

EXAMEN FINAL

Une feuille manuscrite recto-verso autorisée

Exercice 1: (36 pts)

Dans cet exercice, la réaction d'induit est négligée ainsi que la saturation dans la machine à courant continu. Les pertes et les chutes de tension dans les balais, les pertes magnétiques et les pertes mécaniques par frottement et ventilation dans la machine sont négligées.

Un ventilateur de réfrigération dont la caractéristique couple-résistant-vitesse est de type quadratique $T_r = k \cdot \Omega^2$ (couple en Nm, Ω vitesse en rad/s), est entraîné à vitesse variable par un moteur à courant continu à excitation série alimenté par une source de tension V_a variable (cf Fig.1).

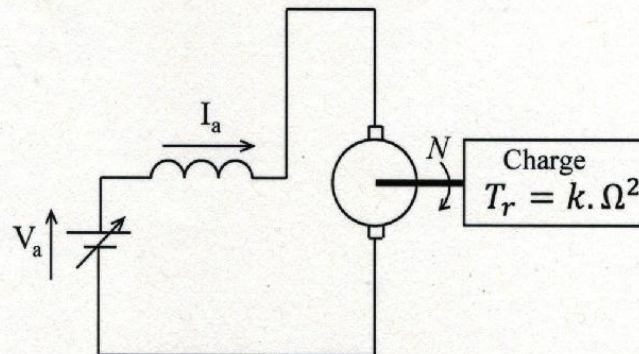


Figure 1 - Entraînement d'un ventilateur de réfrigération dont la caractéristique couple-résistant-vitesse est de type quadratique $T_r = k \cdot \Omega^2$ par un moteur à courant continu série alimenté par une source de tension V_a variable

Les résistances des enroulements du moteur sont: résistance de l'induit $R_a = 5 \Omega$, résistance de l'inducteur série $R_s = 5 \Omega$.

- 1) Lorsqu'on règle la source de tension V_a , à une valeur $V_{a1} = 120V$, la vitesse de rotation du moteur qui entraîne le ventilateur est $N_1 = 1000 \text{ rpm}$, le courant d'alimentation du moteur à courant continu série est $I_{a1} = 40A$. Calculer précisément le coefficient k de la caractéristique couple-résistant-vitesse de type quadratique du ventilateur de réfrigération ($T_r = k \cdot \Omega^2$ couple en Nm, Ω vitesse en rad/s). Calculer le rendement η_1 du moteur pour ce point de fonctionnement (18 points).
- 2) En utilisant le résultat de la question 1, calculer la tension V_{a2} qu'il faut appliquer avec la source de tension V_a pour que la vitesse de rotation soit égale à $N_2 = 600 \text{ rpm}$. Calculer le courant d'alimentation du moteur I_{a2} pour ce point de fonctionnement. Calculer le rendement η_2 du moteur pour ce point de fonctionnement (12 points).
- 3) Calculer la tension V_{a3} qu'il faut appliquer avec la source de tension au démarrage pour le pour que le courant de démarrage du moteur à courant continu série soit limité à $I_{ad} = 40A$. Calculer alors le couple de démarrage du moteur. (6 points).

Exercice 2: (24 pts)

Dans cet exercice, la réaction d'induit est négligée ainsi que la saturation dans la machine à courant continu. Les pertes et les chutes de tension dans les balais, les pertes magnétiques et les pertes mécaniques par frottement et ventilation dans la machine sont négligées.

