UE 3E104 : Réseaux électriques
et gestion de l'énergie

Ecrit réparti n°1 : vendredi 20 octobre 2017

Durée : 1 h 30 – Sans document ni téléphone, avec calculatrice autorisée

Longueur du sujet : 4 pages

Exercice 1 :

On s'intéresse à une installation électrique triphasée 230 V/400 V 50 Hz comportant :

- 4 lampes 230 V / 100 W chacune et 1 lampe 230 V / 200 W,
- un moteur triphasé de puissance mécanique nominale $P_{méca} = 3\ kW$, facteur de puissance $\cos\varphi = 0{,}8$ et rendement $\eta = 75\ \%$,
- 1 charge composée de 3 impédances $\underline{Z}$ montées en triangle, avec $\underline{Z} = 60 + j.80\ \Omega$.

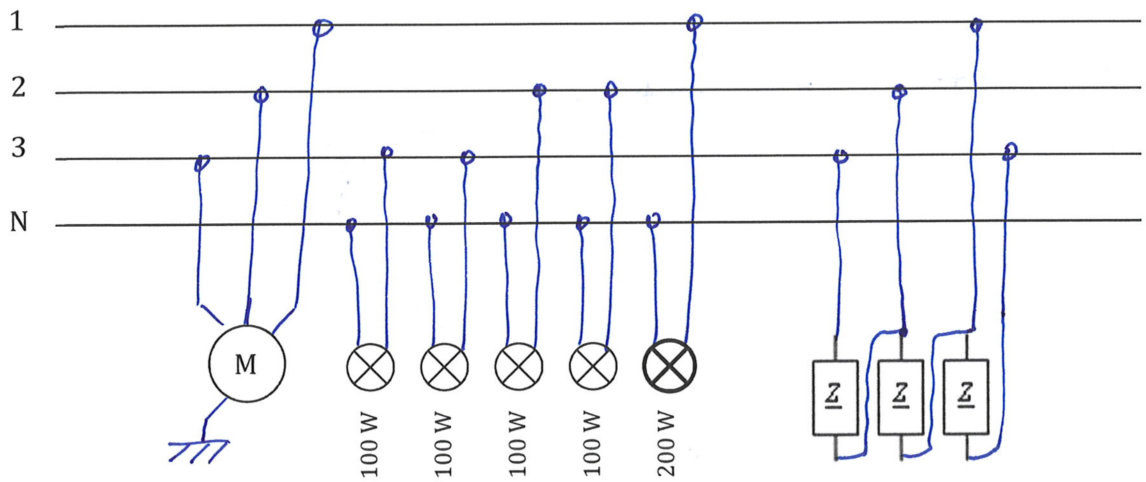
a. Représenter le principe de raccordement de tous les récepteurs pour obtenir une installation triphasée équilibrée (réponse sur le sujet).

b. Calculer la puissance active, la puissance réactive, la puissance apparente et le facteur de puissance de l'installation. Quelle remarque peut-on faire sur ce facteur de puissance ?

c. Calculer les intensités des courants de phase.

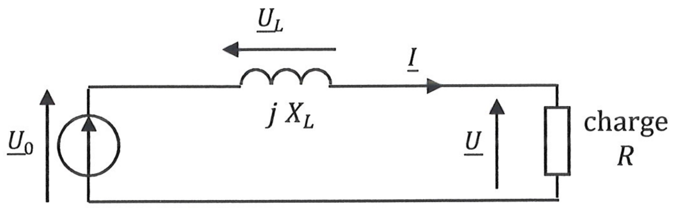
d. On veut relever le facteur de puissance à une valeur de 0,9 avec une batterie de condensateurs couplés en triangle. Calculer la valeur des capacités à utiliser. Calculer la nouvelle valeur des intensités des courants de phase.

Document-réponse pour la question a.



