

SESSION DE 2008

**CA/PLP**  
**CONCOURS EXTERNE ET CAFEP**

**Section : GENIE ELECTRIQUE**

**Option : ELECTROTECHNIQUE ET ENERGIE**

**SCIENCES ET TECHNIQUES INDUSTRIELLES**

Durée : 6 heures

Calculatrice électronique de poche, y compris programmable, alphanumérique ou à écran graphique, à fonctionnement autonome, non imprimante, autorisée conformément à la circulaire n° 99-186 du 16 novembre 1999.

L'usage de tout ouvrage de référence, de tout dictionnaire et de tout autre matériel électronique est rigoureusement interdit.

*Dans le cas où un(e) candidat(e) repère ce qui lui semble être une erreur d'énoncé, il (elle) le signale très lisiblement sur sa copie, propose la correction et poursuit l'épreuve en conséquence.*

*De même, si cela vous conduit à formuler une ou plusieurs hypothèses, il vous est demandé de la (ou les) mentionner explicitement.*

**NB : Hormis l'en-tête détachable, la copie que vous rendrez ne devra, conformément au principe d'anonymat, comporter aucun signe distinctif, tel que nom, signature, origine, etc. Si le travail qui vous est demandé comporte notamment la rédaction d'un projet ou d'une note, vous devrez impérativement vous abstenir de signer ou de l'identifier.**

**Tournez la page S.V.P.**

## **LAMINAGE ET ELECTROZINGAGE DE TÔLES POUR LA CONSTRUCTION AUTOMOBILE**

### **Composition du sujet :**

**Partie A : les protections homopolaires dans un réseau de distribution d'énergie.**

**Partie B : le dimensionnement d'un filtre anti-harmonique.**

**Partie C : force motrice : l'optimisation du temps de démarrage d'un moteur de levage.**

**Documents ressources : DT 1 à DT 18.**

### **Conseils aux candidats :**

Les différentes parties du sujet sont indépendantes. De nombreuses questions sont elles mêmes indépendantes. Une lecture attentive de l'ensemble s'avère nécessaire avant de composer.

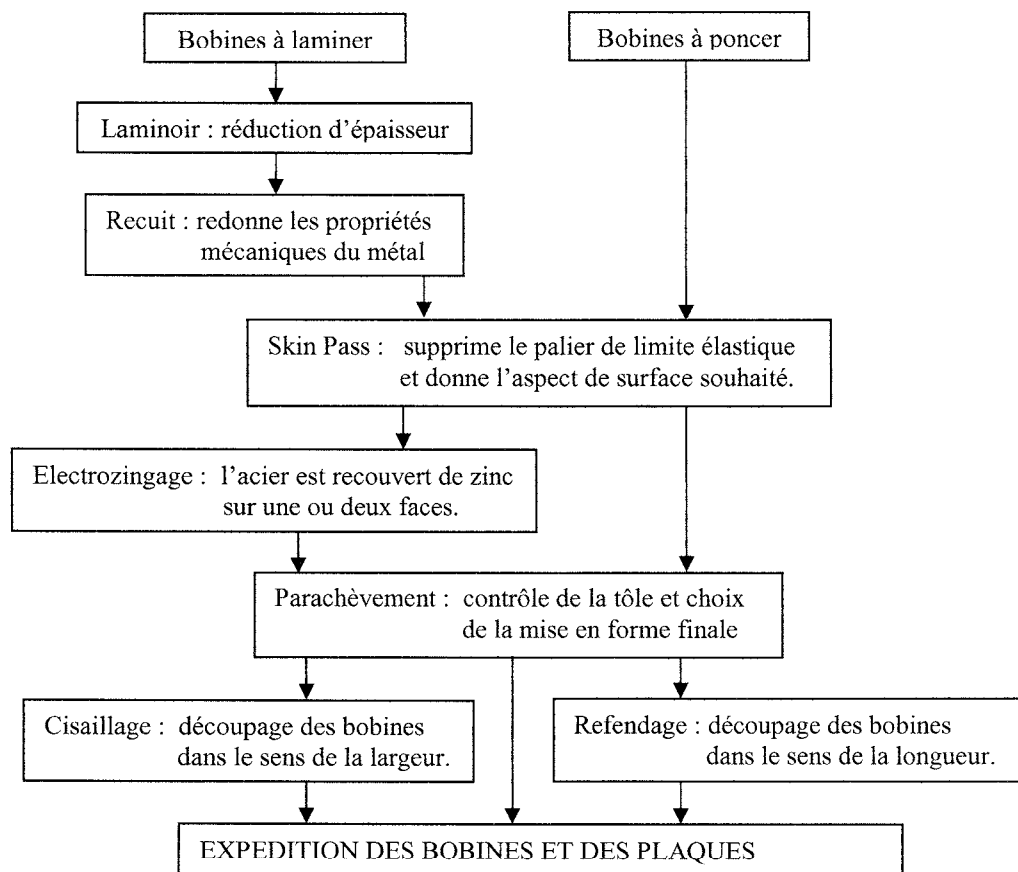
Les candidats sont priés de rédiger sur les documents fournis. Il est demandé de présenter clairement les calculs, de dégager et d'encadrer les résultats relatifs à chaque question.

La qualité des réponses (utilisation d'une forme adaptée pour présenter le résultat, justification du résultat...) sera prise en compte dans l'évaluation.

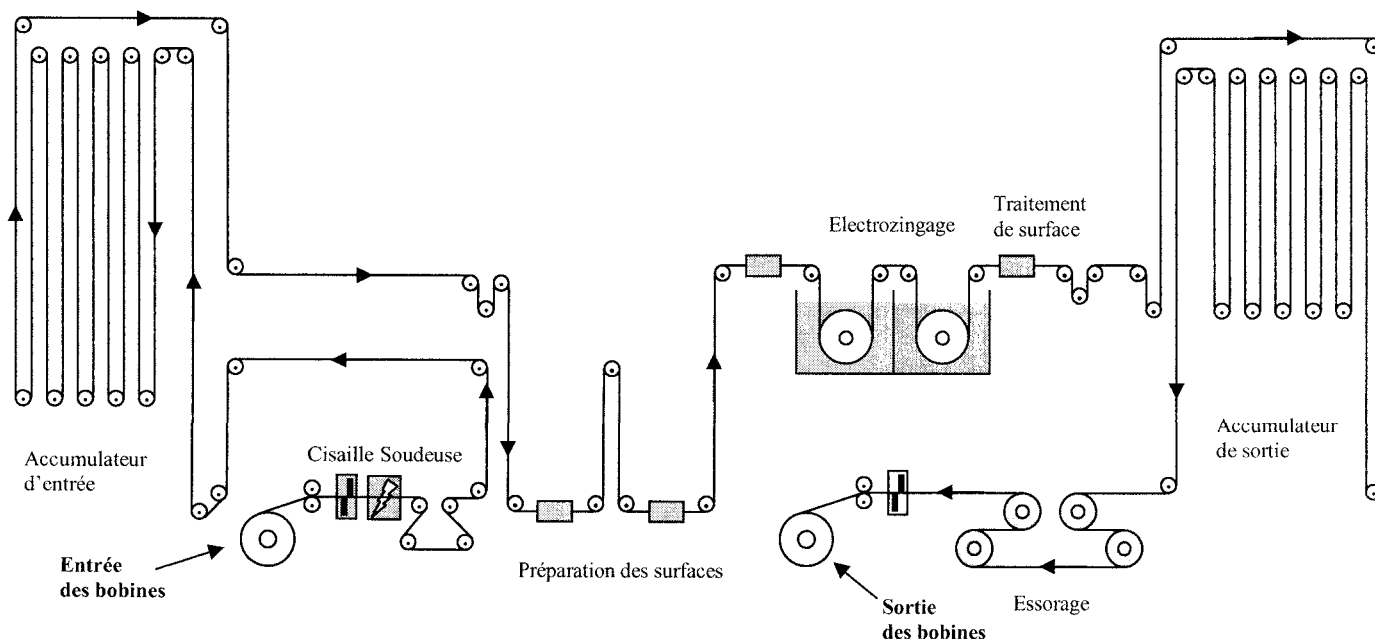
## Présentation générale

L'usine du Groupe DUFERCO-COATING située à Beator, réalise le laminage à froid et l'électrozingage de bobines de tôle d'acier de masse pouvant atteindre 20 tonnes. Ainsi traitées, ces tôles sont principalement destinées à être employées dans la construction automobile.

Schéma du process de l'usine de Beator.



L'étude porte sur l'unité d'électrozingage.



NE RIEN ÉCRIRE

DANS CE CADRE

NE RIEN ÉCRIRE DANS CE CADRE

MINISTÈRE DE L'ÉDUCATION NATIONALE

Académie : \_\_\_\_\_ Session : \_\_\_\_\_  
Concours : \_\_\_\_\_  
Spécialité/option : \_\_\_\_\_ Repère de l'épreuve : \_\_\_\_\_  
Intitulé de l'épreuve : \_\_\_\_\_  
NOM : \_\_\_\_\_  
*(en majuscules, suivs s'il y a lieu, du nom d'épouse)*  
Prénoms : \_\_\_\_\_ N° du candidat   
(le numéro est celui qui figure sur la convocation ou la liste d'appel)

FE1-9.2

PARTIE A : distribution électrique - étude des protections homopolaires.

Les normes NF C 13-100 et NF C 13-200 imposent, au niveau des postes et réseaux de distribution électrique, différentes mesures de sécurité. Les principales recommandations de ces normes portent sur :

- les protections contre les chocs électriques,
- les protections contre les effets thermiques,
- les protections électriques contre les surcharges, les courts-circuits et contre les défauts de terre,
- les protections des transformateurs.

En ce qui concerne la protection contre les défauts de terre dits aussi défauts homopolaires, il est à prévoir un dispositif de contrôle d'isolement du réseau. Plusieurs solutions matérielles existent pour assurer la protection homopolaire de ces postes et réseaux.

L'étude suivante se propose d'étudier la solution mise en place dans l'entreprise Duferco Coating.

Le transformateur TR2 du poste 63 KV de livraison du document technique DT1, alimente le jeu de barres de la sous station L.A.F. 2, à partir duquel huit départs sont câblés suivant le document technique DT 5. Les cellules 17, 19 et 22 sont notamment équipées de relais homopolaires câblés suivant le document DT11.

Le document DT6 est un schéma d'étude équivalent à celui du document DT5. Il fait apparaître un défaut phase L1-terre qui occasionne un déséquilibre des tensions du réseau et des courants qui se rebouclent par les capacités naturelles de fuite des câbles HT.

Le relais homopolaire R2 fera naturellement tomber le départ Q1 17. On observe que le relais homopolaire R3 de la cellule 22 voit passer un déséquilibre de courant causé par les remontées des capacités C3 et C5 des phases saines L2 et L3. Sans sélectivité, le départ Q1 22 va aussi tomber bien qu'aucun défaut n'apparaisse en aval. Afin de pallier ce problème, le relais R3 doit être réglé à un seuil de déclenchement que l'étude se propose de calculer.

Pour cela, le calcul des capacités de fuite des câbles sera abordé puis la détermination des valeurs des tensions phases-terre pendant un défaut de terre. Ces éléments permettront de calculer les valeurs des courants de remontée par les capacités de fuite des câbles avant de déterminer le seuil de réglage des relais homopolaires des cellules 17 et 22.

L'étude pour le relais homopolaire de la cellule 19 ne sera pas abordée.

NE RIEN ÉCRIRE

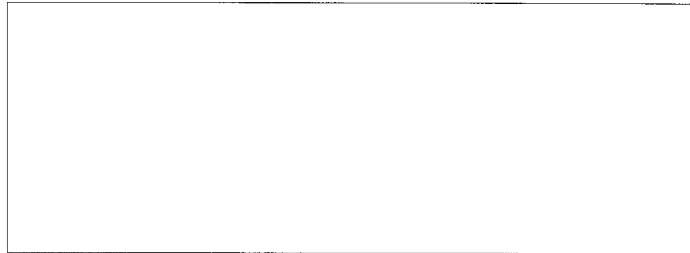
DANS CE CADRE

NE RIEN ÉCRIRE

DANS CE CADRE

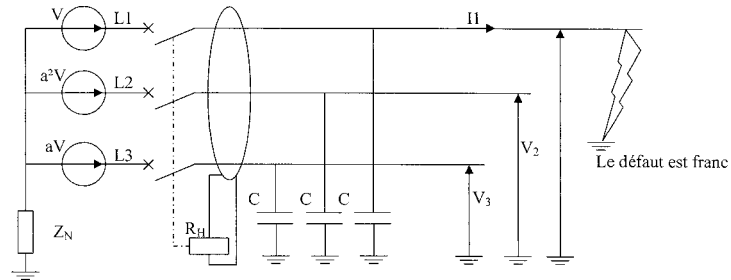
*A 1 – Détermination des caractéristiques des câbles du réseau HTA.*

À partir des documents ressources portant sur les câbles de distribution HTA et du document DT5, déterminer la valeur des capacités de fuite  $C_1$  de la liaison entre le transformateur TR2 et la cellule 19 figurant sur le schéma du document technique DT6.



