

Section : GENIE ELECTRIQUE

Option : ELECTROTECHNIQUE ET ENERGIE

ETUDE D'UN SYSTEME ET/OU D'UN PROCESSUS TECHNIQUE

CORRIGE

1. PARTIE A

L'ensemble du site de Contrexéville est alimenté en 20 kV par 2 lignes aéro-souterraines. Le contrat EDF est de type Tarif VERT A8.

La puissance de court-circuit au point de raccordement est d'environ 120 MVA.

Les arrivées EDF se font dans le poste 1. Ce poste sert à l'alimentation des différents autres postes répartis sur tout le site de l'usine. (Documents présentation P7 et P8)

Les câbles d'alimentation des différents postes sont de type MTS 220. Ils sont tous posés sur chemin de câble et cheminent en général seul. Le parcours des câbles est complexe, c'est pourquoi on considère par sécurité qu'ils sont montés avec un autre circuit. Température maximale 40 °C.

Etude de l'installation existante :

1. Quel est le type de raccordement au réseau EDF utilisé pour l'usine ? Quels sont ses avantages ? /1

D'après le schéma du poste 1, arrivée en double dérivation (NORMAL / SECOURS) par une cellule DDM

Avantages :

- Sécurité d'alimentation : en cas d'incident sur une ligne d'alimentation, l'autre assure la continuité de service

Rapidité de commutation d'une ligne à l'autre

2. Quels sont les critères de choix de la cellule d'arrivée DDM ?

(Documents ressources R1 et R2)

/1

- Tension assignée 24 kV

- Courant d'emploi 400 A

- Pouvoir de coupure 12,5 kA

Les spécifications des cellules d'arrivée en double dérivation sont imposées par EDF.

Pour cette question, on admettra que les coefficients correcteurs des câbles en BT sont utilisables.

A1

3. Justifier le réglage thermique des modules de protection SEPAM installés sur les cellules alimentant les différents postes par rapport à l'utilisation et aux câbles. Voir Tableau récapitulatif des réglages. (Documents ressources P10, P11, R5 à R10) /5

Calcul approximatif des puissances sur chaque départ .
Calcul par excès à partir des puissances apparentes .

Poste 2 :

$$S_2 = TR1 + TR2 + TR3 + TR4 + \text{Poste 11 (TR1 + TR2)}$$

$$S_2 = 250 + 630 + 630 + 630 + 1000 + 630$$

$$S_2 = 3770 \text{ KVA.}$$

$$I_2 = S_2 / U \sqrt{3}$$

$$I_2 = 3770 \cdot 10^3 / (20 \cdot 10^3 \times \sqrt{3})$$

$$I_2 = 109 \text{ A}$$

Câble C₁₋₂ 3 x 1 x 35 mm² CU I_Z = 200 A

Coefficient de correction :

- lettre solution f
- K1 = 1
- K2 = 0,88 groupement de circuit
- K3 = 0,91 PR = 40 ° C

$$K = K1 \times K2 \times K3$$

$$K = 0,8$$

$$I_Z' = I_Z \times K$$

$$I_Z' = 200 \times 0,8$$

$$I_Z' = 160 \text{ A}$$

Le réglage du disjoncteur doit être, tel que :

$$I_B \leq I_r \leq I_Z'$$

Réglage de Q – P₂ 100 A

			Câble		I _Z	I _Z '	I _r
Poste 5	S ₅ = 4460 kVA	I ₅ = 129 A	3 x 1 x 95 mm ²	ALU	290	232	125
Poste 12	S ₁₂ = 6160 kVA	I ₁₂ = 178 A	3 x 1 x 150 mm ²	ALU	375	300	180
Poste 10	S ₁₀ = 5260 kVA	I ₁₀ = 152 A	3 x 1 x 150 mm ²	ALU	375	300	150

Les réglage thermiques sont tels que :

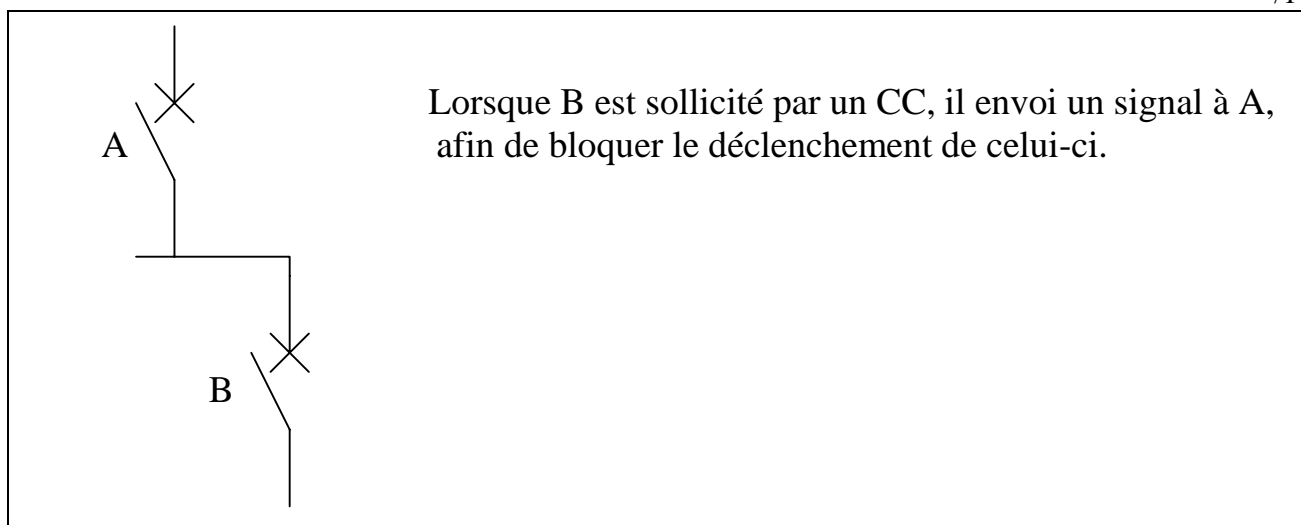
$$I_r \approx I_B \quad (\text{calcul de } I_B \text{ par excès})$$

$$I_r < I_Z' \text{ du câble}$$

Les câbles sont bien protégés.

4. La sélectivité utilisée entre la cellule DM2 du poste 1 et les différents départs poste est de type Logique.
Donner le principe de cette sélectivité.