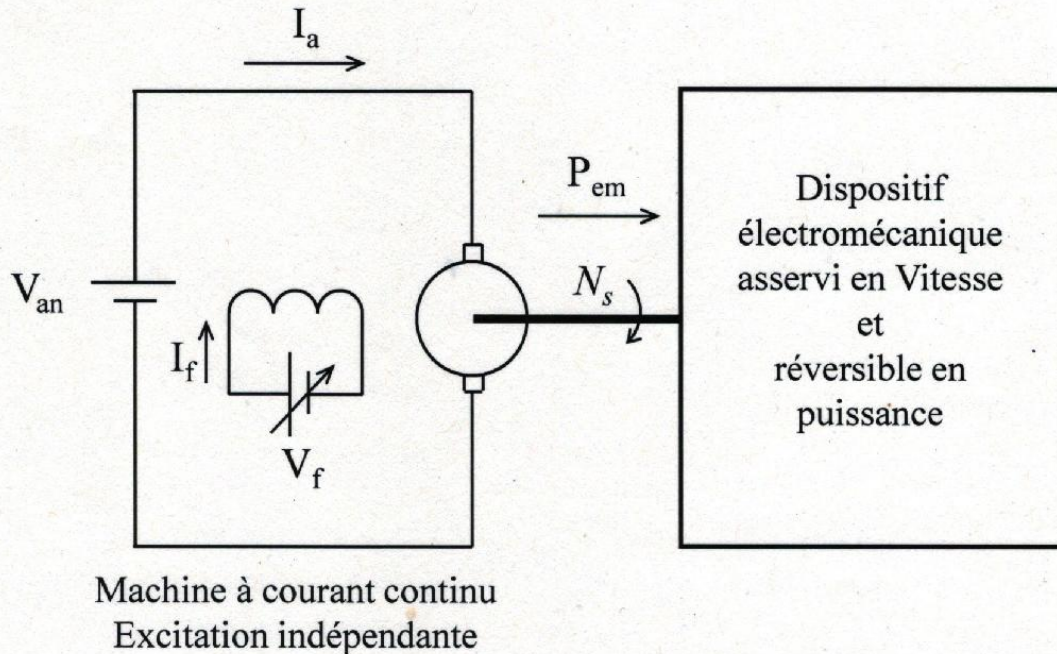


Figure 2 - Entraînement constitué d'un dispositif électromécanique réversible en puissance et asservi en vitesse accouplé à une machine à courant continu à excitation indépendante alimentée par une source de tension V_{an} fixe réversible en courant & puissance

Une machine à courant continu à excitation indépendante est accouplée à un dispositif électromécanique réversible en puissance et asservi en vitesse (cf Figure 2). Ce dispositif est tel qu'il impose la vitesse de rotation $N_s = 1800 \text{ rpm}$ de la machine à courant continu quelle que soit la puissance mécanique échangée sur l'arbre, c'est-à-dire en négligeant les pertes magnétiques et mécaniques quelle que soit la valeur et le signe de la puissance P_{em} de la machine à courant continu.

L'induit de la machine à courant continu est relié à une source de tension $V_{an} = 230 \text{ V}$ constante dans tout l'exercice et qui est réversible en courant et en puissance, c'est-à-dire que la valeur algébrique du courant I_a peut-être positive ou négative suivant le sens d'écoulement de la puissance entre les deux machines.

On peut en déduire que la machine à courant continu à excitation indépendante de la Figure 2 peut fonctionner effectivement aussi bien en moteur ($P_{em} > 0$ et $I_a > 0$ suivant les conventions de signe de la Figure 2) qu'en génératrice ($P_{em} < 0$ et $I_a < 0$) suivant les réglages du courant inducteur I_f mais toujours à vitesse constante $N_s = 1800 \text{ rpm}$ imposée par le dispositif auquel elle est accouplée.

L'inducteur de la machine à courant continu est alimenté par une source de tension V_f variable qui délivre un courant I_f toujours positif suivant la convention de la Figure 2. La résistance de l'induit $R_a = 1.5 \, \Omega$ et la constante de $E = KK' \cdot I_f \cdot \Omega$ est $KK' = 0.61$. Le courant nominal de l'induit de la machine à courant continu est $I_{an} = 12 \text{ A}$.

1. Avec $V_{an} = 230 \text{ V}$ et $N_s = 1800 \text{ rpm}$ constantes et imposées, calculer la valeur I_{f0} du courant inducteur de la machine à courant continu qu'il faut appliquer pour que le courant I_a dans l'induit de la machine à courant continu soit nul. Quel est alors la

valeur de la puissance P_{emo} échangée sur l'arbre entre la machine à courant continu et la machine synchrone? (4 points).

