ORDRE DES INGÉNIEURS DU QUÉBEC

SESSION DE NOVEMBRE 2017

Toute documentation permise
Calculatrices : modèles autorisés seulement
Durée de l'examen : 3 heures

16-EL-B3 ÉLECTRONIQUE DE PUISSANCE ET ENTRAÎNEMENTS

<u>QUESTION 1</u> (30 points)

a) Expliquer pourquoi la transformation *qd0* (ou transformation de Park) est si utile dans la modélisation des machines électriques ainsi que pour la commande des redresseurs actifs.
(*6 points*)

b) Décrivez l'avantage principal de la machine asynchrone à rotor bobiné par rapport à la machine asynchrone à cage d'écureuil en termes de contrôle du couple de décrochage?
(*6 points*)

c) Expliquez dans vos mots pourquoi il est possible de modifier le facteur de puissance de la machine synchrone à rotor bobiné (c.-à-d. avec enroulement d'excitation sur le rotor) en mode moteur lorsque celle-ci fonctionne à puissance active, tension d'alimentation et à vitesse fixes?
(*6 points*)

d) Dans le cas d'une commande vectorielle d'une machine synchrone à aimant permanent (MSAP), dans quelles conditions d'opération serait-il nécessaire de forcer une démagnétisation (considérez que la machine est alimentée par un point triphasé à deux niveaux)?
(*6 points*)

e) Pourquoi est-il nécessaire de diviser les inductances de la machine synchrone à pôles saillants selon les axes *q* et *d* si l'on désire calculer le courant circulant dans la machine pour un point d'opération donné?
(*6 points*)

<u>QUESTION 2</u> (20 points)

Une machine synchrone à aimant permanent (MSAP) est actionnée par une éolienne tel qu'illustré sur la figure 2.a :

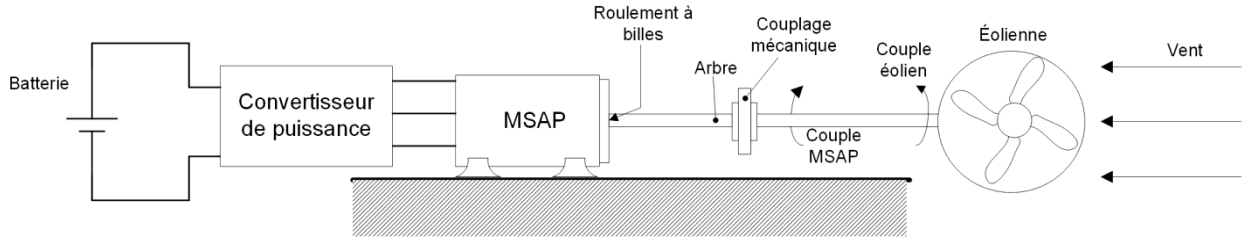

Figure 2.a

Le *<u>couple éolien</u>* identifié sur la figure 2.a possède la caractéristique *couple-vitesse* non –linéaire illustrée à la figure 2.b.