/1



5. Justifier l'emploi de ce type de sélectivité dans le cas présent.

/2

Réglage de la protection de tête $Q_0 = 360 A$

- Une sélectivité ampéremétrique est impossible ici car les écarts sont trop faibles.
- La sélectivité logique permet de ne pas introduire de retard :

Ce qui est préférable à une sélectivité chronologique

6. A l'aide du schéma interne de la cellule DM2, (Documents ressources R2 et R3) donner la désignation et le rôle des éléments suivants : /3

repère	désignation	rôle
Q3-Q31	Sectionneur de terre	Effectuer la mise à la terre et en CC, MALT. 5 ^{ème} étapes de la consignation, obligatoire en HTA
T1-T2-T3	Transformateur de courant TI	Adapte et isole les mesures envoyées vers le module SEPAM
T4	TI	Mesure du courant homo polaire, détecte les défauts à la terre. En cas de défaut $I_1 + I_2 + I_3 \neq 0$

7. De quoi dépend le réglage minimum du seuil de déclenchement de la protection dont le courant de défaut est détecté par T4 ? /2

T1, T2, T3 réalise la somme des courants dans chaque phase (Montage sommateur) T4 permet de mesurer cette somme.
Le seuil de courant homopolaire minimum dépend de l'erreur de sommation de TC, donc de leur précision.

8. Indiquer la succession d'opérations à effectuer pour ouvrir le panneau de la cellule DM2. (Documents ressources R4) /1

- Ouvrir le disjoncteur (Q_0), récupérer la clef Q_3
- L'utiliser pour pouvoir manœuvrer les sectionneurs de terre.
- Lorsque la MALT et CC est effectuée, la clef est libre

Le panneau peut-être ouvert.

9. Quel niveau d'habilitation minimum faut-il pour effectuer ces opérations ? /1

HC pour effectuer la consignation ou H1 avec fiche de consignation délivrée par un HC

Modification d'installation :

L'exploitant désire modifier la distribution HTA de l'usine de façon à permettre l'alimentation en boucle des différents postes. Pour réutiliser au maximum le matériel existant 2 boucles sont créées, alimentées par 2 des anciennes cellules du poste 1 :

Boucle N° 1 : Poste 1 – Poste 10 – poste 5 – poste 8 - poste 1

Boucle N° 2 Poste 1 – Poste 12 – poste 2 – poste 11 - poste 1

10. Justifier l'intérêt d'une alimentation en boucle et ses inconvénients.

/2

Avantages :

- Continuité de service
- Remise sous tension possible par l'autre côté

Inconvénients :

- Difficulté de localisation de défaut
- Temps de réalimentation
- Surdimensionnement des câbles : dimensionnement pour tous les courants dans la boucle
Cumul des chutes de tension
- Personnel qualifié

11. Justifier le fait que l'alimentation en antenne du poste 13 à partir du poste 12 ne soit pas modifiée. (Documents présentation P6, P7, P8 et P10) .

/1

Liaison existante C_{12-13} 3 x 1 x 95 mm² ALU 900 m, alimente un transformateur de 160 KVA

- La mise en boucle entraînerait :
Un câble dimensionné sur tous les courants dans la boucle

$$S \leq S_{12} + S_2 + S_{11} \quad \text{soit } 9930 \text{ k VA}$$

- La pose de 180 m de câble pour l'aller-retour
- Une augmentation en conséquence des chutes de tension.

12. Donner le schéma de la boucle N° 2 et choisir le matériel nécessaire et donner ses caractéristiques. Répondre sur le document réponse ci-joint A6 et (Documents ressources R1, R2).

/3

Choix du matériel nécessaire :

Cellule arrivée au départ pour raccordement au réseau IM ou IMC

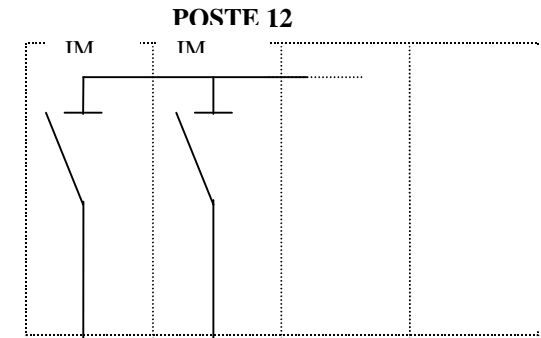
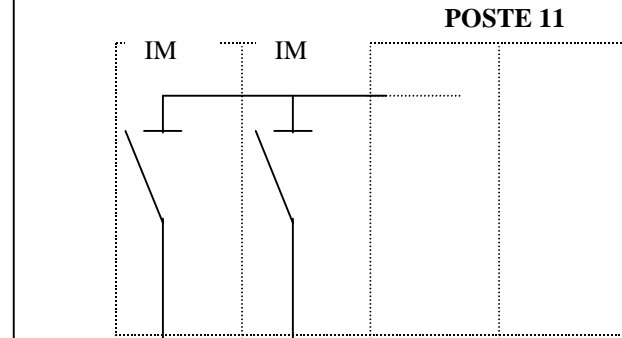
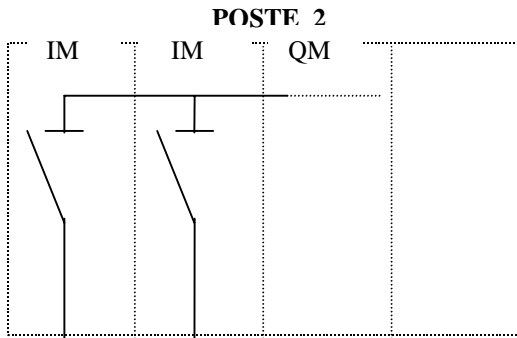
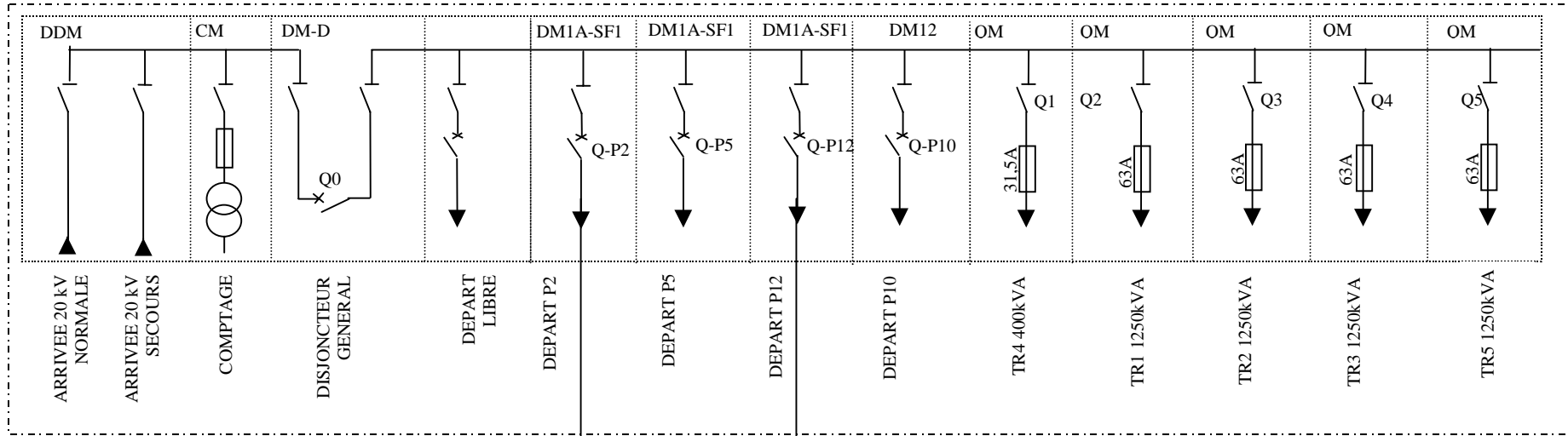
400 A

24 kV

12,5 kA

DOCUMENT REPOSE

POSTE 1



Pour cette question, on admettra que les coefficients correcteurs des câbles en BT sont utilisables.

