

EXAMEN FINAL (SUJET)
CONCEPTION & DIMENSIONNEMENT
DES RESEAUX ELECTRIQUES INDUSTRIELS
ER40 – Haute tension

Durée : 2 heures

RECOMMANDATIONS GENERALES

Vérifier que le sujet comporte **15 pages**.

L'épreuve est à traiter obligatoirement sur ce sujet, aux endroits prévus à cet effet.

Le candidat utilisera les notations propres au sujet, présentera clairement ses calculs et encadrera les résultats attendus.

Le passage d'une forme littérale à son application numérique se fait dans le respect de la position de chaque grandeur exprimée. Le résultat numérique est donné avec son unité.

Le(s) correcteur(s) apprécie(nt) une copie soignée et rédigée lisiblement.

Si le texte du sujet, de ses questions ou de ses documents techniques, conduit le candidat à formuler une ou plusieurs hypothèses, il lui est demandé de la (ou les) mentionner explicitement dans sa copie.

Notation : épreuve évaluée sur un total de 20pts.

- 35% des points sont attribués à des questions de cours (30 mn)
- 15% des points sont attribués à l'étude d'un régime IT (20mn)
- 30% des points sont attribués au calcul d' I_{k1} par la méthode des composantes symétriques (40 mn)
- 20% des points sont attribués au dimensionnement d'un disjoncteur par la méthode des impédances (30 mn)

Coefficient de l'épreuve finale : 4

Matériel autorisé : calculatrice de poche alphanumérique ou à écran graphique à fonctionnement autonome sans imprimante. **UTILISATION DU TELEPHONE PORTABLE INTERDITE.**

NOM : _____

1ère partie : Questions de cours (7 points sur 20)

..... 01/ Indiquer les valeurs limites du domaine de tension HTA. Qu'appelle-t-on « ouvrage de 2^{ème} catégorie » en distribution publique ?

/0,5



..... 02/ Indiquer le type d'architecture d'alimentation utilisé dans le schéma ci-dessous.

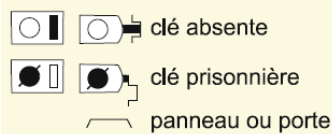
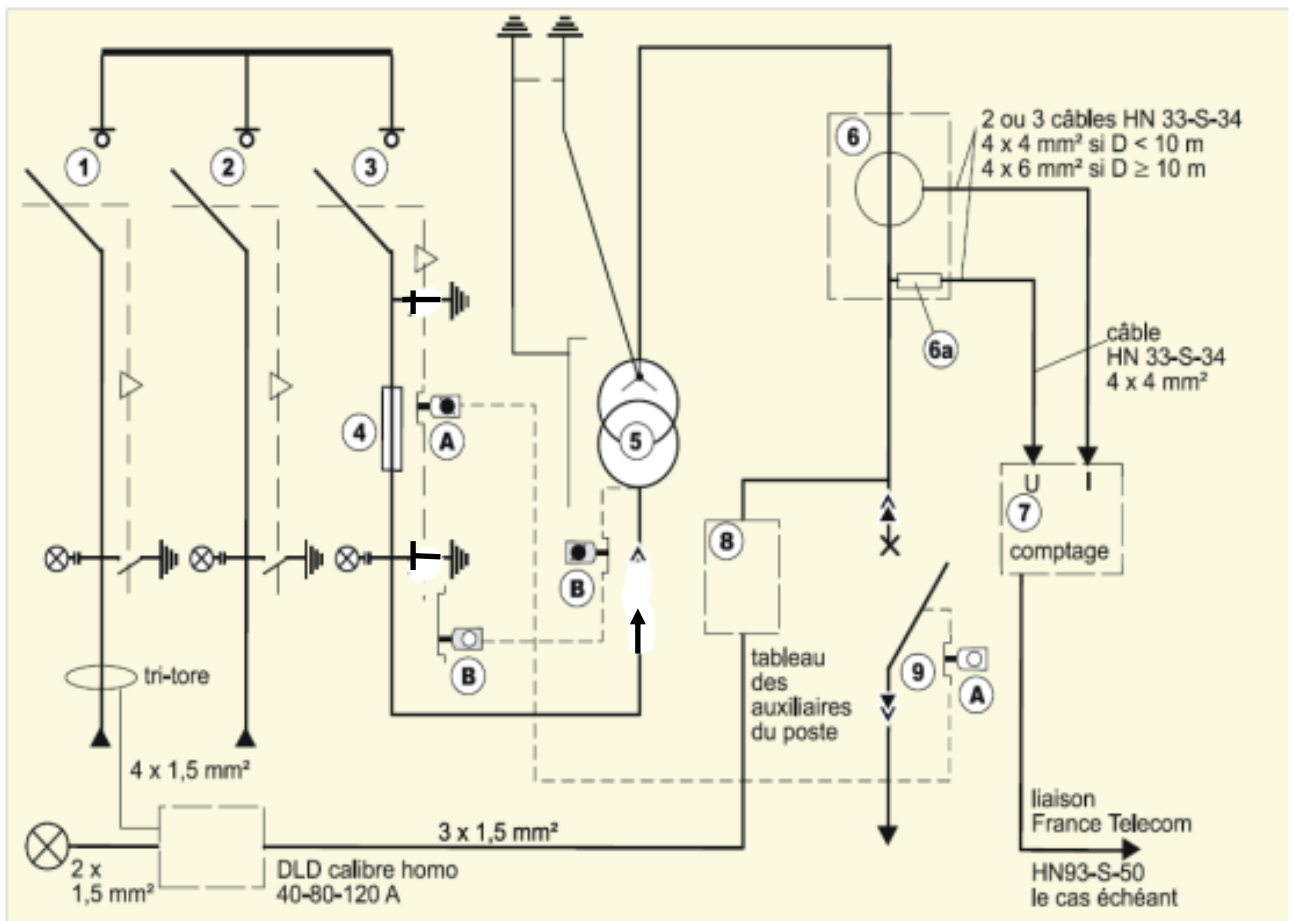
/2,25

