

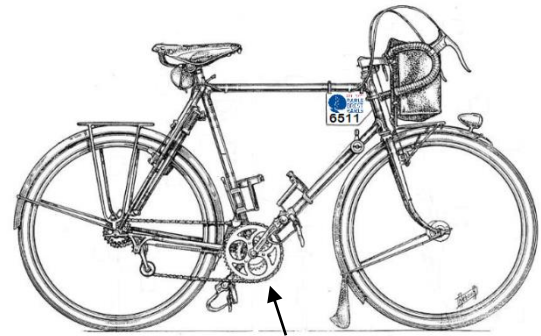
Vous avez droit à une calculatrice type collègue, ainsi qu'une feuille manuscrite écrite recto-verso.

Soignez la présentation de vos copies, votre note en dépendra. Précisez les unités utilisées pour vos résultats.

### I. DOPAGE D'UN CYCLISTE A L'ELECTRICITE (30 MIN)

Kevin a fait croire qu'il était un cycliste de bon niveau, Pierre lui propose de faire une course pour voir qui est le meilleur. En réalité, Kevin n'est pas un grand sportif, mais il est bon bricoleur et il va ajouter un système motorisé à son vélo pour battre Pierre.

Le parcours sera plat sur 57 km, Pierre dit le faire en 1h35. Kevin a trouvé un petit moteur de 50W et 600 tr/min en nominal qu'il peut cacher dans le cadre du vélo. La vitesse de 600 tr/min est trop grande pour le pédalage, il va donc ajouter un réducteur de rapport 7 et de rendement 90% entre le moteur et le pédalier. La puissance de ce motoréducteur s'ajoutera à celle de Kevin.



Pédalier

Kevin se demande quelle puissance il devra développer pour battre Pierre. Voici sa démarche et les paramètres physiques à utiliser :

- Pierre et Kevin font le même poids. Masse totale d'un cycliste et son vélo :  $M_T = 83 \text{ Kg}$
- Diamètre des roues  $D_R = 70 \text{ cm}$
- Rapport et rendement de la transmission pignons/chaîne du vélo :  $K_p = 49/14$  ;  $\eta_p = 92 \%$
- Coefficient de résistance au roulement  $C_R = 0,01$
- Coefficient de traînée aérodynamique  $S.C_x = 0,25 \text{ m}^2$
- Masse volumique de l'air  $\rho = 1,2 \text{ kg/m}^3$
- accélération de la pesanteur :  $g = 9,81 \text{ m/s}^2$

1.1 Représentez la chaîne d'entraînement par un schéma synoptique (en partant des 2 sources de puissance mécanique : le moteur et le cycliste). Vous ferez apparaître les différentes variables présentes dans cette chaîne d'entraînement.

1.2 Calculez les forces de résistance au roulement  $F_{roul}$  et de traînée aérodynamique  $F_{aero}$  (à la vitesse moyenne sur le parcours).

1.3 En utilisant la vitesse moyenne durant le parcours, calculez la puissance moyenne à fournir au pédalier  $P_p$ .

1.4 Déterminez le couple nominal du moteur  $C_{M,nom}$ .

1.5 Au couple nominal, calculez la puissance que l'on peut obtenir en sortie du moteur lorsque Kevin roule à sa vitesse moyenne. Détaillez votre démarche.

1.6 Lorsque le moteur fournit cette puissance, combien Kevin doit-il fournir avec ses jambes pour atteindre la même puissance totale que Pierre ? Détaillez votre démarche.

## II. DETERMINATION DES PERFORMANCES D'UNE MACHINE A COURANT CONTINU (30 MIN)

Les caractéristiques d'un moteur à courant continu à aimants permanents sont les suivantes :

Tension d'induit :  $U_{nom} = 140 \text{ V}$

Vitesse nominale :  $N_{nom} = 3000 \text{ tours/min}$

Constante de fem :  $k = 44 \text{ V/1000 tours/min}$

Résistance d'induit :  $R_a = 0,32 \Omega$

### Régime nominal

2.1 Calculez le courant nominal  $I_{nom}$  lorsque le moteur est à vitesse et tension nominales.

2.2 Donnez la constante de couple et calculez le couple électromagnétique nominal  $C_{nom}$  correspondant.

2.3 Donnez la puissance mécanique de la machine et son rendement à son point de fonctionnement nominal.

### Régime impulsionnel

Le courant impulsionnel à ne pas dépasser est  $I_{max} = 200 \text{ A}$ .

2.3 Calculez la tension maximum admissible au démarrage  $U_{dem}$ . Calculez le couple maximum admissible au démarrage :  $C_{dem}$ .

### Entraînement d'une charge

Le moteur entraîne une charge produisant un couple résistant  $C_r = 10,5 \text{ Nm}$ .

2.4 En négligeant toutes pertes mécaniques dans la machine, déterminez la valeur du courant dans l'induit quand la charge est entraînée à vitesse constante.

2.5 Dans ce cas, calculez la vitesse de rotation pour les tensions d'alimentation :  $U = 35 \text{ V}$  et  $U = 140 \text{ V}$ .

### Prise en compte des pertes

Les pertes mécaniques ne sont en réalité pas négligeables. A vide, sans charge entraînée et sous une tension  $U_0 = 133 \text{ V}$ , le moteur absorbe un courant  $I_0 = 2,15 \text{ A}$ .

