ORDRE DES INGÉNIEURS DU QUÉBEC

SESSION DE MAI 2023

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

16-MC-A7: Génie électrique et électronique

Problème n° 1 (10 points)

Les questions qui suivent font référence au circuit de la figure 1 dans lequel les amplificateurs opérationnels sont considérés comme idéaux. Ce circuit est communément utilisé pour corriger partiellement la non linéarité d'une thermistance (un capteur de température hautement non linéaire).

a) En se basant sur l'analyse du circuit, estimer la relation qui lie la tension de sortie V_{out} à la résistance de la thermistance R_T. (4 points)

b) Sachant que la résistance de la thermistance R_T passe de 23.6 kΩ à 1.1 kΩ lorsque la température T du milieu passe de 8°C à 80°C, évaluer les paramètres de la droite qui lie approximativement la tension de sortie V_{out} à la température T. (6 points)

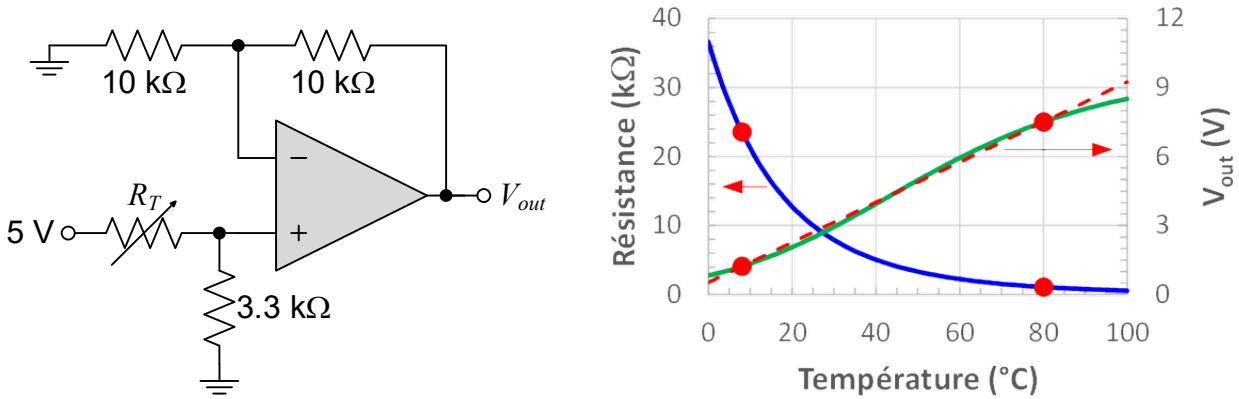
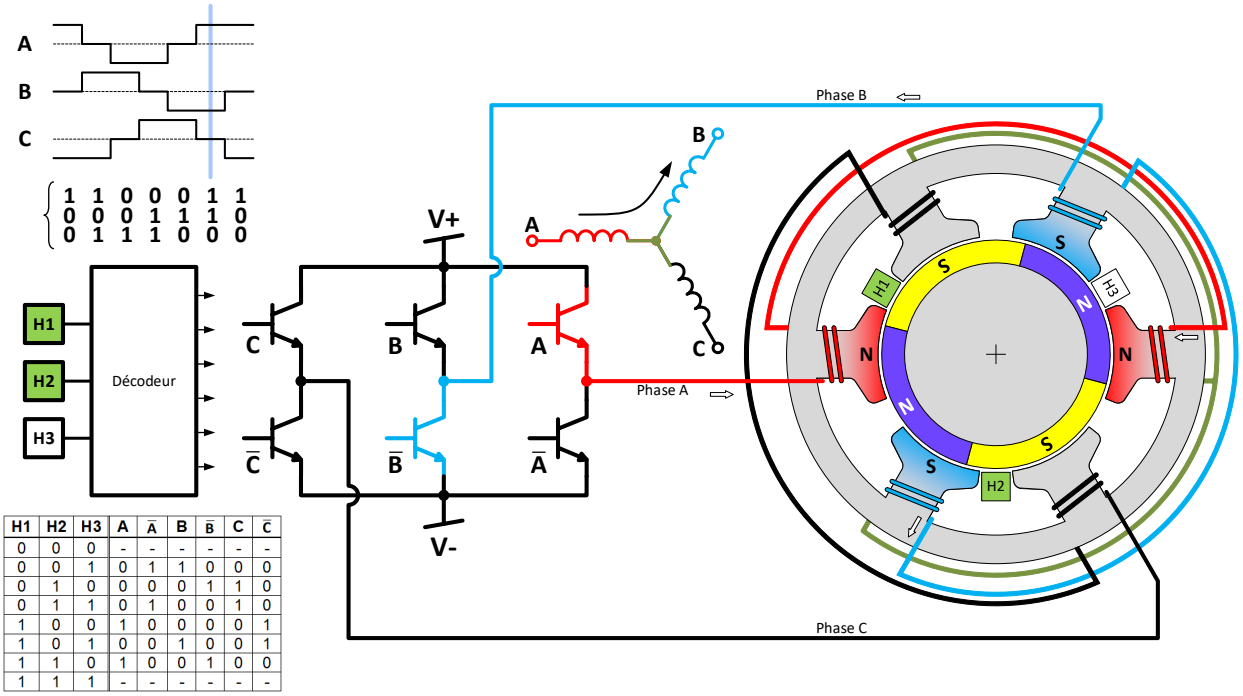


