

Durée : 4 H 00

Coefficient : 3

(Après lecture de l'ensemble du sujet, les cinq parties pourront être traitées de façon indépendante.)

On, se propose d'étudier une installation dont le synoptique général est donné figure n°1 ci-dessous :

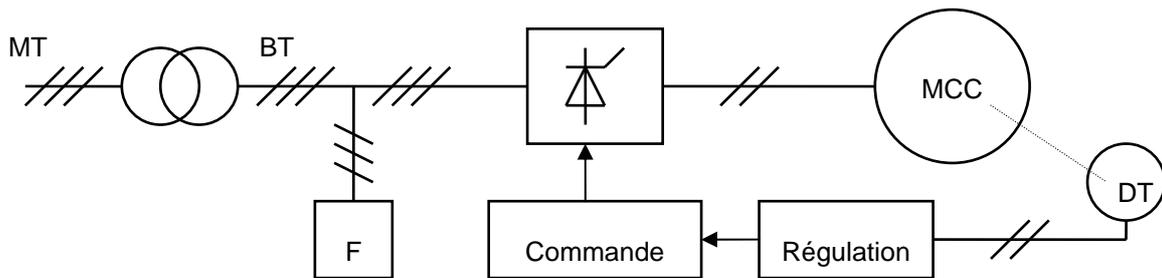


fig. I

Elle comprend les éléments suivants :

- un transformateur triphasé.
- un filtre d'harmoniques que l'on n'étudiera pas.
- un redresseur commandé et son système de commande associé à une boucle de régulation
- un moteur à courant continu qui entraîne une charge à vitesse variable.

### **1) ETUDE DU TRANSFORMATEUR**

Le transformateur convertit la moyenne tension en basse tension, il alimente le redresseur et divers autres appareillages. Sa puissance nominale est de 100 kVA, le primaire est couplé en triangle et le secondaire est couplé en étoile.

Les essais de ce transformateur ont donné les résultats suivants :

- à vide

Tension primaire nominale entre phases  $U_{1n} = 20$  kV, tension secondaire entre phases  $U_{20} = 388$  V.

- en court-circuit :

Le facteur de puissance primaire vaut  $\cos \varphi_{1cc} = 0,557$  et les pertes par effet Joule valent alors

$P_{Jcc} = 4500$  watts lorsque  $I_{2cc} = I_{2n}$  courant secondaire.

1.1) Quels sont le rapport de transformation et le courant nominal secondaire ?

1.2) Déterminer les éléments  $R_s$  et  $X_s$  du schéma équivalent ramené au secondaire par phase.

1.3) Sous quelle tension primaire a été effectué cet essai en court-circuit ? Représenter le schéma de principe du montage correspondant à cet essai et préciser comment déterminer le  $\cos \varphi_{1cc}$ .

1.4) Si on ne dispose que du réseau 380 volts, proposer une démarche expérimentale permettant de réaliser cet essai, dimensionner l'alimentation nécessaire, donner le calibre des appareils.

1.5) On définit la puissance de court-circuit d'un transformateur comme étant la puissance apparente qu'il absorberait sous tension nominale si le secondaire était en court-circuit.

Quelle est la puissance de court-circuit de ce transformateur ?

## **2) ETUDE DU REDRESSEUR**

Dans cette étude, nous supposons que :

- La tension de sortie du transformateur est sinusoïdale de valeur efficace  $U_2 = 382 \text{ V}$ .
- le courant d'intensité  $I$  absorbé par le moteur est parfaitement lissé.
- l'angle de retard à l'amorçage  $\Psi$  défini par rapport à la commutation naturelle est maintenu égal à  $45^\circ$ .

2.1) Dessiner sur le document-réponse la forme d'onde de la tension redressée  $u_{\text{red}}$ .

2.2) Dessiner, en concordance avec la tension précédente, les formes d'ondes des intensités des trois courants secondaires  $i_1, i_2, i_3$ , le transformateur étant considéré comme parfait.

2.3) Donner l'expression de la valeur moyenne  $U_{\text{red}}$  de  $u_{\text{red}}$  en fonction de  $\Psi$ .  
Donner la valeur numérique pour  $\Psi = 45^\circ$ .

