

Éléments de correction

Partie A : ALIMENTATION H.T.A

A1 - Boucle et cellules H.T.A :

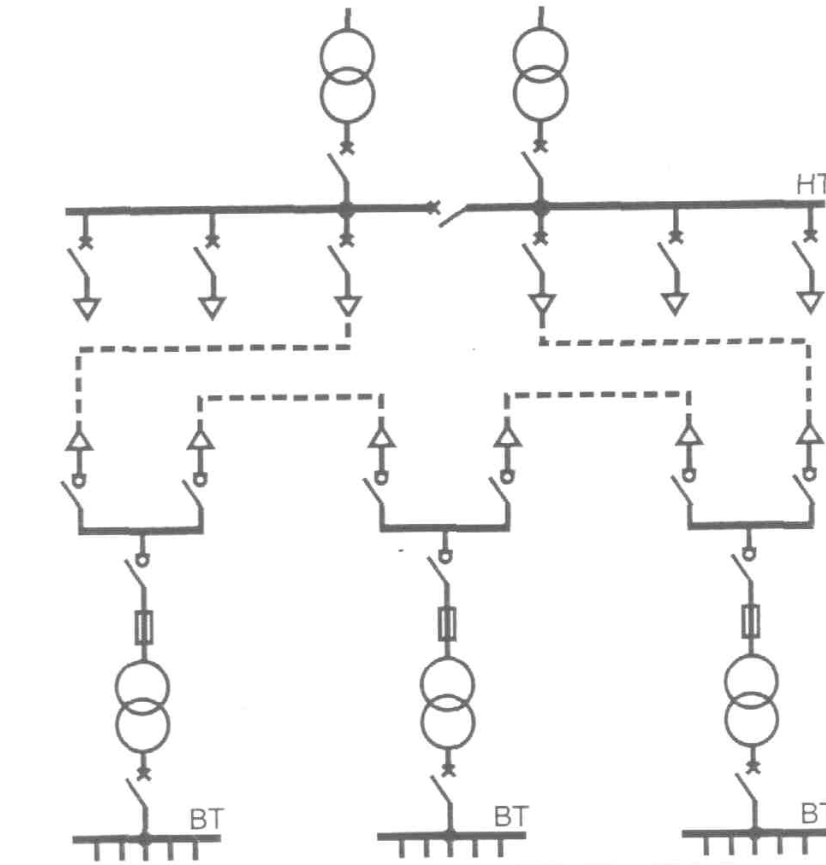
A11 - Domaines de tension en courant alternatif :

T.B.T. :			Un	≤	50 V.
B.T.A :	50 V	<	Un	≤	500 V
B.T.B :	500 V	<	Un	≤	1 000 V
H.T.A :	1 000 V	<	Un	≤	50 000 V
H.T.B :	50 000 V	<	Un		

A12 - Principales structures :

simple dérivation ou en antenne,
double dérivation,
boucle ou coupure d'artère.

- Schéma en coupure d'artère :



- L'alimentation du poste est insérée en série sur la ligne du réseau de distribution H.T.A et comprend le passage de cette ligne. Le poste comporte 3 cellules H.T.A : 2 cellules " arrivée " et 1 cellule " départ et protection générale ".

Ce schéma permet de bénéficier d'une alimentation fiable à partir de 2 postes " source " ou de 2 départs H.T., ce qui limite le temps d'interruption en cas de défaut sur le réseau. Ce schéma est préconisé pour les réseaux souterrains assez étendus alimentant une série de charges réparties le long de la boucle et nécessitant une bonne continuité d'alimentation.

- Boucle ouverte : chaque poste H.T./B.T. est connecté à la boucle par 2 interrupteurs. Tous les interrupteurs en série de la boucle sont normalement fermés, sauf un, au point où la boucle est ouverte. Les protections, dans ce schéma, sont simples. La charge accepte une coupure.
- Boucle fermée : chaque poste H.T./B.T. est alimenté simultanément par les 2 extrémités de la boucle. Les interrupteurs sont remplacés par des disjoncteurs. Les protections sont plus compliquées. La charge n'accepte pas de coupure.
- Protections de la boucle :
 - Protection à maximum de courant à chaque extrémité de la boucle,
 - Signalisation de défaut au niveau de l'interrupteur de la boucle,
 - Protection sélective de chaque poste H.T./B.T. avec celles de la boucle.

A13 - S.L.T. des réseaux H.T.A :

- Neutre direct à la terre,
- Neutre à la terre par réactance,
- Neutre à la terre par réactance accordée,
- Neutre à la terre par résistance,
- Neutre isolé de la terre.

- Neutre à la terre par résistance :

- Limite les courants de défaut à la terre,
- Limite les surtensions,
- Facilite la détection des défauts et la sélectivité des protections,
- Mais coupure au premier défaut d'isolement.

- Neutre accessible :

Mise à la terre directement par une résistance, par l'intermédiaire d'un transformateur monophasé chargé au secondaire par une résistance.

- Neutre inaccessible :

Par générateur homopolaire (neutre artificiel).

A14 - Câble H.T.A : Résistance $R_c = 0,206 \times 0,630 \approx 0,13 \Omega$.

Réactance X_c : $d = \sqrt{4s/\pi} = 13,82 \text{ mm}$

$a_m = \sqrt[3]{2} \times a = 40,95$

$a_m/d = 2,96 \Rightarrow L = 0,4 \text{ mH / km}$

$L_c = 0,4 \times 0,630 = 0,252 \text{ mH}$

$X_c = L_c \times \omega = 0,079 \Omega$.