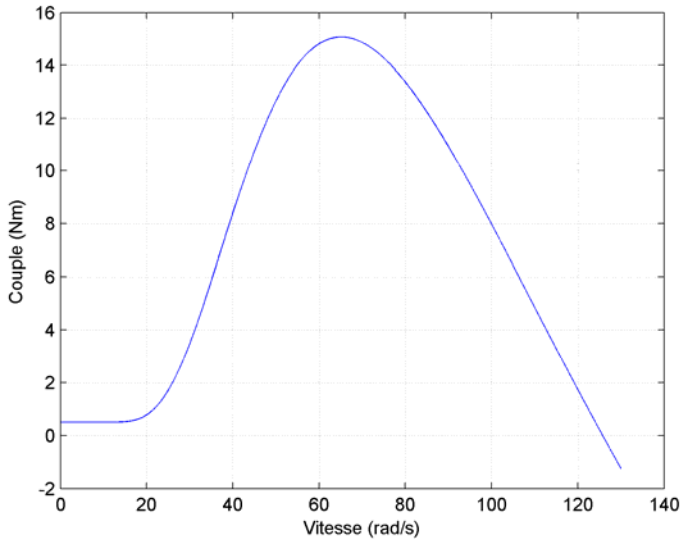

Figure 2.b

Afin de contrôler les échanges énergétiques, la MSAP est pilotée par une commande vectorielle. Cette commande vectorielle est implantée dans le bloc *<u>convertisseur de puissance</u>* illustré à la figure 2.c. Pour cette application, la machine fonctionne en mode génératrice (c.-à-d. un transfert de puissance de l'éolienne vers la *<u>batterie</u>*.) Le couple générateur produit par la MSAP est identifié par *<u>couple MSAP</u>* sur la figure 2.a. À partir de ces informations, répondre aux questions suivantes :

a) Si le couple développé par la MSAP est fixé à 8Nm, que la friction des *<u>roulements à billes</u>* est négligeable (voir figure 2.a pour visualiser l'emplacement des *<u>roulements à billes</u>*) et que le système fonctionne en régime permanent (vitesse fixe), déterminez la vitesse de rotation de la MSAP. Vous pouvez utiliser la figure 2.b pour effectuer le calcul de manière approximative. **<u>N'oubliez pas de remettre le questionnaire à la fin de l'examen.</u>** (*10 points*)

b) En utilisant toujours un couple de 8Nm, mais cette fois-ci en ajoutant un coefficient de friction de B = 0.02 $\frac{N \cdot m \cdot s}{rad}$ aux *roulements à billes*, déterminez la vitesse de rotation de la MSAP. Assumez que le système est en régime permanent (vitesse fixe.) Vous pouvez utiliser la figure 2.b pour effectuer le calcul de manière approximative. **N'oubliez pas de remettre le questionnaire à la fin de l'examen.** (*10 points*)

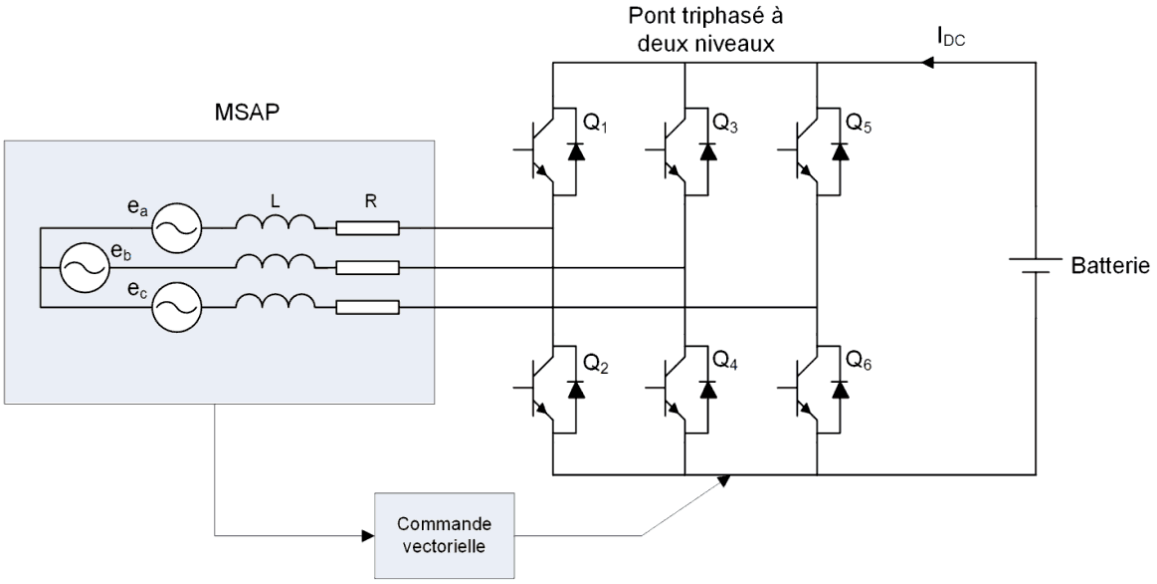

Figure 2.c

Question 3 (20 points)

a) En utilisant le diagramme du convertisseur élévateur-abaisseur illustré à la figure 3.a, expliquez le principe de fonctionnement pour les deux modes de fonctionnement (élévateur et abaisseur.) Afin de justifier adéquatement votre réponse, utilisez le diagramme du convertisseur de la figure 3.a (vous pouvez le reproduire dans votre cahier de réponse.) (*10 points*)