Figure 1 : Circuit considéré dans le problème n° 1

Problème n° 2 (10 points)

On désire concevoir un décodeur qui contrôle la commutation des courants dans le stator d'un moteur DC sans balais (voir la figure 2). La position du rotor est donnée par trois détecteurs à effet Hall (H1, H2 et H3).



H1	H2	H3	A	$\bar{A}$	B	$\bar{B}$	C	$\bar{C}$
0	0	0	-	-	-	-	-	-
0	0	1	0	1	1	0	0	0
0	1	0	0	0	0	1	1	0
0	1	1	0	1	0	0	1	0
1	0	0	1	0	0	0	0	1
1	0	1	0	0	1	0	0	1
1	1	0	1	0	0	1	0	0
1	1	1	-	-	-	-	-	-

Figure 2 : Système de contrôle d'un moteur DC sans balais

a) En utilisant des outils de simplification, donner les équations booléennes réduites représentant les relations simplifiées entre les trois entrées (H1, H2 et H3) et les six sorties (A, $\bar{A}$, B, $\bar{B}$, C et $\bar{C}$) du décodeur. (6 points)

b) Convertir les équations booléennes définies pour A et $\bar{A}$ en un circuit composé de portes logiques simples. (4 points)

Problème n° 3 (20 points)

Tel que représenté par le circuit équivalent de la figure 3, une source de 450 V alimente un moteur DC shunt de 50 hp. Ce moteur a une résistance d'induit de 0.075 Ω et une résistance de champ de 75 Ω. À vide, il tourne à 1300 rpm (n) et consomme un courant (I_s) de 9.4 A. Noter que les pertes rotationnelles de ce moteur ne sont pas négligeables. Dans cette condition, calculer :

a) Les courants qui circulent dans les enroulements inducteur (I_f) et induit (I_a). (4 points)

b) La tension induite (E_0) par la rotation du rotor (aussi nommée force contre-électromotrice, FCEM). (2 points)

c) La constante de couple ($k_a\phi$ ou K_c, en Nm/A) du moteur. (2 points)

Ce moteur entraîne maintenant une charge mécanique de 35 kW. Dans cette condition, il consomme un courant (I_s) de 91 A. Pour ce nouveau point d'opération, calculer :

d) Le courant circulant dans l'induit (I_a) et la tension induite (E_0) par la rotation du rotor. (4 points)

e) La vitesse de rotation (n) de la charge. (2 points)

f) La puissance développée par le moteur (P_m) et les pertes rotationnelles (P_v) (pertes de fer, par friction et ventilation). (4 points)

g) Le rendement (η) du moteur. (2 points)

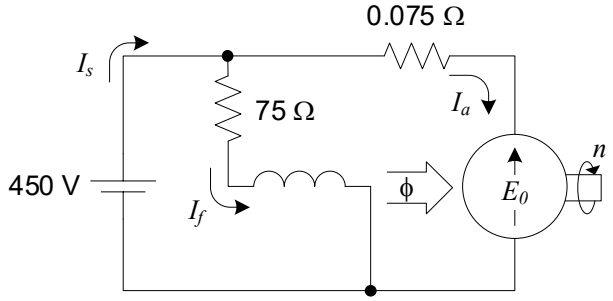


Figure 3 : Circuit équivalent d'un moteur DC shunt

Problème nº 4 (20 points)

