

|   |   |   |
|---|---|---|
| PCPI – 1 TS CIRA<br><b>BTS CIRA</b><br><small>Contrôle Industriel et Régulation Automatique</small> | <b>Chapitre 7</b><br><b>Le triphasé</b> | <b>ELECTRICITE</b>  |
| <b>FICHE EXERCICES 12</b>   |   | <div style="border: 1px solid red; padding: 2px; color: red; font-weight: bold;">CORRECTION</div> |

**COUPLAGES**

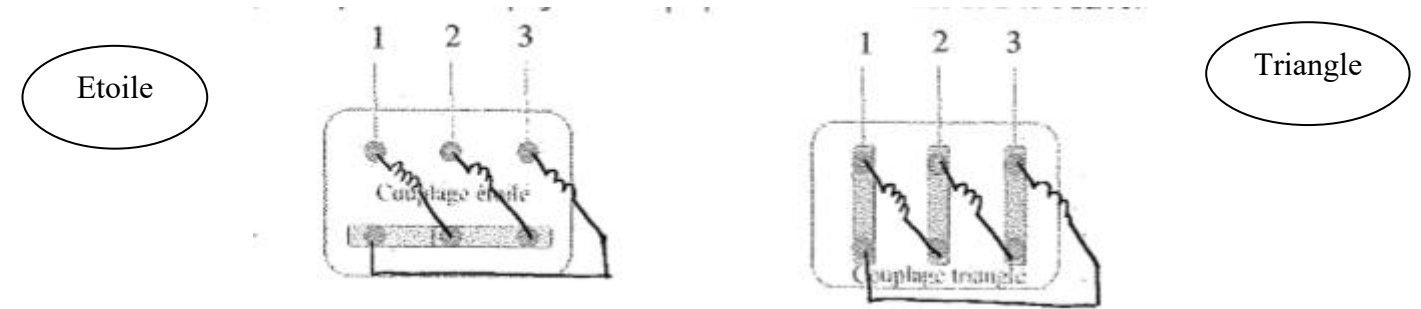
**Exercice 1**

Soit un système triphasé composé de 3 enroulements identiques que l'on peut coupler soit en étoile soit en triangle sur le réseau.

1) **Réaliser** les 2 schémas de couplage en représentant les 3 enroulements par des bobines



2) **Représenter** les 2 systèmes de couplages sur les plaques ci-dessous à l'aide de 2 ou 3 barrettes de câblages entre les différents points bleus.



**Exercice 2**

Soit un récepteur triphasé équilibré qui peut être couplé en étoile ou en triangle sur un réseau 220V / 380 V

L'impédance complexe de chacune de ses phases est  $\underline{Z} = \left[ 20\Omega; \frac{\pi}{3} \right]$

1) **Donner** le module et l'argument de chacun des récepteurs

$|Z_{eq}| = 20 \Omega \quad \varphi = \frac{\pi}{3} \text{ rad}$

**Etude du couplage étoile**

2) **Faire** un schéma du circuit en plaçant les tensions  $U_{eff}$  et  $V_{eff}$  et le courant  $I_{eff}$

3) **Calculer** la valeur efficace du courant en ligne

$I = \frac{V}{Z} = \frac{220}{20} = 11A$

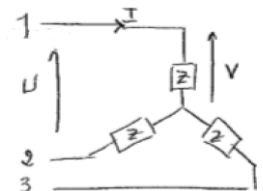
4) **Calculer** la puissance active d'un des dipôles

$P = VI \cos \varphi = 220 \times 11 \times \cos \frac{\pi}{3} = 1210W$

5) **Calculer** la puissance active du récepteur triphasé de 2 manières

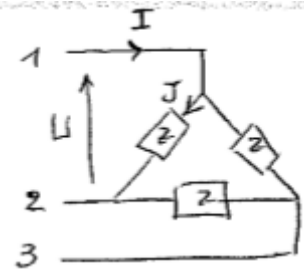
$P_{totale} = 3P = 3 \times 1210 = 3630W$

$P_{totale} = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \cos \varphi = \sqrt{3} \cdot 380 \cdot 11 \cdot \cos \frac{\pi}{3} = 3619W$



## Etude du couplage triangle

6) Faire un schéma du circuit en plaçant la tension  $U_{\text{eff}}$  et les courants  $I_{\text{eff}}$  et  $J_{\text{eff}}$



