

Examen final 2025 ELE 1409

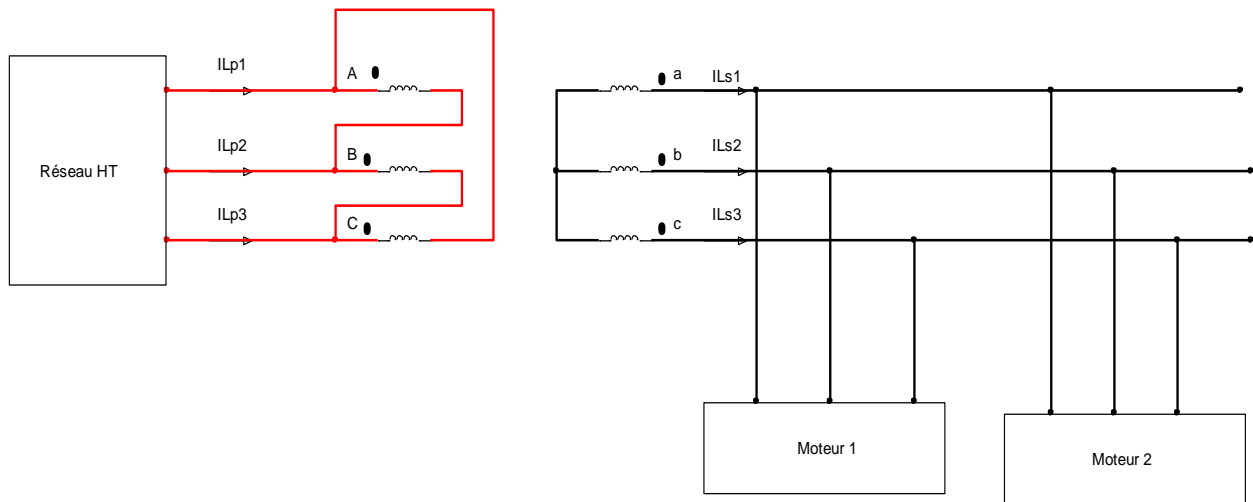
Exercices de révisions

*Exercices proposés à titre **complémentaire** (résolus **uniquement** en salle la journée du 10 avril entre 8 h 30 et 11h 30)*

Cours 6 et 7

Exercice 1 : *Exercice 7 de la fiche du cours 7*

Une installation électrique équilibrée alimentée par un réseau triphasé à 600 V, 60 Hz comprend deux moteurs asynchrones triphasés comme montré sur la figure ci-dessous.



Les informations sur la charge sont les suivantes :

- Moteur 1
 - ✓ Puissance absorbée de 5 HP
 - ✓ Facteur de puissance : 0.69 retard
- Moteur 2
 - ✓ Puissance absorbée de 50 HP
 - ✓ Facteur de puissance : 0.9 retard.

Prendre 1 HP=746 W.

L'installation est alimentée à travers un transformateur triphasé de rapport de transformation global égal à 25.

Note importante : Les points sur cette figure indiquent simplement la polarité des enroulements du transformateur. Cette donnée n'est pas pertinente pour les analyses qui vont suivre.

1. Quel est le couplage de ce transformateur triphasé ?
2. Calculer le rapport de transformation m de ce transformateur.
3. Calculer la valeur efficace du courant tiré par le moteur 1.
4. Calculer la valeur efficace du courant tiré par le moteur 2.
5. Calculer la valeur efficace du courant tiré par les deux moteurs.
6. Calculer la valeur efficace de la tension de ligne de la source (situé du côté primaire du transformateur).
7. Calculer la valeur efficace du courant de ligne fourni par la source (située du côté primaire du transformateur).