2.4) Déterminer l'expression de la puissance  $P$  absorbée par le moteur.  
En déduire la valeur de  $I$  lorsque  $P = 38,2 \text{ kW}$ .

2.5) Préciser comment seraient modifiées les allures des courants  $i_1, i_2, i_3$  si on tenait compte de l'impédance du secondaire du transformateur. Justifier votre réponse.

## **3) ETUDE DE LA COMMANDE DU REDRESSEUR**

Le dispositif de commande permet de générer des impulsions de gâchette ayant un retard  $\Psi$  par rapport à l'angle de commutation naturelle des interrupteurs.

Ce retard  $\Psi$  est proportionnel à la tension de commande  $U_\alpha$  :

$$\Psi = k \cdot U_\alpha \text{ avec } k = 20^\circ/\text{V} = \pi / 9 \text{ rd/V}$$

3.1 Exprimer la tension  $U_m$ , aux bornes du moteur en fonction de  $U_{\text{red}}$  (voir figure n°2), puis tracer  $U_m$  en fonction de  $u_\alpha$ .

3.2 On étudie le dispositif donné figure n°3 dans lequel  $A_1$  et  $A_2$  sont des amplificateurs opérationnels parfaits alimentés en  $+15/-15 \text{ volts}$ .

La tension de référence  $v_{\text{réf}}(t)$  est représentée en figure 4.

La figure n°5 donne la caractéristique de la diode zéner utilisée. L'anode de celle-ci est portée au potentiel  $+0,6 \text{ V}$  dans le montage de la figure 3.

3.2.1. Donner le graphe de  $u'(t)$  pour  $U_C = 3 \text{ volts}$ .

3.2.2 Donner l'expression littérale du rapport cyclique  $\alpha$  de  $u'(t)$  en fonction de  $U_C$ .

3.2.3 Tracer le graphe de  $\omega(t)$  en tenant compte de la constante de temps  $R_0 C_0$ .

3.2.4 Quel est le rôle de l'amplificateur  $A_2$  ?

3.2.5 Donner la relation liant  $U_\alpha$  et  $U_C$  puis celle liant  $U_m$  et  $U_C$ .  
Quel est l'intérêt de ce montage ?

#### **4) ETUDE DU MOTEUR ET DE LA REGULATION DE VITESSE**

La résistance d'induit vaut :  $R = 0,2 \Omega$ .

Dans un essai à vide on a obtenu :  $U_m = E = 350 \text{ V}$  pour  $n_o = 1200 \text{ tr/min}$  et pour  $U_C = 3,5 \text{ V}$ .

La dynamo tachymétrique délivre 10 volts à 1000 tr/min.

Le moteur est à excitation séparée. On considèrera que le flux reste constant. Les pertes fer et les pertes mécaniques sont négligées.

4.1 Donner l'expression littérale de la vitesse  $n$  en tours par minute en fonction du moment du couple  $T$  et de la tension  $U_m$  du moteur.

Montrer que la forme numérique de cette expression est :

$$n = 3,42 U_m - 0,246 T \text{ avec } T \text{ en N.m, } U_m \text{ en V, } n \text{ en tr/min.}$$

4.2 Donner, pour  $U_c = 4 \text{ volts}$ , la vitesse à vide du moteur et sa vitesse lorsque le moment du couple de charge vaut  $T = 400 \text{ N.m}$ .

4.3 On réalise la régulation décrite par la figure n°6 que l'on étudie en régime statique.

4.3.1. Montrer que le schéma représenté figure n°6 peut se ramener au schéma fonctionnel représenté figure n°7 sur le document réponse en exploitant la relation établie au 4.1.

On indiquera sur le document-réponse les valeurs numériques des coefficients de chaque bloc de ce schéma fonctionnel.

4.3.2 Etablir la relation  $n = f(U_a, T, A)$ .

4.3.3 Déterminer la valeur de  $U_a$  permettant d'obtenir  $n = n_o = 1372 \text{ tr/min}$  à vide avec  $A = 1$ .  
Pour cette valeur de  $U_a$ , quelle sera la valeur de la vitesse pour  $T = 400 \text{ N.m}$  ?