Un moteur asynchrone triphasé de 25 kW, 460 V, 60 Hz, 4 pôles par phase est caractérisé par des essais à vide et à rotor bloqué :

Table 1 : Résultats des mesures effectuées sur le moteur

	À vide	À rotor bloqué
Tension de ligne servant à l'alimentation du moteur (E_L, en V)	460	120
Courant de ligne (I_L, en A) entrant dans chacune des phases du moteur	4.5	34
Puissance active (P_s, en W) fournie par l'alimentation du moteur	705	1140

Par ailleurs, grâce à un ohmmètre, on arrive à mesurer la résistance des enroulements statoriques du moteur : r_1 = 0.1 Ω sur chacune des trois phases du moteur.

En se basant sur ces différentes mesures, calculer :

a) La valeur de chacune des composantes du circuit équivalent par phase de ce moteur (se référer à la figure 4). (10 points)

b) La vitesse de rotation du champ inducteur du moteur (la vitesse synchrone, n_s, en rpm). (2 points)

On désire utiliser ce moteur pour entraîner une charge offrant un couple résistif de 130 Nm. Pour cette application, on utilisera la tension de ligne nominale à savoir 460 V. Dans ces conditions, calculer :

c) La tension appliquée sur chacune des phases du moteur (E_ϕ). (2 points)

d) La vitesse de rotation (n, en rpm) du moteur. Dans ce calcul, l'approximation linéaire à faible glissement peut être utilisée. (4 points)

e) La puissance mécanique (P_m) développée par le moteur. (2 points)

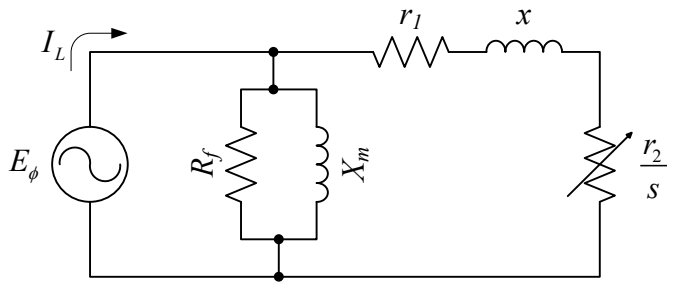


Figure 4 : Circuit équivalent de chacune des phases du moteur (montage en étoile)

Problème n° 5 (40 points)

Répondre à la série de questions à choix multiples suivante. Indiquer la réponse en encerclant la lettre correspondante. (2 points par question)

<u>Composantes électriques et électroniques</u>

1. Le nichrome est un alliage métallique couramment utilisé dans la fabrication d'éléments chauffants (séchoir à cheveux, grille-pain…). À 100°C, ce matériau a une résistivité de 1.09×10^{-6} Ω·m. Quelle doit être la longueur d'un fil #24 (jauge AWG) pour que sa résistance soit de 15 Ω à 100°C?
   a) 1.78 m
   b) 2.23 m
   c) 2.82 m
   d) 3.55 m

2. Les condensateurs sont souvent utilisés pour stabiliser l'alimentation d'une composante électronique (condensateur de découplage). En effet, lors d'une commutation électronique, la composante appelle une pointe de courant qui provoque une brève chute de la tension d'alimentation à ses bornes. Quelle doit être la valeur d'un condensateur pour que ce dernier fournisse 5 mA pour compenser une chute de tension de 10 mV en 20 ns?
   a) 1 nF
   b) 10 nF
   c) 0.1 µF
   d) 1 µF

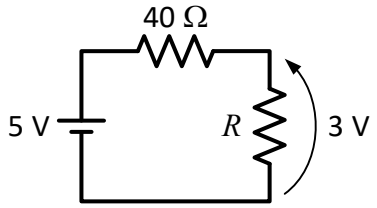
3. Une inductance est fabriquée à partir d'un noyau ferromagnétique ayant une réluctance de 5×10^6 At/Wb. Quel doit être le nombre de spires enroulées autour de ce noyau pour obtenir une inductance de 2 mH.
   a) 100
   b) 500
   c) 2500
   d) 10000

4. Lorsqu'une diode à jonction PN est polarisée en inverse, le courant y est limité par une zone de déplétion. Que signifie ce terme?
   a) Une zone dépourvue d'anions ou de cations.
   b) Une zone aux bornes de laquelle le champ électrique est nul.
   c) Une zone qui favorise une diffusion rapide des porteurs de charges libres.
   d) Une zone dépourvue de porteurs de charges libres.