Exercice 2 :

Une ligne de transport monophasée alimente une charge purement résistive R. La ligne est caractérisée par son impédance inductive jX_L et est alimentée par une source de tension $\underline{U_0} = U_0$.



a. Soit $\underline{U}$, la tension aux bornes de la charge. Exprimer $\underline{U}$ et $|\underline{U}|$ en fonction de U_0, R et X_L.

b. Soit $\underline{I}$, le courant débité par la ligne. Exprimer $\underline{I}$ et $|\underline{I}|$ en fonction de U_0, R et X_L.

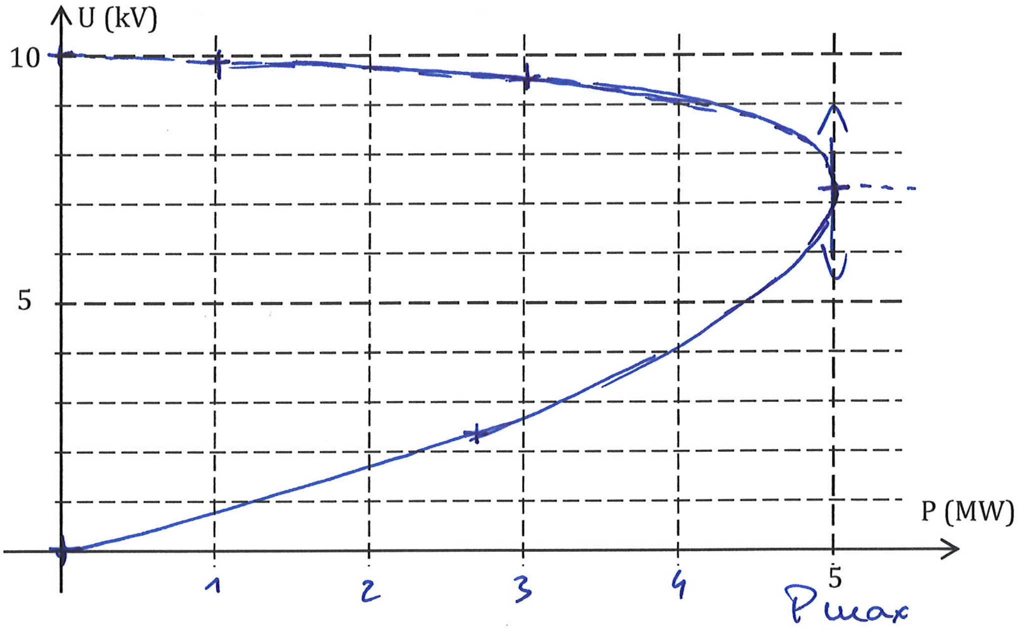
c. Soit P, la puissance active consommée par la charge. Exprimer P en fonction de U_0, R et X_L.

d. On donne les valeurs numériques suivantes : $U_0 = 10\,kV$ et $X_L = 10\,\Omega$. Compléter le tableau ci-dessous.

$R\ (\Omega)$	100	30	10	3
$\lvert\underline{U}\rvert\ (V)$	9950	9487	7071	2873
$\lvert\underline{I}\rvert\ (A)$	99,5	316	707	958
$P\ (MW)$	1	3	5	2,7

e. Calculer la dérivée de P par rapport à la résistance R, puis montrer que P atteint une valeur maximale pour une certaine résistance que l'on déterminera. Calculer la tension $\underline{U}$ et la puissance P pour cette valeur particulière de la résistance.

f. Reporter les points calculés sur le graphe ci-dessous et tracer la courbe tension-puissance de la ligne.



