

# BREVET de TECHNICIEN SUPÉRIEUR

## CONTRÔLE INDUSTRIEL et RÉGULATION AUTOMATIQUE

### **SCIENCES PHYSIQUES**

### Physique-appliquée U-32

*Durée : 2 heures*

*Coefficient : 2,5*

=====

*Avant de composer, assurez-vous que l'exemplaire qui vous a été remis est bien complet. Ce sujet comporte 5 pages numérotées de 1/5 à 5/5.*

=====

***Aucun document autorisé.***  
***Calculatrice réglementaire autorisée.***

## CAE3PA

Un couplemètre est un capteur qui mesure le couple mécanique transmis à un arbre en rotation. La mesure de couple est utilisée dans de nombreuses applications industrielles telles que :

- le contrôle et la limitation du couple dans le but de préserver le moteur et sa charge,
- la détermination du couple résistant en fonction de la vitesse en vue de l'optimisation du choix d'un moteur,
- la mesure du couple de vissage d'une visseuse électrique.

Le problème proposé étudie la mesure du couple utile transmis par un moteur asynchrone triphasé.

**Les trois parties A, B et C sont totalement indépendantes.**

### PARTIE A : ÉTUDE DU MOTEUR ASYNCHRONE

La plaque signalétique du moteur asynchrone comporte les indications suivantes :

230 V/400 V - 50 Hz ; 13,9 A/8 A ; 1 455 tr·min<sup>-1</sup> ; 3,8 kW ;  $\cos\varphi = 0,83$ .

La résistance mesurée entre deux phases du moteur est  $R = 2,88 \Omega$ .

Un essai à vide du moteur asynchrone sur le réseau EDF 230 V / 400 V a donné les résultats suivants :

- pertes fer statoriques :  $P_{fs} = 200 \text{ W}$ ,
- pertes mécaniques :  $P_m = 200 \text{ W}$ ,
- vitesse de rotation :  $n \approx n_s = 1\,500 \text{ tr}\cdot\text{min}^{-1}$ ,  
( $n_s$  est la vitesse de synchronisme).

1. Déterminer le nombre  $p$  de paires de pôles du moteur.
2. Pour un fonctionnement nominal :
  - a) Quelle doit être la valeur efficace de la tension aux bornes d'un enroulement du moteur ?
  - b) En déduire le couplage du stator.
  - c) Quelle est la valeur efficace de l'intensité dans un enroulement ?

## CAE3PA

3. Dans les conditions nominales, calculer :
  - a) le glissement  $g$ ,
  - b) le moment du couple utile  $C_u$ ,
  - c) la puissance active  $P_a$  absorbée par le moteur,
  - d) le rendement du moteur  $\eta$ ,
  - e) les pertes Joule statoriques  $P_{js}$ ,
  - f) les pertes Joule rotoriques  $P_{jr}$ .
4. La figure 1 page 5 représente le dispositif de commande et de protection du moteur asynchrone.
  - a) Indiquer le nom de chacun des trois appareils  $F_0$ ,  $KM$  et  $F_1$  composant ce dispositif.
  - b) Donner la fonction de chaque appareil.

### PARTIE B : ÉTUDE DU COUPLÈMÈTRE

Le couplemètre est un capteur de couple à jauges extensométriques inséré sur l'arbre, entre le moteur et la charge à entraîner. Il est constitué d'un barreau cylindrique sur lequel sont collées quatre jauges métalliques identiques. Les paires de jauges  $J_1, J_2$  et  $J_3, J_4$  sont diamétralement opposées (figure 2 page 5) de telle sorte qu'une torsion du barreau, proportionnelle au couple exercé sur l'arbre, entraîne une variation symétrique de leurs résistances respectives :

$$R_1 = R_4 = R + \Delta R \text{ et } R_2 = R_3 = R - \Delta R.$$

$R$  est la résistance au repos ;  $\Delta R$  est la variation de résistance proportionnelle au couple à mesurer  $C_u$  selon la relation  $\frac{\Delta R}{R} = kC_u$ .

Les quatre jauges sont interconnectées en pont de Wheatstone, lequel est alimenté en continu sous la tension  $E = 24 \text{ V}$  (figure 3 page 5). On étudie le montage à vide.

1. Expression de la tension  $v_A$  :
  - a) Déterminer l'expression de la tension  $v_A$  en fonction de  $E, R_3$  et  $R_4$ .
  - b) En déduire l'expression de  $v_A$  en fonction de  $R, \Delta R$  et  $E$ .
2. Expression de la tension  $v_B$  :
  - a) Déterminer l'expression de la tension  $v_B$  en fonction de  $E, R_1$  et  $R_2$ .
  - b) En déduire l'expression de  $v_B$  en fonction de  $R, \Delta R$  et  $E$ .
3. Déterminer l'expression de la tension de déséquilibre du pont  $u_{AB}$  en fonction de  $R, \Delta R$  et  $E$ .