13. Déterminer les sections des câbles unipolaires Alu nécessaires pour réaliser cette boucle (Documents ressources R10, R12). /2

Boucle P₁₂ – P₂ – P₁₁ S ≈ 9930 k VA I = 287 A

Câble unipolaire f sur chemin de câble K₁ = 1

Chemin de câble avec un autre circuit K₂ = 0,88

θ = 40° C PR K₃ = 0,91

ALU à l'air libre

$$I' = \frac{I}{K_1 \times K_2 \times K_3} \quad I' = 358 \text{ A} \quad \Rightarrow \quad S = 150 \text{ mm}^2$$

14. Déterminer le réglage thermique des protections de cette boucle. /2

$$I_B < I_R < I_Z'$$

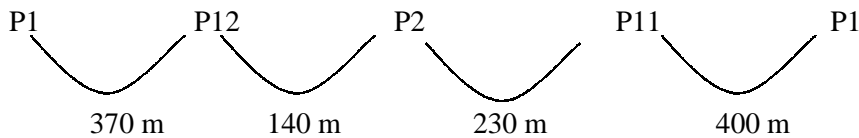
$$I_B = 287 \text{ A}$$

$$I_{Z \text{ câble}} = 375 \text{ A}$$

$$I_Z' = I_Z \times K = 0,8 \times 375 = 300 \text{ A}$$

$$287 \text{ A} < I_R < 300 \text{ A} \quad \Rightarrow \quad I_R = 290 \text{ A}$$

15. Evaluer la chute de tension maximale dans le cas le plus défavorable. (Documents ressources R12). /3



Le cas le pire, c'est : boucle ouverte au niveau de P12

$$L_{MAX} = L_{12-2} + L_{2-11} + L_{11-1} = 770 \text{ m}$$

Chute de tension 150 mm² Alu 0,48 V / A / km

$$\Delta U = 0,48 \times 287 \times 0,77$$

$$\Delta U = 106 \text{ V}$$

$$\frac{\Delta U}{U} = 0,53 \%$$

PARTIE B

Cette partie concerne le poste de transformation du poste 1

INSTALLATION B.T.

Poste 1

PROTECTION DES CIRCUITS :

1. En fonctionnement normal, les transformateurs TR1 et TR2 sont couplés en parallèle.
Donner les conditions générales de couplage de 2 transformateurs en parallèle

/2

- Même famille d'indice horaire
- Même tension secondaire à vide
- Puissance dans un rapport < 2
- Même U_{CC} en %

2. Calculer par la méthode des impédances les courants de courts-circuits, en aval des transformateurs TR1 et TR2, au niveau des disjoncteurs QF1.1 et QF 2.2, et jusqu'au surpresseur 2.

(rappel : ρ = résistivité : $22,5 \times 10^{-3} \Omega \cdot \text{mm}^2 \cdot \text{m}^{-1}$ pour le cuivre et $36 \times 10^{-3} \Omega \cdot \text{mm}^2 \cdot \text{m}^{-1}$ pour l'aluminium).

(Documents présentation P9 et P10)

Reporter les valeurs dans le document réponse B2.

/10

Partie d'installation	Caractéristiques techniques	Résistance (mΩ)		Réactance (mΩ)		RT (mΩ)	XT (mΩ)	Icc en kA
		Détails de calculs	Résult. calculs	Détails de calculs	Résult. calculs			
Réseau amont	120 MVA		R1 Négligeabl	$Z_1 = (U_{20}^2 / S_{CC}) \sqrt{\sim 7}$	X1 $1,4 \cdot 10^{-3}$	0	1,4	
Transformateurs	Voir document R15	$Z_2 = (U_{20}^2 / S_n) \times (U_{CC} / 100)$ $Z_2 = 8,06$ mΩ $R_2 =$	R2 1,44 mΩ	$X_2 = \frac{\sqrt{(Z_2^2 - R_2^2)}}{R_2^2}$	X2 7,93	1,41	9,33	9,44 25,1kA
Liaison Transformateurs/ Disj QF1.1 et QF2.1	6 m - cuivre 4x240mm ² /phase Neutre = 2 x 240mm ²	$R = \rho (1 / S)$ (22,5.10 ⁻³ x 6) 4 x 240	R3 0,14 mΩ	$\lambda = 0,08$ mΩ.m ⁻¹ $X = \lambda L$	X3 0,48	1,55	9,81	9,93 23,8 kA
Disjoncteurs QF 1.1 Q F 2.1			R4 Négligeabl	$X = 0,15$ mΩ/mâle	X4 0,15	1,55	9,96	Z = 10,08 mΩ 23,5kA
Jeu de barres	PH = 3 barres de 100x5mm N = 1 barre de 100x5mm L= 4m - Cuivre		R5 Négligeabl	$\lambda = 0,15$ mΩ m ⁻¹ $X = \lambda L$	X5 0,6	0,77	(9,96/2)+0,6 5,58	Z = 5,63 Ω I _{CC} = 42,1 kA
Disjoncteurs Q F 2.2			R6 Négligeabl	$X = 0,15$ mΩ/mâle	X6 0,15	0,77	6,35	Z = 6,4 Ω I _{CC} = 37 kA
Câble surpresseur N°2 B2	U 1000 AR 2V 2x120mm ² /ph PE= 1x120mm ² L=45m	Alu $R = \rho (1 / S)$ (0,036 x 45) 2 x 120	R7 6,75 mΩ	$\lambda = 0,08$ mΩ.m ⁻¹ $X = \lambda L$	X7 3,6	7,52	13,87	Z = 15,78 Ω I _{CC} = 15 kA

3. Vérification des caractéristiques des dispositifs de protection du surpresseur N° 2.

Référence moteur : KN7 355L-DX0

Le disjoncteur QF 2.2 est équipé d'un déclencheur STR 23 SE.

