

Corrigé type de l'examen final du 1^{er} semestre

Responsable du module : M.MAYOUF

Exercice (7 Pts): Calcule de la section des conducteurs

1/ Critère du courant nominal :

La puissance que notre liaison devra transiter vaut 10 MW sous une tension nominale de 30 kV. Le courant nominal circulant dans la ligne se calcule en suivant les étapes suivantes, où : $\cos(\varphi) = 0,92$.

Nous avons :

La puissance max à transiter (après 20 ans) : $P_{20} = P_0 \cdot (1 + a)^T = 10 \cdot (1 + 0,03)^{20} = 18,06 \text{ MW}$ (0,25Pt)

Cette puissance s'exprime en fonction de la tension et le courant par : $P_T = \sqrt{3} \cdot U \cdot I_{N,T} \cdot \cos(\varphi)$

L'intensité du courant en fin de vie se calcule donc : $I_{N,20} = \frac{P_{20}}{\sqrt{3} \cdot U \cdot \cos(\varphi)} = \frac{18,06 \cdot 10^6}{\sqrt{3} \cdot 30 \cdot 10^3 \cdot 0,92} = 377,81 \text{ A}$ (0,25Pt)

La plus petite section normalisée tirée du table qui supporte ce courant vaut au moins : $S_{1\text{-minimale}} = 117 \text{ mm}^2$. (0,25Pt)

NB: Toutes les sections supérieures respectent ce critère du courant nominal.

2/ Critère du courant de court-circuit : Nous savons que la puissance de court-circuit reste inférieure à 1 GVA pendant un temps de 0,3 s. Calculons d'abord le courant de court-circuit correspondant :

$$I_{CC} = \frac{S_{CC}}{\sqrt{3} \cdot U_N} = \frac{10^9}{\sqrt{3} \cdot 30 \cdot 10^3} = 19245 \text{ [A]} \quad (0,25Pt)$$

La section est calculée par la formule : $S = \frac{I_{CC} \cdot \sqrt{t_{CC}}}{a} = \frac{19245 \cdot \sqrt{0,3}}{61,98} \approx 170,07 \text{ [mm}^2\text{]}$ (0,25Pt)

La section normalisée: $S_{2\text{-minimale}} = 182 \text{ mm}^2$. (0,25Pt)

3/ Critère de la chute de tension :

Nous savons que la chute de tension est donnée par la formule :

$$\frac{\Delta U}{U} = \sqrt{3} \cdot \frac{I_N \cdot L}{U_N} \cdot (R_{70^\circ C} \cdot \cos(\varphi) + X_L \cdot \sin(\varphi)) \quad (0,25Pt)$$

Ce qui, après calcul du courant nominal au départ, permet de déterminer la résistance maximale de la ligne :

$$I_N = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot U \cdot \cos(\varphi)} = \frac{10 \cdot 10^6}{\sqrt{3} \cdot 30 \cdot 10^3 \cdot 0,92} = 209,18 \text{ [A]} \quad (0,25Pt)$$

$$R_{\max, 70^\circ C} = \left(\frac{\Delta U}{U} \times \frac{1}{\sqrt{3}} \times \frac{U_N}{I_N \cdot L} - X_L \times \sin(\varphi) \right) \times \frac{1}{\cos(\varphi)} \quad (0,25Pt)$$

$$R_{\max, 70^{\circ}\text{C}} = \left(\frac{0,1}{\sqrt{3}} \times \frac{30 \cdot 10^3}{209,18 \times 30} - 0,4 \times 0,39 \right) \times \frac{1}{0,92} = 0,13 \text{ [} \Omega / \text{Km]} \quad (0,25\text{Pt})$$

Calculons en suite la résistance maximale correspondante à 20°C

$$R_{20^{\circ}} = \rho_0 \frac{L}{S}, \quad R_{70^{\circ}} = \rho_{70} \frac{L}{S} \quad \text{avec} \quad \rho_{70} = \rho_0 (1 + \alpha \cdot \Delta T)$$

$$\text{Donc : } R_{\max, 20^{\circ}\text{C}} = \frac{R_{\max, 70^{\circ}\text{C}}}{1 + \alpha \cdot \Delta T} = \frac{0,13}{1 + 0,004 \times 50} = 0,108 \text{ [} \Omega / \text{Km]} \quad \text{à } 20^{\circ}\text{C} \quad (0,25\text{Pt})$$

