT CONTINU

A – Mise en situation : trottinette électrique à 2 roues (voir livre de cours page 207)

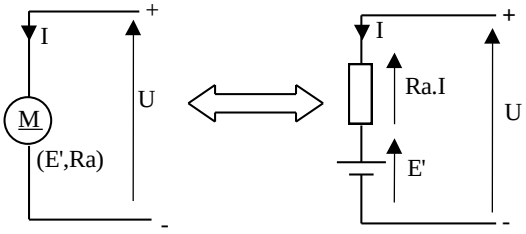
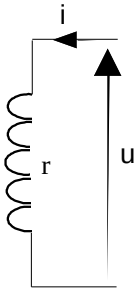
B – Rappels :

1 – Modélisation et symbole :

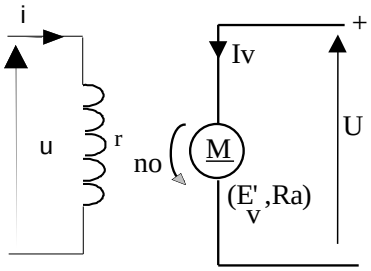




2 - Schéma équivalent :

Induit :	Inducteur :
 Loi d'OHM : U = E' + Ra.I	 u = r.i

3 – Fonctionnement à vide : (Réaliser l'activité 1 page 125)

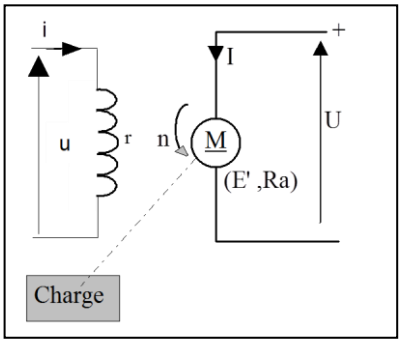


Le moteur tourne à vide , il est désaccouplé de toute charge , donc sa puissance utile est nulle (Pu=0).

Pertes joules inducteurs à vide	Pertes joules induit à vide	P absrbée par le moteur à vide	P absrbée par l'induit à vide	Pertes constantes (Pc=Pf + Pméc)
$P_{JSo} = u.i = r.i^2 = \frac{u^2}{r}$	$P_{jrv} = Ra.II_V^2$	$P_{amv} = UI_v + P_{jSo}$	$P_{av} = UI_v$	$Pc = UI_V - R_a I_V^2$ $= (U - R_a Iv)Iv = E_V^{'}.Iv$

La loi d'ohm à vide s'écrit **E'_v = U – Ra .I_v = K no** (k : coefficient de proportionnalité)

3 – Fonctionnement en charge : (Réaliser l'activité 2 page 125)



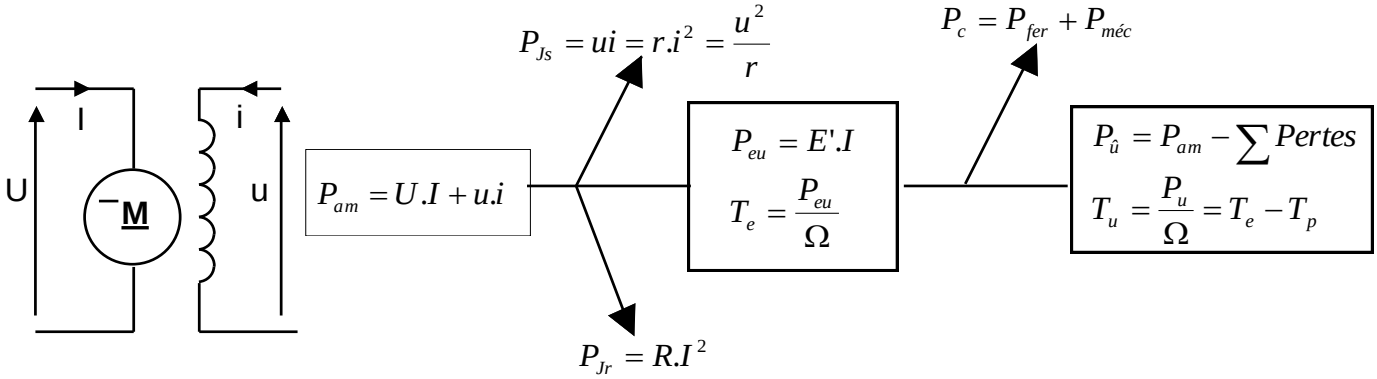
L'inducteur est alimenté par une tension continue u = cte et traversé par un courant i (si l'inducteur n'est pas un aimant permanent) . L'induit est alimenté par une tension U , absorbe un courant I pour une charge donnée et tourne à une vitesse $\Omega = \frac{2\pi n}{60}$ avec n en tr/mn et Ω en rd/s