## CAE3PA

4. La tension de déséquilibre s'écrit  $u_{AB} = \alpha C_u$  ; donner l'expression de  $\alpha$  en fonction de  $k$  et  $E$ .
5. Lorsque le couplemètre mesure un couple  $C_u$  de 25 Nm, la variation de résistance des jauges est  $\Delta R = 0,35 \Omega$ . Sachant que  $R = 350 \Omega$ , calculer :
  - a) la valeur de la tension  $v_A$ ,
  - b) la valeur de la tension  $v_B$ ,
  - c) la valeur de la tension  $u_{AB}$ ,
  - d) la valeur du coefficient  $\alpha$  en précisant son unité.

### PARTIE C : ÉTUDE DE L'AMPLIFICATION

La tension de déséquilibre  $u_{AB}$  doit ensuite être amplifiée. Pour cela, on utilise un amplificateur d'instrumentation (figure 4 page 5).

1. Les résistances des entrées de l'amplificateur d'instrumentation sont de l'ordre de 10 G $\Omega$ . Quel est l'intérêt d'avoir des résistances d'entrée aussi grandes ?
2. Pour la transmission de la tension de déséquilibre du pont  $u_{AB}$ , on utilise un câble blindé constitué d'une paire de fils torsadés (figure 4 page 5). L'amplificateur d'instrumentation possède, en outre, une borne de garde  $G_a$  que l'on relie au blindage du câble (circuit de garde).
  - a) Pourquoi le câble est-il blindé ?
  - b) Pourquoi les deux fils sont-ils torsadés ?
  - c) Quel est l'intérêt de relier la borne de garde au blindage du câble ?
3. On rappelle que la tension de sortie d'un amplificateur d'instrumentation s'exprime par la relation suivante :

$$v_s = A_D u_D + A_{MC} u_{MC} = A_D (v_A - v_B) + A_{MC} \left( \frac{v_A + v_B}{2} \right), \text{ où :}$$

- $A_D$  est l'amplification différentielle,
- $A_{MC}$  est l'amplification de mode commun,
- $u_D = v_A - v_B$  est la tension différentielle,
- $u_{MC} = \left( \frac{v_A + v_B}{2} \right)$  est la tension de mode commun.

Le taux de réjection de mode commun (TRMC) de l'amplificateur d'instrumentation est donné par la relation  $TRMC = 20 \log \frac{A_D}{A_{MC}}$ .

## CAE3PA

- a) Dans le cas présent, l'amplificateur d'instrumentation a une amplification différentielle  $A_D = 200$  et son taux de réjection de mode commun est de 130 dB.
1. Pour  $v_A = 12,010 \text{ V}$  et  $v_B = 11,990 \text{ V}$ , calculer la valeur de la tension de sortie de l'amplificateur  $v_S$ .
  2. En déduire l'erreur relative introduite par la tension de mode commun.
- b) On suppose que l'amplificateur précédent est défectueux et qu'il est remplacé par un autre modèle dont le taux de réjection de mode commun est égal à 80 dB.
1. Calculer la nouvelle valeur  $v_{S2}$  de la tension de sortie de l'amplificateur (pour les valeurs précédentes de  $v_A$  et  $v_B$  et pour  $A_D = 200$ ).
  2. En déduire l'erreur relative introduite par la tension de mode commun.
- c) Conclusion : expliquer pourquoi il est important, dans une chaîne de mesure, d'utiliser un amplificateur d'instrumentation dont le taux de réjection de mode commun est élevé.
4. Le schéma électrique de l'amplificateur d'instrumentation est donné à la figure 5. Les amplificateurs opérationnels, notés  $A_1$   $A_2$   $A_3$ , sont supposés parfaits et fonctionnent en régime linéaire. La résistance  $R_G$  est une résistance externe qui permet de régler l'amplification différentielle  $A_D$ .
- a) Déterminer l'expression de la tension de sortie de l'amplificateur d'instrumentation  $v_S$  en fonction de  $v_1$  et  $v_2$ .
- b) Déterminer l'expression de  $v_A - v_B$  en fonction de  $R_G$  et de l'intensité du courant qui traverse cette résistance.  
Déterminer l'expression de  $v_1 - v_2$  en fonction de  $R$  et  $R_G$  et de l'intensité du courant qui traverse ces résistances.  
En déduire l'expression de  $v_1 - v_2$  en fonction de  $v_A - v_B$ ,  $R$  et  $R_G$ .
- c) Montrer que la tension de sortie peut s'écrire  $v_S = \left(1 + \frac{2R}{R_G}\right)(v_A - v_B)$ .
- d) Pour  $R = 25 \text{ k}\Omega$ , calculer la valeur de la résistance  $R_G$  qui permet d'obtenir une amplification différentielle  $A_D = 200$ .