*A 2 – Détermination des caractéristiques des tensions du réseau et des courants lors d'un défaut homopolaire.*

Pour résoudre le problème posé, on se propose d'utiliser les composantes symétriques des tensions et courants. Le schéma simplifié ci-dessous servira de schéma d'étude. Aucune charge n'est alimentée dans ce schéma.



On donne :

- les équations du défaut :

$$\begin{aligned} V_1 &= 0 \\ I_2 &= I_3 = 0 \end{aligned}$$

- les équations du réseau :

$$\begin{aligned} \underline{E}_d &= \underline{V}_d + \underline{Z}_d \cdot \underline{I}_d \\ 0 &= \underline{V}_i + \underline{Z}_i \cdot \underline{I}_i \\ 0 &= \underline{V}_0 + \underline{Z}_0 \cdot \underline{I}_0 \end{aligned}$$

NE RIEN ÉCRIRE

DANS CE CADRE

NE RIEN ÉCRIRE

DANS CE CADRE

Les grandeurs  $V_0$ ,  $V_d$  et  $V_i$  sont les composantes symétriques des tensions  $V_1$ ,  $V_2$  et  $V_3$ .  
 $V_0$ ,  $V_d$  et  $V_i$  forment un système équilibré. Ed correspond à la tension simple du réseau.

▪ la matrice de Fortescue  $F_3 = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix}$

▪ la matrice inverse de Fortescue  $F_3^{-1} = \frac{1}{3} \cdot \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix}$

▪  $V_{1,2,3} = (F_3) \cdot V_{0,d,i}$       $I_{1,2,3} = (F_3) \cdot I_{0,d,i}$       $a = \left(-\frac{1}{2} + j \frac{\sqrt{3}}{2}\right)$

▪  $V_{0,d,i} = (F_3^{-1}) \cdot V_{1,2,3}$       $I_{0,d,i} = (F_3^{-1}) \cdot I_{1,2,3}$

A 2. 1 Démontrer que les courants homopolaire, direct et inverse sont égaux.

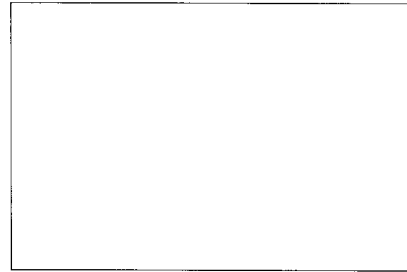
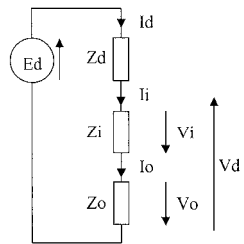
NE RIEN ÉCRIRE

DANS CE CADRE

NE RIEN ÉCRIRE

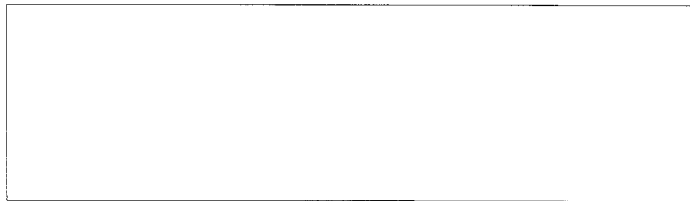
DANS CE CADRE

A 2. 2 Justifier le schéma ci-dessous.



- Détermination des expressions des composantes symétriques des tensions  $V_1$ ,  $V_2$  et  $V_3$ .

A 2. 3 Déduire l'expression de  $I_o$  en fonction de  $E_d$ ,  $Z_o$ ,  $Z_i$  et  $Z_d$ .



A 2. 4 Déduire l'expression du courant de défaut  $I_i$  en fonction de  $E_d$ ,  $Z_o$ ,  $Z_i$  et  $Z_d$ .

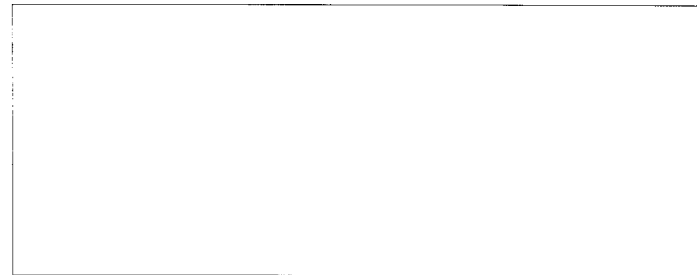


A 2. 5 Donner l'expression de  $V_o$  en fonction de  $E_d$ ,  $Z_o$ ,  $Z_i$  et  $Z_d$ .

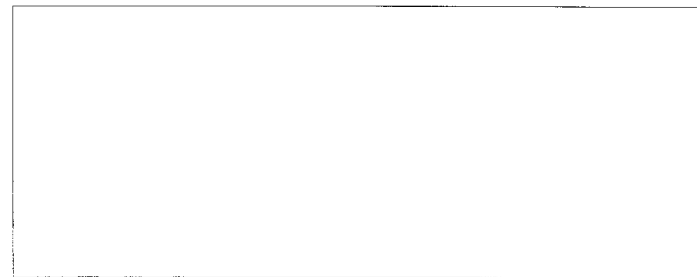


A 3 - Détermination des seuils de réglage des relais homopolaires des cellules 19 et 22 du réseau de distribution électrique alimenté par le transformateur TR2 de l'entreprise Duferco Coating.

A 3. 1 Suivant l'étude précédente, à partir du schéma de distribution donné en DT5 et de son équivalent donné en DT6, calculer le seuil de réglage du relais homopolaire R2 de la cellule 17 de la sous station L.A.F.2.



A 3. 2 Calculer le seuil de réglage du relais homopolaire R3 de la cellule 22 de la sous station L.A.F.2.



NE RIEN ÉCRIRE

DANS CE CADRE

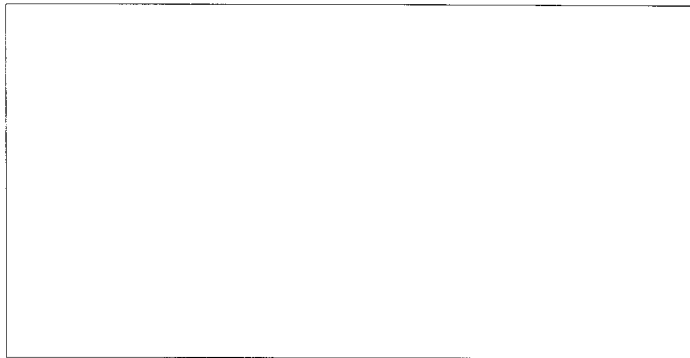
NE RIEN ÉCRIRE

DANS CE CADRE

A 2. 15 Tracer le diagramme vectoriel des tensions simples  $V_1$ ,  $V_2$  et  $V_3$  du réseau :

- avant le défaut,
- pendant le défaut.

Lors d'un défaut homopolaire, en le superposant au diagramme des tensions, tracer le diagramme vectoriel des courants homopolaires  $IC_2$  et  $IC_3$  transitant par les capacités de fuite des câbles.

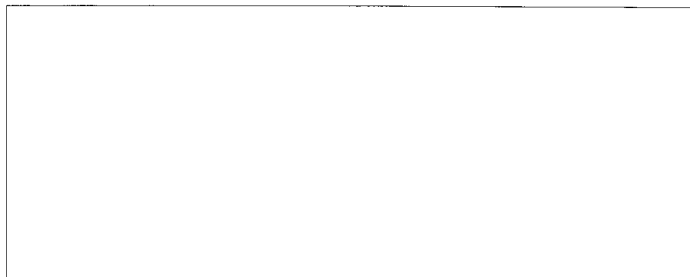


- Détermination du seuil de réglage du relais homopolaire  $R_H$  de notre schéma d'étude donné en A2.

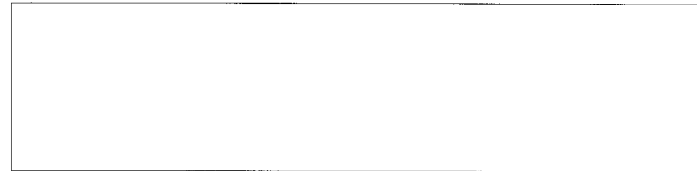
A 2. 16 Le tore du relais homopolaire  $R_H$  du schéma d'étude donné en A2 voit passer les courants homopolaires  $IC_2$  et  $IC_3$ .

Etablir l'équation complexe du courant résultant vu par le relais  $R_H$  et démontrer que son module est égal à  $3 \cdot Ed \cdot C \cdot \omega$

Tracer ce courant résultant sur le diagramme vectoriel de la question précédente.



A 2. 6 Donner l'expression de  $V_d$  en fonction de  $Ed$ ,  $Z_0$ ,  $Z_i$  et  $Z_d$ .

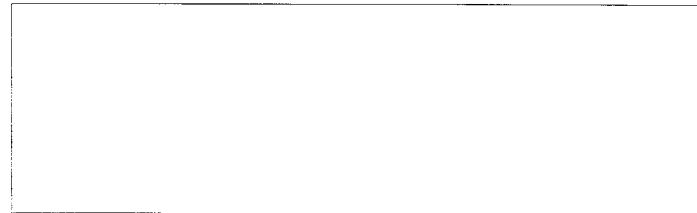


A 2. 7 Donner l'expression de  $V_i$  en fonction de  $Ed$ ,  $Z_0$ ,  $Z_i$  et  $Z_d$ .

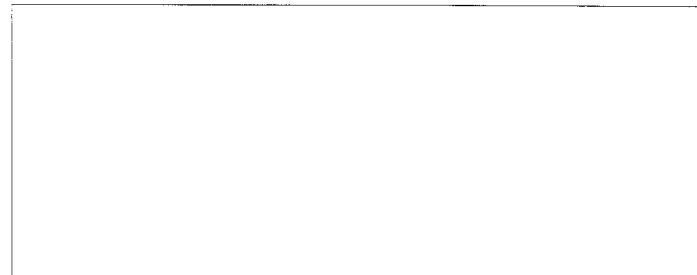


- Détermination des expressions des tensions  $V_2$  et  $V_3$ .

A 2. 8 Donner l'expression de  $V_2$  en fonction de  $Ed$ ,  $Z_0$ ,  $Z_i$  et  $Z_d$ .



A 2. 9 Donner l'expression de  $V_3$  en fonction de  $Ed$ ,  $Z_0$ ,  $Z_i$  et  $Z_d$ .



NE RIEN ÉCRIRE

DANS CE CADRE

NE RIEN ÉCRIRE

DANS CE CADRE

A 2. 10 En considérant que les impédances directe et inverse sont nettement inférieures à l'impédance homopolaire, donc négligeables devant  $Z_0$  (présence de l'impédance  $Z_N$  du neutre dans la maille homopolaire), démontrer que  $V_2 = (a^2 - 1).E_d$  et  $V_3 = (a - 1).E_d$ .

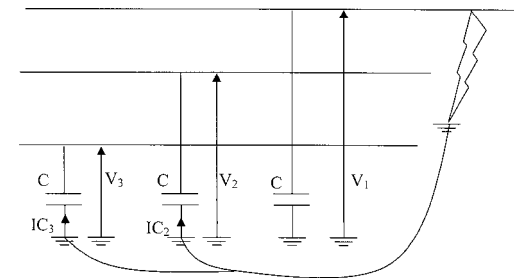
A 2. 11 Puisque  $V_2 = (a^2 - 1).E_d$  et  $V_3 = (a - 1).E_d$ , écrire les expressions complexes des tensions  $V_1$ ,  $V_2$  et  $V_3$ .

A 2. 12 Calculer les modules et arguments des tensions  $V_2$  et  $V_3$ .

A 2. 13 Quelle remarque notable est à faire sur les valeurs des tensions  $V_2$  et  $V_3$ .

– Détermination des valeurs des courants de remontée par les capacités de fuite des câbles pendant un défaut de terre pour le schéma d'étude donné en A2.

A 2. 14 A partir des expressions complexes des tensions  $V_2$  et  $V_3$  et à l'aide du schéma ci-dessous, donner les expressions des courants capacitifs homopolaires transitant par les capacités de fuite des câbles.



NE RIEN ÉCRIRE

DANS CE CADRE

NE RIEN ÉCRIRE DANS CE CADRE

MINISTÈRE DE L'ÉDUCATION NATIONALE

Académie : \_\_\_\_\_ Session : \_\_\_\_\_

Concours : \_\_\_\_\_

Spécialité/option : \_\_\_\_\_ Repère de l'épreuve : \_\_\_\_\_

Intitulé de l'épreuve : \_\_\_\_\_

NOM : \_\_\_\_\_

(en majuscules, suivi s'il y a lieu, du nom d'épouse)

Prénoms : \_\_\_\_\_ N° du candidat

(le numéro est celui qui figure sur la convocation ou la liste d'appel)

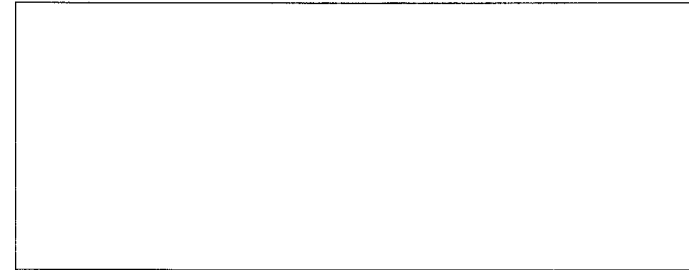
FE1-9.2

Partie B : le dimensionnement d'un filtre anti-harmoniques.