- Loi d'ohm pour l'induit : U = E' + Ra.I
- Puissance absorbée par le moteur : $P_{am} = UI + ui$ (si le moteur est à aiment permanent : u.i = 0)
- Pertes par effet Joule dans l'inducteur : $P_{JS} = ri^2 = ui = \frac{u^2}{r}$ (si le moteur est à aimant permanent :Pjs=0)
- Pertes par effet Joule dans l'induit (rotor) : $P_{JR} = Ra.I^2$

→ les pertes joules totales : Pjt = P_{js} + P_{jr}

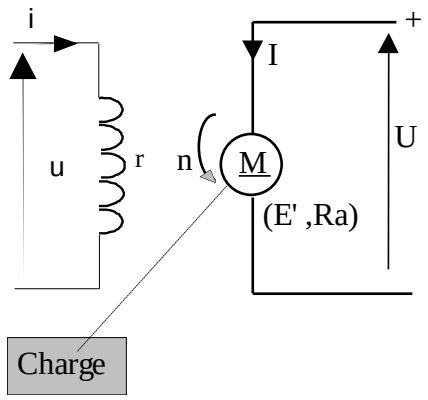
- La puissance électromagnétique : $Pem = P_{am} - P_{JS} - P_{Jr} = E'I = T_{em}\Omega$
- Les pertes constantes : Pc = Tp.Ω (constantes à vide et en charge)
- La puissance utile : $Pu = P_{am} - Pjt - Pc = T_u.\Omega$
- le rendement : $\eta = \frac{P_u}{P_{am}}$

4 – Bilan énergétique :



C – Caractéristiques d'un moteur à courant continu :

- Montage :

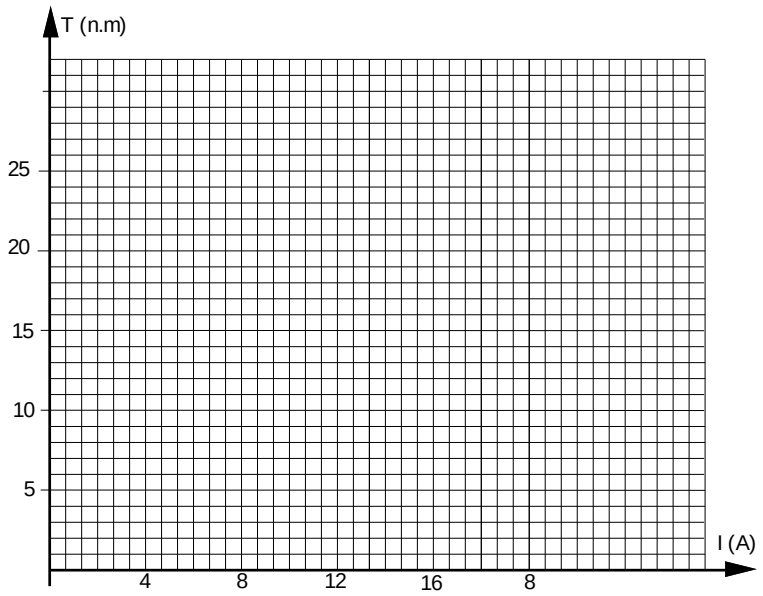


i = 0,5A = c^{te} , u = 220v = cte , U = 220v = Cte on donne Ra = 1Ω , calculons le couple électromagnétique Tém pour différentes valeurs du courant :

• Tableau des mesures :

n en tr/mn	1560	1540	1520	1500
I (A)	4	8	12	16
Ra.I (v)	4	8	12	16
E' = U – Ra.I	216	212	208	204
$Tem = \frac{E'I}{2\pi n}60$	5,3	10.5	15.7	20.8

1 – Caractéristique de couple : C'est la courbe représentative du couple Tu en fonction du courant absorbé I par le moteur pour différentes charges : Tem = f(I)



