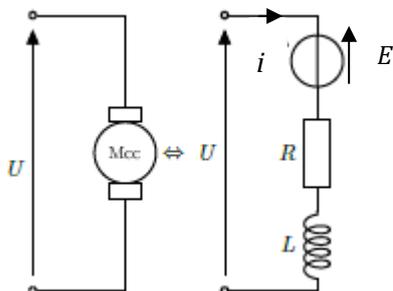


Devoir surveillé n°3 :**Durée : 4h****Exercice n°1 : Etude d'un moteur à courant continu**

Une machine à courant continu est un convertisseur d'énergie réversible : l'énergie électrique y est transformée en énergie mécanique dans le fonctionnement en moteur, et l'énergie mécanique y est transformée en énergie électrique dans le fonctionnement en génératrice. La machine à courant continu est un convertisseur électromécanique.

A. Modélisation électrique

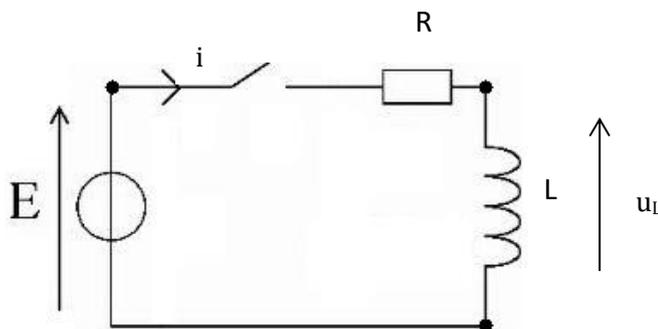
Le moteur à courant continu peut être modélisé par une f.é.m. E' , proportionnelle à sa vitesse de rotation, en série avec une résistance $R = 0.24 \Omega$. et une inductance $L = 1.44 \text{ mH}$.

**Modélisation en régime permanent**

- 1) Donner le modèle équivalent du moteur en régime permanent.
- 2) Pour une fréquence de rotation de 3000 tr.min^{-1} , sous la tension $U = 12 \text{ V}$, le moteur absorbe un courant d'intensité $i = 2.5 \text{ A}$. En déduire la force électromotrice du moteur E' .

Etude en régime transitoire

On bloque le moteur (pas de rotation) et on applique un échelon de tension $E = 12 \text{ V}$ à l'entrée. L'interrupteur est initialement ouvert. A $t = 0$, on ferme l'interrupteur.

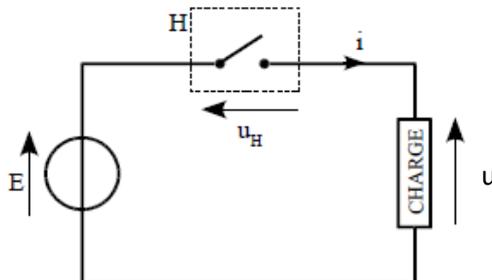


- 3) Exprimer puis calculer les tensions et courants, U_p et I_p , en régime permanent ?
- 4) Déterminer l'équation différentielle vérifiée par $i(t)$.
- 5) En déduire la constante de temps du circuit. La calculer.
- 6) Résoudre l'équation.
- 7) Au bout de combien de temps le courant est-il établi à 95 % ?
- 8) Quelle est l'énergie emmagasinée durant le régime permanent ?

B. Fonctionnement simplifié d'un hacheur

Les hacheurs sont des convertisseurs statiques continu-continu. Ils permettent, à partir d'une tension continue fixe, d'obtenir une tension continue de valeur moyenne réglable. Le hacheur série est très utile pour faire un variateur de vitesse pour moteur à courant continu.

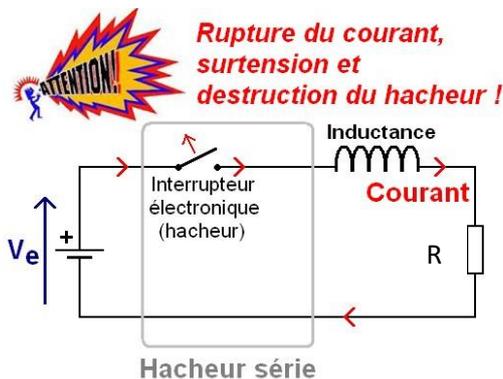
Présentons le hacheur série dans sa forme la plus simple : une charge (résistance, inductance...), un interrupteur H et une source de tension d'entrée idéale E.



L'interrupteur H est en fait un transistor qui fonctionne en régime de commutation c'est-à-dire qu'il se comporte soit comme un interrupteur fermé, soit comme un interrupteur ouvert.