I_o est sur la position 1

I_r est sur la position 0.98

I_m est sur la position 7 avec une précision de $\pm 15\%$

Justifiez le réglage des protections. (Documents ressources R13 à R16).

/2

$$I_n \text{ moteur} = 610 \text{ A}$$

$$\text{Le rapport } I_d / I_n = 5$$

Calibre du disjoncteur QF_{2.2} : 630 A

Donc $I_r > I_n$ moteur

$$I_r \text{ } 0,98 \times 630 = 617 \text{ A} \quad I_r > I_n \text{ moteur}$$

$$I_m = 7 \times I_r \quad I_m > I_d \text{ moteur}$$

Le réglage est bon pour la pointe d'intensité au démarrage.

4. Calculez la chute de tension en ligne au niveau du surpresseur N°2 en fonctionnement normal et au démarrage, sachant que I_d moteur = 3 I_n (limité par démarreur) et $\cos \phi_d = 0,35$. Commentez les résultats.

/4

Chute de tension dans les liaisons transfo – jeu de barre

$$\Delta U = \sqrt{3} (\rho l / S \cos \varphi + \lambda L \sin \varphi) I_B$$

Calcul de la chute de tension pour la charge nominal des transfo $I = 1760 \text{ A}$

$\cos \varphi = 0,8$, $\cos \varphi$ habituel.

$$R = 0,16 \cdot 10^{-3} \Omega$$

$$X = 0,48 \cdot 10^{-3} \Omega$$

$$\Delta U = 1,22 \text{ V}$$

$$\Delta U / U = 0,33 \%$$

La chute de tension dans les câbles d'alimentation est très faible dans le cas le pire (charge nominale des transformateurs).

⇒ Sont influence sera négligeable lors du démarrage des compresseurs (2 transformateurs en parallèles).

Câble C1 – sur P2

$$\Delta U = \sqrt{3} (R \cos \varphi + \lambda \sin \varphi) I_1 = \sqrt{3} (6,75 \cdot 10^{-3} \times 0,79 + 3,6 \cdot 10^{-3} \times 0,61) \times 610 = 8 \text{ V}$$

$$\text{soit } \Delta U / U = 2 \%$$

au démarrage $\cos \varphi_d \approx 0,35$

$$I_d = 3I_n$$

$$\Delta U = 18,2 \text{ V}$$

$$\Delta U / U = 4,5 \%$$

Même en prenant en compte le câble principal, les chutes de tension restent acceptables.

5. Vérification des conditions de déclenchement du disjoncteur en régime IT, neutre distribué.
 Démontrez que la protection n'est plus assurée lorsque :

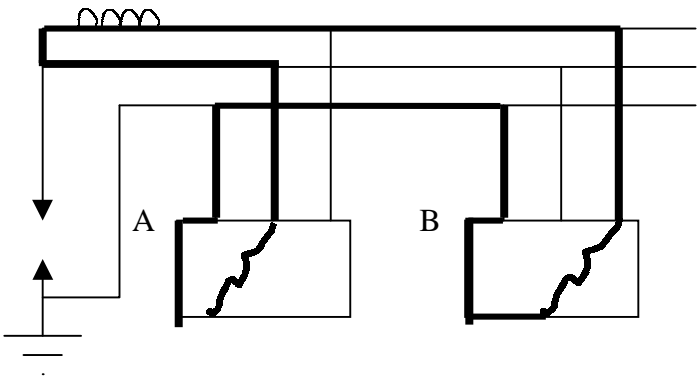
$$L_{\max} = \frac{0,8 \times U_0 \times S_{ph}}{2 \rho (1 + m) \times I_{\text{magn.}}}$$

U_0 = tension réseau
 S_{ph} = section des phases en mm²
 ρ = résistivité : $22,5 \times 10^{-3} \Omega \cdot \text{mm}^2 \cdot \text{m}^{-1}$
 pour le cuivre et $36 \times 10^{-3} \Omega \cdot \text{mm}^2 \cdot \text{m}^{-1}$
 pour l'aluminium.
 $m = S_{ph}/S_{pe}$
 I_{magn} = courant de déclenchement du
 dispositif magnétique.

Pour cette démonstration, on admet :

- que la tension entre les conducteurs en défaut est égale à 80% de la tension réseau.
- Que le cas le plus défavorable se produit lorsque le 2^{ème} défauts apparaît sur un circuit identique au premier.

/5



$$I_d = \frac{0,8 U_0}{R_{phA} + R_{phB} + R_{peA} + R_{peB}}$$

Départ identique :

$$R_{phA} = R_{phB}$$

$$R_{peA} = R_{peB}$$

$$I_d = \frac{0,8 U_0}{2 (\rho l / S_{ph} + \rho l / S_{pe})}$$

$$I_d = \frac{0,8 U_0}{2 \rho l / S_{ph} (1 + (S_{ph} / S_{pe}))}$$

$$I_d = \frac{0,8 U_0 \times S_{ph}}{2 \rho l (1 + m)}$$

Le disjoncteur déclenche si $I_{\text{mag}} < I_d$

$$I_{\text{mag}} = \frac{0,8 U_0 \times S_{ph}}{2 \rho l (1 + m)} \quad \text{donc} \quad L < \frac{0,8 U_0 \times S_{ph}}{2 \rho l (1 + m) I_{\text{mag}}}$$

Neutre distribué \Rightarrow défaut possible entre une phase et le neutre $\Rightarrow U_0 = V$

6. Pourquoi est-il préférable de ne pas distribuer le Neutre, lorsque cela est possible ?
 Justifiez votre réponse :

/2

Lorsque le neutre est distribué, les deux défauts pourraient se produire, l'un sur une phase et l'autre sur le neutre.

\Rightarrow Il faut prendre $U_0 = V$ pour le calcul de L_{\max} , ce qui revient à diviser les longueurs max par $\sqrt{3}$.

De plus la section du neutre peut-être différente de S_{ph}

Si $S_n < S_{ph}$ $m = S_n / S_{ph}$

7. Vérifiez si la protection des personnes est toujours assurée dans le cas d'un contact indirect au niveau du surpresseur N°2, au 1^{er} ou au 2^{ème} défaut. (Documents présentation P10)

/3

Installation à neutre distribué $U_0 = V$

$S_{ph} = 2 \times 120 \text{ mm}^2$ câble Alu $I_r = 617 \text{ A}$

$$L_{max} = \frac{0,8 V \times S_{ph}}{2 \rho (1 + m) I_{mag}} = \frac{0,8 \times 230 \times 240}{2 \times 36 \cdot 10^{-3} (1 + 2) \times 7 \times 617 \times 1,15} = 61,7 \text{ m}$$

La protection des personnes est bien assurée

$L = 45 \text{ m}$

8. Justifiez la puissance de la batterie de condensateurs de 480kVAR installée sur le poste 1 (surpresseurs 1,2,3,4,5) (document de présentation P9).

