

BREVET DE TECHNICIEN SUPERIEUR

ASSISTANCE TECHNIQUE D'INGENIEUR

E 3. Epreuve de Physique et Physique Appliquée

Coefficient : 4

Durée : 4 heures

**Documents autorisés : Calculatrice (circulaire n°86-228 du 28 juillet 1986)
et matériel usuel du dessinateur**

Ce sujet comporte 4 pages

SURVEILLANCE DE L'ISOLEMENT ELECTRIQUE D'UNE INSTALLATION INDUSTRIELLE

La surveillance de l'isolement électrique des installations industrielles à neutre impédant (régime IT) est assurée par des systèmes qui contrôlent en permanence cet isolement.

L'apparition d'un défaut est aussitôt signalée par un klaxon et un voyant clignotant.

Afin d'assurer la continuité de l'exploitation, la détection de ce défaut s'effectue immédiatement sous tension.

On propose d'étudier l'alimentation triphasée d'un petit atelier à neutre impédant, ainsi que quelques éléments des fonctions électroniques qui permettent la localisation du défaut.

NB : Le sujet est composé de deux parties totalement indépendantes

PREMIERE PARTIE : ALIMENTATION DE L'ATELIER (6 points)

Tous les résultats de cette partie seront donnés avec 3 chiffres significatifs.

L'atelier est alimenté à partir du réseau triphasé haute tension 20 kV entre phases par un transformateur de puissance apparente 400 kVA, supposé parfait et délivrant au secondaire une tension de 400 V entre phases (fig. 1)

On rappelle les expressions générales des puissances en triphasé :

$$P = \sqrt{3} UI \cos \varphi$$

$$Q = \sqrt{3} UI \sin \varphi$$

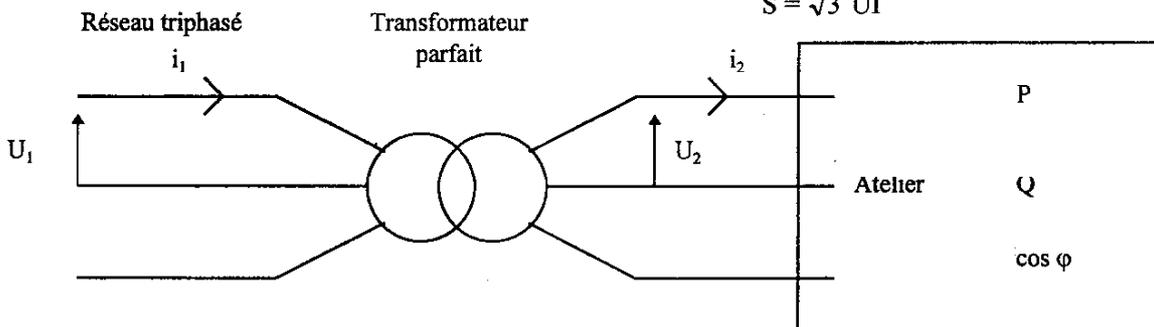
$$S = \sqrt{3} UI$$


FIGURE 1

1°) Intensités nominales du transformateur

- 1.1. Calculer l'intensité efficace I_{1n} du courant nominal primaire en ligne.
- 1.2. Calculer l'intensité efficace I_{2n} du courant nominal secondaire en ligne.

2°) Puissance installée

La consommation moyenne annuelle de puissance active de l'atelier est : $P = 172 \text{ kW}$ et la consommation moyenne de puissance réactive $Q = 33,9 \text{ kvar}$.

- 2.1. Calculer le facteur de puissance $\cos \varphi$ que l'atelier présente en moyenne.
- 2.2. En déduire l'intensité efficace du courant en ligne que l'atelier appelle en moyenne.

3°) Moteurs en service

L'atelier comporte plusieurs tapis roulants, entraînés par des moteurs asynchrones de 7,50 kW et de rendement : 0,770.

Calculer, pour le fonctionnement nominal, la puissance électrique absorbée par un de ces moteurs, ainsi que la valeur de ses pertes totales.