2.6 Calculez la vitesse de rotation. Que pensez-vous de cette valeur ?

2.7 Calculez la valeur des pertes Joules ainsi que les pertes mécaniques à vide.

## III. ALIMENTATION D'UNE MACHINE A COURANT CONTINU (30 MIN)

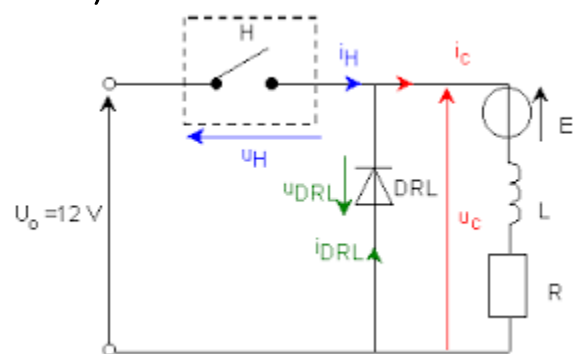
Le schéma ci-contre représente le circuit d'alimentation d'une machine à courant continu (MCC). La MCC est représentée par la mise en série d'une source de tension  $E$  (fem), d'une inductance  $L$  et d'une résistance  $R$ .

Elle est alimentée par une source  $U_0$  via un hacheur composé d'un interrupteur  $H$  et une diode  $DRL$ , qui sont supposés idéaux. Lorsqu'ils sont ouverts, ils ne sont traversés par aucun courant tandis que lorsqu'ils sont fermés, la tension à leurs bornes est strictement nulle. Par ailleurs, leurs commutations (commandée pour  $H$  et spontanée pour  $DRL$ ) sont considérées comme instantanées.

**Remarque :** Pour qu'une diode soit bloquée (circuit ouvert), la tension à ses bornes doit être négative (dans la convention utilisée dans le schéma ci-dessus).

Le pilotage de l'interrupteur  $H$  est cyclique de période  $T$  et l'interrupteur est fermé au début de chaque période pendant une durée  $t_{on} = \alpha \cdot T$ ,  $\alpha$  étant appelé rapport cyclique de la commande.

L'étude du circuit porte sur un régime établi durant lequel toutes les grandeurs électriques (tensions et courants) du circuit sont  $T$ -périodiques (la f.e.m.  $E$ , de même que la tension  $U_0$ , étant constantes). Par ailleurs, on admettra que le courant  $i_c$  dans la charge ne s'annule jamais (régime de *conduction continue*).



Hacheur alimentant une MCC (circuit RLE)

- 3.1 Lorsque H est fermé, quelle est la tension aux bornes de la diode ? La diode est-elle bien bloquée ?
- 3.2 En utilisant la loi des nœuds, donner la relation entre les courants dans l'interrupteur H, la diode DRL et la charge ( $i_c$ ).
- 3.3 Lorsque l'interrupteur H est ouvert et en admettant que  $i_c$  ne s'annule jamais, que vaut  $i_{DRL}$  ? Quel est l'état de la diode ? Quel doit être le signe de  $i_c$  pour que le courant puisse effectivement circuler ?
- 3.4 A partir des résultats établis aux questions 1 et 3, tracer l'évolution de la tension  $u_c$  sur une période T ( $t \in [0; T[$ ) en supposant que H est fermé sur l'intervalle  $[0; t_{on}]$  et ouvert le reste de la période. Donnez l'expression de sa valeur moyenne  $\langle u_c \rangle$  en fonction de  $\alpha$  et  $U_0$ .
- 3.5 On peut noter sur le schéma que  $u_c = E + L \cdot di_c/dt + R \cdot i_c$ . Que peut-on dire de la valeur moyenne de  $L \cdot di_c/dt$  (= tension aux bornes de L) si  $i_c$  est périodique ? En déduire une expression de la valeur moyenne  $\langle i_c \rangle$  du courant  $i_c$  en fonction de  $\alpha$ ,  $U_0$ , E et R. **Indication** : On rappelle que l'on a exprimé  $\langle u_c \rangle$  en fonction de  $\alpha$  et  $U_0$  à la question précédente.
- Pour  $\alpha = 0,5$ , on admettra que le point de fonctionnement de la machine alimentée produit une f.e.m. **strictement constante**  $E = 5.75$  V.
- 3.6 En sachant que  $R = 0.05 \Omega$ , donner la valeur du courant moyen  $\langle i_c \rangle$ .
- 3.7 En considérant le courant  $i_c$  comme constant, calculer les puissances moyennes suivantes :
- fournie par la source  $U_0$  (notée  $P_{source}$ ) ;
  - dissipée dans l'interrupteur H (notée  $P_H$ ) ;
  - dissipée dans la diode DRL (notée  $P_{DRL}$ ) ;
  - dissipée dans la résistance R (notée  $P_R$ ) ;
  - dissipée dans l'inductance L (notée  $P_L$ ) ;
  - consommée dans la f.e.m. E (notée  $P_E$ ).
- 3.8 Vérifier que la puissance  $P_{source}$  est bien égale à la somme des puissances consommées/dissipées dans le circuit. Les pertes dans le hacheur sont les puissances dissipées dans l'interrupteur H et la diode DRL : quel est le rendement du hacheur  $\eta_H$  ?
- 3.9 La puissance utile étant celle consommée dans la f.e.m., quel est le rendement global  $\eta_{glob}$  du système ?