/2

Dans le cas d'une utilisation de tous les surpresseurs :

5 moteurs de 315 kW
 $\eta = 94,5 \%$
 $\cos \varphi = 0,79$

1 moteur de 225 kW
 $\eta = 93,5 \%$
 $\cos \varphi = 0,82$

$\eta = P_u / P_a$

$P_a = P_u / \eta$	$Q = P \tan \varphi$	
1667	1293	
240	168	$\tan \varphi = Q / P = 0,766$
1907 kW	1461 Kvar	

$Q_c = P (\tan \varphi - 0,31) = 1907 (0,766 - 0,31)$
 $Q_c = 870 \text{ kVar}$

La batterie fait 480 kVar, ce qui signifie que les compresseurs ne fonctionnent pas simultanément.

Remarques :

La tangente à 0,31, permet de prendre en compte le réactif absorbé par les transformateurs. Cette valeur prise par EDF pour la facturation dans le cas d'un comptage au secondaire.

2. Déterminer la puissance nécessaire P_p à l'élévation de l'accroissement de pression dans le surpresseur P3.

/1

$$P_p = Q \times \Delta p$$

$$P_p = Q (P_{ps} - P_{pe})$$

Rappel, 1 bar = 10^5 Pascal

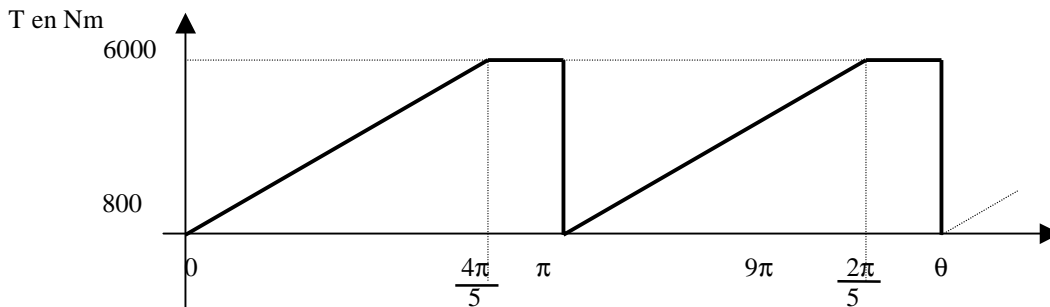
$$Q = 145 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$$

$$P_p = \frac{Q}{3600} \times (40 - 7) \times 10^5 = 132,9 \text{ kW}$$

$$P_p = 133 \text{ kW}$$

3. Le couple instantané sur l'arbre moteur (T) d'entrée du surpresseur en fonction de l'angle de rotation θ à l'allure suivante:

Diagramme pour un tour



Déterminer le travail fourni par l'arbre moteur pour un tour .

/1

$$W_0^{2\pi} = \int_0^{2\pi} T d\theta \Rightarrow \text{Aire de la courbe}$$

$$W = 2 \left(\frac{6000 + 800}{2} \times 4 \frac{\pi}{5} + 6000 \times (\pi - \frac{\pi}{5}) \right)$$

$$W = 2 \times (3400 \times 4 \frac{\pi}{5} + 6000 \times \frac{4\pi}{5})$$

$$W = 5440 \pi + 2400 \pi$$

$$W = 7840 \pi$$

$$W = 24630 \text{ J}$$

4. Calculer la puissance moyenne fournie au surpresseur, le couple moteur moyen et le rendement du surpresseur sachant que le moteur tourne à 742 tr/mn.

/2

Puissance fournie au surpresseur :

$$P = W / t \quad \begin{array}{l} W : \text{énergie pour 1 tour} \\ T : \text{temps pour faire un tour} \end{array}$$

$$P = W / (60 / n) = W \times n / 60 = 24630 \times 742 / 60$$

$$P = 300 \text{ kW}$$

$$\text{Rendement : } \eta = P_p / P = 133 / 300 = 0,443 \quad \eta = 44,3 \%$$

$$\text{Couple moteur moyen : } C = P / \Omega = P \times 60 / 2 \pi n = 300.10^3 \times 60 / 2\pi \times 732 = 3914 \text{ N.m}$$

$$C = 3914 \text{ N.m}$$

5. Justifier le choix du moteur asynchrone. (Documents ressources R16)

/1

Vitesse : $n = 732 \text{ trs / min}$

\Rightarrow 4 paires de pôle

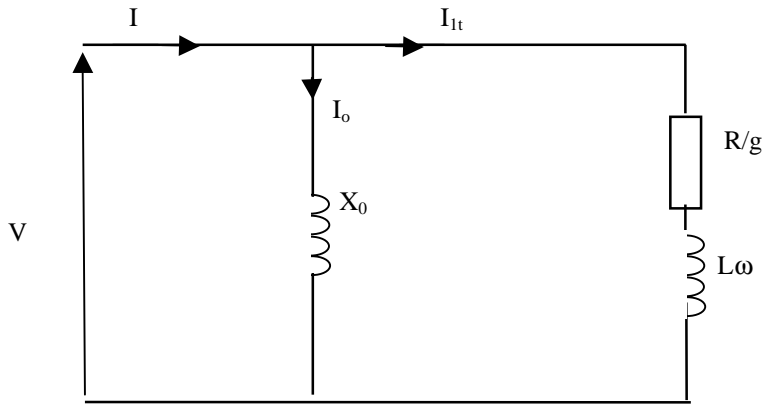
Puissance :

$$P_u \geq 300 \text{ kW} \quad \Rightarrow \quad 315 \text{ kW}$$

Un moteur de 315 kW convient parfaitement.

Démarrage du moteur d'entraînement du surpresseur.

