ORDRE DES INGÉNIEURS DU QUÉBEC

SESSION DE MAI 2020

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. Un bit de contrôle B détermine le mode de fonctionnement de ce circuit.

a) Ce circuit est communément utilisé dans les cartes d'acquisition de données afin de stabiliser une valeur analogique lors de sa numérisation. Décrire le fonctionnement de ce circuit, étape par étape, lorsque le bit de contrôle B passe d'un niveau haut (1 logique) à un niveau bas (0 logique).

b) Décrire la fonction du condensateur C dans ce circuit.

c) Les deux amplificateurs opérationnels du circuit sont configurés en suiveur. Dans les circonstances, qualifier les impédances d'entrée et de sortie du circuit (faible ou élevée). Justifier ces réponses en se basant sur des valeurs typiques retrouvées dans des amplificateurs opérationnels.

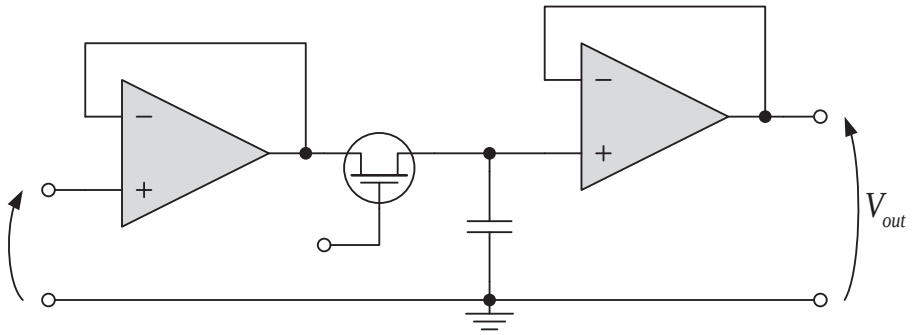


Figure 1 : Circuit considéré dans le problème n° 1

Problème n° 2 (10 points)

Le circuit de la figure 2 comporte deux entrées logiques (A et B) qui déterminent si la diode électroluminescente (DEL) est allumée ou éteinte.

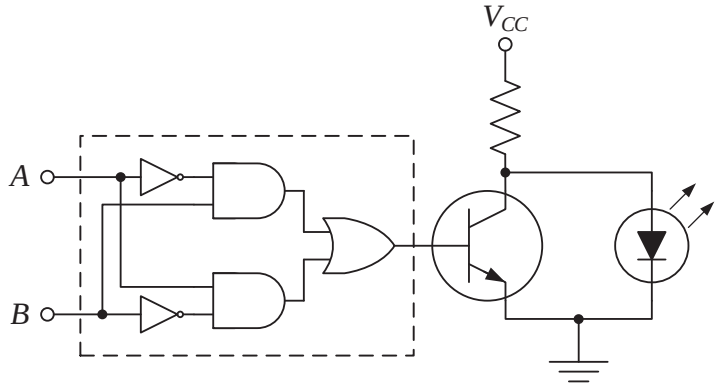


Figure 2: Circuit logique considéré dans le problème n° 2

a) Donner les différentes combinaisons de A et de B qui font en sorte que la DEL est allumée.

b) La combinaison de portes logiques délimitée par un rectangle en tirets peut être remplacée par une seule porte logique commune. Identifier cette porte et en démontrer l'équivalence grâce à des tables de vérité.

c) Si, dans ce circuit, on remplace la DEL par un petit moteur à aimant permanent, qu'est-ce que les enroulements du moteur risquent de provoquer aux bornes du transistor de commutation?

Problème n° 3 (20 points)

Une source de 350 V alimente un moteur shunt de 50 hp tel que représenté par le circuit équivalent de la figure 3. Ce moteur a une résistance d'induit de 0.175 Ω et une résistance de champ de 50 Ω.

À vide, il tourne à 1350 rpm et consomme un courant (I_s) de 11.6 A. Dans cette condition, calculer :

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

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

c) La constante de couple (K_c, en Nm/A) du moteur.

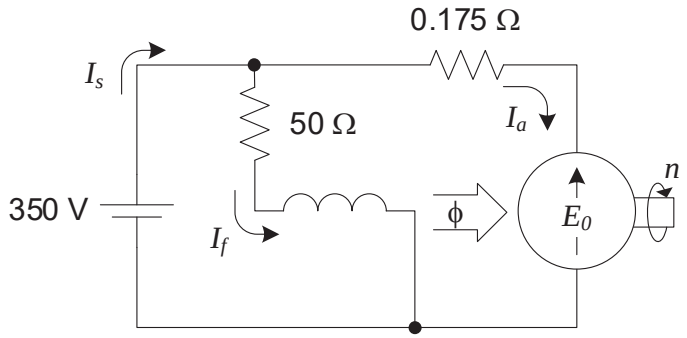


Figure 3: Circuit équivalent du moteur CC considéré dans le problème n° 3

On entraîne maintenant une charge mécanique de 35 kW grâce à ce moteur. Dans cette condition, il consomme un courant (I_s) de 122 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 moteur.

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

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

g) Le rendement (η) du moteur.

