

## Examen Final

Mercredi 22 juin 2016

*Aucun document n'est autorisé.*

*La calculatrice est autorisée.*

*Le téléphone portable et le traducteur numérique sont strictement interdits.*

*Tout prêt de matériel et toute collaboration sont strictement interdits.*

Ce sujet comporte 8 pages.

Lisez attentivement et entièrement l'énoncé des exercices proposés.

Respectez les instructions de l'énoncé.

Écrivez votre nom sur vos copies, numérotez-les et signez-les.

**Les deux parties A et B sont à faire sur des copies séparées.**

### Partie A (10 points)

#### *1) Système d'excitation d'un alternateur*

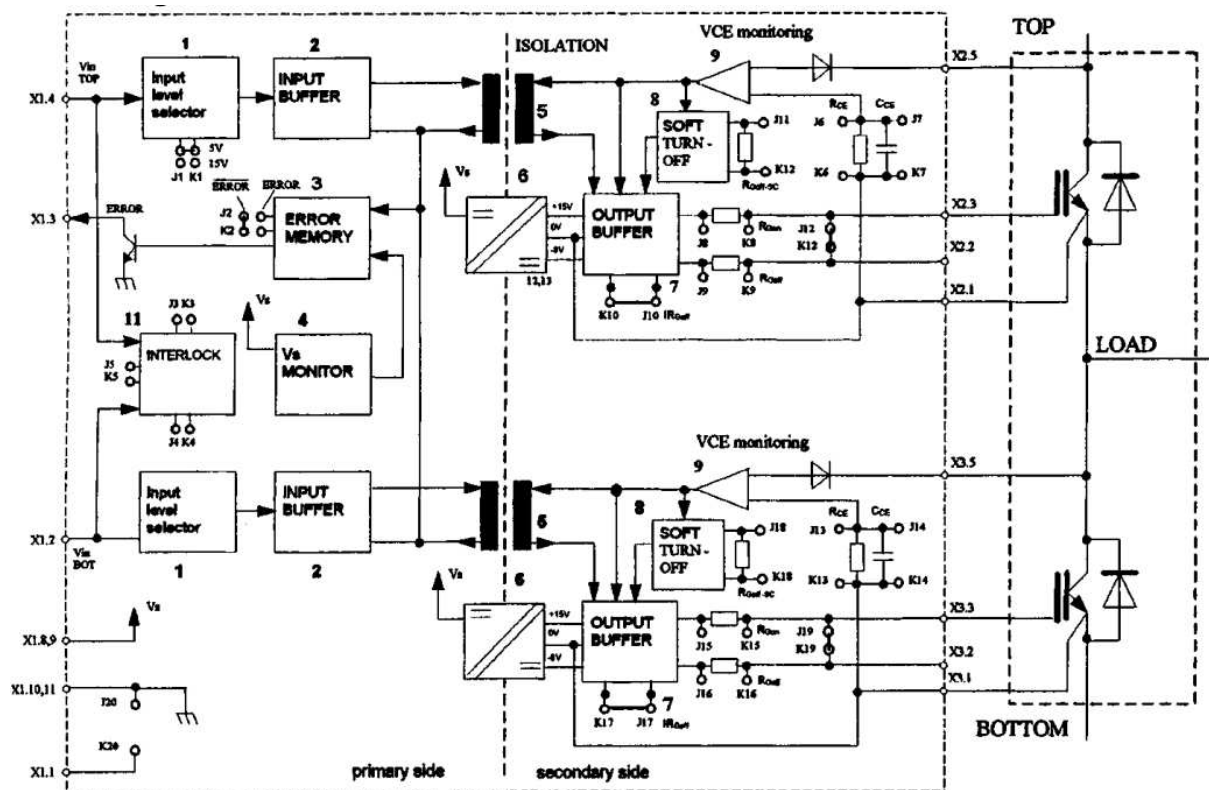
On considère le schéma simplifié d'un système d'excitation situé à la page 5.