La section cherchée est obtenue donc par la relation :

$$S = \rho_0 \frac{L}{R_{\max, 20^{\circ}\text{C}}} \times 10^3 \times 10^6 [\text{mm}^2] = 3,57 \cdot 10^{-8} \times \frac{10^9}{0,108} [\text{mm}^2] = 330,5 \text{ mm}^2 \quad (0,25\text{Pt})$$

Toutes les sections inférieures à 330,5 mm² qui ont des résistances électriques supérieures à 0,108 [Ω/km] sont à rejeter car elles conduisent à une chute de tension supérieure à 10 %. La section minimale normalisée supportant ce critère vaut donc : S_{3-minimale} = 366 mm² (0,25Pt)

Conclusion : La section qui devrait être choisie est bien S = Max(117, 182, 366) = 366 mm² (0,5Pt)

2/ La charge linéique est tirée du tableau : m_{total} = 1009 + 28 = 1037 Kg/Km , soit le poids : P = 10.17 N/m (0,25Pt)

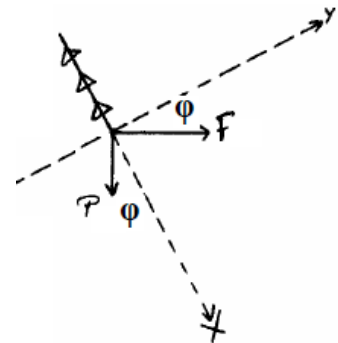
Calcule des poids équivalents :

$$\text{H(Eté)} \quad \text{Selon Y : } \varphi = \arctg \frac{F}{P} = \arctg \frac{12,12}{10,17} = 50^{\circ} \quad (0,5\text{Pt})$$

$$\text{Selon X : } P_{\text{équ}} = P \cos(\varphi) + F \sin(\varphi) = 15,82 \text{ N/m} \quad (0,5\text{Pt})$$

$$\text{H(Hiver)} \quad \text{Selon Y : } \varphi = \arctg \frac{F}{P} = \arctg \frac{7,12}{10,17} = 35^{\circ} \quad (0,5\text{Pt})$$

$$\text{Selon X : } P_{\text{équ}} = P \cos(\varphi) + F \sin(\varphi) = 12,41 \text{ N/m} \quad (0,5\text{Pt})$$



Portée critique :

Soient, T_{RUPTURE} = 11795 daN, charge de rupture nominale du conducteur (cfr. Tableau)

T_{MAX} = 1/3 T_{RUPTURE} = 39316,6 N ;

θ_{été} = 15°C et θ_{hiver} = -15°C ;

p_{équ,été} = 15,82 N/m et p_{équ,hiver} = 12,41 N/m ;

α = 23.10⁻⁶ °C⁻¹.

$$\text{Par Blondel, nous avons : } P_C = \sqrt{\frac{24 \cdot \alpha \cdot (\theta_{\text{été}} - \theta_{\text{hiver}}) \cdot T_{\text{MAX}}^2}{P_{\text{équ,été}}^2 - P_{\text{équ,hiver}}^2}} = 515,67 \text{ m} \quad (1 \text{ Pt})$$

Exercice N°2 (07Pts)

La constante de propagation de toute la ligne:

$$gl = 0,95 \times 10^{-3} \times 1000 \angle 88^\circ = 0,95 \angle 88^\circ = 0,03315 + j0,9494 = \alpha + j\beta$$

$$\alpha = 0,03315 \quad \beta = 0,9494$$

1/ Calcule des paramètres : A,B,C, et D

$$A = \cosh(gl) = 0,5824 + j0,0269 = 0,583 \angle 2,65^\circ \quad (0,5 \text{ Pt})$$

$$D = \cosh(gl) = 0,5824 + j0,0269 = 0,583 \angle 2,65^\circ \quad (0,5 \text{ Pt})$$