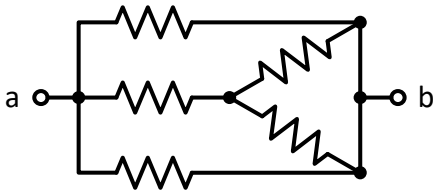
5. Un transistor à effet champ de type MOSFET à canal N commence à conduire lorsque la tension grille-source (V_{GS}) excède la tension de seuil (V_{TH}). Qu'est-ce qui provoque ce changement de mode de fonctionnement?
   a) Lorsque V_{GS} atteint V_{TH}, un canal de déplétion commence à se former sous la grille.
   b) Lorsque V_{GS} atteint V_{TH}, un canal d'inversion commence à se former sous la grille.
   c) Lorsque V_{GS} excède V_{TH}, le canal de conduction sort de la saturation.
   d) Lorsque V_{GS} excède V_{TH}, le pincement du canal de conduction s'estompe.

<u>Circuits en CC</u>

6. En se basant sur les valeurs données dans le schéma suivant, évaluer la valeur de la résistance R.
   a) 15 Ω
   b) 30 Ω
   c) 45 Ω
   d) 60 Ω

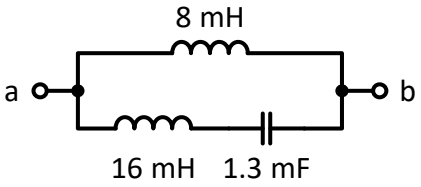


7. Si chacune des résistances du circuit suivant a une valeur de 4 Ω, évaluer la résistance équivalente de ce circuit (entre les bornes a et b).
   a) 1.50 Ω
   b) 1.67 Ω
   c) 2.00 Ω
   d) 2.33 Ω



Circuits en CA monophasé

8. Si la charge suivante est alimentée par une source de 60 Hz, évaluer sa réactance équivalente (entre les bornes a et b).
   a) 5.47 Ω
   b) 5.18 Ω
   c) 2.20 Ω
   d) 1.72 Ω

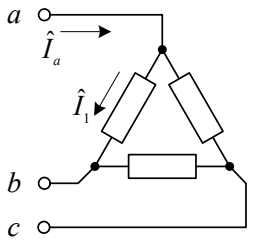


9. Un moteur est alimenté par une source de 115 V, 60 Hz. À charge nominale, il consomme un courant de 9 A et une puissance de 750 W. Dans ces conditions, évaluer la phase du courant relativement à celle de la tension d'alimentation.
   a) Le courant est en avance de phase de 43.6° sur la tension.
   b) Le courant est en avance de phase de 46.4° sur la tension.
   c) Le courant est en retard de phase de 43.6° sur la tension.
   d) Le courant est en retard de phase de 46.4° sur la tension.

10. Lorsqu'une charge est alimentée par une source de 230 V, elle absorbe un courant de 15 A en retard de 45° sur la tension. Si on ajoute une réactance capacitive de 25 Ω en parallèle avec cette charge, quel sera le courant fourni par la source ?
   a) 24.2 A
   b) 10.7 A
   c) 9.2 A
   d) 5.8 A

Circuits triphasés

11. Le schéma suivant illustre une charge triphasée équilibrée branchée en triangle. Évaluer le phaseur courant $\hat{I}_a$ à partir d'un phaseur courant $\hat{I}_1$ connue. Noter que, dans cette évaluation, la séquence de phase directe (a-b-c) doit être utilisée.
   a) $\hat{I}_a = \hat{I}_1 \cdot \left(\sqrt{3}\angle -30°\right)$
   b) $\hat{I}_a = \hat{I}_1 \cdot \left(\frac{1}{\sqrt{3}}\angle -30°\right)$
   c) $\hat{I}_a = \hat{I}_1 \cdot \left(\sqrt{3}\angle 30°\right)$
   d) $\hat{I}_a = \hat{I}_1 \cdot \left(\frac{1}{\sqrt{3}}\angle 30°\right)$