A15 - Tableau modulaire H.T. :

$S_{cc} = 250 \text{ MVA} \Rightarrow I_{cc} = S_{cc} / (\sqrt{3} U_1) = 9,6 \text{ kA} \rightarrow I_{cc} (\text{cellules}) = 12,5 \text{ kA}$.

Boucle " normal " : 2 cellules I M 400 - 24 - 12,5, 1 cellule Q M 400 - 24 -12,5,

Boucle " secours " : 2 cellules I M 400 - 24 -12,5, 1 cellule Q M 400 - 24 -12,5.

A16 - Fusibles de la cellule de protection du transformateur :

$S_n = 1\,000 \text{ kVA}$, $U_n = 15 \text{ kV} \rightarrow$ fusibles " Soléfuse " 63 A.

A2 - Transformateur TR1 :

A21 Voir document réponse 1.

A22 Voir document réponse 2.

A23 - Grandeurs électriques caractéristiques :

S_n : puissance assignée en kVA,

U_{20} : tension BT assignée à vide,

U_{cc} : tension de court-circuit exprimée en % de la tension primaire U_1 ,

P_{cu} : pertes dues à la charge.

- Impédance, résistance et réactance :

$$Z_{tr} = (U_{20}^2 / S_n)(U_{cc} / 100) = 8,4 \text{ m}\Omega$$

$$R_{tr} = P_{cu} \times U_{20}^2 / S_n^2 = 2 \text{ m}\Omega$$

$$X_{tr} = \sqrt{Z_{tr}^2 - R_{tr}^2} = 8,16 \text{ m}\Omega.$$

A24 - Chute de tension interne :

$$\Delta U = \sqrt{3} I_{2n} (R_{tr} \cos \varphi + X_{tr} \sin \varphi),$$

$$I_{2n} = S_n / (\sqrt{3} U_{20}) = 1\,408 \text{ A}$$

$$\Delta U = 15,84 \text{ V et } \Delta U / U = 3,96 \% \text{ très peu différent de } 3,93 \%$$

Les valeurs de R_{tr} et X_{tr} calculées sont donc convenables.

A3 - Fusibles H.T.A:

A31 - Caractéristiques des fusibles :

I_n : Courant assigné qui parcourant l'élément fusible provoque des échauffements n'excédant pas les valeurs normalisées. Le coupe-circuit peut supporter en permanence I_n sans dommage.

I_3 : Courant minimal de coupure. Pour des valeurs inférieures à I_3 , le fusible fond mais peut ne pas couper. Il faut donc éviter de solliciter le fusible dans la zone $I_n - I_3$.

I_1 : Pouvoir de coupure maximal. Courant présumé de défaut, le plus élevé, que le fusible peut interrompre. Il est donc nécessaire de s'assurer que le courant de court-circuit du réseau est au plus égal à I_1 du fusible installé.

A32 - La mise sous tension d'un transformateur se traduit par un régime transitoire, plus ou moins important, suivant l'instant d'application de la tension et l'induction rémanente dans le circuit magnétique. L'asymétrie et la valeur du courant sont maximales lorsque l'établissement a lieu au zéro de tension et lorsque l'induction rémanente est maximale.

$$I_{\text{appel crête}} = 10 I_{1n}$$

$$I_{1n} = S_n / (\sqrt{3} U_1) = 38,5 \text{ A}$$

$$I_{\text{appel crête}} = 385 \text{ A.}$$

$$I_{1cc} = I_{1n} 100 / U_{cc} = 770 \text{ A.}$$

A33 - Conditions imposées aux fusibles :

$U_n > U_{\text{réseau}}$,

$I_1 > I_{cc3}$ courant de court-circuit triphasé présumé du réseau au point où est installé le fusible,

Le fusible doit supporter sans fusion, le courant de crête qui accompagne la mise sous tension du transformateur : I_{fusion} au bout de 0,1 s $> I_{\text{appel crête}}$,

Le fusible doit supporter le courant de service continu I_{1n} et les surcharges éventuelles du transformateur : $I_n (\text{fusible}) > 1,3 I_{1n}$,

Le fusible doit couper les courants de défaut résultant d'un court-circuit aux bornes du secondaire du transformateur : $I_3 < I_{1cc}$.

- Vérification de la validité du fusible retenu :

$$\text{fusibles : } U_n = 24 \text{ kV} \quad > \quad U_{\text{réseau}} = 15 \text{ kV}$$

$I_1 = 30 \text{ kA}$	$>$	$I_{cc3} < S_{cc} / (\sqrt{3} U_1) = 9,6 \text{ kA}$
If au bout de 0,1 s = 580 A	$>$	I appel crête = 385 A
$I_n = 63 \text{ A}$	$>$	$1,3 I_n = 1,3 \times 38,5 = 50 \text{ A}$
$I_3 = 283 \text{ A}$	$<$	$I_{1cc} = 770 \text{ A}$

A34 - Habilitation : c'est la reconnaissance, par son employeur, de la capacité d'une personne à accomplir en sécurité les tâches fixées. L'habilitation n'est pas directement liée à la classification professionnelle. L'habilitation est matérialisée par un document établi par l'employeur et signé par l'employeur et par l'habilité.

- Symboles d'habilitation :

HC : H : caractérise les ouvrages du domaine H.T.,
C : indique le titulaire peut procéder à des consignations.
H2V : H: caractérise les ouvrages du domaine H.T.,
2 : désigne un chargé de travaux,
V : indique que le titulaire peut travailler au voisinage de pièces nues sous tension.