#### Questions :

- 1) Quel est le rôle de :
  - T31.11 et T03
  - T21.31, T22.32 et T23.33
  - A100/A200
  - F100/F200
- 2) Quel est le repère du contacteur d'excitation ?
- 3) Comment s'appelle l'élément repéré MKC10X ? A quoi sert-il ? Quels sont les avantages / inconvénients à utiliser ce type de matériel ?
- 4) Ce système est-il redondant ?
- 5) Le pilotage du courant d'excitation est-il réalisé par thyristors ou IGBT ?
- 6) Comment est alimenté le système lorsque Q07 est sur la position « test » ?
- 7) Comment se comporte le système pendant un court-circuit franc triphasé au stator de la machine (U-V-W court-circuités) ?
- 8) Ajoutez la fonction « flashing » au schéma.

## II) Etude d'un driver d'IGBT

On considère ci-dessous le schéma fonctionnel du driver d'IGBT SKHI 23, de chez Semikron :



### Questions :

- 1) Décrivez la fonction des blocs 5 et 6.
- 2) Comment peut être réalisé le bloc 7 ?
- 3) Quelle est la fonction du bloc 11 ?

### III) Arc électrique et équipement de protection approprié

La norme IEEE1584 donne une méthode de calcul permettant de définir l'énergie rayonnée par un arc électrique dans une armoire de puissance, et ainsi de définir un équipement de protection approprié.

La méthode est résumée ci-dessous :

#### Calcul du courant d'arc $I_a$

$$\log(I_a) = K + 0.662 \log(I_{bf}) + 0.0966 V + 0.000526 G + 0.5588 V(\log(I_{bf})) - 0.00304G(\log(I_{bf}))$$

Avec

- log logarithme décimal
- $I_a$  courant d'arc en kA
- $K = -0.097$
- $I_{bf}$  courant de court-circuit boulonné triphasé en kA
- $V$  tension nominale en kV
- $G$  distance entre barres en mm

#### Calcul de l'énergie incidente :

$$\log(E_n) = K_1 + K_2 + 1.081 \log(I_a) + 0.0011G$$

$$E_n = 10^{\log(E_n)}$$

$$E = C_f \times E_n \left(\frac{t}{0.2}\right) \left(\frac{610^x}{D^x}\right)$$

Avec

- $E_n$  énergie incidente normalisée en durée et distance
- $K_1 = -0.555$
- $K_2 = -0.113$
- $E$  énergie incidente en cal/cm<sup>2</sup>
- $C_f = 1.5$
- $t$  durée de l'arc en s
- $D$  distance entre l'arc et la personne en mm
- $x = 1.6$