4.3.4 Déterminer la valeur de  $U_a$  permettant d'obtenir  $n = n_o = 1372 \text{ tr/min}$  à vide avec  $A = 10$ .

Pour cette valeur de  $U_a$ , quelle sera la valeur de la vitesse pour  $T = 400 \text{ N.m}$  ?

4.3.5 Que vaut le signal d'erreur  $e$  dans chaque cas ? Quelle devrait être la valeur de  $A$  pour avoir un signal d'erreur nul ?

**Barème :**            1) 5 pt            2) 5 pt            3) 5 pt            4) 5 pt

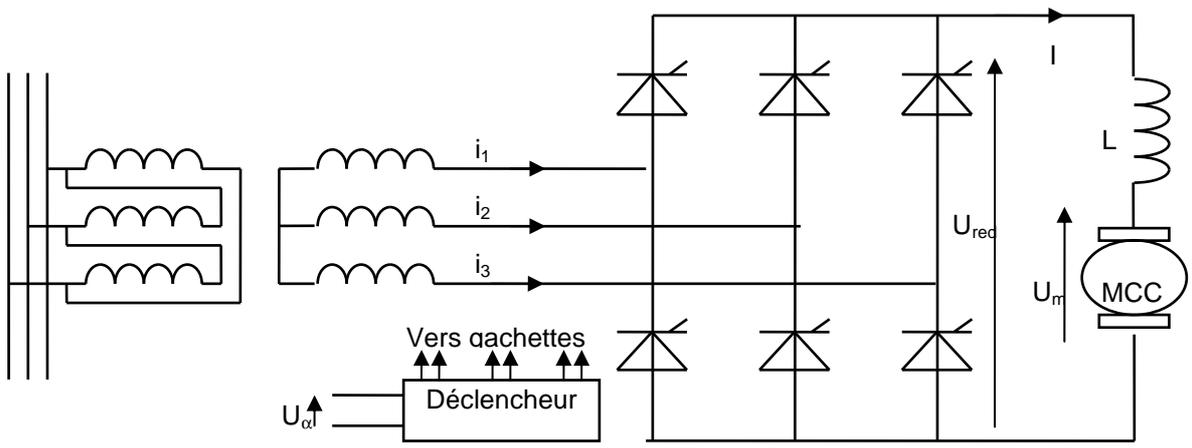


Figure 2

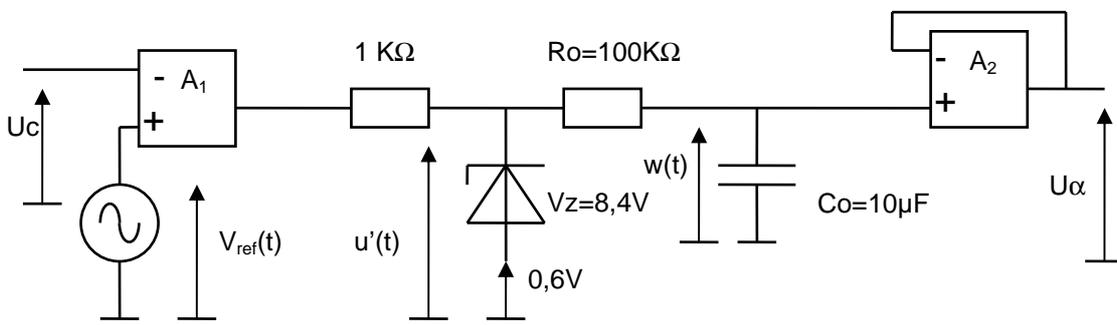


Figure 3