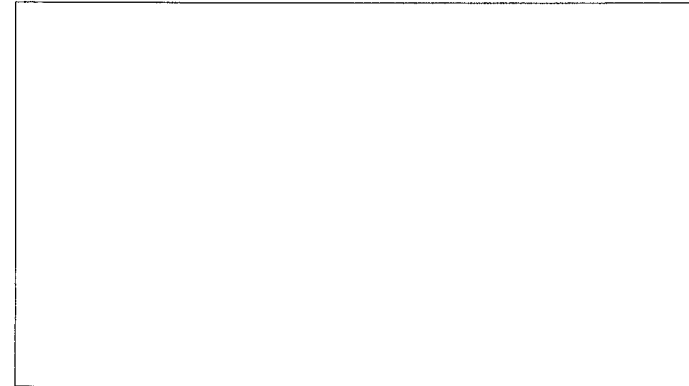
Lcs différents bains d'électrolyse sont des générateurs d'harmoniques. La société Duferco Coating vous demande une étude théorique au niveau du bain d'électrolyse numéro 1 afin d'atténuer ces harmoniques. Dans un premier temps vous allez devoir déterminer les rangs des harmoniques à traiter. Par la suite il vous sera demandé de calculer puis de dimensionner la taille du circuit magnétique d'un filtre anti-harmonique.

**B1.1 Indice horaire du transformateur**

Représenter les couplages primaire et secondaire du transformateur à double secondaire installé sur le poste d'électrolyse 1 voir documentation technique DT2.



B1.2 Représenter le diagramme de Fresnel des tensions en indiquant les indices horaires. Préciser le déphasage entre les deux tensions secondaires du transformateur.



Partie B

1 / 15

Tournez la page S.V.P.

ⓓ

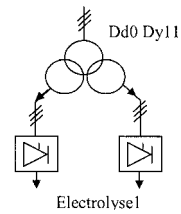
NE RIEN ÉCRIRE

DANS CE CADRE

NE RIEN ÉCRIRE

DANS CE CADRE

Dans un souci de simplification, le schéma suivant sera utilisé pour notre étude.

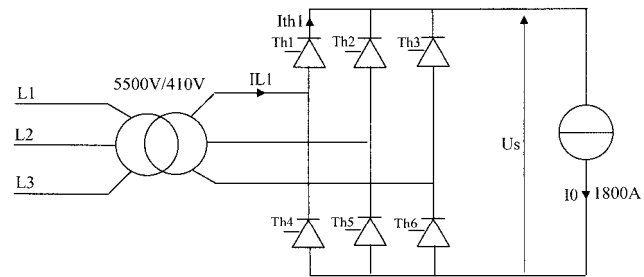


Nous allons nous intéresser dans un premier temps au couplage Dd0.

On appelle :  $J_{sA1}$  le courant dans le bobinage secondaire 1

$J_{sA2}$  le courant dans le bobinage secondaire 2

$J_{sA3}$  le courant dans le bobinage secondaire 3



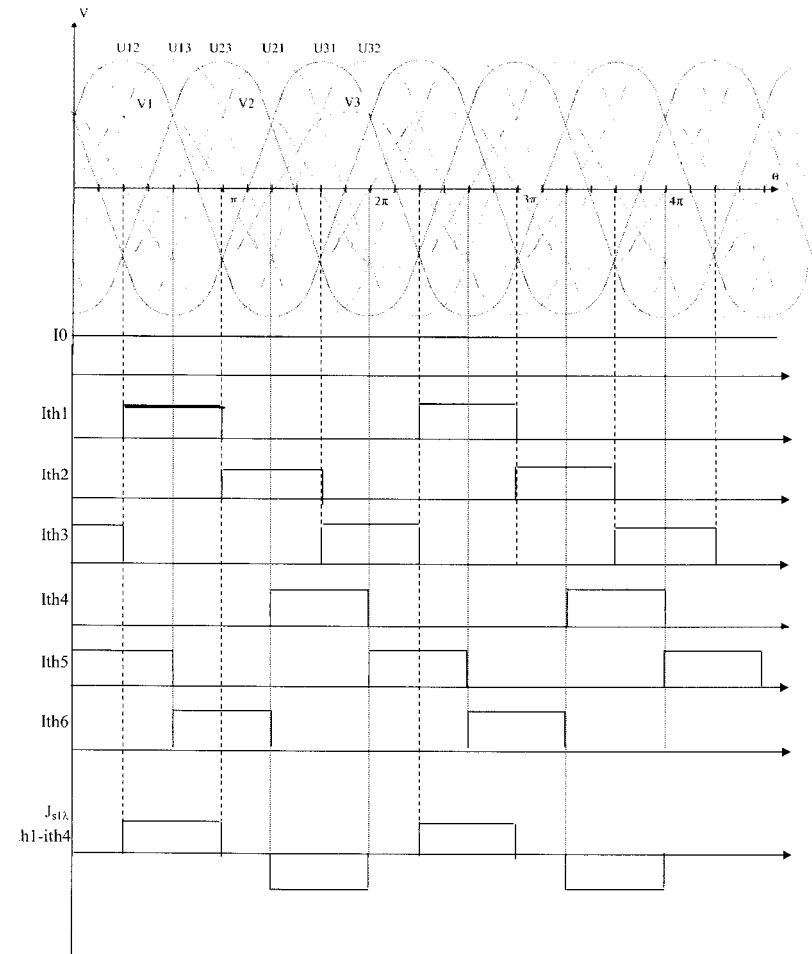
Le tracé des courbes du pont ci-dessus est donné page 13

B1.3 Le but de cette partie est de tracer les courants  $J_{sA1}$ ,  $J_{sA2}$ ,  $J_{sA3}$ .

Pour cela compléter le tableau ci-dessus en fonction des différentes phases de conduction des thyristors en vous aidant des tracés page 13.

Dans chaque case du tableau, redessiner le secondaire du transformateur. Préciser les angles entre lesquels se déroule chaque phase et quels sont les thyristors en conduction. Flécher sur le schéma, les courants dans les enroulements secondaires du transformateur ainsi que le courant  $I_0$

DR B 1.7



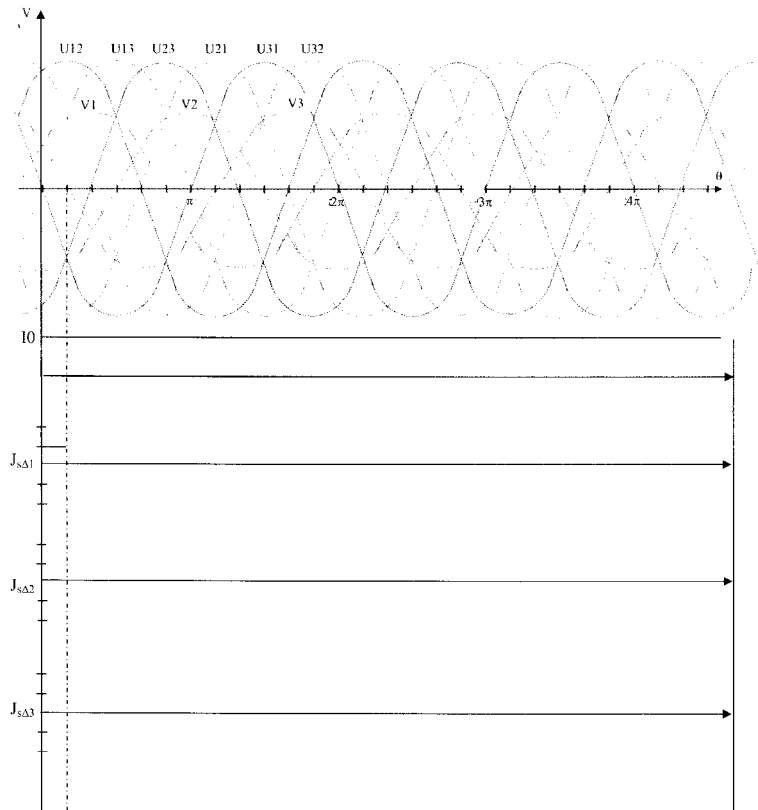
NE RIEN ÉCRIRE

DANS CE CADRE

NE RIEN ÉCRIRE

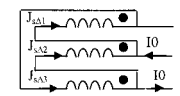
DANS CE CADRE

DR B 1.5



Partie B

14 / 15

Phase 1 angle ... 0 ... à ... $\pi/6$ ... Thyristors en conduction ... Th3 et Th5 ... 	Phase 2 angle ... à ...
Phase 3 angle ... à ...	Phase 4 angle ... à ...
Phase 5 angle ... à ...	Phase 6 angle ... à ...

Partie B

3 / 15

Tournez la page S.V.P.

NE RIEN ÉCRIRE

DANS CE CADRE

NE RIEN ÉCRIRE

DANS CE CADRE

B1.4 A l'aide des différents schémas équivalents par phase, déterminer pour chacune d'elles, les valeurs des courants secondaires  $J_{s\Delta 1}$ ,  $J_{s\Delta 2}$ ,  $J_{s\Delta 3}$  sachant que ces courants ne peuvent avoir comme valeur que  $\pm \frac{I_0}{3}$  ou  $\pm \frac{2I_0}{3}$   
 Compléter le tableau ci dessous

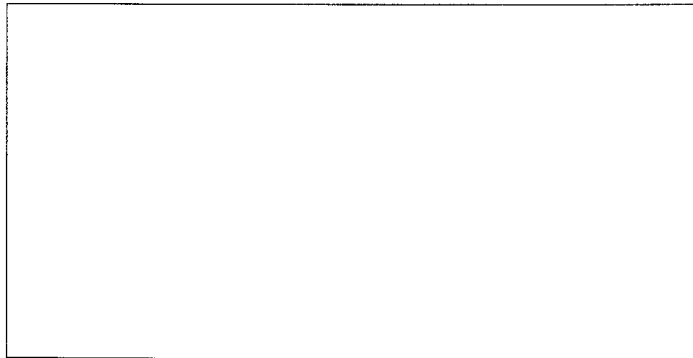
	$J_{s\Delta 1}$	$J_{s\Delta 2}$	$J_{s\Delta 3}$
Phase 1	$+\frac{I_0}{3}$		
Phase 2			
Phase 3			
Phase 4			
Phase 5			
Phase 6			

B1.5 Représenter alors les courants  $J_{s\Delta 1}$ ,  $J_{s\Delta 2}$ ,  $J_{s\Delta 3}$  sur le document réponse DR B1.5 page 14. ( $J_{s\Delta 1}$  durant la première phase est donné).

B1.6 Démontrer que la décomposition en série de Fourier du courant au secondaire du transformateur triangle (dans les enroulements) donne le résultat suivant. Utiliser la courbe tracée sur le DR B1.5 page 14

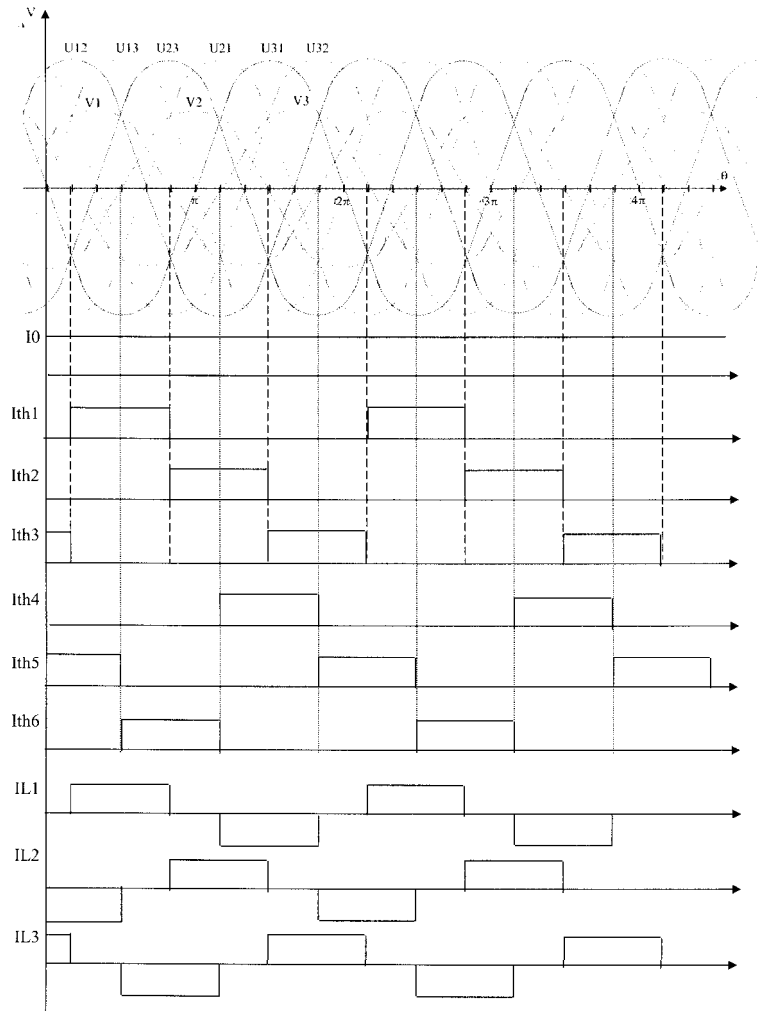
On rappelle que  $a_k = \frac{2}{T} \int_0^T i(t) \sin k\omega t dt$  et que  $b_k = \frac{2}{T} \int_0^T i(t) \cos k\omega t dt$

$$J_{s1\Delta} = \frac{2I_0}{n\pi} \left[ \cos \frac{n\pi}{6} \right]$$



Partie B

4 / 15



Partie B

13 / 15

Tournez la page S.V.P.