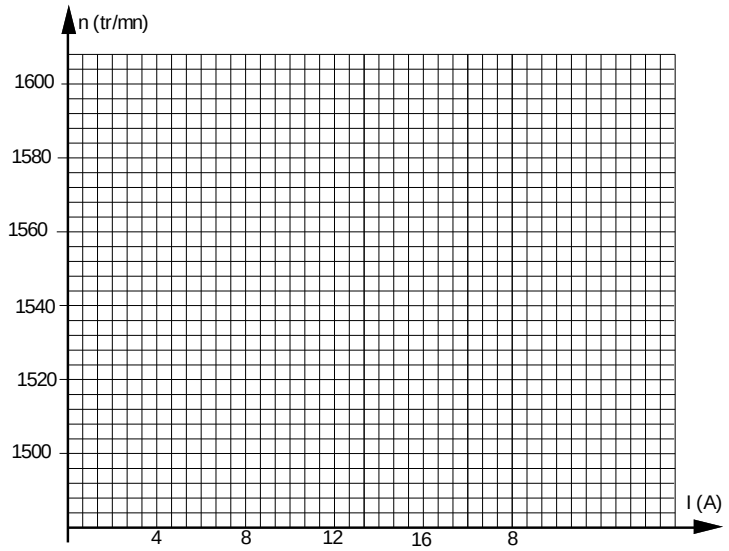
$$Tem = \frac{Pem}{\Omega} = \frac{E'I}{2\pi n}$$
$$= \frac{NnΦI}{2\pi n} = \frac{NΦI}{2\pi} = KI$$

Le couple électromagnétiques ,Tem est proportionnel au courant absorbé I

Tu = Tem – Tp

Tp = couple des pertes

2 – Caractéristique de vitesse : C'est la courbe représentative de la vitesse n en fonction du courant absorbé I par le moteur pour différentes charges : n = f(I)



$E' = Kn$, avec $E' = U - RaI$

soit K.n = U – Ra.I

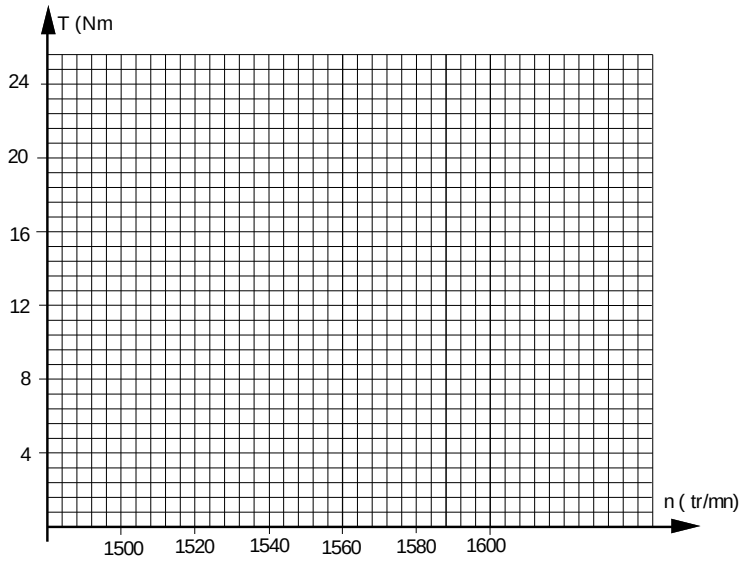
d'où :

$$n = \frac{U - Ra.I}{K} = -\frac{Ra}{K}I + \frac{U}{K}$$

$$n = A - BI$$

C'est l'équation d'une droite de pente négative . La vitesse varie peu avec la charge

3 – Caractéristique mécanique : C'est la courbe représentative du couple en fonction de la vitesse pour différentes charges : T = f(n)