Courbe tension-puissance de la ligne sur charge résistive

ER1 - Vendredi 20 octobre 2017 - Corrigé

Ex. 1 : a) cf. sujet

b) * $P = \underbrace{P_{lampes}}_{=600\,W} + P_{moteur} + P_{charge}$

$P_{moteur} = \dfrac{P_{meca}}{\eta} = \dfrac{3.10^3}{0,75} = 4.10^3\ W$

$P_{charge} = 3R\left(\dfrac{U}{Z}\right)^2$ avec $R = 60\,\Omega$, $U = 400\,V$, $Z = 100\,\Omega$

$\Rightarrow P_{charge} = 2880\ W$

$P = 600 + 4000 + 2880 = 7480\ W$

* $Q = \underbrace{Q_{lampes}}_{=0} + Q_{moteur} + Q_{charge}$

$Q_{moteur} = \sqrt{1-FP^2} \cdot S_{moteur} = \dfrac{\sqrt{1-FP^2}}{FP} \cdot P_{moteur}$, avec $FP = 0,8$

$Q_{moteur} = \dfrac{0,6}{0,8} \times 4000 = +3000\ VAR$ (+ car moteur = charge inductive)

$Q_{charge} = 3X\left(\dfrac{U}{Z}\right)^2$, avec $X = 80\,\Omega$

$\Rightarrow Q_{charge} = 3840\ VAR$

$Q = 0 + 3000 + 3840 = 6840\ VAR$

* $S = \sqrt{P^2 + Q^2} = 10\,136\ VA$

* $FP = \dfrac{P}{S} = 0,74$ $\qquad FP < 0,8$!

FP inférieur à la valeur limite tolérée par EDF

c) $S = 3 . V . I$, où V est la tension simple $V = 230\,V$

$I = \dfrac{S}{3V} = 14,7\ A$

d) Installation compensée : $P' = P$

$$S' = \frac{P}{Fp'}$$

$$Q' = \frac{\sqrt{1-Fp'^2}}{Fp'} \cdot P$$

d'où : $Q' = \frac{\sqrt{1-0{,}9^2}}{0{,}9} \cdot 7480 = 3623 \text{ VAR}$

Pour obtenir cette valeur de Q', il faut placer des condensateurs d'énergie réactive Q_c : $Q' = Q + Q_c$

$$\rightarrow Q_c = Q' - Q = 3623 - 6840 = -3217 \text{ VAR}$$

avec $Q_c = -3C\omega . U^2$ (couplage triangle)

d'où $C = \frac{-Q_c}{3U^2\omega} = 2{,}1 . 10^{-5} \text{ F}$ (21 μF)

Ex. 2 :

a) $\underline{U} = U_0 \frac{R}{R + jX_L}$ $\quad |\underline{U}| = U_0 \frac{R}{\sqrt{R^2 + X_L^2}}$

b) $\underline{I} = \frac{U_0}{R + jX_L}$ $\quad |\underline{I}| = U_0 \frac{1}{\sqrt{R^2 + X_L^2}}$

c) $P = R . |\underline{I}|^2 = \frac{R\,U_0^2}{R^2 + X_L^2}$

d)

$U_0 = 10^4$ V

$X_L = 10\ \Omega$

R (Ω)	100	30	10	3
$|\underline{U}|$ (V)	9950	9487	7071	2873
$|\underline{I}|$ (A)	99,5	316	707	958
P (MW)	1	3	5	2,7

e) $\frac{dP}{dR}(R) = U_0^2 \left[\frac{1}{R^2 + X_L^2} - \frac{2R^2}{(R^2 + X_L^2)^2} \right]$

$$= U_0^2 \frac{R^2 + X_L^2 - 2R^2}{(R^2 + X_L^2)^2} = U_0^2 \frac{X_L^2 - R^2}{(R^2 + X_L^2)^2}$$

$\frac{dP}{dR} = 0 \iff R = X_L$

R	0		X_L		$+\infty$
dP/dR		$+$	0	$-$	
P		$\nearrow$	P_{max}	$\searrow$	

Pour $P = X_L$, on obtient $P_{max} = \dfrac{U_0^2}{2X_L}$

f) sur sujet

g) $X_C < 0$ car impédance d'un condensateur

h) $\underline{Z}_{eq} = \dfrac{R \cdot jX_C}{R + jX_C}$

i) $\underline{U} = U_0 \dfrac{\underline{Z}_{eq}}{\underline{Z}_{eq} + jX_L} = U_0 \dfrac{\dfrac{RjX_C}{R+jX_C}}{\dfrac{RjX_C}{R+jX_C} + jX_L}$

