ORDRE DES INGÉNIEURS DU QUÉBEC

SESSION DE NOVEMBRE 2024

Note au sujet de la propriété intellectuelle des modèles d'examen de l'Ordre des ingénieurs du Québec
Les modèles d'examen se trouvant sur le site internet de l'Ordre des ingénieurs du Québec sont la propriété exclusive de l'Ordre et leur utilisation est strictement limitée à des fins académiques et personnelles. Toute reproduction, distribution ou utilisation commerciale non autorisée de ces modèles constitue une violation de la propriété intellectuelle et est strictement interdite. L'Ordre se réserve le droit de prendre toutes les mesures légales appropriées contre toute utilisation non autorisée de ses modèles d'examen.

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

22-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 l'amplificateur opérationnel est considéré comme idéal.

a) (4 pts) Estimer le ratio $|V_{out}|/|V_{in}|$ en fonction de la fréquence du signal ω.

b) (4 pts) Le circuit de la figure 1 est communément utilisé à titre de filtre actif. Identifier le type (filtre passe-bas, passe-haut, à réjection ou passe-bande), l'ordre, et la fréquence de coupure à -3 dB (ω_c) de ce filtre.

c) (2 pts) Estimer les impédances d'entrée et de sortie de ce circuit.

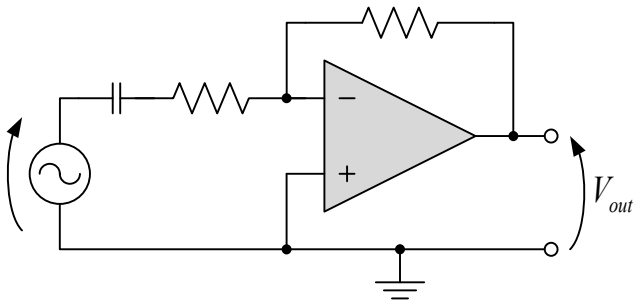


Figure 1 : Circuit considéré dans le problème n° 1

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.

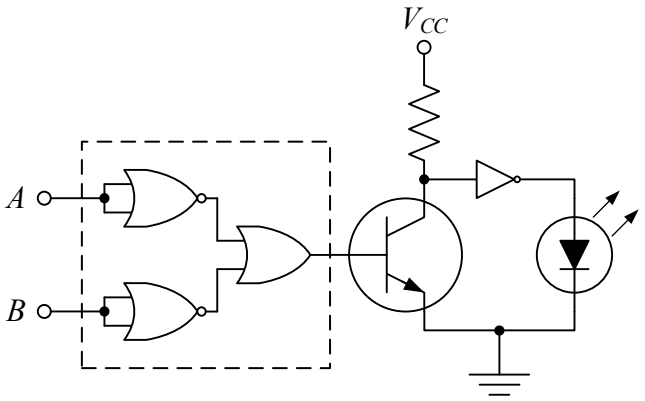


Figure 2: Circuit logique considéré dans le problème n° 2

a) (5 pts) 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.

b) (2 pts) Donner les différentes combinaisons de A et de B qui font en sorte que la DEL est allumée.

c) (3 pts) 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 dans le circuit de commutation?

Problème n° 3 (20 points)

Tel que représenté par le circuit équivalent de la figure 3, une source de 460 V alimente un moteur DC shunt de 50 hp. Ce moteur a une résistance d'induit de 0.4 Ω et une résistance de champ de 100 Ω.

a) (2 pts) Calculer la résistance d'un rhéostat de démarrage qui limiterait le courant dans l'induit (I_{ad}) à 200 A.

À vide, ce moteur tourne à 2450 rpm (n) et consomme un courant (I_s) de 10 A. Noter que les pertes rotationnelles de ce moteur (pertes de fer, par friction et ventilation) ne sont pas négligeables. Dans cette condition, calculer :

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

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

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

Ce moteur entraîne maintenant une charge mécanique avec un couple de 147 Nm. Dans cette condition, il consomme un courant (I_s) de 90 A. Pour ce nouveau point d'opération, calculer :

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

f) (2 pts) La vitesse de rotation (n) de la charge.

g) (4 pts) La puissance délivrée à la charge (P_{out}) et le rendement (η) du moteur.