DEUXIEME PARTIE : LOCALISATION D'UN DEFAUT (14 points)

Le défaut d'isolement crée entre la phase en défaut et le neutre un « courant de défaut ».

Afin de le détecter, on lui superpose un « courant de détection » dont l'intensité, notée $i_o(t)$, est sinusoïdale.

La valeur efficace de ce courant vaut $I_o = 20 \text{ mA}$ et sa fréquence, particulière, vaut $9,5 \text{ Hz}$.

Une pince ampèremétrique mobile permet de trouver la ligne en défaut en y repérant la présence du courant de détection, par reconnaissance de la fréquence $9,5 \text{ Hz}$.

Globalement, le système de localisation assure les fonctions suivantes (voir figure 2) :

- ♦ adaptation du signal $u(t)$ de sortie de la pince : FP1
- ♦ filtrage sélectif pour extraction d'une éventuelle composante $u_o(t)$ à $9,5 \text{ Hz}$: FP2
- ♦ élaboration d'une tension continue V : FP3
- ♦ conversion analogique-numérique de cette valeur V : FP4
- ♦ affichage de I_o signalant la présence du défaut : FP5

N.B. : Les parties 1, 2 et 3 de cet ensemble sont indépendantes. On donnera les résultats avec 3 chiffres significatifs.

1°) Adaptation et filtrage [FP1 + FP2] : $u(t) \rightarrow u_o(t)$

Dans la ligne en défaut, la sonde ampèremétrique capte le courant de défaut de fréquence industrielle 50 Hz en même temps que le courant de détection à $9,5 \text{ Hz}$.

Elle donne une image sinusoïdale de chacun de ces courants, mais avec une sensibilité différente, de sorte qu'à l'entrée de [FP1 + FP2] se présentent :

- ♦ un signal $u_{o1}(t)$ à $9,5 \text{ Hz}$, de valeur efficace $0,136 \text{ mV}$ (correspondant au courant de détection).
- ♦ et un signal $u_{o2}(t)$ à 50 Hz , de valeur efficace $3,50 \text{ mV}$ (correspondant au courant de défaut)

La figure 3 fournit la courbe de réponse en fréquence de la fonction globale [FP1 + FP2].

1.1. Rappeler la définition du gain, et déterminer la valeur efficace de la tension de sortie U_o de FP2 qui correspond au courant de détection.

1.2. Calculer la valeur efficace de la tension de sortie U_{o2} de FP2 qui correspond au courant de défaut

DANS LA SUITE DU PROBLEME, LA TENSION A 50 Hz EST SUPPOSEE COMPLETEMENT ELIMINEE ET ON ADMET QUE LA TENSION D'ENTREE DE [FP3] EST $u_{o1}(t)$, NOTEE $u_o(t)$. CETTE TENSION EST SINUSOIDALE DE FREQUENCE $9,5 \text{ Hz}$.

2°) Elaboration de la tension $V(t)$ [FP3] / $u_o(t) \rightarrow V$

La composante sinusoïdale $u_o(t)$ à $9,5 \text{ Hz}$ subit un redressement double alternance, puis un filtrage passe-bas.

2.1. Donner l'allure de la tension redressée $u_{oR}(t)$. Donner l'expression littérale de sa valeur moyenne et la valeur numérique de la fréquence de sa composante fondamentale.

2.2. La décomposition de Fourier de la tension redressée permet d'en donner :

- ♦ la valeur moyenne : 122 mV
- ♦ la première harmonique (appelé aussi le « fondamental ») : $81,6 \text{ mV}$

Le filtre passe-bas a une amplification statique $A_0 = 15,8$ et une amplification $A_1 = 0,195$ à la fréquence de la première harmonique.

Montrer que la sortie de FP3 se réduit à une tension continue de valeur $V = 1,93 \text{ V}$

3°) Conversion analogique - numérique [FP4] : $V \rightarrow M$

C'est une conversion double rampe, réalisée par un circuit intégré dont les séquences de fonctionnement obéissent à une horloge CK, de fréquence réglée à $f_{CK} = 48,0 \text{ kHz}$.