Le schéma équivalent simplifié ramené au primaire du moteur asynchrone est le suivant:



6. Montrer que l'expression du couple électromagnétique T_{em} peut s'exprimer sous la forme:

$$T = \frac{3 g R}{\Omega_s} \times \frac{V^2}{R^2 + g^2 L^2 \omega^2}$$

/2

$$T_{em} = P_{em} / \Omega = (1 - g) P_{transmise\ au\ rotor} / \Omega = (1 - g) \times 3 \times R/g \times I_{1t}^2 / (1 - g) \Omega_s$$

$$T_{em} = 3 R / g \Omega_s \times V^2 / ((R^2 / g^2) + L^2 \omega^2)$$

$$T_{em} = 3 R g^2 / g \Omega_s \times V^2 / (R^2 + g^2 L^2 \omega^2)$$

$$T_{em} = 3 R g / \Omega_s \times V^2 / (R^2 + g^2 L^2 \omega^2)$$

7. Donner l'expression du couple de démarrage.

/1

Au démarrage $g = 1$

$$T_d = 3 R / \Omega_s \times V^2 / (R^2 + L^2 \omega^2)$$

8. Dans le cas d'un démarrage en limitation de courant à I_{dR} , montrer que l'on peut exprimer le couple de démarrage T_{dR} de la façon suivante:

$$\frac{T_{dR}}{T_n} = \frac{T_d}{T_n} \times \left(\frac{I_{dR}}{I_n} \right)^2$$

/2

$$\begin{aligned} T &= k V^2 & T &= k' V^2 \\ T_d &= K' I^2 & & \\ T_n &= K' I_n^2 & T_d / T_n &= I_d^2 / I_n^2 \\ T_{dr} &= K' I_{dr} & & \\ (T_{dr} / T_n) / (T_d / T_n) &= (I_{dr} / I_n) / (I_d / I_n)^2 \\ T_{dr} / T_n &= (I_{dr} / I_n)^2 \\ T_{dr} / T_n &= T_d / T_n (I_{dr} / I_n) / (I_d / I_n)^2 \end{aligned}$$

9. Quelles sont les hypothèses utilisées dans l'élaboration de cette relation ?

/1

On néglige le courant magnétisant I_0 , et le modèle a été établi en négligeant l'impédance statorique.

10 Quels sont les avantages de l'utilisation d'un démarreur progressif dans ce type d'application ?

/2

- Limitation du courant de démarrage \Rightarrow réduction des chutes de tension dans le câble principal et les transformateurs \Rightarrow pas de perturbation sur les autres surpresseurs.
- Réduction des contraintes sur l'arbre moteur (forte inertie).
- Démarrage faible \Rightarrow on peut réduire le couple moteur au démarrage.
- Pas de contrainte sur le temps de démarrage.

11. Lorsque le surpresseur est à l'arrêt, son couple de décollage T_0 est d'environ 2000 Nm. Déterminer le réglage minimal de la limitation de courant du démarreur pour permettre le décollage.

/2

$T_m = J \frac{d\Omega}{dt} + T_r \Rightarrow$ démarrage si $T_{dr} \geq T_0$
 $T_n \text{ moteur} = P_u / \Omega$
 $T_n \text{ moteur} = (315000 / 2\pi \times 742) \times 60$
 $T_n \text{ moteur} = 4045 \text{ N.m}$
 D 'après doc moteur $I_d / I_n = 5$ et $T_d / T_n = 1,4$
 $(T_{dr} / T_n) / (T_d / T_n) \times (I_d / I_n)^2 = (I_{dr} / I_n)^2$
 $\Rightarrow ((2000 / 4045) / 1,4) \times 5^2 = (I_{dr} / I_n)^2 = 8,8$
 $I_{dr} = 3 I_n = 1830 \text{ A}$
 $I_{dr} / I_n = \sqrt{8,8}$

$I_{dr} / I_n = 3$

12. Effectuer la fiche de réglage du démarreur calibre C66 nécessaire pour fonctionner dans les conditions suivantes.

On s'intéresse aux caractéristiques suivantes :

- un réglage du courant de démarrage.
- une phase de démarrage d'environ 15 s
- une phase d'arrêt en roue libre
- une protection thermique moteur : classe 10
- un temps de démarrage inférieur à 20 secondes avant déclenchement

(documents ressources R17 à R23)

/3

PARAMETRES	REGLAGE	JUSTIFICATION
I_n	0,93	$I_d = 660 \text{ A}$ $I_d / I_n = 610 / 660 = 0,93$
I_{lt}	≥ 300	Seuil minimum calculer pour permettre le démarrage $T_{dr} > T_0$
Acc	15	A ajuster par des essais
Sty	F	Arrêt roue libre
thp	10	Classe 10

PARTIE D

L'étude porte sur le chauffage infrarouge des préformes.

L'air comprimé produit par les surpresseurs permet le préformage des bouteilles PET. Le cycle de préformage décrit sur le document de présentation P4 comprend 4 séquences :

- le chauffage
- l'étirement
- pré-soufflage
- soufflage à 40 bars.

Chauffage infrarouge : (voir documents présentation P3 à P5))

Citer les principales caractéristiques du chauffage par infrarouge. /2

- Faible inertie (grande rapidité)
- Puissance surfacique maxi de l'ordre de 100 kW/m²
- Pas de contact avec le matériaux à chauffer
- Faible pénétration des ondes ⇒ utilisé en chauffage surfacique
- Régulation précise du faite de la faible inertie

Quels sont les éléments nécessaires au choix d'un émetteur infrarouge ? /1

- Longueur d'onde
- Puissance
- Tension
- Type de culot
- Forme et dimension de la lampe te du réflecteur

Lorsque l'on réduit la tension d'alimentation d'une lampe infrarouge on observe une augmentation de la longueur d'onde émise (déplacement des ondes courtes vers les ondes moyennes).

Justifier ce phénomène et son influence sur la chauffe des préformes. /2

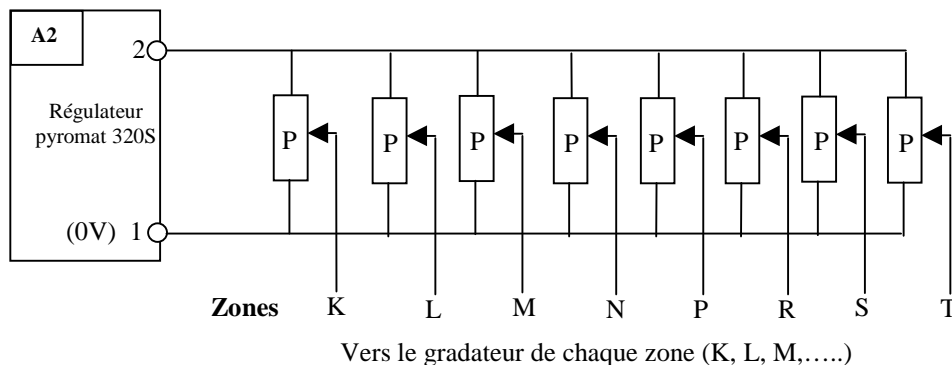
$P = U^2 / R$ si $U \downarrow$ $P \downarrow$ ⇒ la température du filament diminue $P = K T^4$

- ⇒ déplacement du spectre émis vers ondes chaudes
- ⇒ augmentation de la longueur d'onde émise
- ⇒ modification de la profondeur de chauffe des préformes

Génération des consignes gradateurs : (document de présentation P5)

Le régulateur permet de générer une consigne tension 0 – 10 V sur l'ensemble des gradateurs, un montage potentiométrique permet d'ajuster la puissance de chauffe de chaque zone.