12. Lorsqu'une charge triphasée est équilibrée, on peut faire la simplification suivante:
    a) Les trois courants de ligne sont identiques en intensité et en phase.
    b) Les trois courants de ligne ont la même intensité mais sont déphasés de 120° entre eux.
    c) Les puissances apparentes absorbées par chacune des trois phases ont toutes le même module mais sont déphasées de 120° entre elles.
    d) La somme des phaseurs puissances apparentes absorbées par chacune des trois phases donne zéro.

<u>Électromagnétisme et transformateurs</u>

13. Comment appelle-t-on le potentiel d'un enroulement à produire un flux magnétique?
    a) une force électromagnétique
    b) une force électromotrice
    c) une force magnétostrictive
    d) une force magnétomotrice

14. 1.6 mWb est produit lorsqu'une bobine de 200 spires est alimentée par une source de 4 A. Estimer la réluctance du circuit magnétique correspondant.
    a) 0.5×10^3 H^{-1}
    b) 1.5×10^3 H^{-1}
    c) 0.5×10^6 H^{-1}
    d) 1.5×10^6 H^{-1}

15. Lorsqu'une source de 115 V est branchée au primaire d'un transformateur éleveur de tension 1:4, un courant de 8 A circule dans l'enroulement du primaire. Quel est le module de l'impédance de la charge au secondaire ?
    a) 230 Ω
    b) 57.5 Ω
    c) 14.38 Ω
    d) 0.90 Ω

<u>Moteurs asynchrones</u>

16. Certains moteurs asynchrones à cage d'écureuil sont spécialement conçus pour offrir de bonnes performances au démarrage (plus de couple avec moins de courant) au détriment de la régulation de la vitesse à pleine charge. Quel est le principal paramètre de conception qui permet ces différentes performances ?
    a) Le nombre de pôles par phase au niveau du stator
    b) L'utilisation de pôles lisses ou saillants au niveau du stator
    c) La perméabilité magnétique de l'acier constituant le rotor
    d) La résistance électrique des barres de la cage d'écureuil du rotor

17. Un moteur à induction monophasé de ¾ hp est alimenté par un réseau de 110 V, 60 Hz. Ce moteur fonctionne grâce à un enroulement principal ayant une impédance de $(4 + 8j)\ \Omega$ et un enroulement auxiliaire ayant une impédance de $(6 + 5j)\ \Omega$. Pour que les courants dans les deux enroulements soient déphasés de 90°, on propose d'ajouter un condensateur en série avec l'enroulement auxiliaire. Quelle est la réactance de ce condensateur ?
    a) 3 Ω
    b) 7 Ω
    c) 8 Ω
    d) 12 Ω

18. À 60 Hz, un moteur asynchrone triphasé est caractérisé par un glissement de 28% au décrochage. Quelle devrait être la fréquence de l'alimentation pour que le moteur développe un couple identique au couple de décrochage, mais au démarrage du moteur ?
    a) 15.2 Hz
    b) 16.0 Hz
    c) 16.8 Hz
    d) 17.6 Hz

19. Un moteur asynchrone alimenté à 60 Hz tourne à 580 rpm à pleine charge. Dans ces conditions, calculer le glissement.
    a) 2.9 %
    b) 3.3 %
    c) 3.7 %
    d) 4.1 %

<u>Machines synchrones</u>

20. Dans les centrales hydroélectriques, on utilise des alternateurs synchrones à inducteur tournant (des dizaines de pôles au rotor de l'alternateur). Pour générer le flux inducteur, ces pôles sont alimentés par un courant d'excitation dont on peut varier l'intensité en fonction des besoins. Quel est l'impact d'une augmentation de ce courant sur la production de l'alternateur?
    a) Augmente la production de puissance réactive fournie au réseau (ou réduit l'absorption de la puissance réactive en provenance du réseau)
    b) Augmente la production de puissance active fournie au réseau
    c) Augmente la tension du réseau
    d) Augmente l'intensité du courant disponible sur le réseau