NE RIEN ÉCRIRE

DANS CE CADRE

NE RIEN ÉCRIRE

DANS CE CADRE

B1.20 Calculer la valeur du courant efficace qui va traverser la self sachant que l'on ne tient compte que d'un départ d'électrolyse.

B1.21 Si l'on considère que la densité du courant pour cette self est de  $J = 2,5A/mm^2$ , déterminer la valeur de la section du fil et son diamètre à utiliser pour l'inductance sachant que le conducteur est circulaire.

B1.22 En considérant la section du fil et le nombre de spires de la bobine, déterminer si la fenêtre du circuit magnétique est suffisante pour réaliser cette self. Tenir compte d'une augmentation de 35 % de la section du fil due à l'isolant placé autour du conducteur et d'un coefficient de foisonnement du fil de 30% lors de l'opération de bobinage.

NE RIEN ÉCRIRE

DANS CE CADRE

NE RIEN ÉCRIRE

DANS CE CADRE

B1.7 Démontrer que la décomposition en série de Fourier du courant au secondaire du transformateur étoile (dans les enroulements) donne le résultat suivant. Utiliser les courbes tracées en page 15 DR B1.7

$$J_{s1\lambda} = \frac{2I_0}{n\pi} \left[ 1 + \cos \frac{n\pi}{3} \right]$$

Partie B

6 / 15

B1.18 A l'aide des formules de B1.15 et de B1.17 déterminer le nombre des spires de la self ainsi que la section du circuit magnétique pour l'harmonique de rang 11. (On prendra  $B_m = 1,2T$  et  $e=1mm$ ) et l'on désire atténuer l'harmonique de rang 11 de 6%

B1.19 A l'aide de la documentation technique DT17 sur les circuits magnétiques effectuer le choix du circuit magnétique.

Partie B

11 / 15

Tournez la page S.V.P.

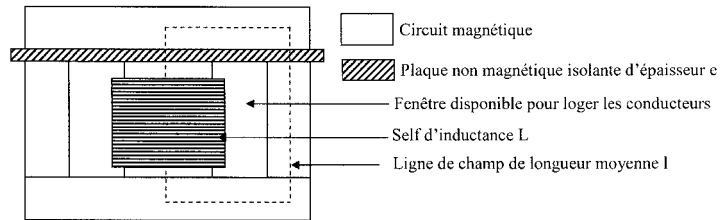
NE RIEN ÉCRIRE

DANS CE CADRE

NE RIEN ÉCRIRE

DANS CE CADRE

Le circuit magnétique de la self du filtre anti-harmonique est réalisé à l'aide de tôles en E, comme le montre le croquis ci dessous.



B1.16 En appliquant le théorème d'ampère, établir l'équation régissant ce circuit magnétique.

B1.17 Démontrer qu'à partir de l'équation du théorème d'ampère, si l'on considère que les AT consommés par le fer sont négligeables et que le courant est sinusoïdal, l'inductance se définit par :  $L = \mu_0 n^2 \frac{S}{2e}$

B1.8 Calculer les valeurs des courants harmoniques existant. Se limiter au rang 13 on rappelle que  $I_0 = 1800A$

	Rang ...	Rang ...	Rang ...	Rang ...	Rang ...	Rang ...	Rang ...	Rang ...
$J_{s\lambda}$								
$J_{s\Delta}$								

B1.9 Calculer les valeurs de ces courants harmoniques ramenés au primaire du transformateur.

	Rang ...	Rang ...	Rang ...	Rang ...	Rang ...	Rang ...	Rang ...	Rang ...
$J_{s\lambda}$								
$J_{s\Delta}$								

B1.10 Calculer alors le courant  $J_p$  en ligne au primaire du transformateur.

	Rang ...	Rang ...	Rang ...	Rang ...	Rang ...	Rang ...	Rang ...	Rang ...
$J_p$								

B1.11 D'après vos résultats obtenus expliquer l'intérêt du couplage Dd0 Dy11 pour la distribution électrique dans cette entreprise.

B1.12 A l'aide de la documentation technique DT16, quels rangs d'harmoniques doivent être traités. (dans notre cas on admettra que le  $\%U_h = \%I_h$ ).

NE RIEN ÉCRIRE

DANS CE CADRE

NE RIEN ÉCRIRE

DANS CE CADRE

**B1.13 Etude du filtre anti-harmonique de rang 11.**

On vous demande de calculer les valeurs de L et C pour la fabrication de ce filtre anti-harmonique. Ce filtre sera un filtre R,L,C série placé entre phase et neutre.

On prendra comme facteur de qualité du filtre  $Q_0 = \frac{X_0}{R} = 70$  avec  $X_0 = \sqrt{\frac{L}{C}}$

On prendra comme hypothèse que les résistances équivalentes séries du filtre sont de  $1\Omega$ .

Calculer alors pour l'harmonique de rang 11 les valeurs de L et de C

**Fabrication de l'inductance pour le filtre anti-harmonique de rang 11**

Le but de cette partie est de dimensionner la taille du circuit magnétique pour l'inductance du filtre.

B1.14 Déterminer l'équation différentielle de l'établissement de la tension dans une inductance, en faisant apparaître les termes :

- u : tension appliquée au bobinage. ( on prendra pour cette question  $u = U\sqrt{2} \cos \omega t$  )
- i : courant dans le bobinage
- r : résistance du bobinage
- $\phi$  : flux magnétique traversant chaque spire
- n : nombre de spires.

B1.15 Démontrer qu'en régime établi, la valeur maximale de l'induction est donnée par la

formule suivante :  $B_m = \frac{U_{eff}\sqrt{2}}{nS\omega}$  avec

- $B_m$  : valeur de l'induction maximale.
- S : section du circuit magnétique.
- $U_{eff}\sqrt{2}$  : tension supportée par l'inductance.

La formule d'un constructeur de filtre anti-harmonique donne :  $U_{eff} = V_1 + \sum_{n=2}^{11} V_n$

NE RIEN ÉCRIRE

DANS CE CADRE

NE RIEN ÉCRIRE DANS CE CADRE

MINISTÈRE DE L'ÉDUCATION NATIONALE

Académie : \_\_\_\_\_ Session : \_\_\_\_\_  
Concours : \_\_\_\_\_  
Spécialité/option : \_\_\_\_\_ Repère de l'épreuve : \_\_\_\_\_  
Intitulé de l'épreuve : \_\_\_\_\_  
NOM : \_\_\_\_\_  
*(en majuscules, suivi s'il y a lieu, du nom d'épouse)*  
Prénoms : \_\_\_\_\_ N° du candidat

*(le numéro est celui qui figure sur la convocation ou la liste d'appel)*

FE1-9.2

**Partie C : l'optimisation du temps de démarrage d'un moteur de levage.**

Les différents ateliers de l'entreprise Duferco Coating sont équipés de palans électriques permettant de déplacer les différentes bobines de tôles et les divers outillages. Le document technique DT18 présente l'équipement électrique de l'un d'entre eux.

Il s'est posé le problème de la modernisation de cet équipement suite à un incendie qui a notamment détruit l'armoire de commande. D'un point de vue économique, il a été démontré qu'il était rentable de recâbler un coffret identique à l'original.

La détermination des valeurs des consignes des temporisateurs KM1 et KM12 du schéma électrique s'est alors posé.

L'étude suivante consiste à vérifier l'exactitude des réglages des deux temps de démarrage,  $t_1 = 3,25$  s pour KM1 et  $t_2 = 0,78$  s pour KM12.

Les données techniques :

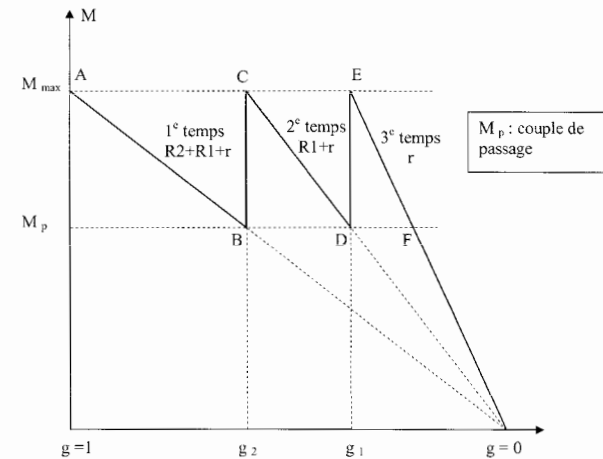
Les caractéristiques nominales du moteur :  
220 / 380 V 8,5 A 4 KW 25 Nm 1440 tr/min résistance d'une phase rotorique  
 $r = 175 \text{ m}\Omega$

Le calcul de la résistance totale ( $R_1 + R_2$ ) à insérer dans la phase du rotor lors du démarrage à fourni comme valeur  $2,865 \Omega$ .

La valeur du couple résistant du à la charge est de 7 Nm.

Le moment d'inertie total du palan en charge ramené à l'arbre du moteur est  $J = 0,26 \text{ m}^2\text{kg}$ .

La caractéristique  $M f(g)$  attendue par le démarreur est figurée par le graphe ci-dessous.



Partie C

1 / 7

Tournez la page S.V.P.

E

NE RIEN ÉCRIRE

DANS CE CADRE

NE RIEN ÉCRIRE

DANS CE CADRE

C. 1. Détermination des équations du couple lors de la phase de démarrage.

C. 1. 1 Le couple électromagnétique du moteur asynchrone en charge s'exprime par la formule  $M = \frac{3.r.g.m^2.V^2}{\Omega_s (r^2 + g^2 \cdot X^2)}$ . En ne considérant que cette formule et sachant que la valeur de  $g$  est très

faible devant les autres grandeurs démontrer que l'expression du couple devient  $M = \frac{k.g}{r}$ .

Pour la suite du problème on considère que  $M = \frac{k.g}{r}$  pour chacun des trois temps de démarrage.

C. 1.2 Ecrire l'équation du couple électromagnétique lors de la phase de démarrage A - B.

C. 1.3 Ecrire l'équation du couple électromagnétique lors de la phase de démarrage C - D.

C. 4.4 Calculer la valeur du temps  $t_2$

NE RIEN ÉCRIRE

DANS CE CADRE

NE RIEN ÉCRIRE

DANS CE CADRE

C 3.3 Calculer la valeur du couple de passage  $M_p$ .

*C 4. Détermination des temps de démarrage  $t_1$  et  $t_2$ .*

Pour la suite du problème prendre  $g_1 = 5,76\%$ ,  $g_2 = 24\%$ ,  $R_1 = 0,555\Omega$  et  $R_2 = 2,31\Omega$

C 4.1 Pour la phase de démarrage, exprimer l'équation fondamentale de la dynamique liant couples, inertie, vitesse et temps.

C 4.2 Sachant que  $\Omega = \Omega_s (1-g)$  et que  $M_n = M_{max} \cdot g$ , exprimer  $d\Omega / dg$

C 4.3 Dédurre la valeur du temps  $t_1$ .

Partie C

6 / 7

C 1.4 Ecrire l'équation du couple électromagnétique lors de la phase de démarrage E - F.

*C. 2. Détermination des valeurs des glissements  $g_1$  et  $g_2$  et des résistances  $R_1$  et  $R_2$ .*

Ces grandeurs se déduisent des trois équations des questions précédentes.

C 2.1 Déterminer la valeur de  $g_1$ .

C 2.2 Déterminer une équation de  $g_2$  en fonction de ( $r$ ,  $R_1$ ,  $R_2$  et  $g_1$ )

Partie C

3 / 7

Tournez la page S.V.P.

NE RIEN ÉCRIRE

DANS CE CADRE

NE RIEN ÉCRIRE

DANS CE CADRE

C 2.3 Déterminer une deuxième équation de  $g_2$  en fonction de ( $r$ ,  $R_1$ ,  $R_2$ )

C 2.4 Déduire de ces deux équations la valeur de  $R_1$ .

Partie C

4 / 7

C 2.5 Déduire les valeurs de  $R_2$  et  $g_2$ .

C 3 . Détermination des valeurs des couples  $M_{max}$  et  $M_P$

Au point de fonctionnement nominal de la machine,  $M_n = 25Nm$   $n_n = 1440$  tr/min

C 3.1 Calculer la valeur de la constante  $k$  du moteur asynchrone.

C 3.2 Calculer la valeur du couple maximum  $M_{max}$

Partie C

5 / 7

Tournez la page S.V.P.