Le schéma de montage utilisé est le suivant :

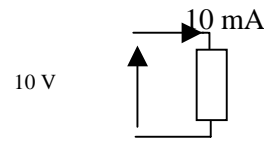


La sortie du régulateur délivre au maximum un courant de 10 mA, (documents ressources R24 et R25).
 Quelle doit être la valeur d'un potentiomètre P ? Préciser les hypothèses de calculs, s'il en existe.

/1

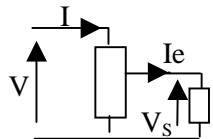
$R = 8$ potentiomètres en parallèle $R_{\text{mini}} = U / I = 1 \text{ k}\Omega$
 $R_{\text{pot mini}} = 8 \times R = 8 \text{ k}\Omega$

Choix $R_{\text{pot}} = 10 \text{ k}\Omega$



Vérifier que le courant de sortie du régulateur pyromat 320S est compatible avec les besoins des gradateurs. (documents ressources R24 et R25).

/1



Le montage potentiométrique fonctionne bien si $I_e < I$

$$I_e < I \text{ si } I \approx 10 I_e$$

$$I = 10 \times (V_{S\text{max}} / Z_C) = 10 \times (10 / 10 \cdot 10^3) = 1 \text{ mA}$$

$$I_{\text{régul}} \geq 8 \times I = 8 \text{ mA} \quad \Rightarrow \text{Le montage est possible}$$

Etude du gradateur de la zone M :

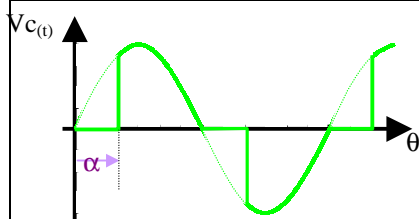
Les lampes utilisées sont des lampes Halogènes 2000W – 230V

Les 9 lampes d'une zone sont alimentées par un gradateur triphasé à angle de phase alimenté en 3*400V + Neutre (montage équilibré). Le point neutre des lampes est relié au neutre du réseau.

Déterminer l'angle α de retard à l'amorçage pour une puissance de chauffe de 70% de la puissance maximale dans le cas de l'alimentation d'une lampe par un gradateur monophasé.

On admet que la lampe se comporte comme une résistance de valeur constante.

/2



$$V_C^2 = 1/\pi \int_{\alpha}^{\pi} V^2 \sin^2 \theta \, d\theta = V_{\text{max}}^2 / 2\pi \times \int_{\alpha}^{\pi} (1 - \cos 2\theta) \, d\theta$$

$$V_C^2 = V_{\text{max}}^2 / 2\pi \left[\theta - \sin 2\theta / 2 \right]_{\alpha}^{\pi} = V_{\text{max}}^2 / 2\pi (\pi - \alpha + \sin 2\alpha / 2)$$

$$V_C^2 = V_{\text{max}}^2 / 2\pi (1 - \alpha / \pi + \sin 2\alpha / 2\pi)$$

$$U_C = V (1 - \alpha / \pi + \sin 2\alpha / 2\pi)$$

$$P_R = U_R^2 / R = 0,7 P_R = 0,7 U^2 / R$$

$$U_C^2 / U_R^2 = 0,7 \Rightarrow 0,7 = 1 - \alpha / \pi + \sin 2\alpha / 2\pi$$

$$0,3 = \alpha / \pi - \sin 2\alpha / 2\pi$$

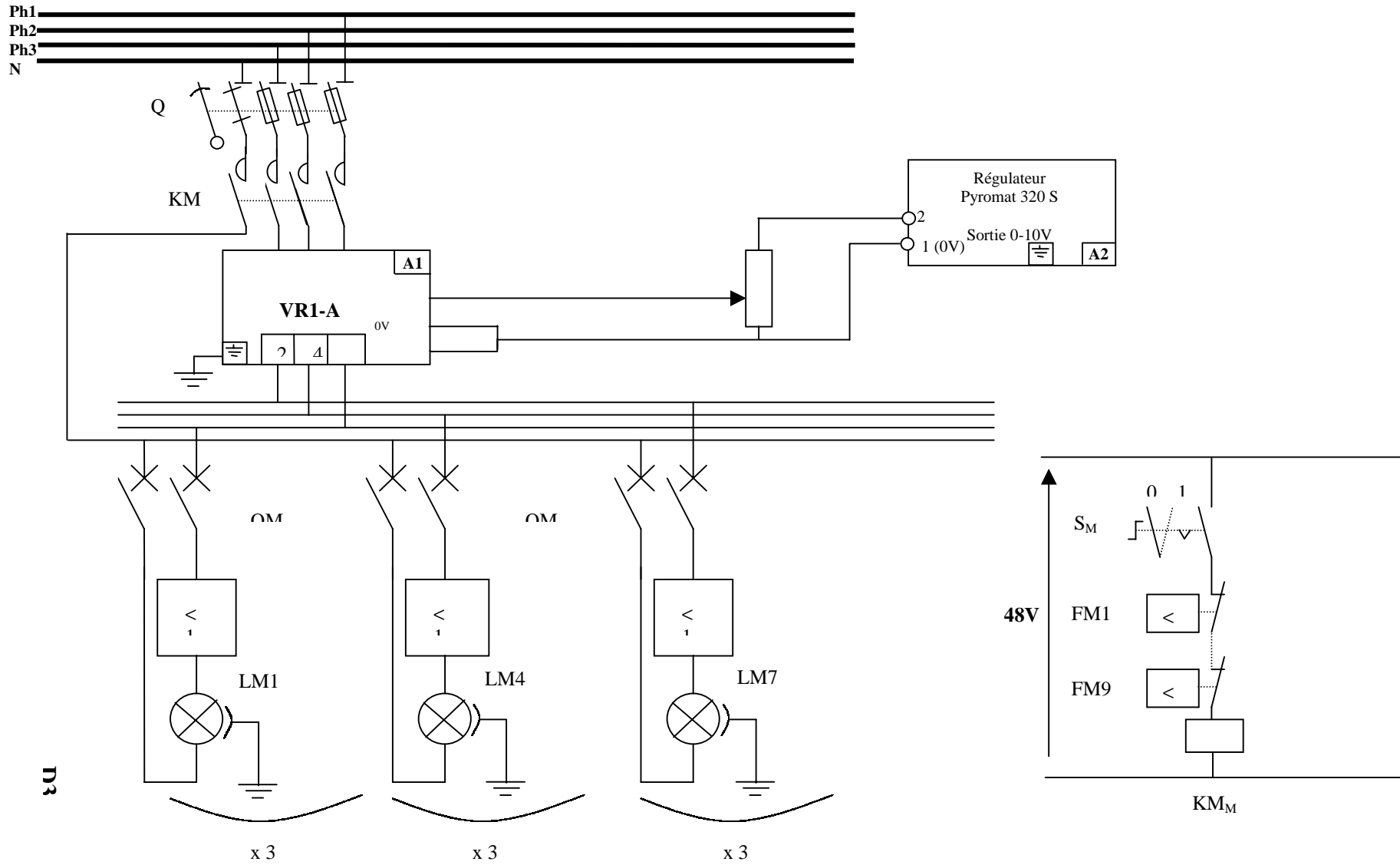
$\alpha = 1,134 \text{ rad}$ $\alpha = 65^\circ$