# CAE3PA

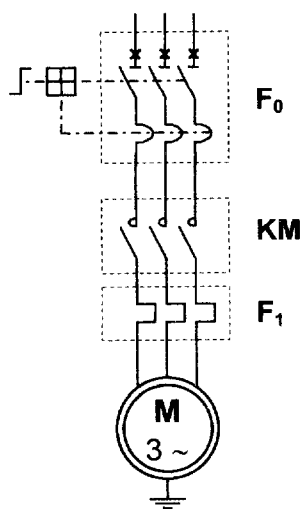


Figure 1

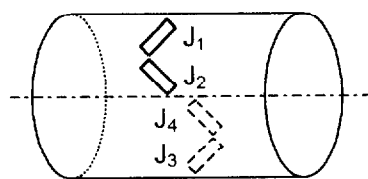


Figure 2

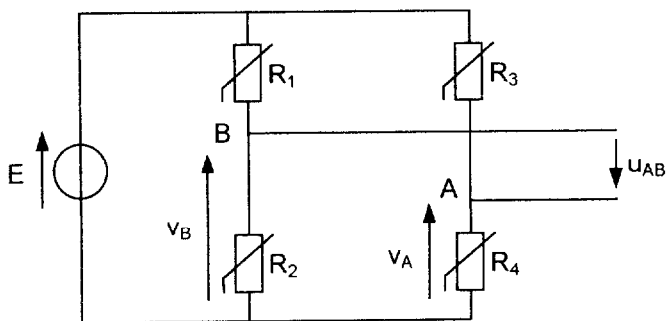


Figure 3

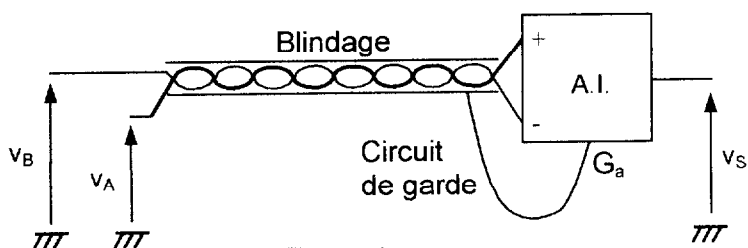


Figure 4

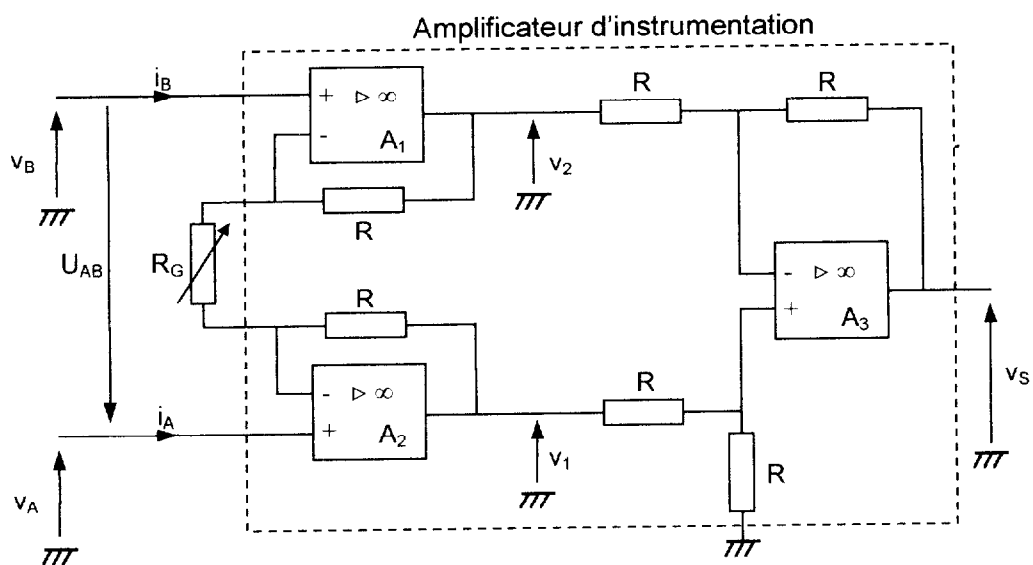


Figure 5