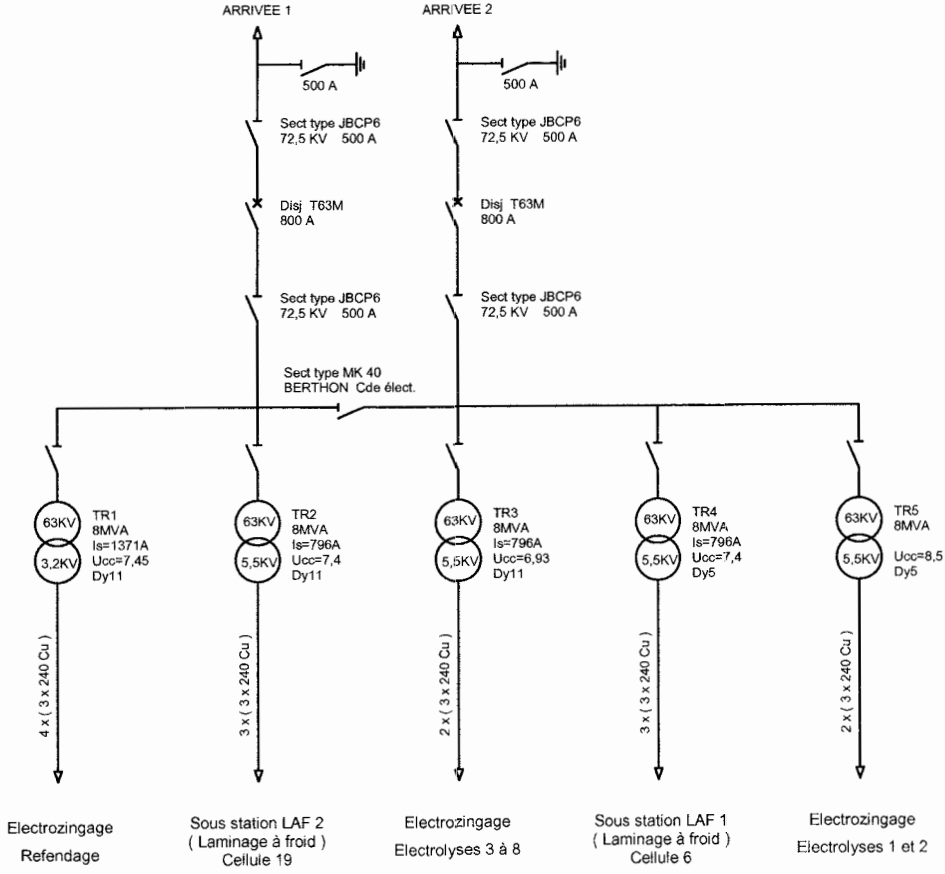
# DOCUMENTATION TECHNIQUE

## Le repérage des Documents Techniques

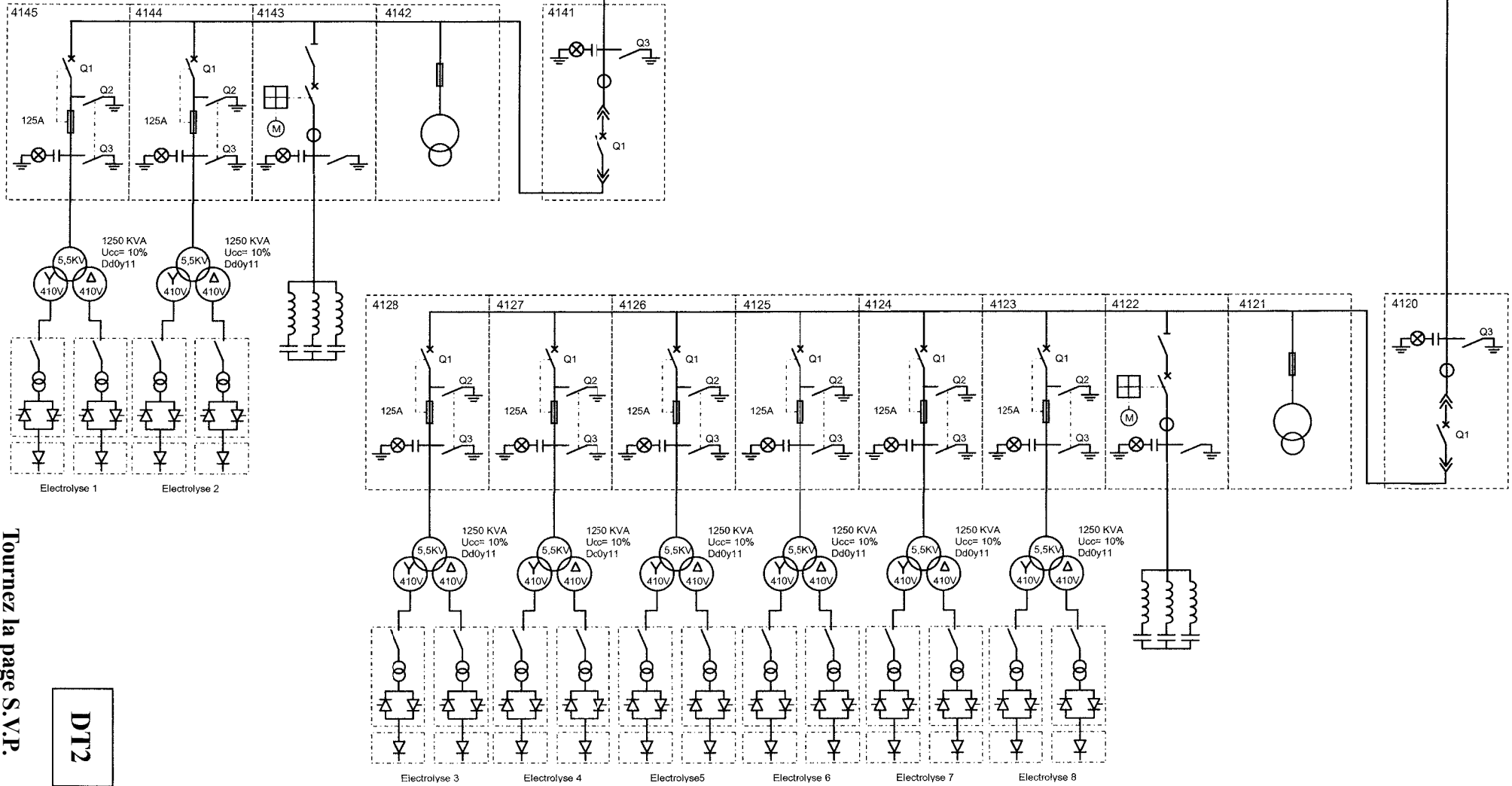
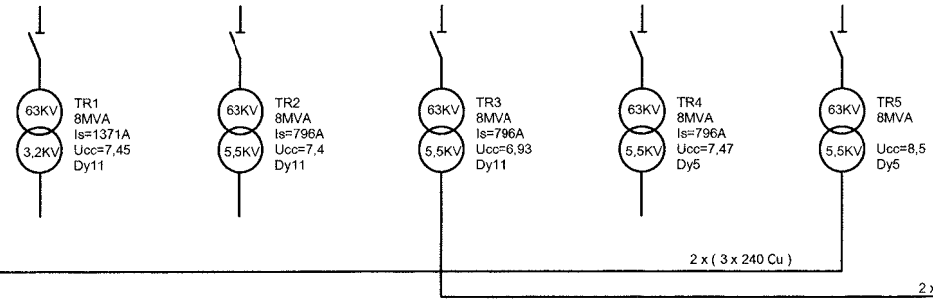
DT1 à DT6	Schéma HTA
DT7 à DT11	Relais homopolaires
DT12 à DT15	Câbles HTA
DT16	Normalisation sur les tensions harmoniques
DT17	Tôles magnétiques
DT18	Schéma de principe démarrage d'un palan électrique

# Poste 63 KV d'alimentation

Puissance de court-circuit amont :  $P_{cc} = 2\,040\text{ MVA}$



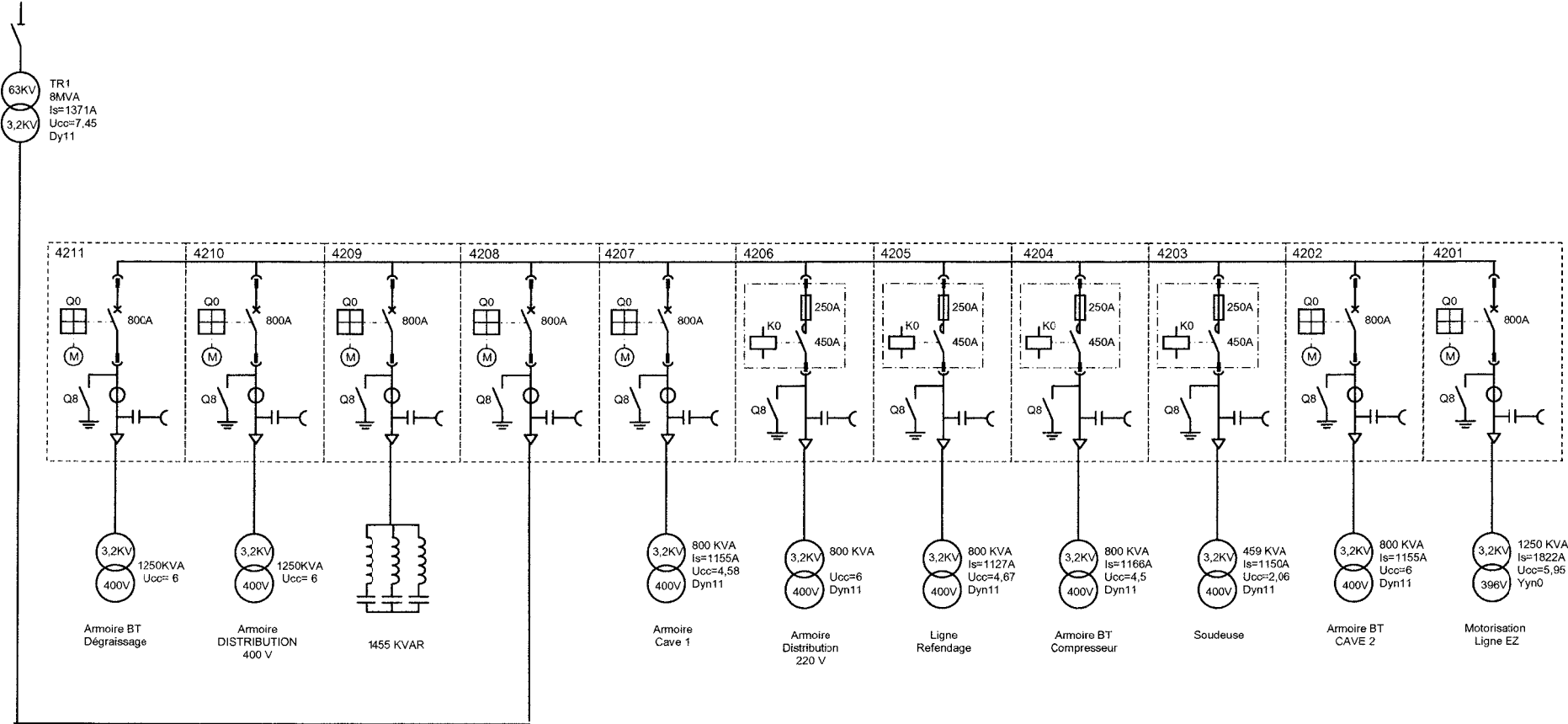
# Electrozingage réseau 5,5 KV



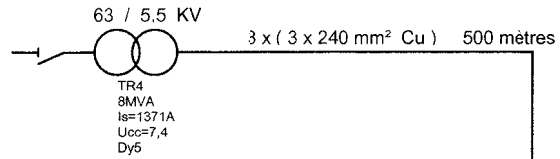
Tournez la page S.V.P.