#### Questions :

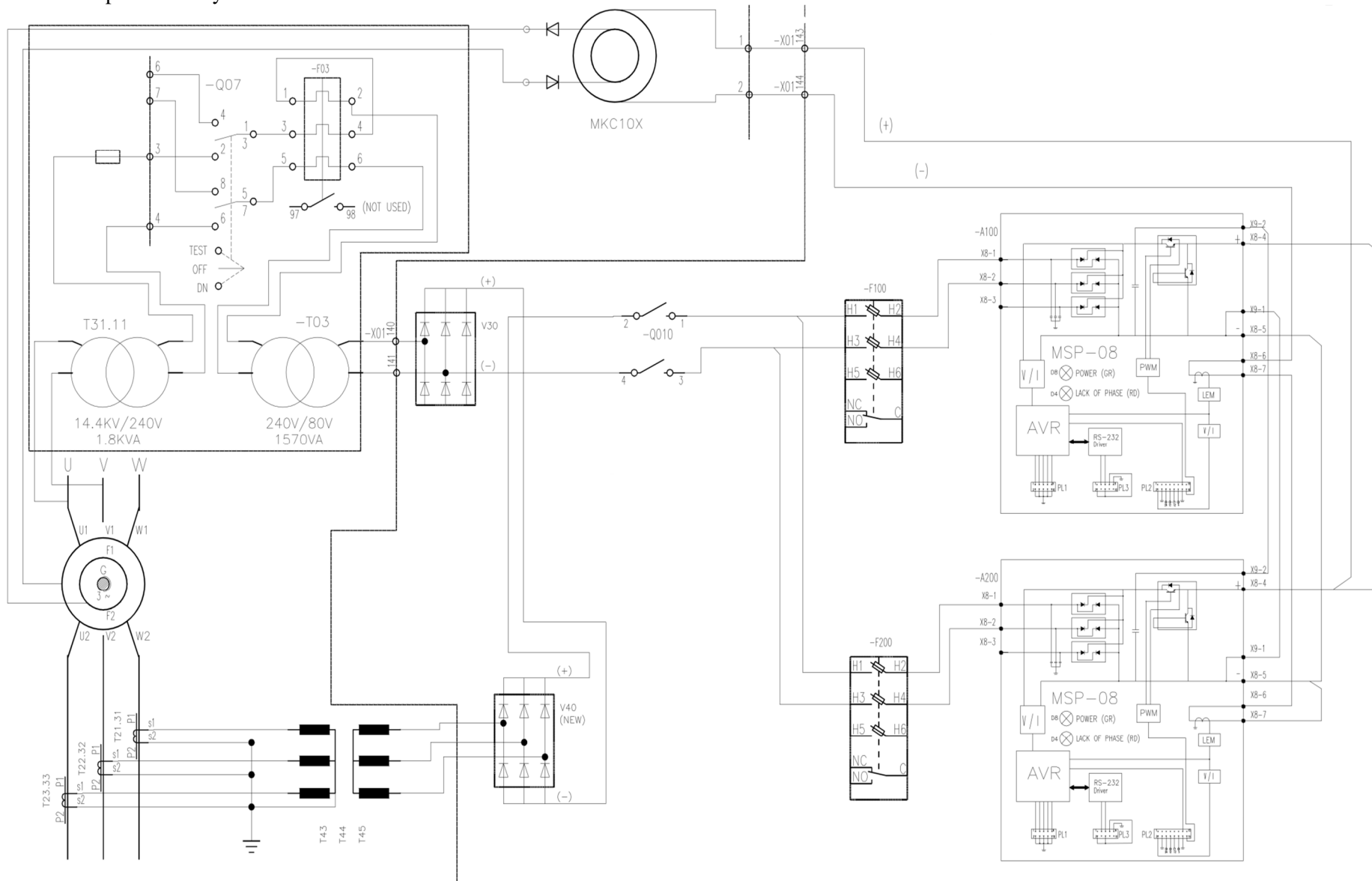
- 1) Déterminez l'équipement de protection nécessaire pour intervenir sur un équipement sous tension avec les caractéristiques suivantes :
  - $I_{bf} = 61000$  A
  - $V = 1000$  V
  - $G = 20$  mm
  - $t = 0.5$  s
  - $D = 910$  mm



*Photos : catalogue Sibille Safe - vêtements & produits de protection contre le risque arc-flash*

- 2) À partir de quelle distance la brûlure provoquée par l'arc est soignable sans équipement de protection (une brûlure soignable sans séquelle correspond à une énergie incidente de 1,25 cal/cm<sup>2</sup>) ?

Schéma simplifié d'un système d'excitation :





## Partie B (10 points)

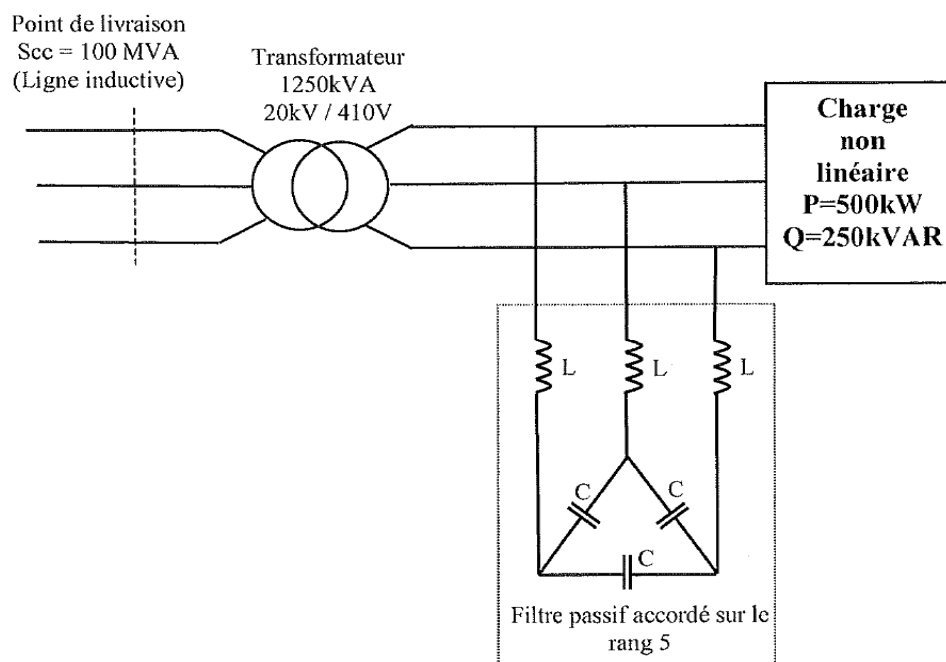
### Questions de cours :