- Consignation électrique :

- 1) séparation de l'ouvrage des sources de tension,
- 2) condamnation, en position d'ouverture, des organes de séparation.
- 3) identification de l'ouvrage sur le lieu de travail,
- 4) vérification d'absence de tension immédiatement suivie, dans les cas prévus, de la mise à la terre et en court-circuit.

Partie B : DISTRIBUTION B.T.A

B1 - Protection des personnes. Schéma des Liaisons à la Terre :

B11 - Contact indirect : contact avec une masse mise accidentellement sous tension à la suite d'un défaut d'isolement.

Mesures de protection :

- Sans coupure de l'alimentation :

emploi T.B.TS., T.B.T.P.,
séparation électrique des circuits,
emploi matériel de classe II,
isolation supplémentaire,
éloignement ou interposition d'obstacles,
liaisons équipotentielles locales et mise à la terre.

- Avec coupure automatique de l'alimentation:

interconnexion de toutes les masses et de tous les éléments conducteurs accessibles,
mise hors tension automatique au premier ou au deuxième défaut d'isolement suivant le S.L.T., dès que $U_c > U_{limite}$ et dans un temps inférieur à celui préconisé par la norme.

B12 - Schéma : I. T. R.

I : neutre du transformateur isolé de la terre ou impédant par rapport à la terre.
T : masses d'utilisation directement raccordées à la Terre.
R : Interconnexion des prises de terre des masses du poste de transformation, de l'impédance du neutre et des masses d'utilisation.

- Neutre impédant : une impédance de l'ordre de 1 000 à 2 000 Ω est intercalée entre le point neutre du transformateur et la terre. Cette impédance sert à fixer le potentiel du réseau par rapport à la terre. Elle diminue le niveau des surtensions mais augmente légèrement le courant de premier défaut.

B13 - Schéma : I. T. :

- Technique de protection :
interconnexion et mise à la terre des masses,
signalisation du premier défaut par C.P.I., coupure au deuxième défaut par dispositif de protection contre les surintensités.

- Technique d'exploitation :
surveillance du premier défaut d'isolement,
recherche et élimination obligatoire du premier défaut,
coupure automatique en présence de 2 défauts d'isolement simultanés.

- Contraintes particulières et avantage :
utilisation uniquement dans les installations alimentées par un transformateur privé,
nécessite un bon niveau d'isolement de l'installation,
nécessite un personnel d'entretien pour la surveillance et l'exploitation,
impose la vérification des conditions de déclenchement pour 2 défauts simultanés,
assure la meilleure continuité de service en exploitation.

B14 - Contrôleur permanent d'isolement :

Le C.P.I. surveille la valeur de la résistance d'isolement du réseau.

Il fonctionne sur le principe de l'injection entre le réseau et la terre d'un courant alternatif basse fréquence ou continu dont il mesure la valeur ; si celle-ci passe au dessus d'un seuil préétabli, le C.P.I. signale le défaut.

- Localisateur de défaut :

Ce dispositif permet d'effectuer la recherche du premier défaut d'isolement pour réparation. La solution consiste à injecter un courant identifiable (le générateur peut être le C.P.I.), puis au moyen de capteurs associés à un amplificateur accordé à la fréquence du courant injecté, de localiser le défaut.

- Limiteur de surtension :

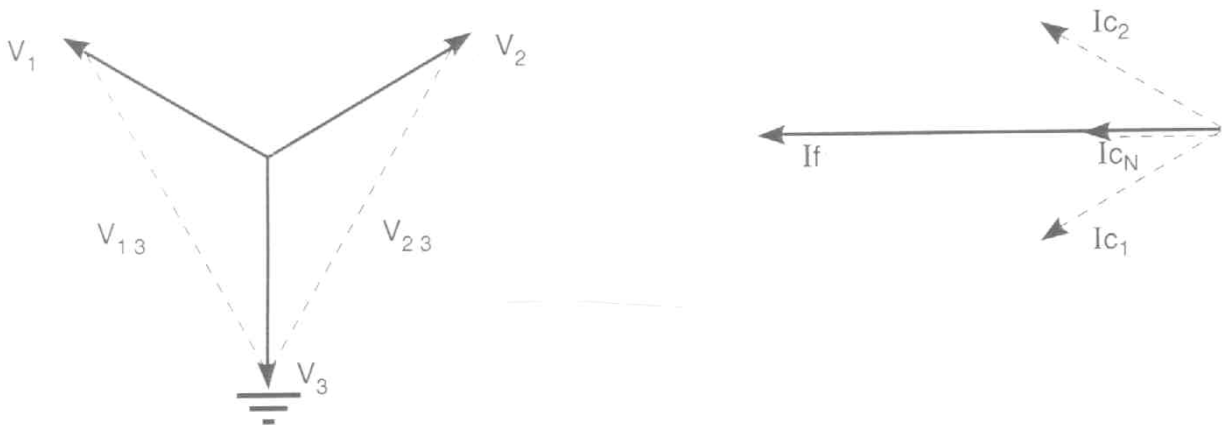
Limite les surtensions sur le réseau B.T., lors d'un claquage H.T. / B.T. dans le transformateur, de manœuvres d'appareillage H.T. ou à la suite d'un coup de foudre. Il est raccordé entre un conducteur actif (souvent le neutre) et la terre. Sa tension d'amorçage est adaptée à la tension du réseau. Lors d'un amorçage du limiteur, le réseau passe alors à neutre direct à la terre.