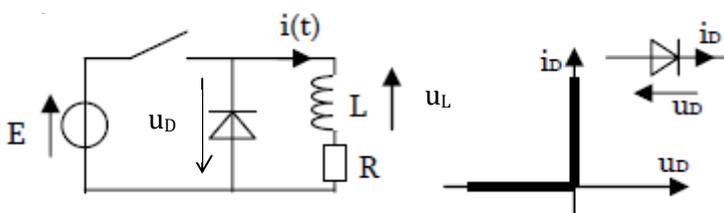
Il s'ouvre et se ferme périodiquement. On appelle T cette période et $f = 1/T$ la fréquence de hachage. La durée pendant laquelle l'interrupteur H est fermé s'appelle t_F . On définit le rapport cyclique α tel que $t_F = \alpha T$.

- 1) Compléter les chronogrammes $u_c(t)$ et $u_H(t)$, fournis en annexe, représentant l'évolution des tensions aux bornes du hacheur et de la charge.
- 2) Quelle est la valeur moyenne de la tension aux bornes de la charge ?
- 3) Une diode dite de roue libre en parallèle de la charge est nécessaire si le hacheur fonctionne sur charge inductive (L, R). Expliquer ce qu'il se passe si on ouvre brusquement l'interrupteur et l'intérêt d'une diode en parallèle.



C. Diode de roue libre

Pour illustrer simplement l'intérêt d'une diode de roue libre, on suppose à nouveau que le moteur est bloqué. On rajoute au circuit étudié dans la partie A une diode idéale en parallèle du moteur. Sa caractéristique courant-tension est donnée ci-dessous.



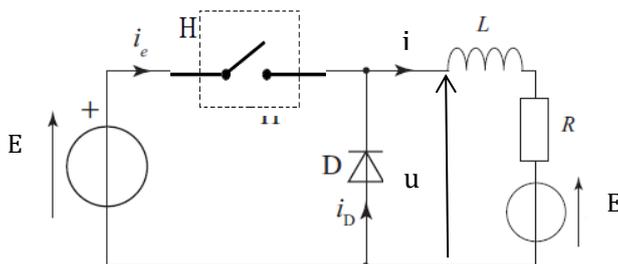
La diode est un composant qui ne laisse passer le courant que dans un sens (celui de la flèche), elle se comporte donc comme un fil ou comme un interrupteur ouvert.

A la date $t = 0$, on ferme l'interrupteur.

- 1) Que vaut la tension u_D aux bornes de la diode ? Comment se comporte la diode ? Redessiner le circuit.
- 2) A l'aide des résultats obtenus dans la partie A, en déduire l'expression de l'intensité $i(t)$ du courant qui traverse la bobine.
- 3) Que vaut l'intensité $i(t)$ à la date $t_1 = 10\tau$, τ étant la constante de temps du circuit?
- 4) On ouvre l'interrupteur à la date $t_1 = 10\tau$. Montrer que la diode devient passante.
- 5) Exprimer l'intensité $i(t)$ qui traverse l'enroulement à partir de la date t_1 .
- 6) Tracer l'allure de la courbe $i(t)$ entre $t=0$ et $2t_1$.
- 7) Comment l'énergie stockée dans la bobine est-elle dissipée ?

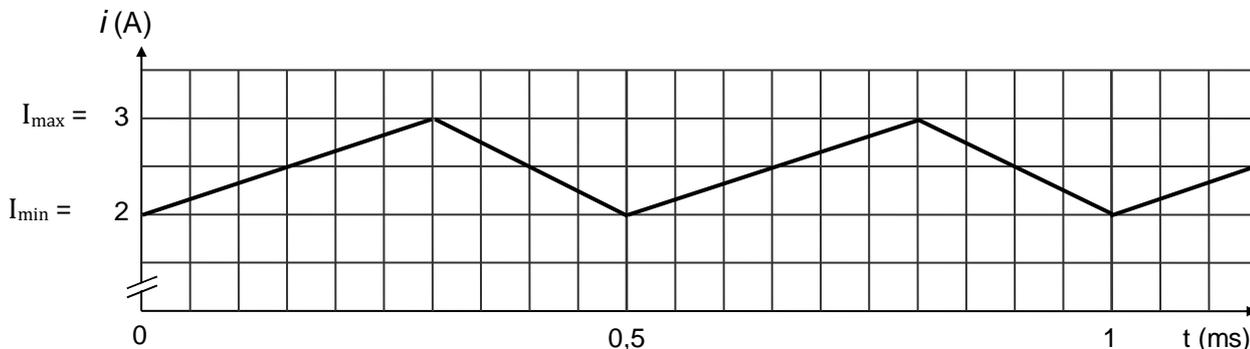
D. Moteur à courant continu et hacheur

Le moteur n'est plus bloqué et est alimenté par un hacheur commandé de manière périodique par un signal rectangulaire ($E = 12V$) de rapport cyclique $\alpha = 0.6$ et de fréquence de hachage $f = 2 \text{ kHz}$. Du fait de son inertie, il n'est sensible qu'à la valeur moyenne de la tension à ses bornes.