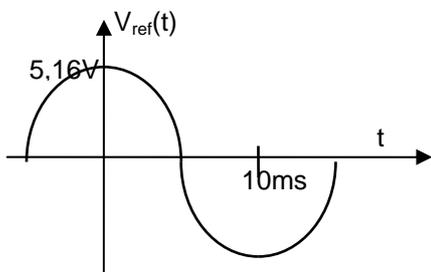


Figure 4

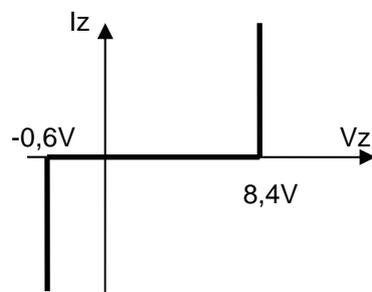


Figure 5

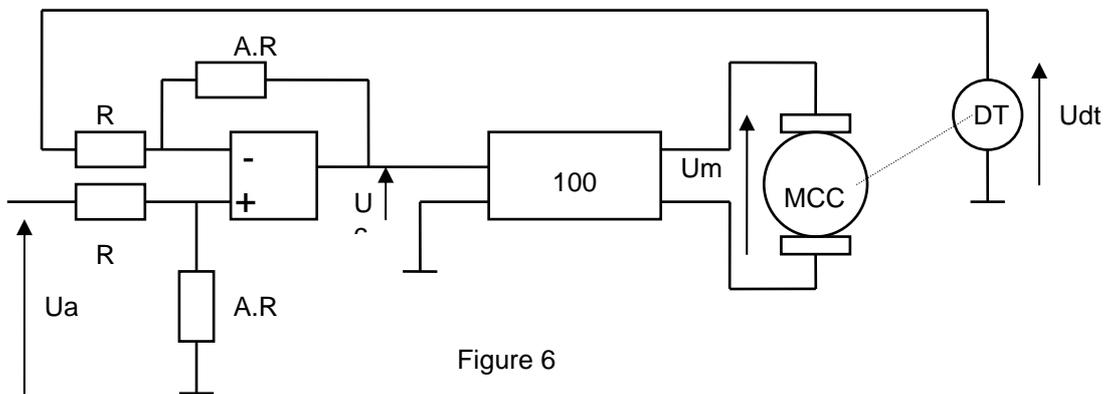
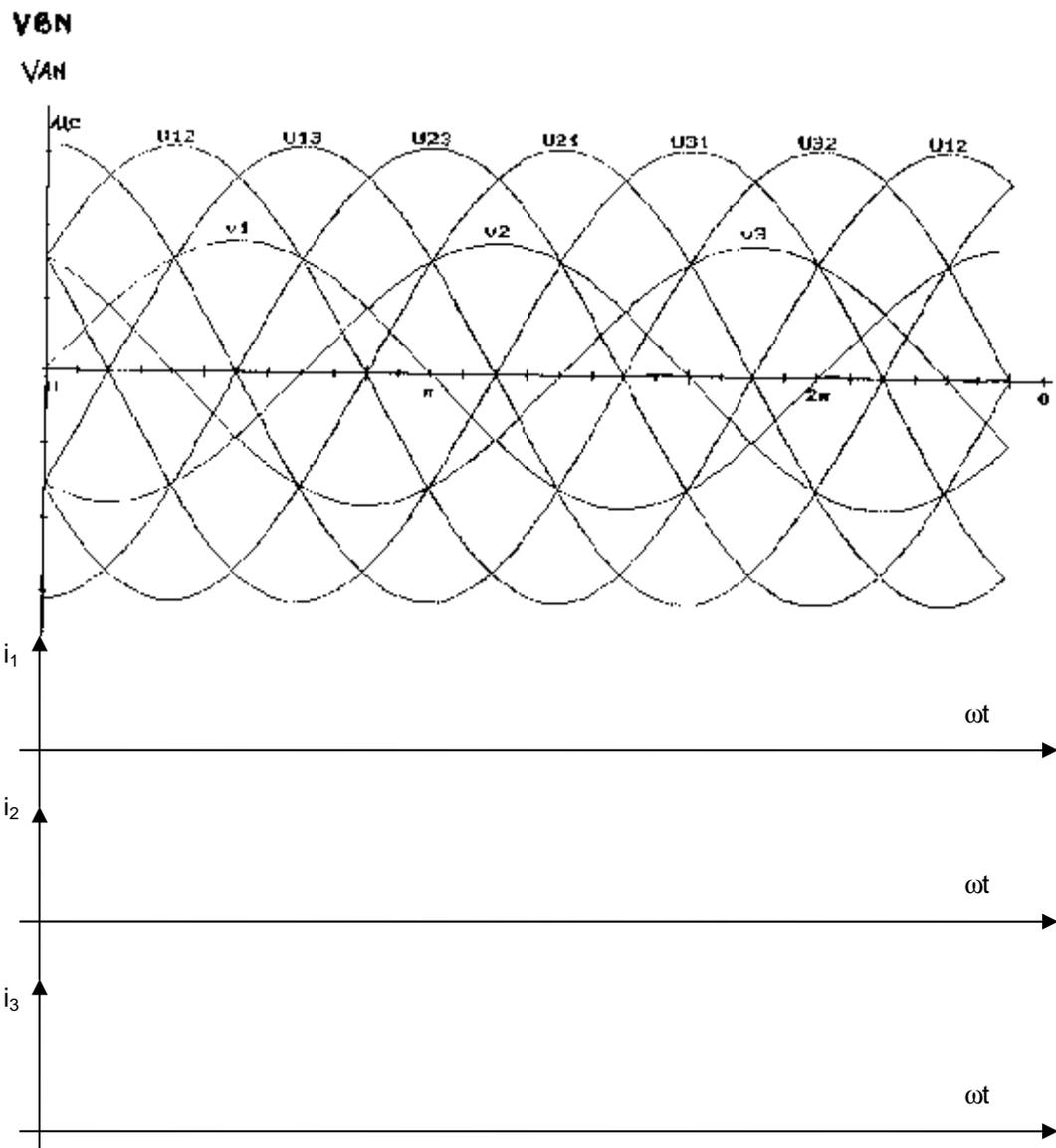
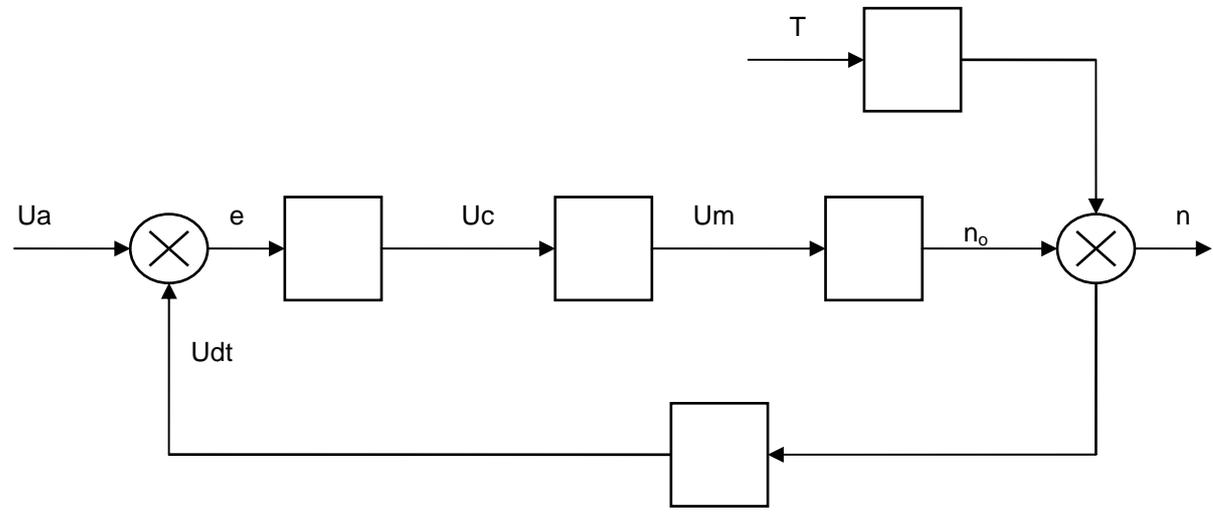


Figure 6



DOCUMENT REPONSE



DOCUMENT REPONSE FIGURE 7