B15 - Diagrammes vectoriels des tensions du réseau et des courants de fuite à la terre :

$$\underline{I_{C1}} = j C_f \omega \underline{V_{13}}$$

$$\underline{I_{C2}} = j C_f \omega \underline{V_{23}}$$

$$\underline{I_{cn}} = j C_f \omega \underline{V_{n3}}$$



$$I_f = C_f \omega (U_0 \sqrt{3} \sqrt{3}/2 + U_0 \sqrt{3} \sqrt{3}/2 + U_0) = 4 C_f \omega U_0 = 28,9 \text{ mA.}$$

$$U_c = R_{PAB} \times I_f = 0,029 \text{ V.}$$

Cette tension de contact est très inférieure à $U_{\text{limite}} = 50 \text{ V}$. Elle est donc inoffensive.

B16 - Démonstration de la relation : $L_{\text{max}} = 0,8 U_0 s_{PH} / (2 \rho (1 + m) I_m)$:

$$I_m < 0,8 U_0 / (2 (R_{PH} + R_{PE}))$$

$$R_{PH} = \rho l / s_{PH} \quad \text{et} \quad R_{PE} = \rho l / s_{PE}$$

$$R_{PH} + R_{PE} = \rho l (1 / s_{PH} + 1 / s_{PE}) = \rho l (1 + m) / s_{PH}$$

$$I_m < 0,8 U_0 s_{PH} / (2 \rho l (1 + m))$$

$$L_{\text{max}} = 0,8 U_0 s_{PH} / (2 \rho (1 + m) I_m).$$

- Solutions possibles quand la longueur du départ dépasse L_{max} :
 installer un disjoncteur à réglage magnétique bas,
 augmenter la section des conducteurs,
 réaliser des liaisons équipotentielle supplémentaires,
 installer un D.D.R. basse sensibilité.

B2 - Disjoncteurs " source " DN1, DS1 et DS2 :

B21 - Analyse du schéma :

Le verrouillage mécanique entre DS1 et DS2 interdit la marche en parallèle des transformateurs TR1 et TR2.

DN1 permet l'alimentation des départs " normaux " par TR1,

DS1 permet l'alimentation des départs " secours " par TR2,

DS2 permet l'alimentation des départs " secours " par TR1 lors d'un problème en amont de DS1.

Lorsque DN1 et DS2 sont enclenchés en même temps, le transformateur TR1 peut se retrouver en surcharge. Il est possible de disposer des capteurs de courant en amont de DN1 et de DS2 agissant en cas de surcharge de TR1 sur DN1.

B22 - Caractéristiques d'un disjoncteur :

U_e : tension sous laquelle l'appareil peut être utilisé,

I_n : valeur maximale du courant ininterrompu que peut supporter un disjoncteur en respectant les limites de température prescrites.

I_r : valeur maximale du courant que peut laisser passer le disjoncteur sans déclenchement.

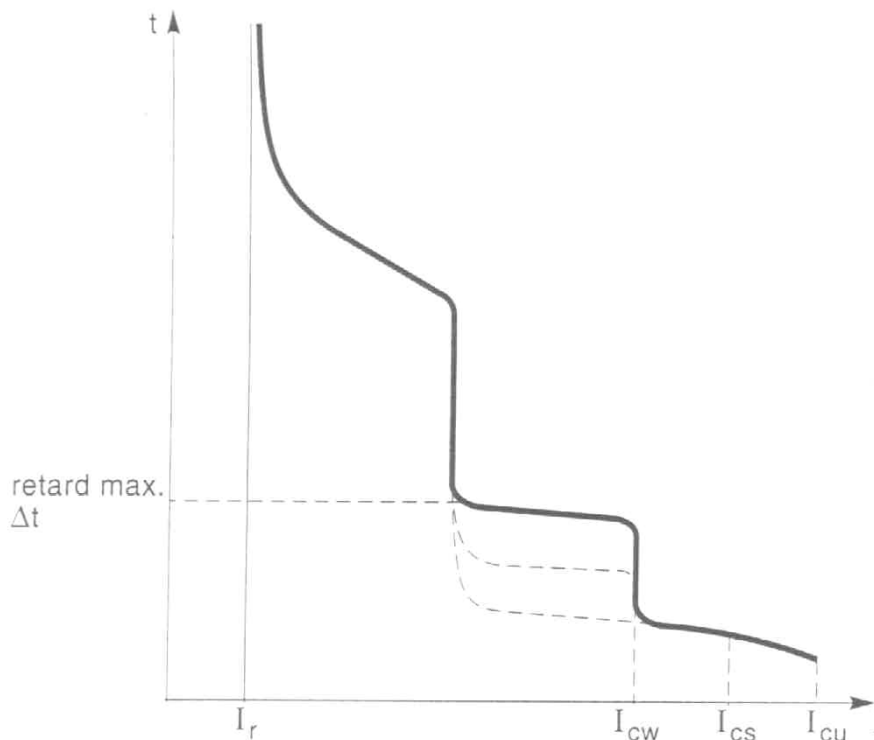
I_{cu} : plus grande intensité de courant de court-circuit (courant présumé) qu'un

disjoncteur peut interrompre sous une tension donnée et un $\cos\phi$ donné.

I_{cs} : un disjoncteur n'intervient pas en général, à son pouvoir de coupure maximal I_{cu} . Les normes ont défini une nouvelle caractéristique I_{cs} généralement exprimée en % de I_{cu} .

I_{cw} : courant maximal que peut supporter un disjoncteur de catégorie B pendant un temps donné par le constructeur. Un disjoncteur de la catégorie B est un disjoncteur pour lequel il est possible de retarder volontairement le déclenchement sur court-circuit de valeur inférieure à I_{cw} .

- Courbe type $t(I)$ d'un disjoncteur :



B23 - Voir document réponse 3.