$$B = Z_c \sinh(gl) = 14,159 + j241,17 = 241,587 \angle 86,64^\circ \quad (0,5 \text{ Pt})$$

$$C = (1/Z_c) \sinh(gl) = -3,06 \times 10^{-5} + j0,0027 = 0,00274 \angle 90,64^\circ \quad (0,5 \text{ Pt})$$

$$2/ \text{ On a } \bar{V}_S = A \times \bar{V}_R + B \times \bar{I}_R$$

Fonctionnement à vide : $I_R = 0$, donc : $\bar{V}_S = A \times \bar{V}_R$

$$\left| \frac{\bar{V}_R}{\bar{V}_S} \right| = \left| \frac{1}{A} \right| = \left| \frac{1}{0,583 \angle 2,65^\circ} \right| = 1,715, \quad (0,5 \text{ Pt}) \quad \left| \frac{\bar{V}_R}{\bar{V}_S} \right| > 1 \Rightarrow \text{Surtension à la réception} \quad (0,5 \text{ Pt})$$

$$3/ \left| \bar{V}_R \right| = \left| \bar{V}_S \right| = 1 \Rightarrow \text{Nécessite une compensation inductive à la réception.} \quad (0,5 \text{ Pt})$$

$$\bar{V}_S = A \bar{V}_R + B \bar{I}_R, \text{ avec } \bar{V}_R = j.X_{comp} \bar{I}_R \quad (0,5 \text{ Pt}) \quad X_{comp} \text{ est la réactance de la bobine de compensation.}$$

$$\text{Donc : } \bar{V}_S = A \bar{V}_R + B \frac{\bar{V}_R}{j.X_{com}} = \left(A + \frac{B}{j.X_{com}} \right) \bar{V}_R$$

$$\left| \frac{\bar{V}_R}{\bar{V}_S} \right| = \left| \frac{1}{A + \frac{B}{j.X_{com}}} \right| = 1 \Rightarrow \left| A + \frac{B}{j.X_{com}} \right| = 1$$

$$\left| A + \frac{B}{j.X_{com}} \right| = \left| 0,583 \angle 2,65^\circ + \frac{241,587 \angle 86,64^\circ}{j.X_{com}} \right| = 1 \quad (0,5 \text{ Pt})$$

La résolution de cette équation nous donne deux solutions :

$$X_{com1} = 577,312 \Omega \text{ qui est la valeur retenue} \quad (0,5 \text{ Pt})$$

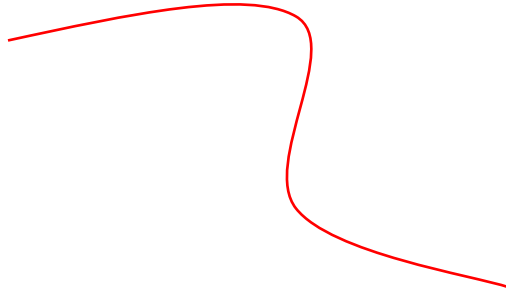
$$X_{com2} = -153,105 \Omega \text{ qui est une valeur à rejeter} \quad (0,5 \text{ Pt})$$

5/ La tension simple à la charge : $\bar{V}_R = \frac{\bar{U}_R}{\sqrt{3}} = \frac{500 \angle 0^\circ}{\sqrt{3}} = 288,7 \angle 0^\circ [Kv]$ (0.5 Pt)

Le courant à la charge vaut : $\bar{I}_R = \frac{P}{500 \cdot \sqrt{3}} \angle -36.87^\circ = \frac{1.2 \times 10^9}{\sqrt{3} \times 500 \times 10^3} \angle -36.87^\circ = 1385,64 \angle -36.87^\circ [A]$ (0.5 Pt)

$$\bar{V}_S = A\bar{V}_R + B\bar{I}_R = 0.583 \angle 2.65^\circ \times 288,7 \angle 0^\circ \times 1000 + 241.587 \angle 86.64^\circ \times 1385,64 \angle -36.87^\circ [V]$$

$$\bar{V}_S = 465,9 \angle 34.42^\circ [Kv]$$
 (0.5 Pt)