La section analogique du circuit comporte un intégrateur inverseur dont le schéma structurel de base est donné en figure 4. L'amplificateur opérationnel est idéal.

La tension à intégrer v_e peut prendre deux valeurs constantes V ou V_{ref} suivant les chronogrammes de la figure 5 :

♦ pendant la durée t_1 de mille impulsions d'horloge, l'entrée de l'intégrateur est connectée à la tension V à convertir.

♦ puis une tension connue V_{ref} (de signe contraire à V) remplace V .

L'annulation de v_e se produit au bout d'un temps t_2 et le nombre M d'impulsions que l'horloge produit pendant t_2 est comptabilisé.

3.1. Dans les conditions d'utilisation de l'intégrateur, la charge du condensateur s'effectue à courant constant : pendant un intervalle Δt de temps de charge, la tension u_c varie linéairement de la quantité

$$\Delta u_c = \frac{i}{C} \Delta t$$

Au début de la conversion ($t = 0$), le condensateur est déchargé.

Montrer que v_s évolue en fonction du temps suivant la loi $v_s = -\frac{v_e}{RC}t$ pendant la durée t_1 .

3.2. Calculer t_1 et la valeur V_{smin} de v_s correspondante.

3.3. Dans l'intervalle t_2 , la vitesse de variation de v_s est de : $+ 9,67 \text{ V/s}$.

Calculer t_2 ; en déduire la valeur numérique de M . Comparer M à la tension V à convertir (préciser l'unité de V).

4°) Affichage [FP5] : $M \rightarrow$ affichage du courant de détection

Le circuit intégré convertisseur a une pleine échelle de 2 V ; il peut commander directement un afficheur à cristaux liquides affichant des valeurs 000 à 199, mais l'afficheur utilisé ne possède que deux chiffres