Réponses :

$$\left\{ \begin{array}{l} \Delta y \\ m = 43.3 \end{array} \right. ; \left\{ \begin{array}{l} I_{LS1} = 5.2 \text{ A} \\ I_{LS2} = 39.88 \text{ A} \end{array} \right. ; \left\{ \begin{array}{l} I_{LS} = 44.79 \text{ A} \\ V_{LP} = 15 \text{ kV} \end{array} \right. ; I_{LP} = 1.79 \text{ A}$$

Cours 8

Exercice 2 : *extrait de l'examen final de la session d'hiver 2021.*

Caractérisation d'un Moteur asynchrone triphasé

Soit un moteur asynchrone triphasé avec les caractéristiques suivantes données sur la plaque signalétique: 100 HP, 4 pôles, 600 V, 60 Hz, FP = 0.89 retard. En régime nominal, le moteur a un glissement $s = 0,03$ et tire un courant de 87.68 A. Les pertes par frottement et ventilation et les pertes magnétiques (par courants de Foucault et par hystérésis) sont respectivement égales à 2400 W et 1500 W à la vitesse et tension nominale.

1. Trouver la vitesse nominale du moteur et son couple nominal sur l'arbre.
2. Déterminer les pertes Joule dans le rotor du moteur en régime nominal.
3. Calculer les pertes Joule dans le stator du moteur en régime nominal.
4. Calculer le rendement du moteur en régime nominal.

- Que deviennent la vitesse de rotation et le couple sur l'arbre du moteur si la machine développe une puissance de 50 HP.
- Déterminer la tension d'alimentation, la vitesse de rotation, la puissance mécanique fournie à la charge (en HP) et le courant de ligne si le moteur est alimenté à une fréquence de 30 Hz de telle façon qu'il développe le couple nominal. On utilise la stratégie V/f constant et on suppose que le rendement et le facteur de puissance sont maintenus constants.

Réponses

$$\left\{ \begin{array}{l} n_n = 1746 \text{ rpm} \\ T_n = 408.035 \text{ N.m} \end{array} \right. ; \left\{ \begin{array}{l} p_{jr} = 2381.443 \text{ W} \\ p_{js} = 215.125 \text{ W} \end{array} \right. ; \eta(\%) \approx 92\% ; \left\{ \begin{array}{l} n_{50 \text{ HP}} = 1773.81 \text{ rpm} \\ T_{50 \text{ HP}} = 197.896 \text{ N.m} \end{array} \right.$$

$$\left\{ \begin{array}{l} V_{30 \text{ Hz}} = 300 \text{ V} \\ n_{30 \text{ Hz}} = 846 \text{ rpm} \\ P_{u_{30 \text{ Hz}}} = 36146.346 \text{ W} = 48.45 \text{ HP} \\ I_{L_{30 \text{ Hz}}} = 84.958 \text{ A} \end{array} \right.$$

Exercice 3 : extrait de la fiche du cours 8 (voir exercice 7 de cette fiche)

Régime nominal et variation de la vitesse d'un MAS : partiellement déjà résolu en salle

Soit un moteur asynchrone triphasé, de puissance nominale de 100 HP, de tension nominale de 600 V et de fréquence nominale de 60 Hz. La vitesse nominale du moteur est de 1735 r/min. Des essais en charge sur le moteur, sous tension et fréquence nominales ont donné les résultats suivants :

- Puissance absorbée par le moteur : 70 kW
 - Courant tiré par le moteur : 78 A
 - Pertes fer : 2 kW
 - Pertes mécaniques ou rotationnelles : 1.2 kW
 - Pertes cuivre statoriques 3.1 kW
 - Pertes joules rotoriques : 1.3 kW
- Le régime de fonctionnement du moteur lors de ces essais est-il nominal ? Justifier la réponse.
 - Trouvez le rendement et le facteur de puissance du moteur lors de ces essais.
 - Calculez la vitesse de rotation du moteur lors de ces essais en considérant le bilan de puissance.
 - Déterminez le couple utile développé par le moteur lors de ces essais.
 - Le moteur est alimenté par un onduleur (convertisseur permettant de faire varier la fréquence) triphasé et développe le couple utile déterminé à la question précédente. Sa vitesse de rotation est 835 rpm. Déterminez la fréquence et la tension de son alimentation.