Etablir les schémas électriques complets de la zone M

- Réseau 3 * 400 V + Neutre.
- Un contacteur KM_M permet la mise sous tension de l'ensemble de la zone par l'intermédiaire d'un commutateur à 2 positions fixe S_M
- Chaque lampe est protégée individuellement.
- Un dispositif (à préciser) permet de détecter la rupture d'une lampe et provoque l'arrêt de toute la zone.
- Le point neutre des lampes est relié au neutre de l'installation.
- La commande s'effectue en 48V ~

/6

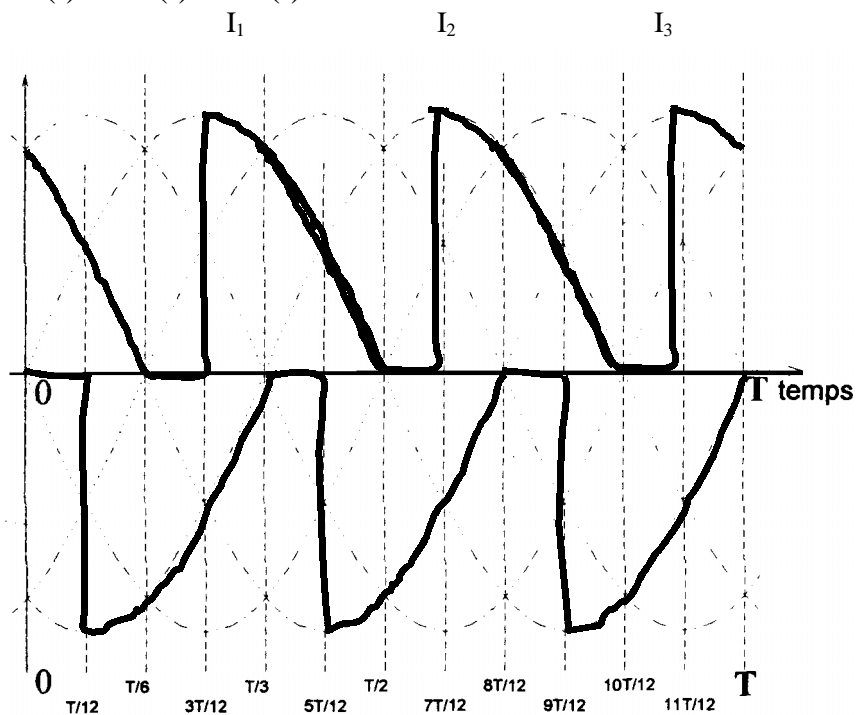
DOCUMENT REPONSE



tracer l'allure des courants dans chacune des phases pour un angle α de 90° ainsi que l'allure du courant dans le neutre.

On rappelle que $v_1(t) + v_2(t) + v_3(t) = 0$

/2

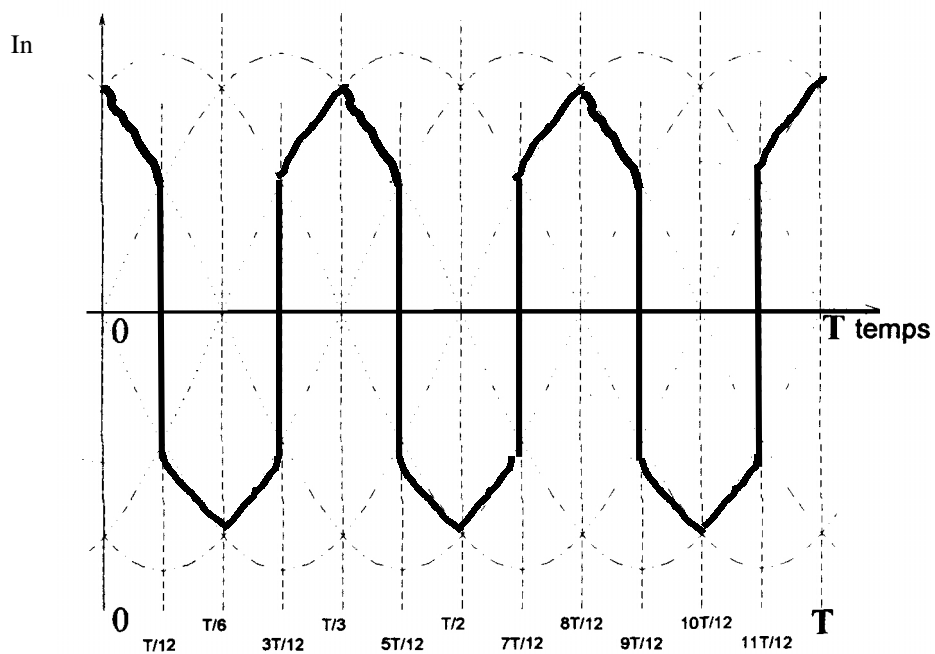


$$v_1(t) + v_2(t) = -v_3(t)$$

$$v_1(t) + v_3(t) = -v_2(t)$$

$$v_2(t) + v_3(t) = -v_1(t)$$

$$I_1 + I_2 = I_3$$



Le courant dans le neutre est maximum pour $\alpha = 90^\circ$, exprimer le courant dans le neutre I_N en fonction de I courant nominal pleine onde.

Conclure sur le section du conducteur du neutre.

/3

$$I_n^2 = 6 / \pi \int_{4\pi/6}^{5\pi/6} I_{max}^2 \sin^2 \theta d\theta = 6 I_{max}^2 / \pi \int_{4\pi/6}^{5\pi/6} (1 - \cos 2\theta) / 2 d\theta$$

$$I_n^2 = 2 \times 3 I^2 / \pi \left[\theta + \sin 2\theta / 2 \right]_{4\pi/6}^{5\pi/6}$$

$$I_n^2 = 2 \times 3 I^2 / \pi (5\pi/6 + (\sin 5\pi/3) / 2 - 4\pi/6 - (\sin 4\pi/3 / 2))$$

$$I_n^2 = 2 \times 3 I^2 / \pi (\pi / 6)$$

$$I_n^2 = 2 \times I^2 / 2$$

$$I_n = I$$

Même section $S_n = S_{ph}$, ne peut-être inférieur à la section de la phase.