2. Avec $V_{an}=230V$ et $N_s=1800rpm$ constantes et imposées, calculer la valeur I_{f1} du courant inducteur de la machine à courant continu fonctionnant en moteur qu'il faut appliquer pour que la puissance P_{em1} transmise effectivement sur l'arbre au dispositif électromécanique réversible en puissance et asservi en vitesse soit maximale sans que la valeur absolue du courant I_a dans l'induit de la machine à courant continu dépasse sa valeur nominale $I_{an}=12A$. Calculer la puissance P_{em1} (10 points).
3. Avec $V_{an}=230V$ et $N_s=1800rpm$ constantes et imposées, calculer la valeur I_{f2} du courant inducteur de la machine à courant continu fonctionnant en génératrice qu'il faut appliquer pour que la puissance P_{em2} transmise effectivement sur l'arbre par le dispositif électromécanique réversible en puissance et asservi en vitesse à la machine à courant continu soit maximale sans que la valeur absolue du courant I_a dans l'induit dépasse sa valeur nominale $I_{an}=12A$. Calculer la puissance P_{em2} (10 points).

Remarque en dehors du programme de l'examen: Quel peut être un dispositif électromécanique réversible en puissance et asservi en vitesse à $N_s=1800rpm$ accouplé à la machine à courant continu? Réponse : tout simplement une Machine Synchrone alimentée à courant inducteur constant accrochée au réseau infini à fréquence et tension constante qui impose la vitesse de l'arbre et qui peut ainsi fonctionner en génératrice ou en moteur synchrone quelle que soit la puissance P_{em} échangée sous réserve qu'elle ne décroche pas (cf Laboratoires).

Exercice 3: (40 pts)

Dans cet exercice on utilise un schéma équivalent simplifié en "L" de la machine asynchrone en négligeant la résistance R_s des enroulements du stator, les pertes mécaniques et magnétiques.

Un moteur asynchrone triphasé à 6 pôles entraîne un ascenseur qui exerce sur l'arbre un couple constant $T_r=100Nm$ quelle que soit la vitesse de rotation **en montée ou en descente**. La tension efficace nominale ligne-ligne du moteur est $U_{sn}=600V$, la fréquence nominale $f_{sn}=60Hz$. Les résultats obtenus lors de l'essai à vide et de l'essai à rotor bloqué ont permis de déterminer les valeurs suivantes des 3 éléments du circuit équivalent :

$$X_m=49\Omega \quad R=3\Omega \quad X=6.5\Omega$$

Dans les questions suivantes, détailler clairement et jusqu'au bout les équations sous forme littérale avant de calculer les valeurs numériques à la dernière ligne!

- 1) Calculer le couple de démarrage T_{emd} et la valeur efficace du courant de démarrage I_{sd} du moteur lorsqu'il est alimenté sous sa tension nominale U_{sn} . Le moteur est-il capable de faire monter l'ascenseur ? (14pts)
- 2) Calculer la vitesse de rotation N_1 en régime permanent en montée lorsque le moteur est alimenté par sa tension nominale U_{sn} . Calculer alors la valeur efficace du courant I_{s1} absorbé par le moteur, son facteur de puissance et son rendement pour ce point de fonctionnement (18 pts)
- 3) A partir du point de fonctionnement précédent en montée à N_1 , on permute instantanément deux phases du stator à l'aide d'un ensemble de contacteurs adaptés. Que

se passe-t-il ? Montrer en raisonnant clairement dans le plan couple-vitesse qu'à la fin du régime transitoire qui en découle l'ascenseur atteint une vitesse d'équilibre en descente telle que le moteur tourne à une vitesse dont la valeur algébrique est N_2 . Montrer que l'on peut déduire à l'aide d'un calcul très simple à partir des résultats de la question 2 les valeurs numériques de N_2 et de la valeur efficace du courant I_{s2} du moteur. (8 pts)

Question Bonus (+2pts) : Combien coûte à votre avis un moteur asynchrone triphasé de raffineur de papeterie de 3000HP Tension $U_{sn} = 6.6KV$ 4 pôles 1800 rpm ?

- a- 5000\$
- b- 50000\$
- c- 400000\$

JOYEUX NOËL ET BONNES FÊTES

Q: - "When did you become an expert in electrical machines?"

A: - "Last night"