B24 - Disjoncteurs " source " DN1, DS1 et DS2 :

$$I_{2n}(\text{transformateur}) = S_n / (\sqrt{3} U_{20}) = 1\,408 \text{ A} \rightarrow I_n(\text{disjoncteur}) = 1\,600 \text{ A.}$$

$$I_{cc3} = 23,3 \text{ kA} \rightarrow I_{cu} = 40 \text{ kA}$$

$$\rightarrow \text{disjoncteur M16 N1}$$

-Protection long retard : réglage $1\,408 / 1\,600 = 0,88$ soit $I_o \rightarrow 1$ et $I_r \rightarrow 0,88$.

-Protection court retard : voir document réponse 4.

Réglages $I_m \leq 6 I_r$ et temporisation cran sur 0 ou 1.

Justification : La construction de la courbe $t(I)$ du fusible 63 A, (l'intensité étant ramenée au secondaire du transformateur dans le rapport $15\,000 / 410$, sur le réseau de caractéristiques du déclencheur STR38S montre que la limite du réglage du déclencheur court-retard se situe à $8 I_r$.

En tenant compte de la marge de précision de 1,35 $\rightarrow I_m \leq 6 I_r$.

La construction de la verticale $I_{cc3} = 23 \text{ kA}$ montre que la temporisation doit être réglée sur le cran 0 ou 1.

B3 – Disjoncteurs principaux :

B31 Caractéristiques générales :

- Sectionnement à coupure pleinement apparente :

La position de sectionnement correspond à la position O (off). La poignée ne peut indiquer la position O et le verrouillage n'est possible que si les contacts sont effectivement séparés.

- Appareil débrochable :

Ce terme indique qu'il est possible d'extraire ou de remplacer rapidement le disjoncteur sans accéder aux pièces sous tension. L'appareil débroché réalise alors un sectionnement à coupure visible.

- Isolation classe II :

L'isolation entre la face avant et tous les circuits internes est double ou renforcée.

- Commutateur de protection du neutre :

.4P 3d : 4 pôles dont 3 protégés à I_r , le pôle neutre n'est pas protégé,
.4P 3d Nr : 4 pôles dont 3 protégés à I_r , le pôle neutre est protégé à $0,5 I_r$,
.4P 4d : 4 pôles protégés à I_r .

B32 Sélectivité des disjoncteurs :

- Il y a sélectivité des protections, si un défaut survenant en un point quelconque du réseau est éliminé par l'appareil de protection placé immédiatement du défaut et lui seul.
- La sélectivité est totale si, et seulement si, quelle que soit la valeur du courant du défaut, seul le dispositif de protection situé le plus en aval parmi ceux sollicités par le défaut, s'ouvre et reste ouvert.
- Les techniques mises en œuvre sont :
 - la sélectivité ampèremétrique,
 - la sélectivité chronométrique,
 - la sélectivité logique,
 - la sélectivité énergétique ...

B33 - Le pouvoir de limitation traduit la capacité d'un disjoncteur à ne laisser passer sur court-circuit qu'un courant inférieur au courant de défaut présumé.

- Les avantages de la limitation :
 - meilleure protection des réseaux,
 - réduction des effets thermiques, mécaniques et électromagnétiques,
 - ralentit le vieillissement de l'installation,
 - économies importantes sur la réalisation de l'installation lors de la mise en œuvre de la technique de filiation.

B34 - La technique de filiation consiste à utiliser le pouvoir de limitation de disjoncteurs amonts, pour installer en aval des disjoncteurs moins performants et donc plus économiques. Le disjoncteur amont joue alors le rôle de barrière pour les forts courants de court-circuit. Il permet l'installation en aval de disjoncteurs ayant un pouvoir de coupure très inférieur au courant de court-circuit présumé.

- Conditions de mise en œuvre :

Le disjoncteur limiteur amont doit avoir un pouvoir de coupure au moins égal au courant de court-circuit présumé au point où il est installé.

La norme NF C 15-100 autorise la filiation, à condition que l'énergie que laisse passer le disjoncteur amont ne soit pas supérieure à celle que peuvent supporter

les disjoncteurs aval. Les associations possibles sont données par les constructeurs.

B4 – Alimentation de la climatisation de l'aile E :

B41 - Calibre disjoncteur DN123 :

$$I_B \text{ (dans le câble)} = P / (\sqrt{3} U \cos\varphi) = 32\,000 / (\sqrt{3} \times 400 \times 0,8) = 57,7 \text{ A}$$

→ In disjoncteur = 63 A

B42 – Détermination de la section des conducteurs :

Câble multipolaire sur chemin de câbles	→	lettre E,
Facteur de correction k_1 : E	→	$k_1 = 1$
Facteur de correction k_2 : E, tablette perforée, 4 circuits	→	$k_2 = 0,77$
Facteur de correction k_3 : 40°C et isolation PR	→	$k_3 = 0,91$
Courant équivalent dans le câble : $I_z' = I_n \text{ (disjoncteur)} / (k_1 k_2 k_3) = 63 / 0,7 = 90 \text{ A}$.		
section minimale des conducteurs : E, PR3, Alu, 90 A (98 A) → $s = 25 \text{ mm}^2$.		