Quel en est l'intérêt ?

Citer les différentes étapes à suivre afin de consigner la cellule « protection transformateur » ainsi que les consignes de sécurité à respecter (le disjoncteur débrochable est de technologie récente).

On admettra que l'installation est en exploitation au préalable (disjoncteur général BT et interrupteur-sectionneur HT fermés, SMALT ouvert, câbles HT reliés au transformateur).

Quel titre d'habilitation doit-on posséder pour réaliser cette manœuvre ?





.....

/0,5

03/ Comment peut-on expliquer, d'un point de vue technique, l'intérêt de la mise en place de sectionneurs de mise à la terre dans les cellules HTA ?



.....

/0,5

04/ La puissance souscrite par une entreprise est de 1250 kVA. Quel contrat a du souscrire le client auprès d'EDF ?



.....

/1,5

05/ Quel est l'intérêt du schéma de liaison à la terre en neutre compensé et pourquoi est-il mis en place en France depuis 2001 sur certains ouvrages ?

A partir de quel(s) critère(s) est-il décidé d'étudier l'opportunité du passage de IL en IC ?

Que signifient PWH et PAH ?





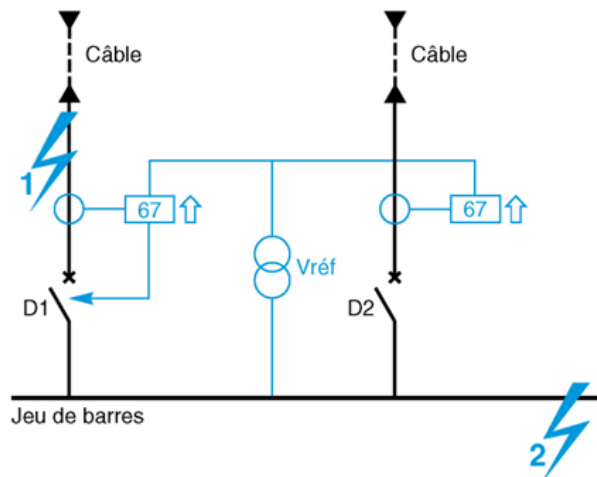
.....
/1

06/ Citer les 4 types de défaut que l'on est susceptible de rencontrer sur un réseau HTA.



.....
/0,75

07/ Quel (s) disjoncteur (s) protégera (ont) l'installation en cas de court-circuit repéré « 1 » ?
Quel (s) disjoncteur (s) protégera (ont) l'installation en cas de court-circuit repéré « 2 » ?
Comment s'appelle ce type de protection ?