**DT12**

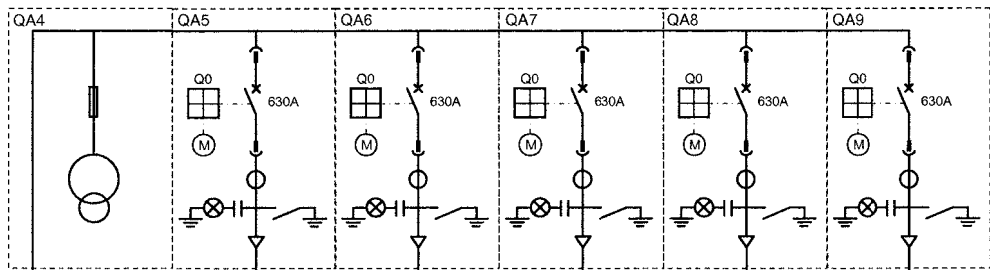
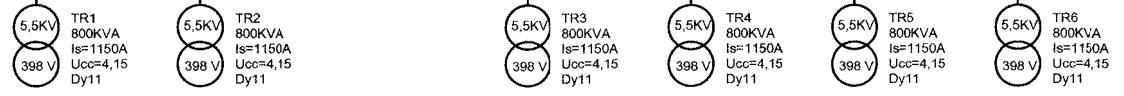
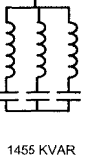
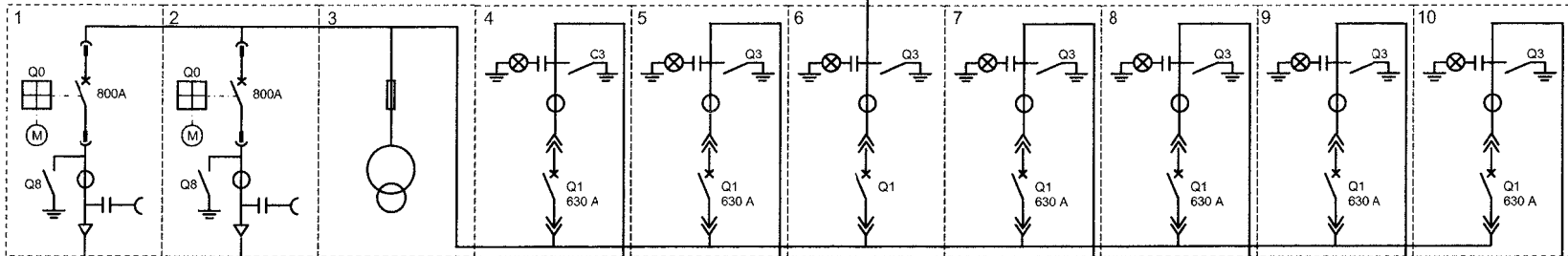
# Electrozingage réseau 3,2 KV



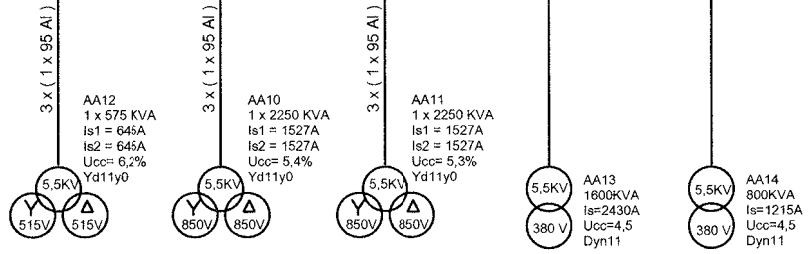
DT3



**SOUS STATION L.A.F. 1**



**Poste QUARTO**



Tournez la page S.V.P.

**DT4**

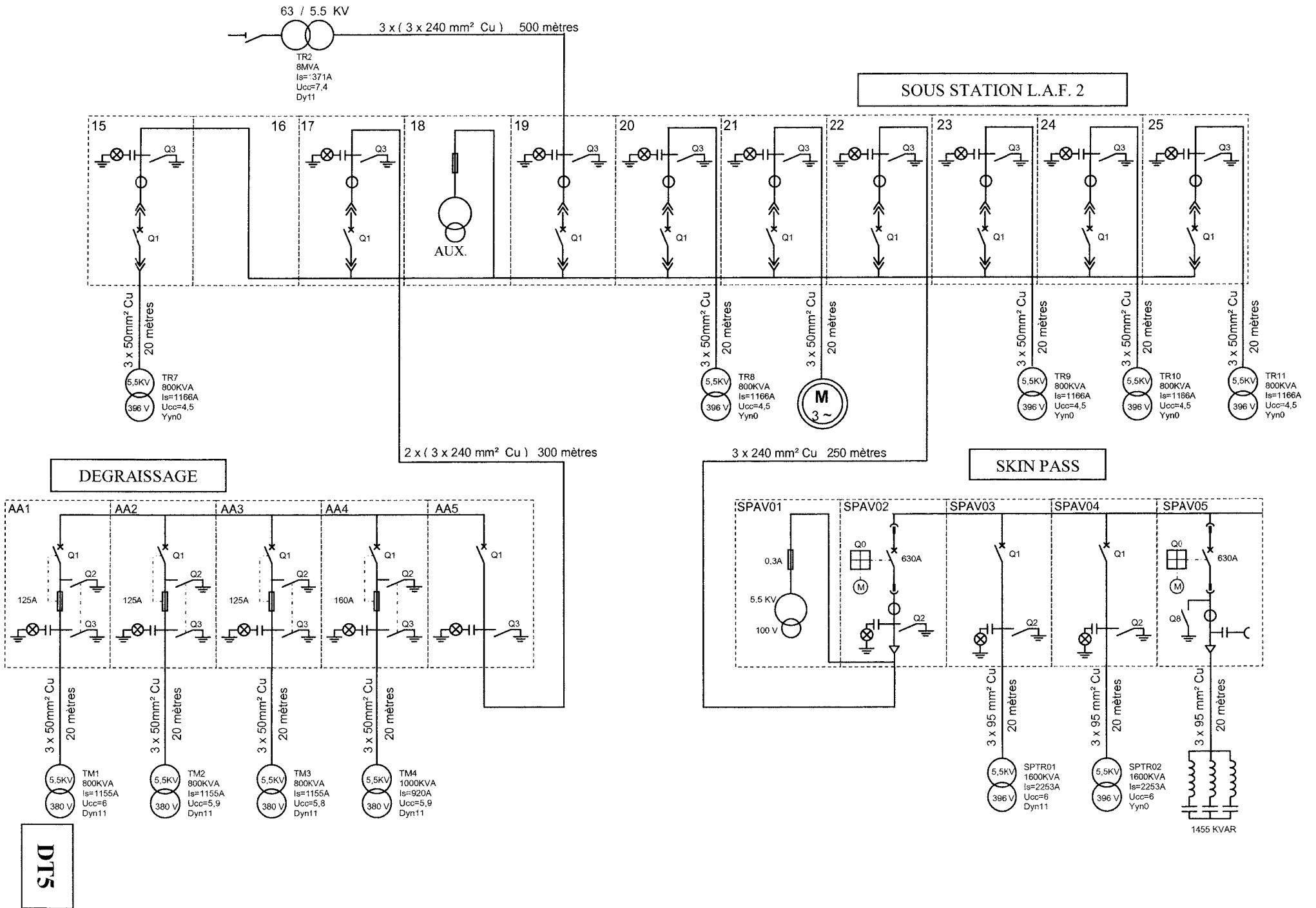
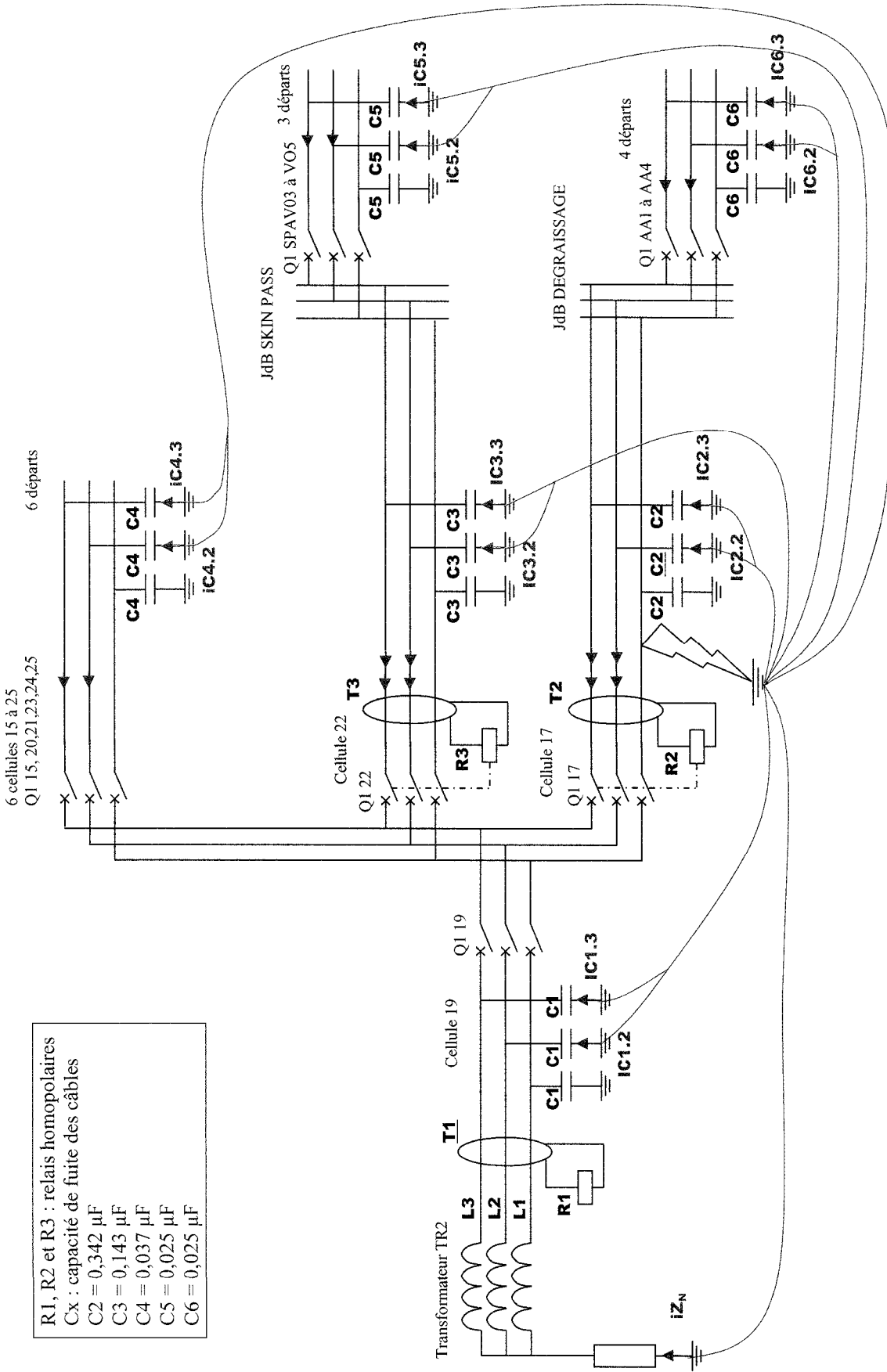


Schéma d'étude équivalent au réseau alimenté par le transformateur TR2.



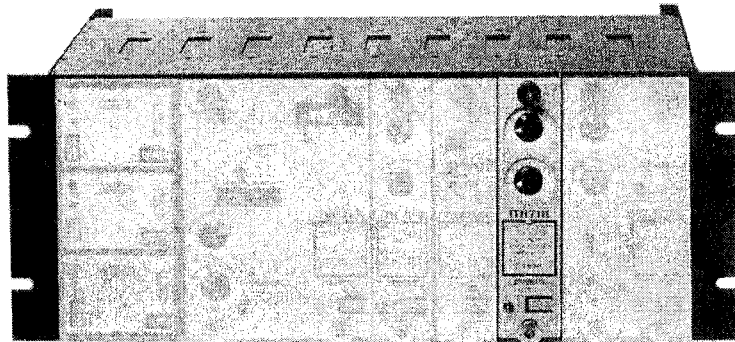
R1, R2 et R3 : relais homopolaires  
 Cx : capacité de fuite des câbles  
 C2 = 0,342 µF  
 C3 = 0,143 µF  
 C4 = 0,037 µF  
 C5 = 0,025 µF  
 C6 = 0,025 µF

DT6

relais  
sensibles  
à maximum  
de courant  
homopolaire  
alimentés  
par un TC tore

*sensitive  
zero sequence  
relays  
supplied  
from a ring CT*

**ITH 7111  
ITG  
7011/7111**



**CONTINENTALE  
D'EQUIPEMENTS  
ELECTRIQUES**

**DT7**

**relais  
sensibles  
à maximum  
de courant homopolaire  
alimentés par un TC tore  
ITH 7111 - ITG 7011  
et ITG 7111**

**sensitive  
zero sequence  
relays  
supplied  
from a ring CT  
ITH 7111 - ITG 7011  
and ITG 7111**

Ces trois types de relais sont destinés essentiellement à assurer la protection contre les défauts à la terre des équipements électriques, aussi bien réseaux que transformateurs ou machines tournantes.

Ces relais doivent être alimentés à partir d'un TC tore spécifique CEE, se présentant en modèle ouvrant ou non ouvrant et dont le diamètre peut être compris entre 25 et 245 mm.

Ils bénéficient de l'expérience exceptionnelle que nous avons acquise depuis de nombreuses années en matière de relais à éléments de mesure statiques, dans tous types d'installations tant en France que dans de nombreux pays du monde et sous toutes conditions climatiques.

Ces relais sont tous trois présentés en boîtier modulaire, type R1 ; leur raccordement extérieur étant identique.

Ce boîtier peut être indifféremment monté :

- soit comme relais séparé (saillie ou encastré),
- soit par insertion dans un panier rack au standard de 19" regroupant les protections.