B43 - Chute de tension dans le câble :

$$\Delta U = \sqrt{3} I_B (R \cos\varphi + X \sin\varphi)$$

$$R = \rho l / s = 36 \times 115 / 25 = 165,6 \text{ m}\Omega$$

$$X = 0,08 \times 115 = 9,2 \text{ m}\Omega$$

$$\Delta U \text{ (dans le câble)} = \sqrt{3} \times 57,7 ((0,1656 \times 0,8) + (0,0092 \times 0,6)) = 13,8 \text{ V}$$

$$\Delta U \text{ totale depuis origine installation BT} = 0,8 \text{ V} + 13,8 \text{ V} = 14,6 \text{ V}$$

$$\Delta U / U = 14,6 / 400 = 0,0365 \text{ soit } 3,65 \%$$

Cette valeur est inférieure aux 8 % tolérés par la norme, la section retenue pour le câble convient.

B44 - Calcul du courant de court-circuit triphasé I_{cc3} en DN123 :

.Résistance totale : $R_T = 2,6 \text{ m}\Omega$,

.Réactance totale : $X_T = 10,85 \text{ m}\Omega$,

.Impédance totale : $Z_T = \sqrt{R_T^2 + X_T^2} = 11,16 \text{ m}\Omega$

.Courant de court-circuit : $I_{cc3} = U_{20} / (\sqrt{3} Z_T) = 22,12 \text{ kA}$.

B45 - Calcul du courant de court-circuit monophasé I_{cc1} à l'extrémité du câble :

$$I_{cc1} = 0,8 \times U_0 / (R_{PH} + R_N) = 0,8 \times 230 / (0,1656 + 0,1656) = 555 \text{ A}$$

B46 - Disjoncteur DN123 :

$$I_B \text{ (dans le câble)} = 57,7 \text{ A} \rightarrow \text{disjoncteur : C 60 N (63 A)}$$

$$\text{C 60 N (4P 4d) a un } I_{cu} \text{ de } 10 \text{ kA} < I_{cc3} = 22,12 \text{ kA, mais C 60 N utilisé en}$$

filiation avec NS 250 N a un I_{cu} de 25 kA > 22,12 kA

le disjoncteur C 60 N convient.

Le disjoncteur C 60 N est équipé d'un déclencheur magnétothermique :

courbe B → déclenchement I_m entre 3 et 5 I_r

courbe C → déclenchement I_m entre 7 et 10 I_r

courbe D → déclenchement I_m entre 10 et 14 I_r

Calcul du déclenchement le plus défavorable :

$$\text{courbe B : } I_m = 5 \times 63 = 315 \text{ A}$$

$$\text{courbe C : } I_m = 10 \times 63 = 630 \text{ A}$$

$$\text{courbe D : } I_m = 14 \times 63 = 882 \text{ A}$$

Le disjoncteur doit déclencher pour un courant de court-circuit monophasé de 555 A,

donc seule la courbe B convient.

B47 - Calcul de la longueur maximale du câble protégé par un C 60 N courbe B:

$$L_{\max} = 0,8 U_0 s_{PH} / (2 \rho (1 + m) I_m)$$

$$m = s_{PH}/s_{PE} = 25/50 = 0,5 \text{ et dans le cas le plus défavorable } I_m = 315 \text{ A.}$$

$$L_{\max} = 0,8 \times 230 \times 25 / (2 \times 0,036 \times 1,5 \times 315) = 134 \text{ m.}$$

La longueur de la canalisation de 115 m est inférieure à la longueur maximale tolérée de 134 m.

La protection des personnes est assurée dans tous les cas.

La section des conducteurs de 25 mm² convient.

B5 – Compensation de l'énergie réactive :

B51 - Facteur de puissance :

Le facteur de puissance est le quotient de la puissance active consommée par l'installation sur la puissance apparente fournie à l'installation.

Le cosφ ne prend pas en compte la puissance véhiculée par les harmoniques. Il est le facteur de puissance de la composante 50 Hz de l'énergie fournie par le réseau.

B52 - L'amélioration du facteur de puissance permet :

La suppression des consommations excessives d'énergie réactive facturée du 1^{er} novembre au 31 mars,

Une augmentation de la puissance active disponible au secondaire du transformateur de distribution,

L'optimisation de l'installation en amont des condensateurs : diminution de la section des câbles, diminution des pertes en ligne, réduction de la chute de tension ...

B53 - Différents types de compensation :

Condensateurs " fixes " :

Des condensateurs de puissance unitaire constante s'utilisent aux bornes du T.G.B.T., sur jeu de barres, aux bornes de récepteurs inductifs dans le cas où la fluctuation de la charge est faible.

Cette solution est retenue quand la puissance des condensateurs est inférieure à 15 % de la puissance du transformateur.

Batterie de condensateurs à régulation automatique :

Des batteries de condensateurs divisées en gradins permettent d'ajuster en permanence la compensation. La valeur du cosφ est détectée par un relais varométrique qui commande automatiquement l'enclenchement et le déclenchement des gradins en fonction de la charge et du cosφ désiré.

Ce type d'équipement est utilisé aux bornes du T.G.B.T ou sur les " gros " départs dans le cas où la puissance consommée varie dans des proportions importantes.

Ce type de compensation évite le renvoi d'énergie réactive sur le réseau et les surtensions qui en découlent.

B54 - Le mode de compensation utilisé est le mode global.

La batterie raccordée sur le jeu de barres principal du T.G.B.T., assure la compensation pour l'ensemble de l'installation " normale ".

Ce mode de compensation est justifié car la puissance des condensateurs, 100 kVAR, est inférieure à 15 % de la puissance du transformateur de 1 000 kVA .

Ce mode de compensation augmente la puissance disponible au secondaire du transformateur, diminue le courant en ligne H.T.A, évite les pénalités pour consommation excessive d'énergie réactive.