- 1) Quelle est la différence entre un facteur de déplacement et un facteur de puissance pour une installation comportant des courants harmoniques dus à la présence de charges non-linéaires ?
- 2) Citer au moins trois effets néfastes de la présence de courants harmoniques sur une installation électrique.
- 3) Citer au moins trois méthodes de compensation traditionnelles des courants harmoniques.
- 4) Quelle est la différence entre une fréquence d'antirésonance et une fréquence de résonance pour une impédance de réseau électrique ?

### Exercice :

On considère le réseau électrique représenté sur la figure ci-dessous. La puissance de court-circuit au point de livraison haute tension vaut  $S_{cc} = 100 \text{ MVA}$ .

La charge non-linéaire est alimentée par un transformateur  $20 \text{ kV} / 410 \text{ V}$  sous  $50 \text{ Hz}$  de puissance apparente  $1250 \text{ kVA}$  ayant une tension de court-circuit  $u_{cc} = 6\%$ . La charge consomme une puissance active  $P = 500 \text{ kW}$  et une puissance réactive  $Q = 250 \text{ kVAR}$ . Le fondamental du courant absorbé par la charge vaut  $810 \text{ A}$ , l'harmonique 5 vaut  $162 \text{ A}$ , l'harmonique 7 vaut  $115 \text{ A}$  et l'harmonique 11 vaut  $73 \text{ A}$ . Les autres harmoniques de courant sont négligés.



### Partie 1 : Le filtre passif n'est pas raccordé

- 1) Calculer l'inductance du réseau amont  $l_a$  ramenée au secondaire du transformateur.
- 2) Calculer l'inductance de fuite  $l_f$  du transformateur ramenée au secondaire. En déduire l'inductance totale  $l$  du réseau et du transformateur.
- 3) Donner le modèle équivalent monophasé du réseau pour le fondamental et pour l'harmonique de rang  $n$  (on supposera que la tension fournie par le distributeur est purement sinusoïdale à la

fréquence de 50 Hz et on modélisera la charge non-linéaire par une source de courant pour chaque harmonique).

- 4) Calculer le taux de distorsion harmonique de la tension au niveau de la charge en supposant que la tension simple (fondamental) vaille  $V_1 = 230$  V. Conclure.

### **Partie 2 : Mise en œuvre du filtre passif**

- 5) Pour respecter le contrat avec le distributeur d'énergie, on désire éliminer le courant harmonique de rang 5 au niveau du secondaire du transformateur. Pour cela on utilise un filtre passif. On vous demande de calculer les éléments L et C du filtre passif de la figure de la page précédente tel que :
- réseau électrique basse tension (400 V entre phases,  $f = 50$  Hz),
  - rang d'accord du filtre :  $n = 5$ ,
  - $\tan \varphi$  de l'installation avec le filtre égale à 0,4.
- 6) Calculer le nouveau taux de distorsion harmonique de la tension de l'ensemble charge + filtre passif (en supposant que la tension fondamentale vaille  $V_1 = 230$  V).
- 7) Calculer la valeur efficace du courant traversant le filtre passif (en prenant en compte le fondamental et les harmoniques de rang 5, 7 et 11). En déduire sa puissance apparente.