*These three types of relays have been specifically designed for the protection of electrical equipment against zero sequence (earth or ground) faults, and are used for rotating machines, transformers, or throughout the network.*

*These relays must be supplied from a specific type of CEE ring transformer, of either the opening or non-opening type, and whose internal diameter may be in the range 25 to 245 mm.*

*They are the direct result of our exceptional experience with relays using static measuring elements, acquired over many years, in all types of installation in France and in many other countries throughout the world, and under all types of climatic conditions.*

*The relays are all supplied in a modular case type R1. The external wiring is the same for each.*

*This type of case may be mounted:*

- *either as a separate relay (projecting or flush mounted)*
- *or by insertion into a standard 19" rack cradle, grouping several protections.*

Type du relais <i>Type of relay</i>	Sensibilité minimale <i>Minimum sensitivity</i>	Temps de réponse <i>Operating time</i>
ITH 7111	1 A	Temps indépendant réglable <i>Adjustable independent time</i>
ITG 7011	7 A	Instantané <i>Instantaneous</i>
ITG 7111	7 A	Temps indépendant réglable <i>Adjustable independent time</i>

La désignation de chacun de ces types répond au code ci-après :

- I = grandeur caractéristique : courant
- T = éléments de mesure : transistorisé
- G-H = utilisation : G générale  
H homopolaire
- 7 = identification de la série en boîtier modulaire R
- 0-1 = caractéristiques de temps : 0 instantané  
1 indépendant
- 1 = nombre de mesures de la grandeur d'influence
- 1 = identification du type

*The different types are designated according to the following code:*

- I = characteristic quantity : current*
- T = measuring elements : transistorized*
- G-H = use : G general  
H zero sequence*
- 7 = identification of relays in the R type modular case*
- 0-1 = operating time characteristic : 0 instantaneous  
1 independent time*
- 1 = number of measuring units for the characteristic quantity*
- 1 = type identification*

**DT8**

## PRINCIPAUX AVANTAGES

Éléments de mesure statiques à faible consommation permettant la détection de faibles courants et assurant une bonne précision en seuil et en temporisation.

Capacité de surcharge très importante.

Deux contacts de sortie de forte puissance avec indicateur mécanique de fonctionnement à réarmement manuel.

Boîtier modulaire de très grande robustesse et d'encombrement réduit. Plaque de signalisation avec inscriptions symbolisées de type international.

Protection pour environnement sévère : chaleur humide, air salin, moisissures, termites.

Insensibilité aux secousses sismiques : essais à 5 g selon norme IEEE 344.

Conformité à la norme CEI 255-3 relative aux relais de mesure à temps indépendant spécifié.

Capacité de stockage à très basse température (vérification par le L.C.I.E. à  $-57^{\circ}\text{C}$ ).

## APPLICATIONS

L'ITH 7111 est plus particulièrement destiné à la protection homopolaire des réseaux à neutre fortement impédant ou à neutre isolé d'étendue suffisante. Dans ce dernier cas, sa haute sensibilité lui permet d'assurer une protection sélective du départ, à partir de la surveillance des courants capacitifs de circulation des câbles. Ceci suppose cependant que le courant capacitif propre du départ protégé soit suffisamment faible par rapport au courant capacitif total du réseau en service (dans le cas contraire, il faut faire appel à une protection directionnalisée type ITD 7112).

Sa temporisation incorporée permet de l'adapter à plusieurs échelons de sélectivité (sans recours à un relais de temps extérieur).

L'ITG 7111 peut être indifféremment utilisé pour la protection d'un départ, pour la protection générale au point neutre d'un réseau, et pour la protection masse-cuve d'un transformateur (on peut, dans ce dernier cas, utiliser l'ITG 7011).

La capacité de surcharge de ces relais permet leur emploi dans des réseaux à fort courant de court-circuit.

## MAJOR ADVANTAGES

*Static measuring elements with a very low burden on the transformers, and with high precision on pick-up level and time-delay.*

*Very high overload capacity.*

*Two high power output contacts with a hand reset mechanical operation indicator.*

*Very robust, small volume, modular case.*

*Nameplate with inscriptions using international symbols.*

*Protected against severe environments: heat and humidity, saline atmosphere, corrosion and mould, termites.*

*Insensitive to seismic shocks: tests at 5 g according to IEEE standard 344.*

*Conform to IEC standard 255-3 for independent specified time measuring relays.*

*May be stored at very low temperature (tests performed by the L.C.I.E. at  $-57^{\circ}\text{C}$ ).*

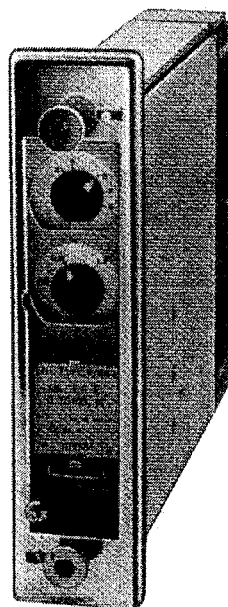
## APPLICATIONS

*The ITH 7111 has been specifically developed for protection of networks with high impedance earthed/grounded neutral or with an isolated neutral if the total network length is sufficient. In this latter case, its high sensitivity enables a selective protection to be ensured by measuring the capacitive currents flowing in the cables. This however imposes the limit that the feeder's own capacitive current is sufficiently low compared to that of the total network in operation. (In the event that this is not so, it is necessary to use a directional protection type ITD 7112).*

*Because of its incorporated time-delay, the ITG 7111 can be used for several selective zones without the use of any outside timer.*

*The ITG 7111 may be used equally well for feeder protection and general back-up protection on the neutral earthing/grounding point of a network, or for transformer tank protection (in this case, the ITG 7011 may be used).*

*These relays may be used in networks having high short-circuit currents, due to their very high overload capacity.*



ITH 7111  
montage encastré  
flush mounting

### MONTAGE

Indépendamment du montage encastré, dont la photo ci-contre montre un exemple de boîtier prévu à cet effet, tous les relais des séries ITH 7111 et ITG 7011/7111 peuvent être montés en saillie ou insérés dans un rack de 19".

### MOUNTING

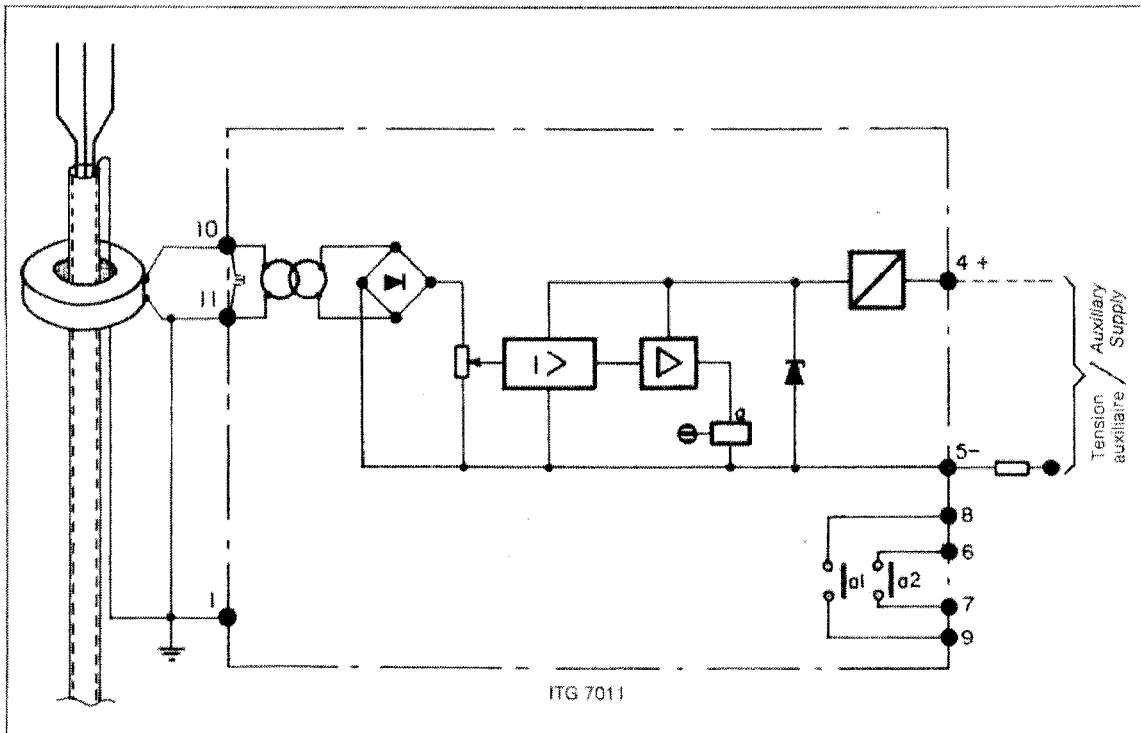
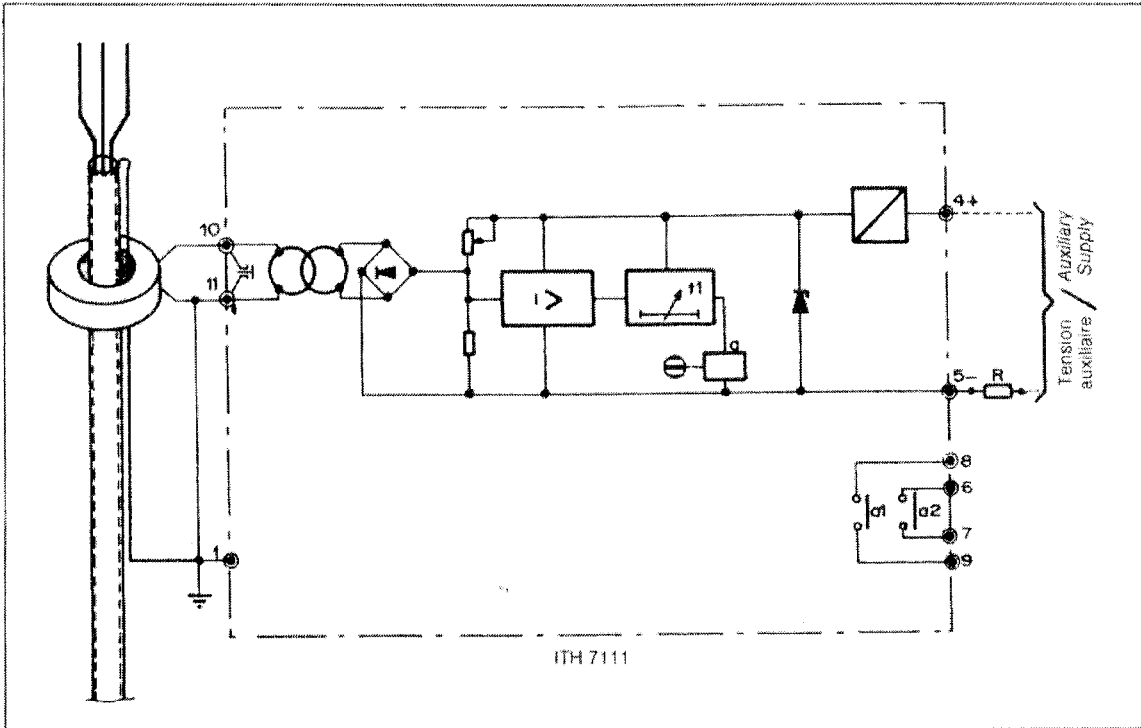
As well as flush mounting - the photograph opposite shows an example of a case equipped for this - all relays in the ITH 7111 and ITG 7011/7111 series may be projection mounted, or inserted into a 19" rack.

## CARACTÉRISTIQUES GÉNÉRALES

	ITG 7011/7111	ITH 7111
<b>1</b> Gammas de réglage en courant primaire du tore (réglage continu) .....	7 à 20 A ou 10 à 40 A	1 à 4 ou 3 à 8 A
<b>2</b> Gammas de réglage de temporisation (réglage continu) ..	0,1-1 s 0,3-3 s 1-10 s	0,1-04, s 0,3-1,2 s
<b>3</b> Indice de classe de précision aux valeurs de référence des facteurs d'influence :		
• en courant .....	5 %	8 %
• en temps .....	5 %	5 %
<b>4</b> Pourcentage de dégagement .....	> 95 %	> 95 %
<b>5</b> Dérive maximale à l'intérieur des domaines suivants :		
• température : - 5° à + 50° .....	} en courant : 6 % } en temps : 5 % ou 20 ms	} en courant : 10 % } en temps : 5 % ou 20 ms
• fréquence : $F_n \pm 5$ Hz .....		
• tension auxiliaire : 80 à 110 % de $U_n$ .....		
<b>6</b> Domaine de température pour lequel le fonctionnement du relais est garanti .....	- 10° à + 50 °C	- 10° à + 50 °C
<b>7</b> Surcharge (courant primaire du tore) :		
• 1s .....	20 000 A	20 000 A
• permanente .....	3 Ir	600 A
<b>8</b> Tension auxiliaire .....	24 ou 48 ou 60 ou 110 ou 125 ou 220 V CC + 10 % - 20 %  100 ou 110 ou 127 ou 220 V CA + 10 % - 20 % 50 ou 60 Hz	24 ou 48 ou 60 ou 110 ou 125 ou 220 V CC + 10 % - 20 %  100 ou 110 ou 127 ou 220 V CA + 10 % - 20 % 50 ou 60 Hz
• Consommation .....	4,5 W sous 125 V CC 4,8 VA sous 127 V CA	4,5 W sous 125 V CC 4,8 VA sous 127 V CA
<b>9</b> Contacts de sortie (ITG et ITH)	<i>En alternatif</i>	<i>En continu</i>
• pouvoir de fermeture .....	2500 VA avec max. de 10 A ou 500 V	2500 W avec max. de 10 A ou 500 V
• pouvoir de coupure .....	1250 VA avec max. de 5 A ou 500 V	100 W résistif ou 50 W inductif avec max. de 3 A ou 500 V
• courant de service continu .....	5 A	5 A
<b>10</b> Voyant mécanique à réarmement manuel .....	oui	oui
<b>11</b> Isolement (ITG et ITH) :		
- Tenue diélectrique :		
• Entre toutes les bornes réunies et la masse .....	2 kV - 50 ou 60 Hz pendant 1 minute	
• Entre les bornes entrées courant et toutes les autres bornes réunies .....	2 kV - 50 ou 60 Hz pendant 1 minute	
- Tenue à la tension de choc en mode commun et en mode différentiel .....	5 kV crête - 1,2/50 $\mu$ s selon classe III CEI 255-4 annexe E	
<b>12</b> Insensibilité aux perturbations haute fréquence (ITG et ITH)	2,5 et 1 kV - 1MHz selon classe III CEI 255-4 annexe E	
<b>13</b> Boîtier .....	R1	R1
<b>14</b> Schéma d'identification à utiliser pour toute commande ..	ITG 7011 : 8776 ITG 7111 : 8773	ITH 7111 : 8841
<b>15</b> Masse .....	2,5 kg	2,5 kg

# FONCTIONNEMENT/OPERATION

Exemples de schémas de fonctionnement simplifié et de raccordement  
Examples of simplified operation and connection diagrams



## IEC 60502-2 / NF C 33-220 3.6/6 (7.2) kV

Câbles HTA 3.6/6 kV cuivre ou aluminium

### Description

#### Utilisation

Le câble IEC 60502-2 est destiné à la distribution publique moyenne tension HTA 3.6/6 kV.