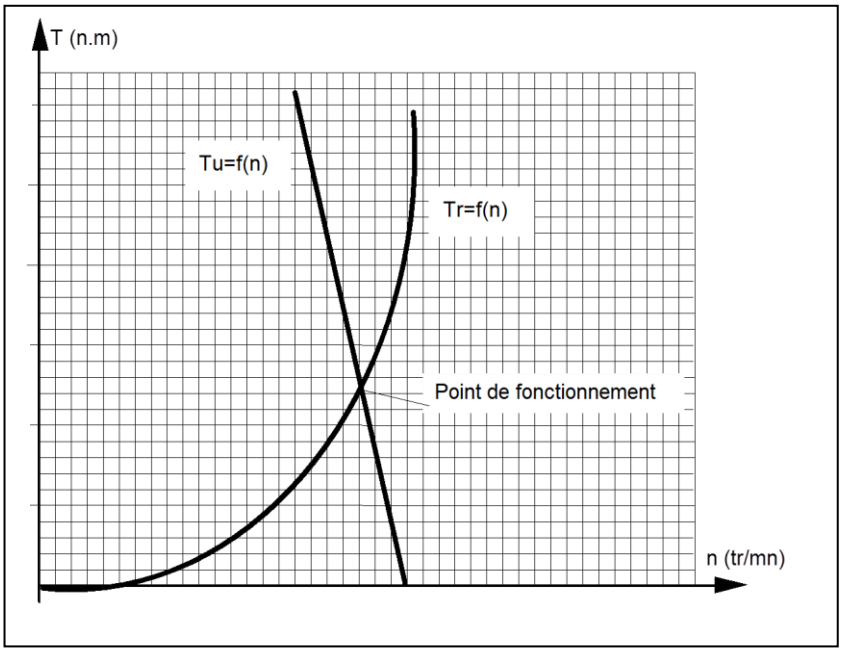
$$Tem = KI \text{ avec } n = -\frac{Ra}{K}I + \frac{U}{K} = -BI + A$$

ce qui donne : $I = A - \frac{n}{B}$

$$Tem = K(A - \frac{n}{B}) = AK - \frac{K}{B}n = a - b.n$$

c'est l'équation d'une droite de pente négative

4 – Point de fonctionnement :



Une charge oppose au moteur un couple résistant Tr. Pour que le moteur puisse entraîner cette charge , le moteur doit fournir un couple utile Tu de telle sorte que Tu = Tr . L'intersection de la courbe Tu = f(I) avec la courbe du couple résistant définit le point de fonctionnement .

D – Variation de vitesse d'un moteur à courant continu :

On a E' = Nnϕ = U – Ra I or Ra I << U et ϕ = ki_{ex} d'où $n = \frac{U}{Nkiex}$ où ki_{ex} = K ⇒ $n = \frac{U}{Kiex}$

D'après l'expression de n= f(U,i_{ex}) , pour varier la vitesse n , on doit agir soit :

- Sur le courant d'excitation **i_{ex}** en maintenant **U** constante .

Inconvénients : Le couple varie , risque d'emballement du moteur (**n** tend vers l'infini)

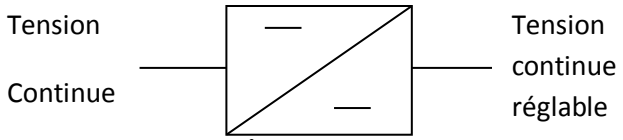
- Sur la tension d'alimentation de l'induit **U** .Pour cela il faut avoir une source de tension variable (réglable) obtenue par exemple à l'aide d'un ***hacheur série*** .

1 – **Définition et symbole d'un hacheur série**:

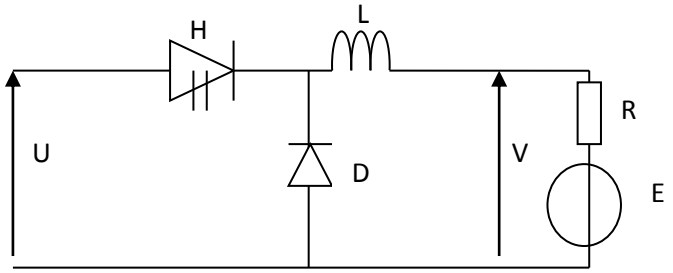
a- Définition : Le hacheur série est un convertisseur continu/continu , il permet d'obtenir à partir d'une tension continue fixe , une tension continue réglable .

Il est composé d'un interrupteur électronique unidirectionnel **H** (transistor ou thyristor) fermé pendant un intervalle de temps $t_1 = \alpha T$, ouvert le reste de la période **T** . Une diode de roue libre **D** permet la circulation du courant si la charge est inductive .

b-Symbole :



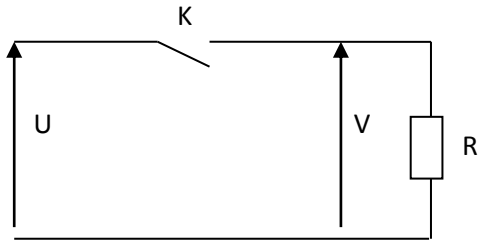
2 - Schéma d'un hacheur série :



3- Principe d'un hacheur série et valeur moyenne aux bornes de la charge :

a – Débit sur une charge résistive :

•Montage (en réalité l'interrupteur est remplacé par un transistor ou un thyristor).