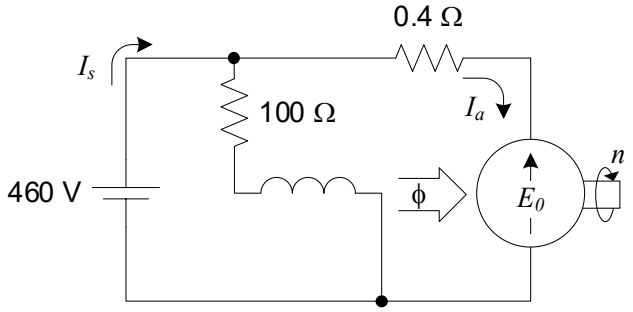


Figure 3 : Circuit équivalent d'un moteur DC shunt

Problème n° 4 (20 points)

Un moteur asynchrone triphasé de 400 kW, 575 V, 60 Hz, 4 pôles par phase est modélisé par le circuit simplifié de la figure 4. Des essais à vide et à rotor bloqué permettent d'évaluer l'impédance par phase de la charge en étoile équivalente :

- $\hat{Z}_{AV} = (0.22 + 4.0j)\Omega$ à vide (pertes par friction négligeables, s = 0)
- $\hat{Z}_{RB} = (0.045 + 0.2j)\Omega$ à rotor bloqué (s = 1)

Par ailleurs, grâce à un ohmmètre, on arrive à mesurer la résistance des enroulements statoriques du moteur : r_1 = 0.025 Ω sur chacune des trois phases du moteur. Dans ces conditions, calculer :

a) (3 pts) La résistance des conducteurs du rotor (r_2).

b) (4 pts) La tension de phase (E_ϕ) et la vitesse du champ inducteur (la vitesse synchrone, n_s, en rpm) du moteur aux conditions nominales (tension et fréquence de l'alimentation).

c) (3 pts) Le phaseur courant de ligne ($\hat{I}_L$) du moteur au démarrage (prendre la tension de phase E_ϕ comme référence de phase).

On désire utiliser ce moteur pour entraîner une charge offrant un couple résistif (en Nm) qui varie en fonction de la vitesse de rotation de l'arbre (n) suivant la relation $T = 500 + 0.65 \cdot n$. Dans ces conditions, calculer :

d) (5 pts) La vitesse de rotation (n, en rpm) de la charge. Dans ce calcul, l'approximation linéaire à faible glissement peut être utilisée.

e) (3 pts) La puissance mécanique (P_m) développée par le moteur.

f) (2 pts) Les pertes Joule au niveau du rotor (P_{jr}).

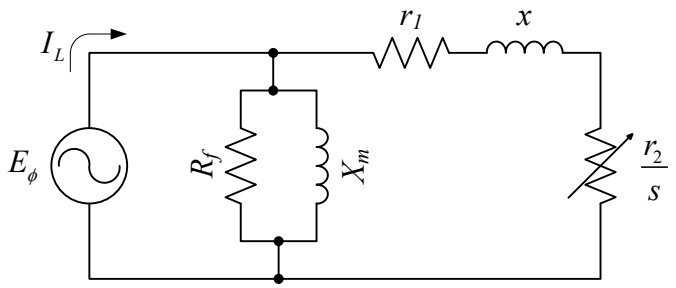


Figure 4 : Circuit équivalent de chacune des phases du moteur (montage en étoile)

Problème n° 5 (40 points)

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

<u>Composantes électriques et électroniques</u>

1. Des câbles 14/2 en cuivre sont régulièrement utilisés dans les résidences privées pour alimenter l'éclairage et la majorité des prises de courant. Selon les normes en vigueur, ces câbles doivent être protégés par un disjoncteur de 15 A. Sachant que, à 20°C, la résistivité

du cuivre est de 17.5 nΩm, quelle est la chute de tension aux bornes d'un fil de cuivre #14 de 6 m de longueur lorsqu'un courant de 15 A y circule?

a) 0.44 V
b) 0.60 V
c) 0.76 V
d) 1.20 V

2. On charge un condensateur de 47 nF avec un courant de 1 mA appliqué pendant 3 µs. Quelle tension devrait apparaître à ses bornes?

a) 31.9 mV
b) 63.8 mV
c) 95.7 mV
d) 127.7 mV

3. Une tension sinusoïdale de 5 V, 60 Hz est appliquée sur une bobine de 100 spires. Quelle est l'intensité du flux magnétique alternatif qui la traverse?

a) 0.133 mWb
b) 0.265 mWb
c) 0.549 mWb
d) 0.833 mWb

4. Lorsqu'une diode à jonction PN est polarisée en inverse, un faible courant réussit malgré tout à la traverser (courant de saturation inverse). Quels sont les porteurs de charge responsables de cette conduction limitée?