B55 - Calcul du $\cos\phi$:

$$Q = P (\tan\phi - \tan\phi') \quad \text{avec } \phi \text{ avant compensation}$$

$$\phi' \text{ après compensation.}$$

$$\tan\phi' = \tan\phi - Q/P = 0,62 - 100/544 = 0,436 \rightarrow \cos\phi' = 0,92.$$

Ces condensateurs compensent l'énergie réactive consommée par l'installation en aval de TR1 (franchise EDF pour $\cos\phi > 0,928$), mais ne tiennent pas compte de l'énergie réactive consommée par le transformateur TR1. Cette compensation est donc insuffisante.

B56 - Courants dans la batterie de condensateurs :

Courant capacitif : $I_{\text{capa}} = Q / (\sqrt{3} U) = 144,3 \text{ A}$

Courant de crête de fermeture :

$$I_e = U \sqrt{2/3} \sqrt{C/L_0}$$

Remarque : relation valable pour une batterie de condensateurs montés en étoile. Pour un montage en triangle des condensateurs, le courant de crête de fermeture devrait être multiplié par $\sqrt{3}$.

$$I_e = I_{\text{capa}} \sqrt{2} \sqrt{S_{\text{cc}} / Q}$$

$$S_{\text{cc}} = U^2 / (L_0 \omega) = \sqrt{3} U I_{\text{cc}} = \sqrt{3} 400 23800 = 16,486 \text{ MVA}$$

$$Q = U^2 C \omega = 100 \text{ kVAR}$$

$$I_{\text{capa}} = Q / (\sqrt{3} U) = 144,3 \text{ A}$$

$$\Rightarrow I_e = I_{\text{capa}} \sqrt{2} \sqrt{S_{\text{cc}} / Q} = 2 620 \text{ A}$$

Le courant de fermeture est limité à moins de 20 fois le courant normal par l'inductance amont du réseau. Il n'est donc pas nécessaire d'insérer une self de choc en série avec les condensateurs.

DOCUMENT RÉPONSE 1

Question A21

Signification du sigle E.R.T. :

E : cuve Étanche
R : à Remplissage
T : Total

Signification du sigle O.N.A.N. :

O :	Refroidissement interne	O :	Huile minérale
N :		N :	Circulation naturelle
A :	Refroidissement externe	A :	Air
N :		N :	Circulation naturelle

Signification du Sigle D.G.P.T.2 :

D : Détecteur
G : Gaz
P : Pression
T.2 : Température 2 niveaux

Technologie E.R.T., particularités de construction :

La technique de remplissage total sans matelas gazeux des cuves étanche évite toute oxydation du diélectrique. La dilatation du diélectrique est compensée par la déformation élastique des parois ondulées de la cuve.

Avantages de la technologie E.R.T. :

- Économie d'achat et d'entretien,
- Grande facilité de raccordement,
- Réduction des servitudes d'entretien.

Fonctions du D.G.P.T.2 :

- Protection contre les défauts internes et les surintensités.
- Détection d'un dégagement gazeux et de la baisse du niveau du diélectrique.
- Détection de la pression interne.
- Détection de l'augmentation de température (2 seuils).

Actions du D.G.P.T.2 :

- Contre les défauts internes :

Par déclenchement, coté H.T., sur baisse du niveau du diélectrique ou sur surpression interne.

- Contre les surintensités :

Par signalisation sur élévation de température premier seuil et déclenchement, coté B.T., sur élévation de température deuxième seuil.

DOCUMENT RÉPONSE 2

Question A22

Signification du symbole Dyn11 :

D : Enroulements H.T. couplés en triangle.

y : Enroulements B.T. couplés en étoile.

n : Neutre B.T. sorti.

11 : Indice horaire (déphasage entre la H.T. et la B.T.).

Schéma du couplage des enroulements à compléter

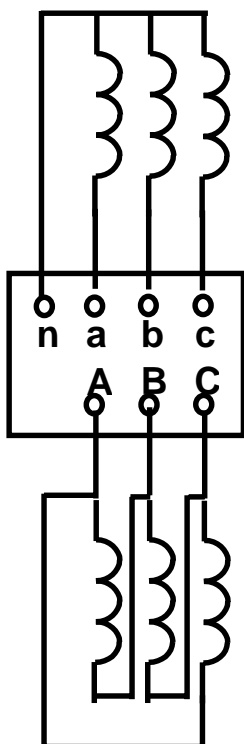
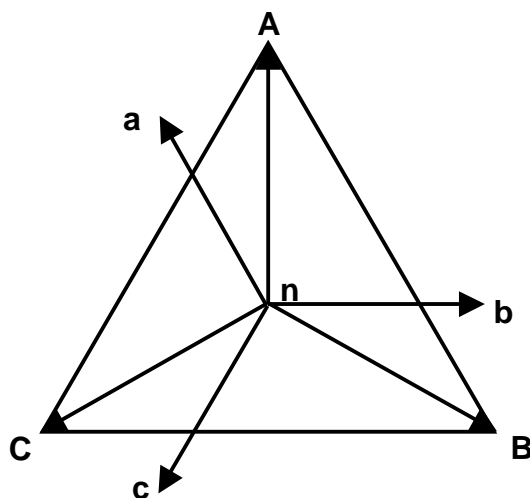


Diagramme de FRESNEL correspondant :



Intérêt de l'indice horaire :

La mise en parallèle de plusieurs transformateurs nécessite de connaître leurs groupes de couplage et donc l'indice horaire de chacun d'eux.