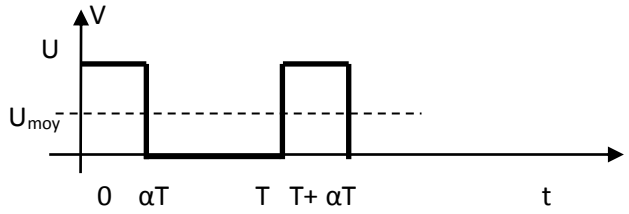
Fonctionnement :

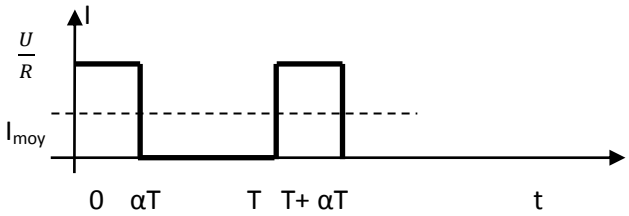
On choisit une période **T** et une fraction **α** de cette période .

α s'appelle le rapport cyclique où 0< **α** <1

- De 0 à **αT** : K est fermé ⇒V = U et $I = \frac{U}{R}$
- De **αT** à **T** : K est ouvert ⇒I = 0 et V = 0.

• Chronogrammes :

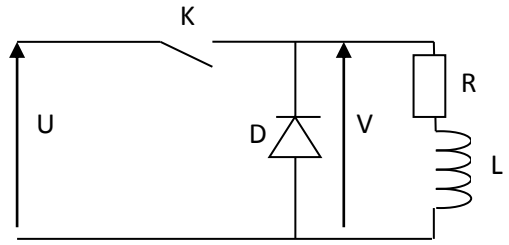




• Valeur moyenne U_{moy} (notée aussi $\overline{v}$) :La valeur moyenne est par définition le rapport de l'aire sous la courbe sur la période **T** :$Umoy = \frac{U \times \propto T}{T} = \propto T$.

b – Débit sur une charge inductive :

•Montage .

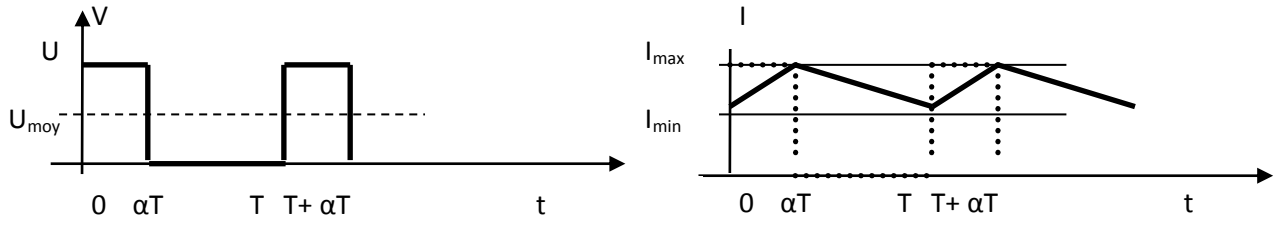


Fonctionnement :

On choisit une période **T** et une fraction **α** de cette période .

- De 0 à **αT** : K est fermé ⇒V = U , I augmente progressivement et D étant bloquée
- De **αT** à **T** : K est ouvert ⇒ V ≈ 0 , I diminue progressivement et D est passante .

• Chronogrammes :



• Valeur moyenne :$\boldsymbol{Umoy} = \propto \boldsymbol{T}$ et $I_{moy} = \frac{Imax+Imin}{2}$

E – Evaluation :

Exercice N°1

Un moteur à excitation indépendante porte les indications suivantes :
Résistance de l'inducteur r = 150Ω et sa tension d'alimentation u = 120v . Résistance de l'induit R = 0,5Ω et sa tension d'alimentation U = 220v
Lors d'un essai à vide , on mesure la puissance absorbée par l'induit Pv = 320w , Iv = 1,2A.
Pour un essai en charge à la vitesse n = 1450 tr/mn , l'intensité I = 18A
Pour l'essai en charge calculer
1 – Puissance électromagnétique .
2 – Les pertes par effet joule au stator et au rotor et les pertes collectives .
3 - La puissance utile.
4 - Le moment du couple utile.
5 - Le rendement du moteur.
Pour l'essai à vide , calculer
6 – La f.e.m Ev.
7 – La fréquence de rotation n_v en tr/mn