4.1. Quelle est la valeur maximale de tension que peut convertir le circuit intégré ?

4.2. Quels seront alors les deux chiffres significatifs à conserver pour affichage ?

4.3. En déduire l'affichage correspondant à l'étude faite : quel en est le lien avec le courant de détection ?

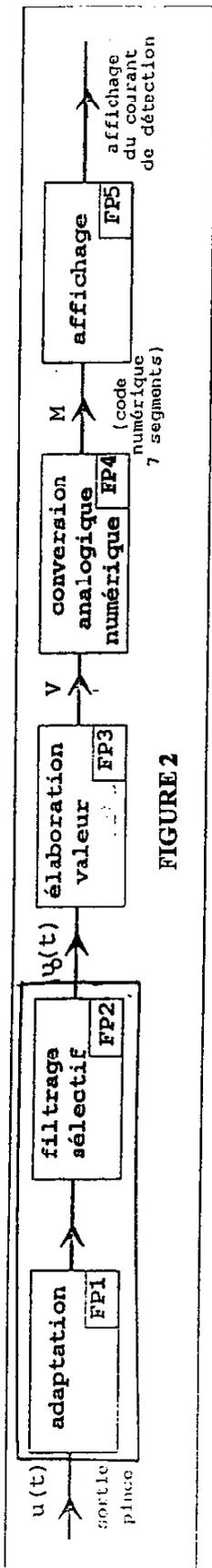


FIGURE 2

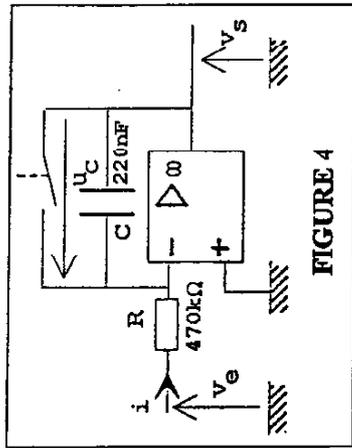


FIGURE 4

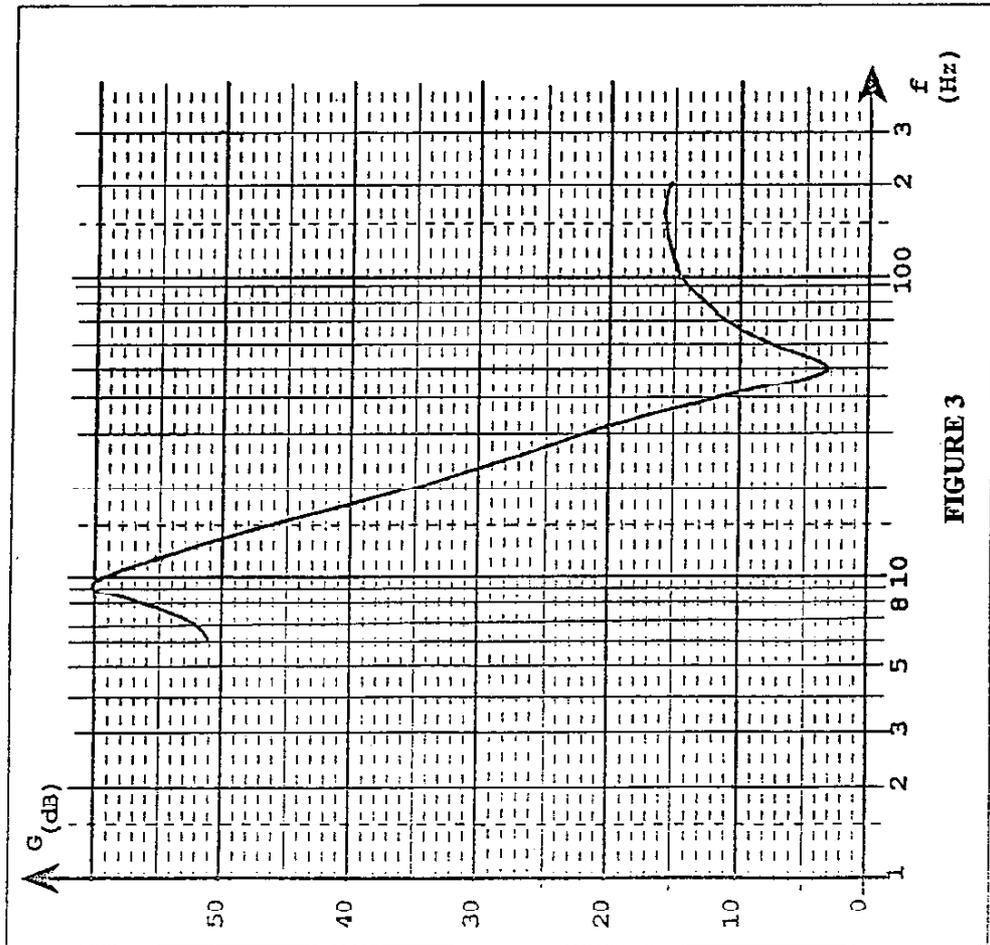


FIGURE 3

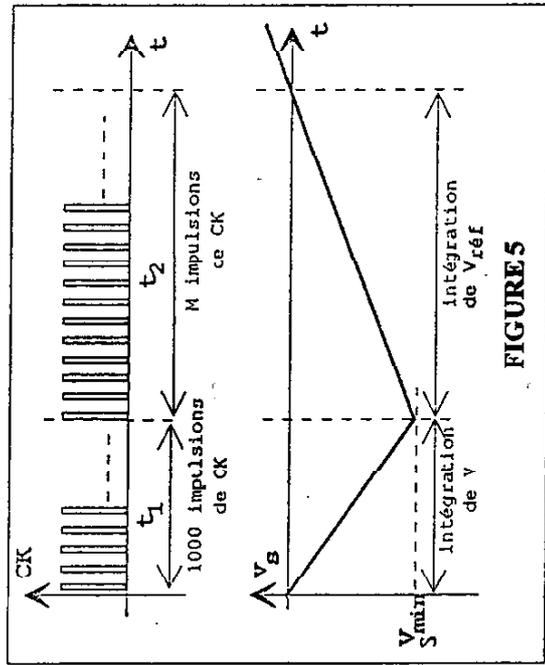


FIGURE 5