Questions de cours (06Pts)**a).** Couchez la seule réponse juste de chaque question. (01 à 08)

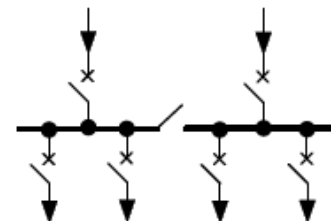
1/ La distance maximale de la portée en zones rurales est :	
	400 m
✗	180 m
	80 m
	280m
2/ Pour régler directement la tension au niveau du poste de distribution, on utilise :	
	Une compensation shunt de la puissance réactive
✗	Un auto-transformateur
	Une compensation série de la réactance de la ligne électrique
	Un transformateur abaisseur de tension
3/ Le moyen de réglage direct de tension à la sortie d'un post source est :	
	Batteries de condensateurs
	Compensateur synchrone
✗	Auto-transformateur
	Modification de l'excitation de l'alternateur
4/ Les FACTs sont :	
	Des systèmes de transmission flexibles en puissance active
✗	Des compensateurs automatiques de puissance réactive
	Des moyens de réglage direct de la tension
	Des sources de puissance réactive
5/ La puissance active échangée entre deux jeux de barres dépend de :	
	Les modules des tensions de la source et à la charge, la réactance de la ligne électrique
✗	La chute de tension en quadrature, le module de la tension à la charge, La réactance de la ligne
	La chute de tension directe, le module de la tension de la source, la réactance de la ligne
	La chute de tension en quadrature, le module de la tension de la source, L'angle de charge

6/ Le domaine de tension BTB est défini par les valeurs:

	$50 < U_n \leq 500$ (alternatif) et $120 < U_n \leq 750$ (continu)	
✗	$500 < U_n \leq 1000$ (alternatif)	0.5 Pt
	$1500 < U_n \leq 75\,000$ (continu)	
	$50 < U_n \leq 500$ (alternatif) et $750 < U_n \leq 1500$ (continu)	

7/ Le schéma ci- contre représente :

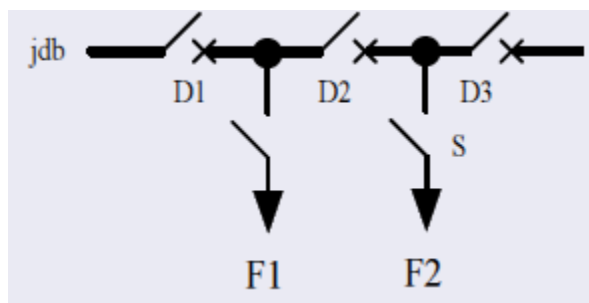
	Un poste électrique à couplage de disjoncteurs double antenne	
	Un post électrique à couplage de sectionneurs simple jeu de barres	
✗	Un poste électrique à couplage de barres double antenne-simple jeu de barres	0.5 Pt
	Un poste électrique à couplage de barres double antenne-double jeu de barres	



8/ Dans un poste électrique à couplage de barres double antenne-double jeu de barres

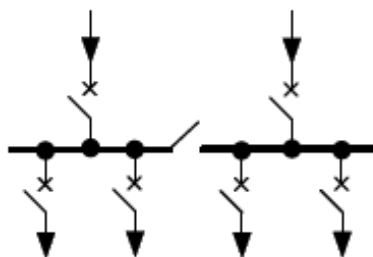
	La perte d'une arrivée entraîne la perte du poste	
	Un défaut sur un jeu de barres entraîne la perte du poste	
✗	Un départ est normalement alimenté par un seul jeu de barres	0.5 Pt
	Les jeux de barres sont couplés par un sectionneur	

b). Schématiser un poste électrique à couplage de disjoncteurs simple jeu de barres



01 Pt

c). Schématiser un poste électrique à couplage de barres simple antenne simple jeu de barres avec tronçons couplés par sectionneur



01 Pt

Questions de cours (06Pts)**a).** Couchez la seule réponse juste de chaque question. (01 à 08)