Exercice N°2

Un moteur à excitation indépendante a pour résistance d'induit R = 0,9Ω et est alimenté par une tension d'alimentation U variable .
Un essai à vide permet de mesurer le courant Iv = 1,3A , la tension Uv = 150V et nv = 1250tr/mn.
1 – Calculer les pertes constantes Pc et le moment du couple de pertes Tp .
En charge pour une tension d'alimentation U = 170V , l'induit appelle un courant de I = 22A , la vitesse de rotation est n = 1250tr/mn
2 – Calculer la f.e.m E
3 – Etablir une relation entre E et n lorsque U varie.
4 – Calculer la tension de décollage Ud .
5 – Etablir l'expression de n en fonction de U .
6 – Montrer que le couple électromagnétique Tem est constant et calculer sa valeur .
7 – Le moment de couple des pertes est proportionnel à la vitesse n , soit Tp = a.n. Calculer a .
8 – Ecrire l'expression de Tu(n) .
9 – Le moteur doit entraîner une charge qui a pour couple résistant

$$Tr = 2.10^{-6}n^2 - 1{,}1.10^{-3}n + 23.$$

Calculer les coordonnées du point de fonctionnement .

Exercice N°3 : Moteur à coutant continu alimenté par un hacheur série

Les moteurs du manège sont du type " courant continu ". On lit sur la plaque signalétique d'un moteur les grandeurs nominales suivantes :

INDUIT : U = 24V ; 1 = 50A n = 500 tr/min ; INDUCTEUR: u = 24V; i = 2A

L'excitation indépendante assure un flux constant.

1- Donner le schéma équivalent de l'induit du moteur en précisant l'orientation du courant et des tensions. Calculer la fém. du moteur en régime nominal sachant que la résistance de l'induit est R = 0,08 Ω.

2- On admet la relation $E=k.\Omega$ dans laquelle Ω représente la vitesse angulaire de l'induit en rad/s, et E la f.é.m. en volts. En déduire le coefficient k.

3-Sachant que $T=k'.I$, avec T moment du couple électromagnétique du moteur en N.m, et I intensité absorbée par l'induit , calculer le moment du couple électromagnétique nominal T_n

4-.Calculer la puissance nominale totale P_{An} absorbée par le moteur (induit plus inducteur).

5- En déduire la puissance utile nominale P_{un} sachant que le rendement du moteur est 62%.

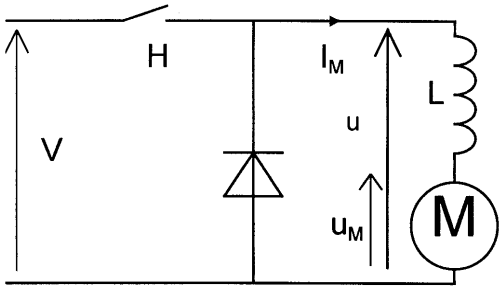
6- Calculer le moment du couple utile nominal T_{un}

7- On donne le schéma de principe d'un convertisseur électronique pour l'induit d'un moteur à courant continu où :

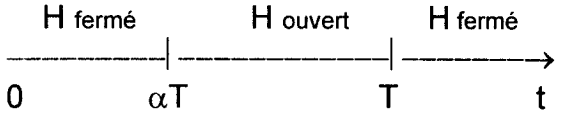
La tension V est supposée parfaitement continue V = 24V.

L symbolise une bobine de résistance nulle.

Le courant I_M est supposé continu, d'intensité I_M = 50A , constante.



L'interrupteur électronique hacheur H est commandé périodiquement selon le chronogramme suivant:



T = 5 ms

αT = 2 ms

a - Calculer la fréquence de fonctionnement du hacheur.

b - Rappeler la définition du rapport cyclique α et calculer sa valeur.

c - Donner le schéma de branchement d'un oscilloscope permettant de visualiser les variations de u et I_M en fonction du temps. Tracer l'allure de u (t) et $I_M(t)$ sur une période, en précisant les échelles.

d-Calculer la valeur moyenne Um_{moy} de la tension u_M aux bornes de l'induit sachant que la valeur moyenne de la tension aux bornes de la bobine est nulle.

Entre quelles limites varie Um_{moy} lorsque $0 \leq \alpha \leq 1$?

Quel est l'intérêt d'alimenter le moteur par un hacheur ?