b) En utilisant le principe de la balance des volts-seconde, le principe de la charge des condensateurs ainsi que l'approximation de faible ondulation sur la tension du condensateur, démontrez que le rapport de conversion CC du convertisseur élévateur-abaisseur non-inverseur illustré à la figure 3.a est donné par :

$$\frac{V}{V_g} = \frac{D}{1 - D}$$

Où D représente le rapport cyclique de l'interrupteur en position 1. Pour effectuer votre démonstration, utilisez les polarités illustrées sur la figure 3.a. (*10 points*)

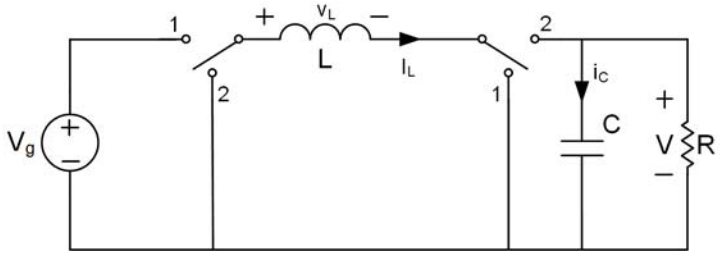

Figure 3.a – Convertisseur élévateur-abaisseur

Question 4 (30 points)

Une ligne de transport de 25kV (ligne à ligne) est alimentée par une machine synchrone en mode générateur. Le système est illustré à la figure 4.a.

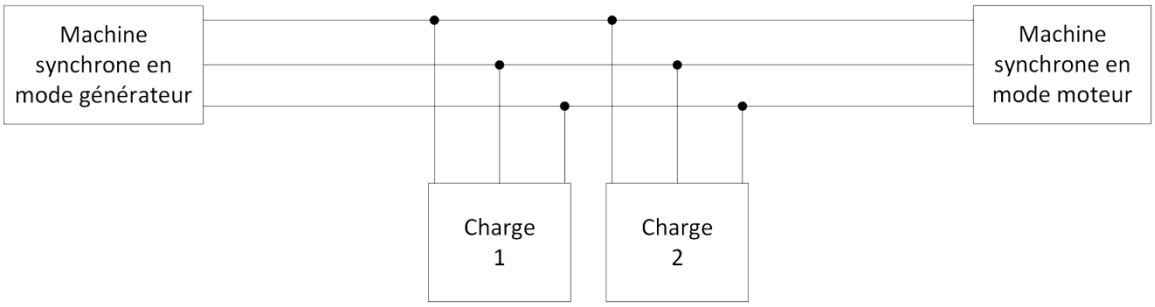

Figure 4.a

La fréquence de la tension sur la ligne est de 60Hz. Deux charges sont branchées sur la ligne. La charge 1 est constituée de trois condensateurs de 250μF branchés en étoile (ou Y). La charge 2 est constituée de trois résistances de 150Ω branchées en triangle (ou Δ). Une machine synchrone qui opère en mode moteur est également branchée sur la ligne. Les paramètres des deux machines sont groupés dans le tableau 4.a suivant:

Paramètres	**Machine en mode générateur**	**Machine en mode moteur**
Réactance synchrone (X_S)	0.95Ω	5.7Ω
Résistance d'armature (R_A)	Négligeable	Négligeable
Constante liée à la construction de la machine (K)	40	43.4
Nombre de pôles (P)	10	8
Constante de flux (ϕ)	Non spécifié	Voir question b)
Type de connexion	Y	Y

Tableau 4.a

À partir des paramètres du problème, répondre aux questions suivantes :

a) Déterminez les puissances actives et réactives consommées par les charges 1 et 2. (*10 points*)

b) Si le flux de la machine synchrone qui opère en mode moteur est de 3.45Wb et que la puissance active délivrée par la machine synchrone en mode moteur est de 10MW, déterminez le facteur de puissance de la génératrice synchrone. (*10 points*)

c) En conservant les mêmes conditions qu'en b), déterminez l'angle de couple de la génératrice synchrone. (*10 points*)