2^{ème} partie : Exercice sur le régime IT (3 points sur 20)

REGIME IT D'UN NAVIRE

Sur un navire, la coque et l'ensemble de la structure métallique sont utilisés comme référence de potentiel et comme conducteur équipotentiel. Elles servent de conducteur PE en distribution et pour les circuits terminaux de forte et moyenne puissances.

L'installation est réalisée en régime IT (neutre non distribué).

La distribution est réalisée en 3x400Vca – 50Hz.

Etude du fonctionnement en cas de défaut.

Pour l'étude on se place dans le cas le plus défavorable : les moteurs ne sont reliés à la masse que par le conducteur PE, ils sont considérés isolés de la structure du bâtiment.

La résistance d'isolement de l'installation avant défaut est de 35 k Ω .

Les résistances de défaut et celles des appareils sont négligées.

La réactance des câbles n'est pas prise en compte et on prendra comme écriture :

R_{ph1} : résistance du conducteur de phase du circuit terminal pompe 1

R_{ph2} : résistance du conducteur de phase du circuit terminal pompe 2

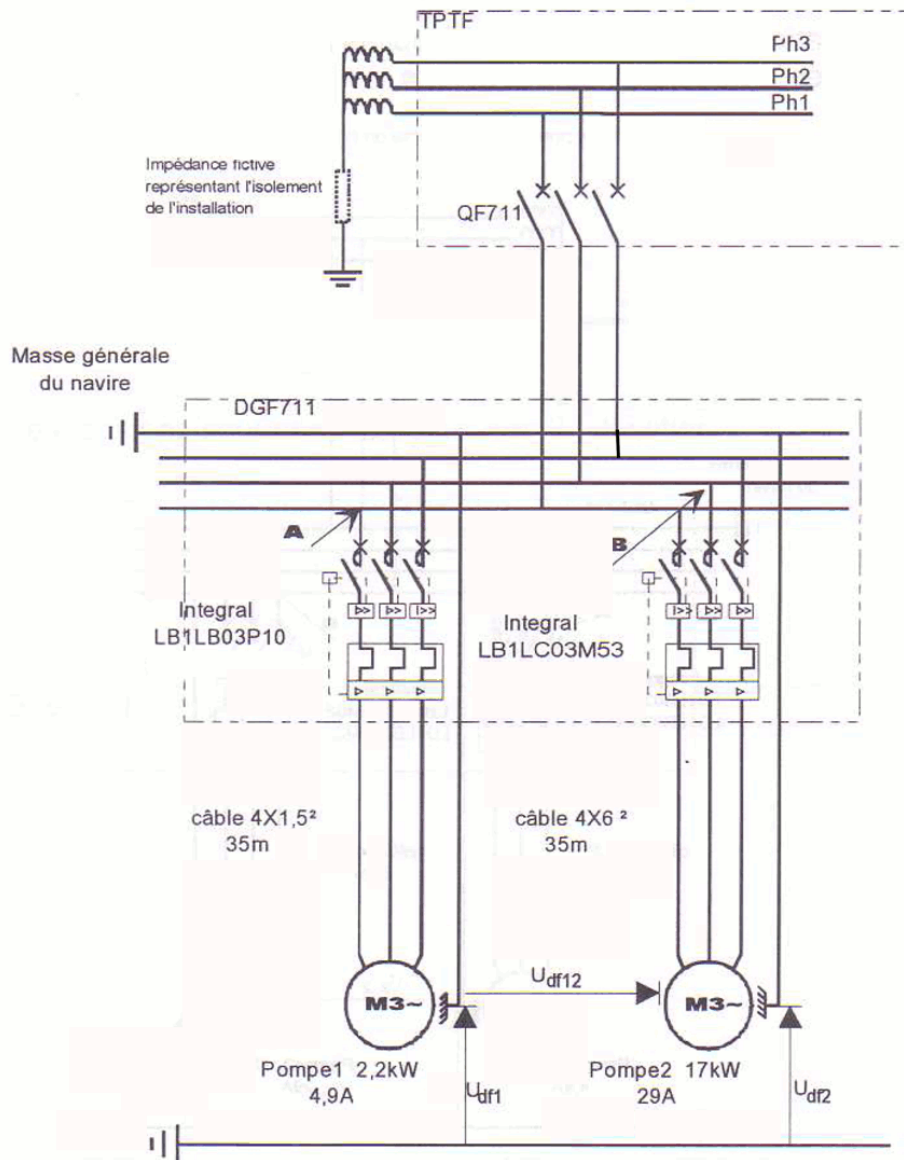
R_{PE1} : résistance du conducteur PE du circuit terminal pompe 1

R_{PE2} : résistance du conducteur PE du circuit terminal pompe 2

La résistivité est de 0,023 $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$.