#### Description

Il est constitué de 1 conducteur de phase non armé ou de 3 conducteurs de phase non-armés.

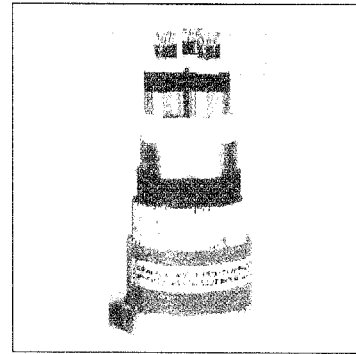
#### Isolation

Le procédé de réticulation du polyéthylène garantit :

- une excellente tenue à la température (90 °C)
- une grande résistance mécanique
- une excellente tenue aux courts-circuits (250 °C)
- une très bonne tenue au froid

#### Conditionnement

Tous types de tourets bois ou métal douvés ou non jusqu'à 3,40 m de diamètre et 12 t de poids total.



#### Normes

**Internationales** IEC 60228;  
IEC 60332-1; IEC 60502-2  
**Nationales** NF C 33-220

### Informations complémentaires






**Nous consulter pour toute autre variante de câbles.**

Hypothèse de calcul (pays tempérés):

- Température de l'air : 30°C
- Température du sol : 20°C
- Résistivité thermique du sol : 0.85 °K.m/W
- Profondeur de pose : 0.80 m

#### Contact

Nexans - Câbles de Réseaux de  
Distribution et de Branchement  
2-10 rue Mozart  
92587 Clichy  
France  
Téléphone: +33 1 5562 7151  
Eric.Francey@nexans.com

 Résistance mécanique aux chocs Bonne	 Flexibilité du câble Bonne	 Résistance aux intempéries Bonne	 Température ambiante d'installation, page -20 ... 60 °C	 Non propagateur de la flamme IEC 60332-1
--	--	--	---	---

Toutes les informations et les caractéristiques dimensionnelles et électriques affichées sur les documents commerciaux et les fiches techniques de Nexans ne sont données qu'à titre indicatif et ne sont pas contractuelles. Elles sont donc susceptibles de modification sans préavis.

## IEC 60502-2 / NF C 33-220 3.6/6 (7.2) kV

Câbles HTA 3.6/6 kV cuivre ou aluminium

### Description

#### Utilisation

Le câble IEC 60502-2 est destiné à la distribution publique moyenne tension HTA 3.6/6 kV.

#### Description

Il est constitué de 1 conducteur de phase non armé ou de 3 conducteurs de phase non-armés.

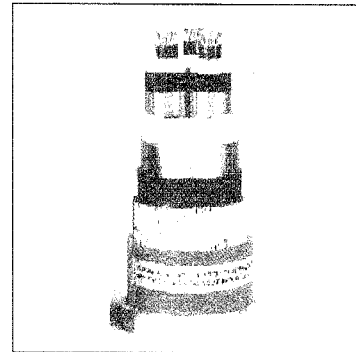
#### Isolation

Le procédé de réticulation du polyéthylène garantit :

- une excellente tenue à la température (90 °C)
- une grande résistance mécanique
- une excellente tenue aux courts-circuits (250 °C)
- une très bonne tenue au froid

#### Conditionnement

Tous types de tourets bois ou métal douvés ou non jusqu'à 3,40 m de diamètre et 12 t de poids total.



#### Normes

**Internationales** IEC 60228;  
IEC 60332-1; IEC 60502-2  
**Nationales** NF C 33-220

### Informations complémentaires






**Nous consulter pour toute autre variante de câbles.**

#### Hypothèse de calcul (pays tempérés):

- Température de l'air : 30°C
- Température du sol : 20°C
- Résistivité thermique du sol : 0.85 °K.m/W
- Profondeur de pose : 0.80 m

#### Contact

Nexans - Câbles de Réseaux de  
Distribution et de Branchement  
2-10 rue Mozart  
92587 Clichy  
France  
Téléphone: +33 1 5562 7151  
Eric.Francey@nexans.com

 Résistance mécanique aux chocs Bonne	 Flexibilité du câble Rigide	 Résistance aux intempéries Bonne	 Température ambiante d'utilisation -20 ... 60 °C	 Non propagateur de la flamme IEC 60332-1
--	---	--	---	--

Toutes les informations et les caractéristiques dimensionnelles et électriques affichées sur les documents commerciaux et les Fiches techniques de Nexans ne sont données qu'à titre indicatif et ne sont pas contractuelles. Elles sont donc susceptibles de modification sans préavis.



IEC 60502-2 / NF C 33-220 3.6/6 (7.2) kV

Caractéristiques

**Caractéristiques de construction**

Forme de l'âme	Circulaire
Flexibilité de l'âme	Câblée classe 2
Matière du semi-conducteur extérieur	Extrudé pelable
Isolation	XLPE or ERP
Matière du semi-conducteur intérieur	Semi-conducteur extrudé
Ecran	Ruban cuivre
Matière constituant l'étanchéité longitudinale	Aucune
Gaine extérieure	PVC
Couleur de la gaine	Rouge

**Caractéristiques électriques**

Tension de service nominale U <sub>0</sub> /U	3,6 / 6 kV
Résistivité thermique de l'isolant	3,5 °K.m/W
Permittivité relative de l'isolant	2,5
Facteur de pertes (tanδ maxi =)	40E-04

**Caractéristiques mécaniques**

Résistance mécanique aux chocs	Bonne
Flexibilité du câble	Rigide

**Caractéristiques d'utilisation**

Température maximale sur l'âme en court circuit	250 °C
Température maximale sur l'âme	90 °C
Résistance aux intempéries	Bonne
Anti-termite	Non
Température ambiante d'utilisation, plage	-20 .. 60 °C
Non propagateur de la flamme	IEC 60332-1

Caractéristiques des câbles mono-conducteurs

Sectio n mm <sup>2</sup>	Diam. conducteur mm	Diam. sur isolation mm	Diam. extérieur max. mm	Masse approx. kg/km	Rayon co urbure cours de pose mm	Rayon courbure min. utilisation statique mm	Capacité nom./phase µF / km	Inductanc e nom. mH/km	Résistanc e âme A. C 90°C - en tréfle Ohm/km
35	7,0	13,2	19,0	610	380,0	190,0	0,28	0,38	0,668
50	8,1	14,3	20,0	760	400,0	200,0	0,31	0,36	0,494
70	9,8	16,0	22,0	990	440,0	220,0	0,36	0,34	0,342
95	11,5	17,7	24,0	1260	480,0	240,0	0,41	0,32	0,247
120	12,8	19,0	26,0	1520	500,0	250,0	0,44	0,31	0,196
150	14,3	20,5	27,0	1810	540,0	270,0	0,48	0,3	0,159
185	15,9	22,1	29,0	2150	580,0	290,0	0,53	0,29	0,128
240	18,4	24,8	32,0	2780	640,0	320,0	0,57	0,29	0,098
300	20,5	27,7	35,0	3440	700,0	350,0	0,56	0,27	0,079
400	23,2	31,2	39,0	4340	780,0	390,0	0,58	0,27	0,063
500	26,2	34,6	43,0	5480	860,0	430,0	0,61	0,27	0,051

Toutes les informations et les caractéristiques dimensionnelles et électriques affichées sur les documents commerciaux et les fiches techniques de Nexans ne sont données qu'à titre indicatif et ne sont pas contractuelles. Elles sont donc susceptibles de modification sans préavis.

DT14

Tournez la page S.V.P.



**IEC 60502-2 / NF C 33-220 3.6/6 (7.2) kV**

Caractéristiques techniques des câbles 3 conducteurs

Sectio n mm <sup>2</sup>	Diam. conducteur mm	Diam. sur isolation mm	Diam. extérieur max. mm	Masse approx. kg/km	Rayon co urbure cours de pose mm	Rayon courbure min. utilisation statique mm	Capacité nom./phase μF / km	Inductanc e nom. mH/km	Résistanc e âme A. C 90°C - en trèfle Ohm/km
35	7,0	13,2	44,0	3330	620,0	310,0	0,28	0,43	0,668
50	8,1	14,3	47,0	3920	660,0	330,0	0,31	0,4	0,494
70	9,8	16,0	51,0	4880	720,0	360,0	0,36	0,39	0,342
95	11,5	17,7	56,0	6040	780,0	390,0	0,41	0,36	0,247
120	12,8	19,0	59,0	7050	820,0	410,0	0,44	0,36	0,196
150	14,3	20,5	63,0	8190	880,0	440,0	0,48	0,35	0,159
185	15,9	22,1	67,0	9550	940,0	470,0	0,53	0,34	0,128
240	18,4	24,8	73,0	12010	1020,0	510,0	0,57	0,33	0,098
300	20,5	27,7	80,0	14720	1120,0	560,0	0,56	0,31	0,079

## Limites normalisées des tensions harmoniques

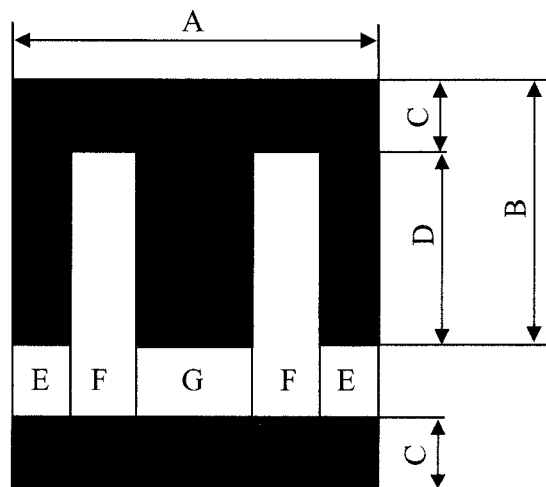
Harmoniques impairs non multiples de 3		Harmoniques impairs multiples de 3		Harmoniques pairs	
Rang harmonique n	Tension harmonique en %	Rang harmonique n	Tension harmonique en %	Rang harmonique n	Tension harmonique en %
5	6	3	5	2	2
7	5	9	1.5	4	1
11	3.5	15	0.3	6	0.5
13	3	21	0.2	8	0.5
17	2	>21	0.2	10	0.5
19	1.5			12	0.2
23	1.5			>12	0.2
25	1.				
>25	$0.2+0.5*25/n$				

DT16

## TOLES MAGNETIQUES

Dimensions en mm - qualités- poids spécifiques des tôles

Circuit	A	B	C	D	E	F	G
<b>15</b>	15	8	2	6	2	3.5	4
<b>19.2</b>	19.2	13.4	2.4	11	2.4	4.8	4.8
<b>25.6</b>	25.6	15.8	3.3	12.5	3.3	6.3	6.4
<b>30</b>	30	22	4	18	4	7	8
<b>32</b>	32	23.2	4.5	19	4.5	7	9
<b>38</b>	44	29	9	22	8	8	14
<b>44</b>	65.5	35	9	26	8.7	8.7	17.5
<b>60</b>	60	40	10	30	10	10	20
<b>75</b>	75	50	12.5	37.5	12.5	12.5	25
<b>84</b>	84	56	14	42	14	14	28
<b>96</b>	96	63.7	16	47.5	16	16	31.8
<b>108</b>	108	72	18	54	18	18	36
<b>126</b>	126	84	21	63	21	21	42
<b>150</b>	150	100	25	75	25	25	50
<b>180</b>	180	120	30	90	30	30	60
<b>240</b>	240	160	40	120	40	40	80
<b>300</b>	300	200	50	150	50	50	100
<b>360</b>	360	240	60	180	60	60	120
<b>420</b>	420	280	70	210	70	70	140
<b>480</b>	480	320	80	240	80	80	160
<b>540</b>	540	360	90	270	90	90	180



DT17