$$\underline{U} = U_0 \frac{jRX_C}{jRX_C + jX_L(R+jX_C)} = U_0 \frac{RX_C}{R(X_C+X_L) + j\,X_C \cdot X_L}$$

$$|\underline{U}| = U_0 \frac{RX_C}{\sqrt{R^2(X_C+X_L)^2 + X_C^2 \cdot X_L^2}}$$

j) $P = \dfrac{|\underline{U}|^2}{R} = U_0^2 \dfrac{RX_C^2}{R^2(X_C+X_L)^2 + X_C^2 X_L^2}$

k) $\left.\begin{array}{l} R = 10\,\Omega \\ X_C = -10\,\Omega \\ U_0 = 10^4\,V \\ X_L = +10\,\Omega \end{array}\right\} \Rightarrow$ $|\underline{U}| = U_0 \cdot \dfrac{R}{X_L} = U_0 = 10^4\,V$

$P = \dfrac{U_0^2}{R} = \dfrac{10^8}{10} = 10\ MW$

- le condensateur permet d'augmenter la puissance transmise par la ligne et la tension d'alimentation de la charge.

Question de cours :

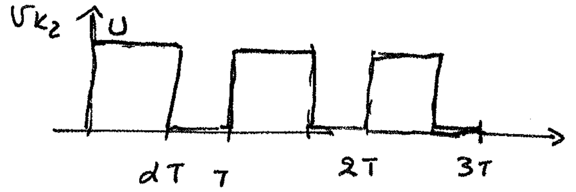
a) Un hacheur est un convertisseur continu/continu, qui permet d'ajuster la valeur moyenne d'une tension ou d'un courant continus.

b) Cellule de commutation : ensemble de deux interrupteurs fonctionnant de manière complémentaire (quand l'un est fermé, l'autre est ouvert)

c) Sur $[0, \alpha T[$: K1 fermé donc K2 ouvert

$v_{K1} = 0 \Rightarrow v_{K2} = U$

Sur $[\alpha T, T[$: K1 ouvert donc K2 fermé et $v_{K2} = 0$



$$\langle v_{K2} \rangle = \frac{1}{T}\int_0^T v_{K2}(t)\,dt$$

$$\langle v_{K2} \rangle = \frac{1}{T}\left[U\alpha T + 0 \right] = \alpha U$$

d) L et C sont des éléments de filtrage qui permettent de lisser le courant et la tension de sortie.

L ~~oppo~~ limite les variations du courant i_L et

C limite les variations de la tension v_s.

e) $\forall t$: $v_{K2}(t) = v_s(t) + v_L(t)$ donc $v_s(t) = v_{K2}(t) - v_L(t)$

avec $v_L(t) = L\frac{di}{dt}(t)$

$\Rightarrow \langle v_s \rangle = \langle v_{K2} \rangle - \langle v_L \rangle$

$$\langle v_L \rangle = \frac{1}{T}\int_0^T v_L(t)\,dt = \frac{L}{T}\int_0^T \frac{di}{dt}\,dt = \frac{L}{T}\left[i(T) - i(0) \right]$$

$\langle v_L \rangle = 0$ en régime périodique $\Rightarrow \langle v_s \rangle = \langle v_{K2} \rangle$

f) $\forall t$ $i_s(t) = i_L(t) - i_c(t)$ avec $i_c(t) = C\frac{dv_s}{dt}(t)$

$\Rightarrow \langle i_s \rangle = \langle i_L \rangle - \langle i_c \rangle$

$$\langle i_c \rangle = \frac{1}{T}\int_0^T i_c(t)\,dt = \frac{C}{T}\int_0^T \frac{dv_s}{dt}\,dt = \frac{C}{T}\left[v_s(T) - v_s(0) \right]$$

$\langle i_c \rangle = 0$ en régime périodique $\Rightarrow \langle i_s \rangle = \langle i_L \rangle$