Problème nº 4 (20 points)

Un moteur asynchrone triphasé de 15 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	11	15
Puissance active (P_s, en W) fournie par l'alimentation du moteur	661	310

Par ailleurs, grâce à un ohmmètre, on arrive à mesurer la résistance des enroulements statoriques du moteur : r_1 = 0.06 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).

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

On désire utiliser ce moteur pour entraîner une charge offrant un couple résistif de 60 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).

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

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

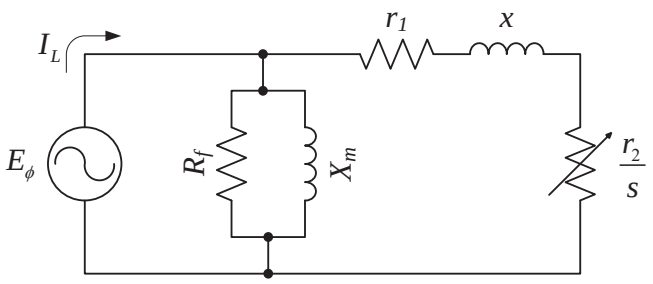


Figure 4 : Circuit équivalent de chacune des phases du moteur (montage en étoile)

Problème nº 5 (40 points)

Répondre à la série de questions à choix multiples suivante. Indiquer la réponse en encerclant la lettre correspondante.

<u>Composantes électriques et électroniques</u>

1. Le graphite est couramment employé dans la fabrication des résistances utilisées dans les circuits électroniques. À température ambiante, ce matériau a une résistivité de 3.5×10^{-5} Ω·m. Quel doit être le rayon (en mm) d'un cylindre de graphite pour que sa résistance linéique soit de 10 Ω/cm?
   a) 0.350 mm
   b) 0.187 mm
   c) 0.106 mm
   d) 0.060 mm

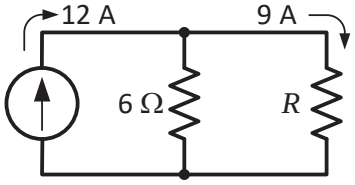
2. Un condensateur est constitué d'une mince couche diélectrique placée entre deux électrodes planes. La permittivité de ce diélectrique varie linéairement avec le taux d'humidité relative (H.R.) dans l'air ambiant. Si la capacité de ce condensateur est de 210 pF à 30% H.R. et de 230 pF à 60% H.R., quelle en sera la valeur à 50% H.R.?
   a) 213 pF
   b) 217 pF
   c) 220 pF
   d) 223 pF

3. Pour mesurer l'inductance d'une bobine, on mesure la tension à ses bornes lorsqu'on y injecte un courant de 0.5 A, 60 Hz. Pour une tension de 375 mV, évaluer la valeur de cette inductance.
   a) 1.0 mH
   b) 2.0 mH
   c) 6.2 mH
   d) 12.5 mH

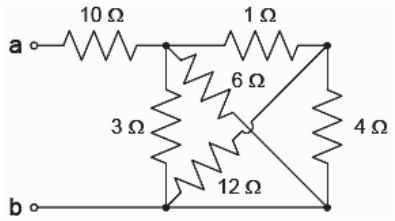
4. Lorsqu'une diode à jonction PN est polarisée en inverse, un faible courant de saturation inverse y circule. Comment varie l'intensité de ce courant avec une augmentation de la température de la diode?
   a) Ce courant augmente systématiquement avec une augmentation de la température.
   b) Ce courant diminue systématiquement avec une augmentation de la température.
   c) Ce courant est indépendant de la température.
   d) Au-delà d'un certain seuil de température, ce courant croît exponentiellement avec la température (effet d'avalanche).

<u>Circuits en CC</u>

5. En se basant sur les valeurs données dans le schéma suivant, évaluer la valeur de la résistance R.
   a) 0.5 Ω
   b) 2 Ω
   c) 9 Ω
   d) 18 Ω



6. Évaluer la résistance équivalente entre les bornes a et b du circuit suivant.
   a) 11.33 Ω
   b) 12.66 Ω
   c) 15.00 Ω
   d) 17.50 Ω



Circuits en CA monophasé

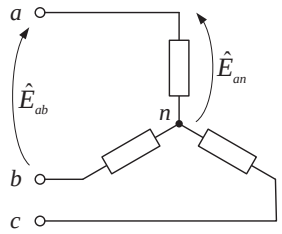
7. Une source de 230 VAC fournit 2 kW et 14 A à un moteur monophasé. Quelle est l'impédance complexe équivalente de ce moteur?
   a) (12.9 + 10.2i) Ω
   b) (12.9 – 10.2i) Ω
   c) (10.2 + 12.9i) Ω
   d) (10.2 – 12.9i) Ω

8. On injecte un courant alternatif de 3 A, 60 Hz dans une charge tout en observant, grâce à un oscilloscope, la tension à ses bornes. Cette tension sinusoïdale a une amplitude (échelle verticale) de 45 VAC et est en avance de 1.7 ms par rapport au signal du courant (échelle horizontale). Évaluer le facteur de puissance de la charge.
   a) 80% en retard
   b) 80% en avance
   c) 85% en retard
   d) 85% en avance

9. Une charge absorbe 5 kW avec un facteur de puissance de 75% en avance. Évaluer la puissance réactive échangée entre l'alimentation et cette charge.
   a) L'alimentation fournit 3.75 kVAr à la charge.
   b) La charge fournit 3.75 kVAr à l'alimentation.
   c) L'alimentation fournit 4.41 kVAr à la charge.
   d) La charge fournit 4.41 kVAr à l'alimentation.