DOCUMENT RÉPONSE 3

Question B23

Pour calculer I_{cc3} au niveau de DN1

- Compléter littéralement puis numériquement ce tableau

	R (mΩ)	X (mΩ)
Réseau amont Pcc = 250 MVA	$R_A = 0,15 \quad X_A = 135$	$X_A = U_1^2 / P_{cc} = 900$
Boucle H.T.A. 630 m câble 150 mm ²	$R_B = 130$	$X_B = 79$
Total amont	$R_{tA} = R_A + R_B = 265$	$X_{tA} = X_A + X_B = 979$
Total amont vu du secondaire de TR1	$R_a = R_{tA} \times (U_{20} / U_1)^2 = 0,2$	$X_a = X_{tA} \times (U_{20} / U_1)^2 = 0,73$
Transformateur TR1 1000 kVA – 15 kV / 410V Ucc = 5 %	$R_{tr} = 2$	$X_{tr} = 8,16$
Câble unipolaire 8 m aluminium 4 x 300 mm ² / phase	$R_c = \rho L / 4s = 0,24$	$X_c = 0,12 \times L = 0,96$
Total au niveau de DN1	$R_T = R_a + R_{tr} + R_c = 2,44$	$X_T = X_a + X_{tr} + X_c = 9,85$

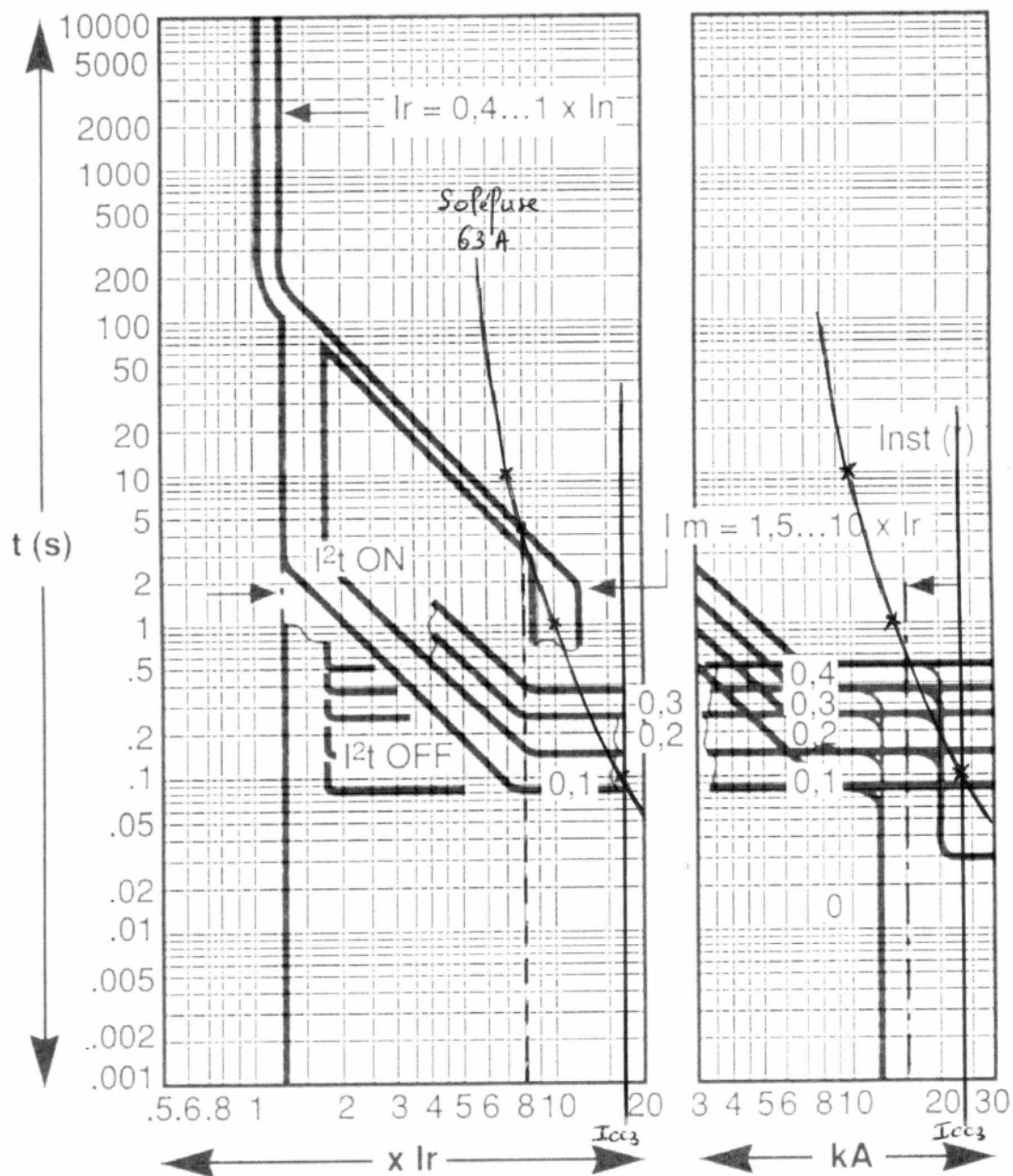
$$Z_T = \sqrt{R_T^2 + X_T^2} = 10,15 \text{ m}\Omega$$

$$I_{cc3} = U_{20} / (\sqrt{3} Z_T) = 23,3 \text{ kA}$$

DOCUMENT RÉPONSE 4

Question B24

STR38S



I_{nst}^*							
I_n (A)	630	800/1000	1200/1600	2000	2500	3000/3200	4000/5000/6300
$i = I_n \dots (N \cdot H)$	28	28	24	20	14	12	10
$I = I_n \dots (L)$	14	10	8	6	6	-	-