Réponses :

$$NON; \left\{ \begin{array}{l} \eta = 89.1\% \\ FP = 86.4\% \text{ retard} \end{array} \right. ; n = 1764 \text{ rpm} ; T = 337.8 \text{ Nm} ; \left\{ \begin{array}{l} f = 29 \text{ Hz} \\ V_{L29} = 290V \end{array} \right.$$

Cours 9-10

Exercice 4

Calcul de la puissance d'utilisation (souscrite) et facturation de l'énergie électrique

Soit donnée une installation triphasée alimentée sous une tension de 230 V. Les caractéristiques des éléments de cette installation sont reportées dans le tableau ci-dessous. L'objectif principal est de déterminer la puissance d'utilisation de cette installation c'est-à-dire la puissance à souscrire auprès du fournisseur d'énergie.

Récepteurs	Caractéristiques
Centrale de traitement d'air (récepteur 1)	P=60 kW, $\eta=90\%$, FP=0.8 retard, $ku=0.75$
Climatiseur (récepteur 2)	P=22 kW, $\eta=90\%$, FP=0.8 retard, $ku=0.8$
Groupe d'eau glacé (récepteur 3)	P=84 kW, $\eta=82\%$, FP=0.85 retard, $ku=0.75$

1. Déterminer le courant pour chacun des récepteurs sans tenir compte du facteur d'utilisation. On rappelle qu'il s'agit d'une installation triphasée.
2. Déterminer la puissance d'utilisation en *kW* de chacun des récepteurs.
3. Calculer le courant d'emploi pour chaque récepteur.
4. Calculer la puissance réelle d'utilisation au niveau de l'armoire de distribution en tenant compte d'un facteur d'extension de 1.25. Vous devez aussi prendre en considération le nombre de circuits (facteur de simultanéité); chaque récepteur étant un circuit.
5. Les mesures suivantes ont été réalisées à l'entrée de cette installation durant une période de mesure. Quel tarif sera appliqué à cette installation si ? Justifiez votre réponse.
 - Puissance maximale appelée : 150 kW
 - Puissance apparente maximale appelée : 454.55 kVA.
6. Dans la suite de la question précédente, on désire appliquer le tarif M et on rappelle ci-dessous sa structure et la formule permettant de calculer la puissance à facturer.

- Rappel de la structure du tarif M

Kilowatts de puissance à facturer	17.573 \$
Coût du kilowattheure pour les 210 000 premiers kilowattheures	6.061 ¢
Coût du kilowattheure pour le reste d'énergie	4.495 ¢

- Puissance à facturer : c'est le maximum entre la puissance souscrite, la puissance maximale appelée et 0.9 fois la puissance apparente maximale appelée.

L'énergie consommée durant la période de facturation est de 230 000 kW.h. Calculer la facture sachant que la puissance souscrite est égale à la puissance d'utilisation calculée à la question 4.

- Déterminer le facteur de puissance global de cette installation.
- Calculer la puissance du transformateur d'alimentation de ce secteur en considérant une fois de plus un facteur d'extension de 1.25. Ne pas tenir compte d'un facteur de simultanéité.
- Vous disposez d'une gamme de transformateurs Legrand de capacité : 200 kVA, 400 kVA, 600 kVA et 1000 kVA. Lequel choisiriez-vous pour alimenter ce secteur ?

Réponses

$$\begin{cases} I_{L_1} = 209.18 \text{ A} \\ I_{L_2} = 76.7 \text{ A} \\ I_{L_3} \approx 302.53 \text{ A} \end{cases} ; \begin{cases} P_{u_1} = 50 \text{ kW} \\ P_{u_2} \approx 19.56 \text{ kW} \\ P_{u_3} \approx 76.83 \text{ kW} \end{cases} ; \begin{cases} I_{B_1} = 156.9 \text{ A} \\ I_{B_2} = 61.35 \text{ A} \\ I_{B_3} = 226.9 \text{ A} \end{cases}$$

$$P_{\text{armoires}} = 164.68 \text{ kW} ; 50 \text{ kW} < P_{\text{am}} < 5000 \text{ kW} \Rightarrow \text{Tarif M} ;$$

$$P_{\text{facturé}} = 309.081 \text{ kW} ; \text{Coût} = 20816.21 \text{ \$} ; FP_g \approx 0.33 \text{ retard} ;$$

$$S_{\text{transfo}} = 623.79 \text{ kVA}$$

Transformateur choisi : 1000 kVA

Solution Exercice 4

Calcul de la puissance d'utilisation (souscrite) et facturation de l'énergie électrique