Circuits triphasés

10. Le schéma suivant illustre une charge triphasée équilibrée branchée en étoile. Évaluer le phaseur tension $\hat{E}_{an}$ à partir d'une tension $\hat{E}_{ab}$ connue. Noter que, dans cette évaluation, la séquence de phase a-b-c doit être utilisée.
    a) $\hat{E}_{an} = \hat{E}_{ab} \cdot \left(\frac{1}{\sqrt{3}}\angle 30°\right)$
    b) $\hat{E}_{an} = \hat{E}_{ab} \cdot \left(\frac{1}{\sqrt{3}}\angle -30°\right)$
    c) $\hat{E}_{an} = \hat{E}_{ab} \cdot (\sqrt{3}\angle 30°)$
    d) $\hat{E}_{an} = \hat{E}_{ab} \cdot (\sqrt{3}\angle -30°)$



11. Lorsqu'une charge triphasée branchée en étoile est équilibrée, on peut faire la simplification suivante :
    a) Les trois courants de ligne sont identiques en intensité et en phase.
    b) Les tensions sur chacune des trois phases de la charge sont identiques en intensité et en phase.
    c) La tension sur chacune des trois phases de la charge est identique en intensité et en phase à la tension de ligne correspondante.
    d) La somme des phaseurs représentant les trois courants de ligne donne zéro.

Électromagnétisme et transformateurs

12. Lorsqu'un flux magnétique alternatif transite par un noyau ferromagnétique, ce dernier se réchauffe. Comment appelle-t-on le phénomène responsable de cet échauffement?
    a) des fuites de flux magnétiques
    b) des pertes Joule
    c) des pertes de fer
    d) des transformations magnétostrictives

13. Un entrefer de 1 mm est usiné dans un noyau ferromagnétique de 2 cm^2 de section. Évaluer la réluctance de cet entrefer.
    a) 40×10^3 H^{-1}
    b) 400×10^3 H^{-1}
    c) 4.0×10^6 H^{-1}
    d) 40×10^6 H^{-1}

14. On désire produire une densité de flux magnétique de 1 T dans un noyau ferromagnétique dont la perméabilité relative est estimée à 2050. La longueur moyenne du parcours magnétique est de 1.5 m. Quel courant doit-on faire circuler dans une bobine de 300 tours pour produire la densité de flux désirée?
    a) 1.94 A
    b) 2.44 A
    c) 3.88 A
    d) 4.88 A

15. On alimente le primaire d'un transformateur idéal grâce à une tension continue de 5 VDC. Si son rapport de transformation (N_1/N_2) est de 0.5, évaluer l'amplitude de la tension au secondaire de ce transformateur.
    a) 10 V
    b) 7.5 V
    c) 2.5 V
    d) 0 V

Moteurs asynchrones

16. Certains moteurs asynchrones triphasés comportent une double cage d'écureuil; une cage en laiton à la périphérie du rotor et une cage en cuivre plus profondément incrustée dans le rotor. Quel est le principal avantage d'une telle configuration?
    a) Augmente le couple et la vitesse de décrochage
    b) Augmente le couple tout en réduisant la consommation de courant au démarrage
    c) Augmente le couple tout en réduisant la consommation de courant à pleine charge
    d) Stabilise la vitesse de rotation du moteur à pleine charge (amélioration de la régulation)

17. Dans l'évaluation du rendement d'un moteur asynchrone triphasé, il est d'usage de négliger les pertes de fer dans le rotor. Qu'est-ce qui justifie une telle simplification?
    a) Le rotor est constitué d'un empilement de tôles d'acier isolées électriquement les unes des autres.
    b) L'entrefer entre le stator et le rotor est suffisamment faible pour limiter les fuites de flux magnétique entre les deux.
    c) Le rotor est constitué d'une cage d'écureuil de très faible résistance électrique.
    d) À pleine charge, le rotor tourne à une vitesse qui avoisine la vitesse de rotation du champ inducteur.

18. Grâce à un variateur de vitesse, on peut, à la demande, ajuster le couple développé par un moteur asynchrone triphasé et ce, sur une grande plage de vitesse de rotation. Par exemple, si, à 60 Hz, un moteur est caractérisé par une vitesse de 1725 rpm à pleine charge et un glissement de 33% au décrochage, évaluer la fréquence de l'alimentation nécessaire pour que le moteur développe un couple identique au couple de décrochage et ce, au démarrage du moteur.
    a) 18.2 Hz
    b) 19.0 Hz
    c) 19.8 Hz
    d) 20.6 Hz

19. Un moteur asynchrone monophasé 60 Hz tourne à 1160 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