7) Calculer la valeur efficace du courant traversant chaque dipôle

$$J = \frac{U}{Z} = \frac{380}{20} = \boxed{19\text{A}}$$

8) Calculer la valeur efficace du courant en ligne

$$I = J\sqrt{3} = 19\sqrt{3} = \boxed{33\text{A}}$$

9) Calculer la puissance active d'un des dipôles

$$P = UJ \cos \varphi = 380 \cdot 19 \cdot \cos \frac{\pi}{3} = \boxed{3610\text{W}}$$

10) Calculer la puissance active du récepteur triphasé de 2 manières

$$P_{\text{totale}} = 3P = 3 \times 3610 = \boxed{10830\text{W}}$$

$$P_{\text{totale}} = \sqrt{3} U I \cos \varphi = \sqrt{3} \cdot 380 \cdot 33 \cdot \cos \frac{\pi}{3} = \boxed{10860\text{W}}$$

11) Conclure en comparant les puissances actives calculées pour chaque couplage

$$P_{\text{totale}\Delta} = 3 P_{\text{totale}\gamma}$$

$$\begin{cases} 3 U J \cos \varphi \\ 3 U \frac{I}{\sqrt{3}} \cos \varphi \\ \sqrt{3} U I \cos \varphi \end{cases}$$

### Réponses

Etoile :

$$I_{\text{eff}} = 11\text{A}$$

$$P = 1210\text{W}$$

$$P_{\text{totale}} = 3630\text{W}$$

$$P_{\text{totale}} = 3619\text{W}$$

Triangle :

$$J_{\text{eff}} = 19\text{A} \quad I_{\text{eff}} = 33\text{A}$$

$$P = 3610\text{W}$$

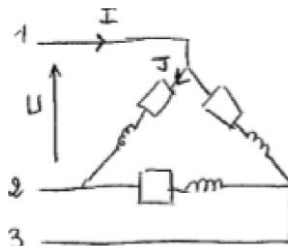
$$P_{\text{totale}} = 10830\text{W}$$

$$P_{\text{totale}} = 10860\text{W}$$

## Exercice 3

Sur un réseau (220V/380V ; 50Hz) on branche en triangle 3 récepteurs identiques de résistance  $R = 20\Omega$  en série avec une inductance  $L = 0.5\text{H}$

1) Faire un schéma du circuit en plaçant courants et tensions



### Réponses

$$|Z| = 158\Omega \quad \varphi = 1,44\text{rad}$$

$$J_{\text{eff}} = 2,40\text{A} \quad I_{\text{eff}} = 4,17\text{A}$$

$$P = 358\text{W}$$

$$Q = 2721\text{VAR}$$

$$S = 2745\text{VA}$$

2) Déterminer les caractéristiques de l'impédance de chaque récepteur, c'est-à-dire calculer son module et son argument

$$Z = R + j\omega L \quad |Z| = \sqrt{R^2 + L^2 \omega^2} = \sqrt{20^2 + 0,5^2 (2\pi \cdot 50)^2} = 158\Omega$$

$$\varphi = \arctan \frac{\omega L}{R} = \arctan \frac{0,5 \cdot 2\pi \cdot 50}{20} = 1,44\text{rad}$$

3) Calculer la valeur du courant en ligne

$$J = \frac{U}{|Z|} = \frac{380}{158} = 2,40\text{A} \quad I = \sqrt{3} J = \sqrt{3} \times 2,40 = 4,17\text{A}$$

4) Calculer les puissances active et réactive consommée par ce récepteur triphasé ainsi que la puissance apparente

$$P = \sqrt{3} U I \cos \varphi = \sqrt{3} \cdot 380 \cdot 4,17 \cdot \cos(1,44) = 358\text{W}$$

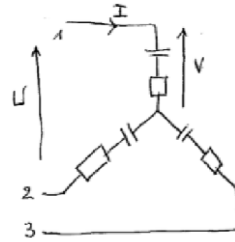
$$Q = \sqrt{3} U I \sin \varphi = \sqrt{3} \cdot 380 \cdot 4,17 \cdot \sin(1,44) = 2721\text{VAR}$$

$$S = \sqrt{3} U I = \sqrt{3} \cdot 380 \cdot 4,17 = 2745\text{VA}$$

### Exercice 4

Sur un réseau (230V/400V ; 50Hz) on branche en étoile 3 récepteurs identiques de résistance  $R = 20\Omega$  en série avec un condensateur de capacité  $C = 20\mu\text{F}$

1) Faire un schéma du circuit et placer courant et tensions



Réponses  
 $Z = 160.4 \Omega$   
 $\varphi = -1.45 \text{ rad}$   
 $I_{\text{eff}} = 1.43 \text{ A}$   
 $P = 120\text{W}$  ou  $123\text{W}$   
 $Q = -976 \text{ VAR}$  ou  $-984\text{VAR}$   
 $S = 990 \text{ VA}$