Soit donnée une installation triphasée alimentée sous une tension de 230 V. Les caractéristiques des éléments de cette installation sont reportées dans le tableau ci-dessous. L'objectif principal est de déterminer la puissance d'utilisation de cette installation c'est-à-dire la puissance à souscrire auprès du fournisseur d'énergie.

Récepteurs	Caractéristiques
Centrale de traitement d'air (récepteur 1)	P=60 kW, $\eta=90\%$, FP=0.8 retard, $k_u=0.75$
Climatiseur (récepteur 2)	P=22 kW, $\eta=90\%$, FP=0.8 retard, $k_u=0.8$
Groupe d'eau glacé (récepteur 3)	P=84 kW, $\eta=82\%$, FP=0.85 retard, $k_u=0.75$

1. Calcul du courant pour chacun des récepteurs sans tenir compte du facteur d'utilisation. On rappelle qu'il s'agit d'une installation triphasée.

Récepteur 1

$$P_{a_1} = \frac{P_1}{\eta_1} = \frac{60}{0.9} = 66.67 \text{ kW} = \sqrt{3} \cdot V_L \cdot I_{L_1} \cdot FP_1 \Rightarrow I_{L_1} = \frac{P_{a_1}}{\sqrt{3} \cdot V_L \cdot FP_1} = \frac{66.67 \times 1000}{0.8 \times \sqrt{3} \times 230} = \boxed{209.2 \text{ A}}$$

Récepteur 2

Comme précédemment avec le récepteur 1, on aura :

$$P_{a_2} = \frac{P_2}{\eta_2} = \frac{22}{0.9} = 24.44 \text{ kW} = \sqrt{3} \cdot V_L \cdot I_{L_2} \cdot FP_2 \Rightarrow \boxed{I_{L_2}} = \frac{P_{a_2}}{\sqrt{3} \cdot V_L \cdot FP_2} = \frac{24.44 \times 1000}{0.8 \times \sqrt{3} \times 230} \approx \boxed{76.69 \text{ A}}$$

Récepteur 3 :

Toujours comme précédemment, on aura :

$$P_{a_3} = \frac{P_3}{\eta_3} = \frac{84}{0.82} = 102.44 \text{ kW} = \sqrt{3} \cdot V_L \cdot I_{L_3} \cdot FP_3 \Rightarrow \boxed{I_{L_3}} = \frac{P_{a_3}}{\sqrt{3} \cdot V_L \cdot FP_3} = \frac{102.44 \times 1000}{0.85 \times \sqrt{3} \times 230} = \boxed{302.53 \text{ A}}$$

2. Calcul de la puissance d'utilisation en kW de chacun des récepteurs.

On utilise pour cela le facteur d'utilisation de chaque récepteur.

$$\begin{cases} P_{u_1} = k_{u_1} \cdot P_{a_1} = 0.75 \times 66.67 \approx \boxed{50 \text{ kW}} \\ P_{u_2} = k_{u_2} \cdot P_{a_2} = 0.8 \times 76.69 \approx \boxed{19.55 \text{ kW}} \\ P_{u_3} = k_{u_3} \cdot P_{a_3} = 0.75 \times 302.53 \approx \boxed{76.83 \text{ kW}} \end{cases}$$

3. Calcul du courant d'emploi pour chaque récepteur.

On peut simplement appliquer les facteurs d'utilisation sur les courants de ligne comme montré ci-dessous :

$$\begin{cases} I_{B_1} = k_{u_1} \cdot I_{L_1} = 0.75 \times 209.2 = 156.9 \text{ A} \\ I_{B_2} = k_{u_2} \cdot I_{L_2} = 0.8 \times 76.69 = 61.35 \text{ A} \\ I_{B_3} = k_{u_3} \cdot I_{L_3} = 0.75 \times 302.53 = 226.9 \text{ A} \end{cases}$$

4. Calcul de la puissance réelle d'utilisation au niveau de l'armoire de distribution en tenant compte d'un facteur d'extension de 1.25. On doit aussi prendre en considération le nombre de circuits (facteur de simultanéité); chaque récepteur étant un circuit.