La tension limite conventionnelle de sécurité est de 25V.

Schéma de principe d'une partie de l'installation



.....
/0,75

01/ On considère un défaut d'isolement (défaut simple) au niveau de la phase 1 de la pompe 1 (voir schéma ci-dessus).

Dessiner la boucle de défaut en couleur sur le schéma ci-dessus. Calculer le courant de défaut I_{df1} et la tension de défaut U_{df1} . Conclure.

En plus du défaut précédent, un défaut d'isolement apparaît sur la phase 2 de la pompe 2.

.....
/0,25

02/ Quelle est la tension existante entre les points A et B (U_{Ab}) ?

.....
/1

03/ Proposer un schéma équivalent du défaut entre les points A et B. Positionner les 2 défauts, le potentiel de référence (masse générale) ainsi que les tensions U_{df1} , U_{df2} .

.....
/1

04/ Calculer le courant de double défaut minimal $I_{df2 \min}$ et les tensions U_{df1} , U_{df2} , le courant étant calculé à partir de la relation suivante : $I_{df2 \min} = \frac{0,8.U_0.\sqrt{3}}{Z_{boucle}}$ avec U_0 , tension simple du réseau. Ces tensions sont-elles dangereuses ?

3^{ème} partie : Calcul d' I_{k1} sur défaut homopolaire (6 points sur 20)

Une ligne triphasée est alimentée par un transformateur dont le secondaire est monté en étoile avec le neutre relié à la terre (cf schéma p. 11). Le système de tensions fourni par le transformateur est un réseau symétrique direct :

$$\underline{E}_1 \qquad \underline{E}_2 = a^2 \cdot \underline{E}_1 \qquad \underline{E}_3 = a \cdot \underline{E}_1$$

La tension simple à vide, entre phase et neutre (E_d), est de 230V. Les impédances directe, inverse et homopolaire de l'ensemble ligne + transformateur ont pour valeur :

$$\underline{Z}_{dg} = \underline{Z}_{ig} = 4j \, \Omega \qquad \underline{Z}_{og} = 10j \, \Omega$$

Ce dispositif alimente un récepteur triphasé monté en étoile ayant pour chaque phase les impédances suivantes :

$$R_c = 0 \, \Omega \qquad \underline{Z}_c = jL \cdot \omega = 6j \, \Omega \qquad \underline{Z}_{c'} = jM' \cdot \omega = \underline{Z}_{c''} = jM'' \cdot \omega = 2j \, \Omega$$

L'indice « c » représente la charge, l'indice « g », le générateur.

Dans un premier temps, le récepteur est en régime équilibré (pas de défaut, $\underline{E}_d = \underline{E}_1$).

...../
0,75

1/ Calculer les impédances homopolaire, directe et inverse du récepteur.

.....
/1,25

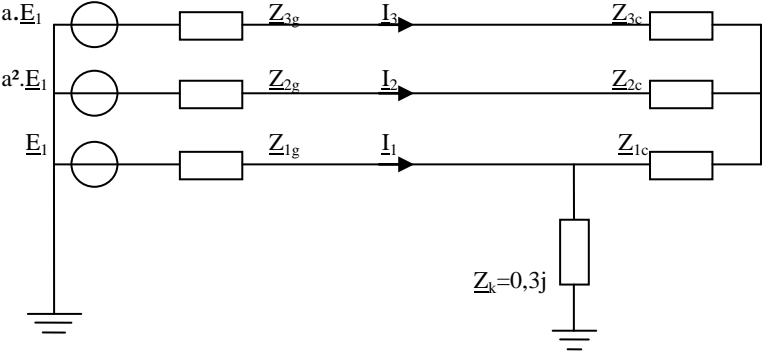
2/ Calculer le courant direct I_d . En déduire les courants de ligne I_1 , I_2 et I_3 .