- 1) En admettant qu'en régime périodique, la tension moyenne aux bornes d'une inductance est nulle et que la résistance R est négligeable, calculer, en vous aidant de la réponse à la question B.2, la valeur moyenne de la tension aux bornes du moteur ainsi que sa fréquence de rotation.
- 2) Conclure quant à l'intérêt du hacheur.

On étudie le courant $i(t)$. On continue de négliger la résistance R . On obtient le chronogramme suivant :



- 3) Pour $0 \leq t \leq \alpha T$: H est fermé. Comment se comporte la diode ? Redessiner le circuit, appliquer la loi des mailles et en déduire l'équation de la portion de droite en fonction de E , L , α et I_{min} .
- 4) Mêmes questions pour $\alpha T \leq t \leq T$, lorsque H est ouvert.
- 5) Etablir l'expression de l'ondulation $\Delta I = I_{max} - I_{min}$ en fonction de E , T , L et α . Retrouver la valeur de L .
- 6) On montre que les pertes Joule augmentent avec l'ondulation. Quel serait l'intérêt d'une bobine supplémentaire placée en série du moteur ?

Exercice n°2 : Synthèse de l'ammoniac avec catalyseur à base de fer (CCP TSI 2013)

L'ammoniac $\text{NH}_3(\text{g})$ est un intermédiaire important dans l'industrie chimique qui l'utilise comme précurseur pour la production d'engrais, d'explosifs et de polymères. En 2010, sa production mondiale était d'environ 130 millions de tonnes.

La production de telles quantités de ce gaz a été rendue possible par l'apparition du procédé Haber-Bosch qui permet la synthèse de l'ammoniac à partir du diazote, présent en abondance dans l'atmosphère, et du dihydrogène, obtenu par reformage du méthane à la vapeur d'eau, selon la réaction : $\text{N}_2(\text{g}) + 3 \text{H}_2(\text{g}) = 2 \text{NH}_3(\text{g})$

Cette transformation chimique est lente, pour l'accélérer, on utilise un catalyseur à base de fer.

Les réactifs de la synthèse, diazote et dihydrogène, sont introduits en proportions stœchiométriques dans le réacteur qui est maintenu, tout au long de la synthèse, à une pression totale P de 300 bar et à une température T de 723 K.

La constante d'équilibre de la réaction à 723 K est $K^\circ = 2.8 \cdot 10^{-5}$.

- 1) En réalisant un tableau d'avancement (on notera n_0 la quantité de matière initiale de diazote introduit dans le réacteur), exprimer les quantités de matière des différents constituants du système ainsi que la quantité de matière totale en fonction de n_0 et de l'avancement de la réaction.
- 2) On définit le rendement ρ de la synthèse comme le rapport entre la quantité de matière d'ammoniac obtenue à l'équilibre et la quantité maximale d'ammoniac susceptible d'être obtenue si la réaction était totale. Exprimer le rendement ρ de la synthèse en fonction de n_0 et ξ_{eq} .
- 3) En déduire les expressions des quantités de matière des différents constituants du système et de la quantité de matière totale en fonction de n_0 et ρ .
- 4) Relier la constante d'équilibre K° aux pressions partielles à l'équilibre des différents constituants du système et à la pression standard P° .
- 5) Relier la constante d'équilibre K° aux quantités de matière à l'équilibre des différents constituants du système, à la quantité de matière totale à l'équilibre, à la pression totale et à la pression standard P° .
- 6) Montrer alors que la constante d'équilibre peut s'écrire :
$$K^\circ = \frac{16\rho^2(2-\rho)^2 P^{\circ 2}}{27(1-\rho)^4 P^2}$$
- 7) Calculer la valeur du rendement ρ dans les conditions de la synthèse.

Exercice n°2 : Structure cristalline du fer et de l'acier (E3A MP 2008)

Données : $M(\text{Fe}) = 55,85 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$, nombre d'Avogadro : $N_A = 6,02 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$.

- 1) Dessiner la maille cristalline du fer γ qui adopte la structure cubique à faces centrées.
- 2) Combien cette maille renferme-t-elle d'atomes ?
- 3) Calculer la compacité C_{CFC} d'une structure CFC (modèle de sphères dures indéformables).
- 4) Le rayon atomique du fer γ est $R = 129 \text{ pm}$. Calculer le paramètre a de la maille cubique.
- 5) Evaluer la masse volumique ρ du fer γ .
- 6) On se propose de vérifier si le carbone, dont le rayon atomique vaut $R_C = 77 \text{ pm}$, peut s'insérer dans les sites octaédriques de la maille cristalline de fer γ . Quel serait le rayon maximal R_o d'un atome qui s'insérerait dans ce site sans déformer la structure cristalline ? Calculer R_o .
- 7) Que pouvez-vous en conclure sur la solubilité du carbone dans le fer γ solide, s'agit-il d'un alliage par substitution ou par insertion ?

Annexe

(à rendre avec la copie)