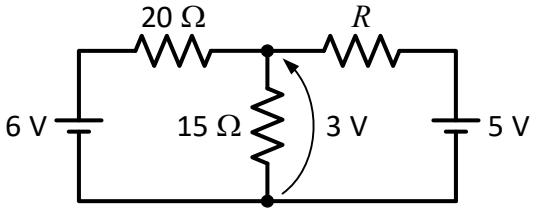
a) Des anions et des cations générés par la diffusion des électrons libres à la jonction.
b) Des anions et des cations qui diffusent de chaque côté de la jonction.
c) Des porteurs de charge majoritaires (ex.: les électrons libres dans le matériau de type N).
d) Des porteurs de charge minoritaires (ex.: les électrons libres dans le matériau de type P).

5. L'impédance d'entrée d'un transistor à effet champ de type MOSFET est beaucoup plus élevée que celle d'un transistor bipolaire. Qu'est-ce qui explique cette caractéristique?

a) Dans un transistor bipolaire, la résistance équivalente de la jonction base-émetteur (R_π) laisse passer un courant indépendamment de V_{BE}.
b) Dans un MOSFET, une couche d'oxyde métallique isole la grille du canal de conduction.
c) Dans un transistor bipolaire, la résistance équivalente de la jonction collecteur-émetteur (R_O) laisse passer un courant indépendamment de V_{CE}.
d) Dans un MOSFET, une zone de déplétion isole la grille du canal de conduction.

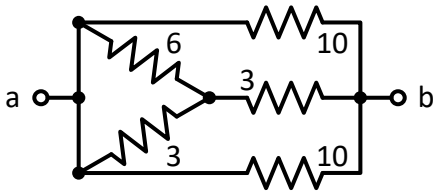
<u>Circuits en CC</u>

6. En se basant sur les valeurs données dans le schéma suivant, évaluer la valeur de la résistance R.



a) 10 Ω
b) 20 Ω
c) 30 Ω
d) 40 Ω

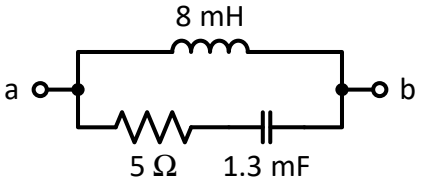
7. Évaluer la résistance équivalente entre les bornes a et b du circuit suivant (toutes les valeurs sont indiquées en ohms).



a) 2.50 Ω
b) 3.30 Ω
c) 4.20 Ω
d) 5.00 Ω

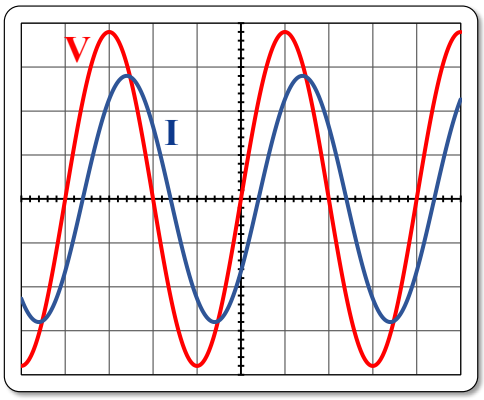
Circuits en CA monophasé

8. Si la charge suivante est alimentée par une source de 60 Hz, évaluer son impédance équivalente (entre les bornes a et b).
   a) (0.80 - 2.20i) Ω
   b) (0.80 + 2.20i) Ω
   c) (1.75 - 2.67i) Ω
   d) (1.75 + 2.67i) Ω