1/ Dans un poste électrique à couplage de barres double antenne-double jeu de barres	
☐	La perte d'une arrivée entraîne la perte du poste
☐	Un défaut sur un jeu de barres entraîne la perte du poste
☒	Un départ est normalement alimenté par un seul jeu de barres 0.5 Pt
☐	Les jeux de barres sont couplés par un sectionneur
2/ La puissance active échangée entre deux jeux de barres dépend de :	
☐	Les modules des tensions de la source et à la charge, la réactance de la ligne électrique
☒	La chute de tension en quadrature, le module de la tension à la charge, La réactance de la ligne 0.5 Pt
☐	La chute de tension directe, le module de la tension de la source, la réactance de la ligne
☐	La chute de tension en quadrature, le module de la tension de la source, L'angle de charge
3/ Pour régler directement la tension au niveau du poste de distribution, on utilise :	
☐	Une compensation shunt de la puissance réactive
☒	Un auto-transformateur 0.5 Pt
☐	Une compensation série de la réactance de la ligne électrique
☐	Un transformateur abaisseur de tension
4/ Le moyen de réglage direct de tension à la sortie d'un post source est :	
☐	Batteries de condensateurs
☐	Compensateur synchrone
☒	Auto-transformateur 0.5 Pt
☐	Modification de l'excitation de l'alternateur
5/ Les FACTs sont :	
☐	Des systèmes de transmission flexibles en puissance active
☒	Des compensateurs automatiques de puissance réactive 0.5 Pt
☐	Des moyens de réglage direct de la tension
☐	Des sources de puissance réactive

6/ La distance maximale de la portée en agglomérations est :

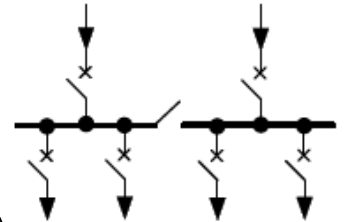
	400 m	
	180 m	
✗	80 m	0.5 Pt
	280m	

7/ Le domaine de tension HTA est défini par les valeurs:

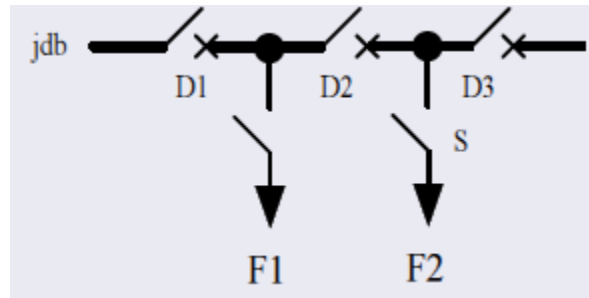
	$50 < U_n \leq 500$ (alternatif) et $120 < U_n \leq 750$ (continu)	
	$1000 < U_n \leq 50\,000$ (alternatif) et $1500 < U_n \leq 50\,000$ (continu)	
✗	$1500 < U_n \leq 75\,000$ (continu)	0.5 Pt
	$50 < U_n \leq 500$ (alternatif) et $750 < U_n \leq 1500$ (continu)	

8/ Le schéma ci- contre représente :

	Un poste électrique à couplage de disjoncteurs double antenne	
	Un post électrique à couplage de sectionneurs simple jeu de barres	
✗	Un poste électrique à couplage de barres double antenne-simple jeu de barres	0.5 Pt
	Un poste électrique à couplage de barres double antenne-double jeu de barres	

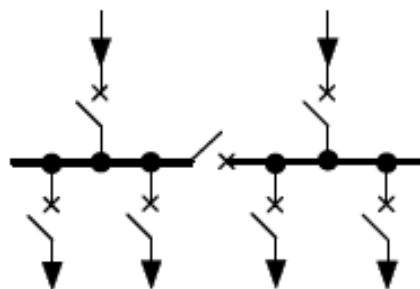


b). Schématiser un poste électrique à couplage de disjoncteurs simple jeu de barres



01 Pt

c). Schématiser un poste électrique à couplage de barres simple antenne simple jeu de barres avec tronçons couplés par disjoncteur



01 Pt