On a un total de 3 circuits et en considérant le tableau des facteurs de simultanéité pour armoire de distribution, on aura un facteur de simultanéité de 0.9 ce qui donne alors :

$$P_{\text{armoire}} = k_s \cdot k_e (P_{u_1} + P_{u_2} + P_{u_3}) = 0.9 \times 1.25 \times (50 + 19.55 + 76.83) = 164.68 \text{ kW}$$

5. Les mesures suivantes ont été réalisées à l'entrée de cette installation durant une période de mesure. Quel tarif sera appliqué à cette installation si ? Justifiez votre réponse.

- Puissance maximale appelée : 150 kW
- Puissance apparente maximale appelée : 454.55 kVA.

La puissance maximale appelée étant d'au moins 50 kW, il sera appliqué le **tarif M**, car on a :

$$50 \text{ kW} < P_{am} < 5000 \text{ kW}$$

6. Dans la suite de la question précédente, on désire appliquer le tarif M et on rappelle ci-dessous sa structure et la formule permettant de calculer la puissance à facturer. L'énergie consommée durant la période de facturation est de 230 000 kW.h. Calculer la facture sachant que la puissance souscrite est égale à la puissance d'utilisation calculée à la question 4.

- Puissance à facturer : c'est le maximum entre la puissance souscrite, la puissance maximale appelée et 0.9 fois la puissance apparente maximale appelée.

$$\begin{cases} P_{am} = 150 \text{ kW} \\ P_s = P_u = P_{\text{armoire}} = 164.68 \text{ kW} \\ 0.9 \times S_{am} = 0.9 \times 454.55 = 409.1 \text{ kW} \end{cases} \Rightarrow P_{\text{facturé}} = 409.1 \text{ kW}$$

- Rappel de la structure du tarif M

Kilowatts de puissance à facturer	17.573 \$	17.573×409.1	7189.11 \$
Coût du kilowattheure pour les 210 000 premiers kilowattheures	6.061 ¢	$\frac{6.061 \times 210000}{100}$	12728.1 \$

Coût du kilowattheure pour le reste d'énergie	4.495 ¢	$\frac{4.495 \times (230000 - 210000)}{100}$	899 \$
Total			20816.21\$

7. Calcul du facteur de puissance global de cette installation.

Les deux puissances mesurées sont liées par le facteur de puissance comme suit :

$$FP_g = \frac{P_{am}}{S_{am}} = \frac{150}{454.55} \approx \mathbf{0.33 \text{ retard}}$$

8. Calcul de la puissance du transformateur d'alimentation de ce secteur en considérant une fois de plus un facteur d'extension de 1.25. Ne pas tenir compte d'un facteur de simultanéité.

Avec :

$$I_B = \frac{P_{\text{armoïre}}}{FP_g \cdot \sqrt{3} \cdot V_L} = \frac{164.68 \times 1000}{0.33 \times \sqrt{3} \times 230} = \mathbf{1252.68 \text{ A}}$$

Cela correspond à une puissance apparente du transformateur de :

$$S_{\text{transfo}} = \sqrt{3} V_L \cdot I_B \cdot k_e = \sqrt{3} \times 230 \times 1252.68 \times 1.25 = \mathbf{623.79 \text{ kVA}}$$

9. Vous disposez d'une gamme de transformateurs Legrand de capacité : 200 kVA, 400 kVA, 600 kVA et 1000 kVA. Quel transformateur choisir pour alimenter ce secteur ?

On choisit le transformateur ayant la capacité directement supérieure à la valeur calculée, ce qui donne alors un transformateur de **1000 kVA**.