9. Un compresseur d'air est alimenté par une source de 230 V, 60 Hz. Dans ces conditions, il consomme un courant de 12 A et une puissance de 2 kW. Évaluer la puissance réactive requise pour maintenir la magnétisation des pôles du moteur qui entraîne ce compresseur.
   a) 760 VAr
   b) 1.37 kVAr
   c) 1.90 kVAr
   d) 2.76 kVAr

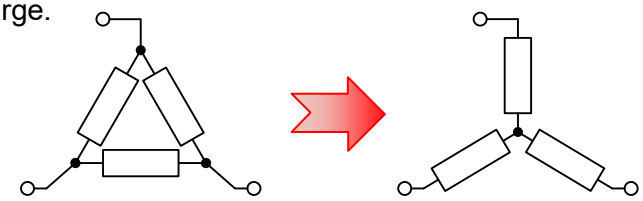
10. Sur un oscilloscope, on observe la tension (V) aux bornes d'une charge et le courant (I) qui la traverse. Évaluer le facteur de puissance de cette charge.



   a) 81% en avance
   b) 81% en retard
   c) 95% en avance
   d) 95% en retard

Circuits triphasés

11. On désire remplacer une charge équilibrée en triangle par une charge équivalente en étoile. Évaluer l'impédance complexe des composantes ($\hat{Z}_Y$) qui doivent être insérées dans chacune des phases de la nouvelle charge.



$\hat{Z}_\Delta = (6+9i)\,\Omega$ $\hat{Z}_Y$

a) $\hat{Z}_Y = (2 + 3i)\ \Omega$
b) $\hat{Z}_Y = (3.5 + 5.2i)\ \Omega$
c) $\hat{Z}_Y = (10.4 + 15.6i)\ \Omega$
d) $\hat{Z}_Y = (18 + 27i)\ \Omega$

12. Une charge triphasée équilibrée est alimentée suivant une séquence directe (a-b-c). Par quel facteur doit-on multiplier $\hat{E}_{an}$ (tension entre la phase a et le neutre) pour obtenir $\hat{E}_{ab}$ (tension entre les phases a et b)?
    a) $\hat{E}_{ab} = \hat{E}_{an} \cdot (\sqrt{3}\angle -30°)$
    b) $\hat{E}_{ab} = \hat{E}_{an} \cdot (\sqrt{3}\angle 30°)$
    c) $\hat{E}_{ab} = \hat{E}_{an} \cdot \left(\frac{1}{\sqrt{3}}\angle -30°\right)$
    d) $\hat{E}_{ab} = \hat{E}_{an} \cdot \left(\frac{1}{\sqrt{3}}\angle 30°\right)$

<u>Électromagnétisme et transformateurs</u>

13. Lorsqu'un flux magnétique alternatif traverse un noyau ferromagnétique, on y observe des pertes de fer. Pour contrer ces pertes, le noyau est normalement constitué d'un empilement de lamelles plutôt que d'un bloc de fer plein. Quel phénomène arrive-t-on à réduire par l'utilisation de cette méthode?
    a) les pertes par effet Joule
    b) les pertes par hystérésis
    c) les fuites de flux magnétique
    d) les pertes dues à l'induction de courants de Foucault

14. 15 mWb est produit lorsqu'une bobine de 250 spires est alimentée par une source de 3 A. Estimer la réluctance du circuit magnétique correspondant.
    a) 50 H^{-1}
    b) 150 H^{-1}
    c) 50×10^3 H^{-1}
    d) 150×10^3 H^{-1}

15. Le concept de transformateur idéal est basé sur quelques approximations qui simplifient l'analyse d'un tel dispositif. Parmi les approximations suivantes, quelle est celle qui <u>n'est pas</u> applicable?
    a) Le déphasage entre le flux mutuel et le courant inducteur est négligé; l'inductance propre du primaire est purement réelle.
    b) Les fuites de flux magnétique sont négligées; la perméabilité magnétique infinie du noyau y confine la totalité du flux.
    c) La résistance électrique des bobines est négligée; on ne considère pas de pertes Joule.

d) La réluctance du parcours magnétique est négligée; aucune force magnétomotrice n'est requise pour magnétiser le noyau.

Moteurs asynchrones

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 %

Machines synchrones

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