.....

/1,25

3/ Calculer la tension directe de la charge \underline{V}_{dc} . En déduire les tensions simples aux bornes de la charge \underline{V}_{1c} , \underline{V}_{2c} et \underline{V}_{3c} .

On ajoute une charge d'impédance $Z_k = 0,3j \Omega$ entre la phase 1 et la terre.



.....
/1,25

4/ Après avoir calculé les courants homopolaire, direct et inverse, calculer le courant de défaut I_k qui traverse Z_k .

.....

/1,5

5/ Calculer les nouvelles tensions simples aux bornes du générateur : \underline{V}_{1g} , \underline{V}_{2g} et \underline{V}_{3g} (il faudra calculer les tensions homopolaire, directe et inverse au préalable).

4^{ème} partie : Calcul d' I_{k3} avec la méthode des impédances et dimensionnement d'un disjoncteur (4 points sur 20)

Dans l'installation ci-dessous, le groupe synchrone fonctionne en permanence (centrale hydraulique appartenant à l'entreprise, synchronisée sur le réseau).

Afin de palier à la défaillance d'un transformateur, l'option retenue a été l'installation de 2 transformateurs en parallèle qui fonctionnent simultanément. Si l'un des 2 est en défaut, un délestage sera mis en place (non étudié) et certains équipements prioritaires continueront à fonctionner.

Les caractéristiques des différents éléments sont connues.

Réseau amont :

$U = 20 \text{ kV}$; $S_{cc} = 500 \text{ MVA}$

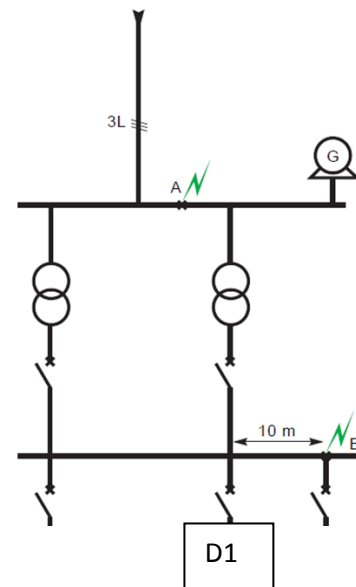
Alternateur :

$U = 20 \text{ kV}$; $S = 1 \text{ MVA}$;

$e : X_{sub} = 15\%$; $X_{trans} = 25\%$

2 transformateurs :

1000 kVA ; $U_2 = 237/410 \text{ V}$; $U_{cc} = 5\%$



.....

/2

1/ Calculer le courant de court-circuit I_{K3} au point B avec la méthode des impédances (on posera l'approximation $R/X = 0,15$ et on négligera l'impédance des câbles ainsi que celle des disjoncteurs).

.....
/2

2/ Calculer les pouvoirs de coupure et de fermeture du disjoncteur D1.

FORMULAIRE

Transformation de Fortescue	Transformation inverse
$\begin{bmatrix} \underline{V}_1 \\ \underline{V}_2 \\ \underline{V}_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \underline{V}_0 \\ \underline{V}_d \\ \underline{V}_i \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} \underline{V}_0 \\ \underline{V}_d \\ \underline{V}_i \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \underline{V}_1 \\ \underline{V}_2 \\ \underline{V}_3 \end{bmatrix}$

Matrice des impédances

$$\begin{bmatrix} \underline{Z}_o \\ \underline{Z}_d \\ \underline{Z}_i \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \underline{Z} + \underline{Z}' + \underline{Z}'' & 0 & 0 \\ 0 & \underline{Z} + a.\underline{Z}' + a^2.\underline{Z}'' & 0 \\ 0 & 0 & \underline{Z} + a^2.\underline{Z}' + a.\underline{Z}'' \end{bmatrix}$$

Réseau amont : $Z_{cc} = \frac{U_n^2}{S_{cc}}$

Machine synchrone : $Z = \frac{U_n^2}{S_n} . e$

Transformateur : $Z = \frac{U_n^2}{S_n} . U_{cc} (\%)$

Court-circuit triphasé : $I_{cc} = \frac{1,1.U_n}{\sqrt{3}.Z_{cc}}$

Rappel : coefficient de 2,5 entre court-circuit symétrique et asymétrique