2) Donner l'impédance équivalente complexe de chaque récepteur

$$\underline{Z}_{\text{eq}} = R - \frac{j}{\omega C}$$

3) Calculer le module et l'argument de cette impédance complexe

$$|Z_{\text{eq}}| = \sqrt{R^2 + \frac{1}{C^2 \omega^2}} = 160,4 \Omega \quad \varphi = \arctan\left(-\frac{1}{R\omega C}\right) = -82,8^\circ = -1,45 \text{ rad}$$

4) Calculer la valeur efficace du courant en ligne

$$I = \frac{V}{|Z|} = \frac{230}{160,4} = 1,43 \text{ A}$$

5) Calculer la puissance active consommée par ce récepteur triphasé

$$P = \sqrt{3} U I \cos \varphi = \sqrt{3} \cdot 400 \cdot 1,43 \cdot \cos(-1,45) = 120 \text{ W}$$

ou  $P = 3(P_R + P_C) = 3 P_R = 3 R I^2 = 3 \cdot 20 \cdot 1,43^2 = 123 \text{ W}$

6) Calculer la puissance réactive consommée par ce récepteur triphasé

$$Q = \sqrt{3} U I \sin \varphi = \sqrt{3} \cdot 400 \cdot 1,43 \cdot \sin(-1,45) = -984 \text{ VAR}$$

ou  $Q = 3(Q_C + Q_R) = 3 Q_C = -\frac{3 I^2}{\omega C} = -976 \text{ VAR}$

7) Calculer la puissance apparente de ce récepteur triphasé

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} = \sqrt{3} \cdot U \cdot I = \sqrt{3} \cdot 400 \cdot 1,43 = 990 \text{ VA}$$

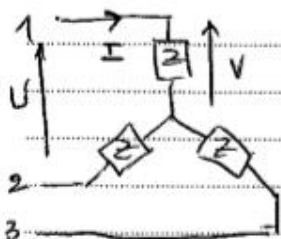
### Exercice 5

Un récepteur triphasé de facteur de puissance 0.83 comprend 3 impédances identiques raccordées en étoile.

L'intensité dans l'une des impédances est de 3.4 A

Calculer la puissance active du récepteur si la tension du réseau est de 400V

Réponses  
 $P = 1955 \text{ W}$  ou  $1947 \text{ W}$



$$\left. \begin{array}{l} \cos \varphi = 0,83 \\ I = 3,4 \text{ A} \\ U = 400 \text{ V} \end{array} \right\} \begin{array}{l} V = \frac{U}{\sqrt{3}} = \frac{400}{\sqrt{3}} = 230 \text{ V} \\ P = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \cos \varphi \quad \text{ou} \quad P = 3 V I \cos \varphi \\ = \sqrt{3} \cdot 400 \cdot 3,4 \cdot 0,83 \\ = 1955 \text{ W} \end{array}$$

$$\begin{array}{l} \text{ou } P = 3 V I \cos \varphi \\ = 3 \cdot 230 \cdot 3,4 \cdot 0,83 \\ = 1947 \text{ W} \end{array}$$

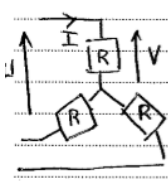
## Exercice 6

Les 3 résistances d'un chauffe-eau sont branchées en étoile sur un réseau 400V.

Calculer :

- la tension aux bornes d'une résistance
- la valeur d'une résistance sachant que la puissance totale du chauffe-eau est de 12kW
- le courant mesuré dans la ligne d'alimentation
- le courant traversant une résistance

**Réponses**  
 $V_{eff} = 230 \text{ V}$   
 $R = 13.3 \Omega$   
 $I_{eff} = 17.3 \text{ A}$



$$1) V = \frac{U}{\sqrt{3}} = \frac{400}{\sqrt{3}} = 230 \text{ V}$$

$$2) P = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \cos \varphi \quad P = \sqrt{3} \cdot U \cdot \frac{V}{R} \cos \varphi$$

$$I = \frac{V}{R} \Rightarrow R = \frac{V}{I} \quad R = \frac{\sqrt{3} \cdot U \cdot V \cos \varphi}{P} = \frac{\sqrt{3} \cdot 400 \cdot 230 \cdot 1}{12000} = 13.3 \Omega$$

$$3) I = \frac{V}{R} = \frac{230}{13.3} = 17.29 \text{ A} \quad 4) I = 17.29 \text{ A}$$

## Exercice 7

On alimente sous 400V / 50 Hz un chauffe-eau (résistances) triphasé raccordé en triangle de puissance 21 kW

Calculer :

- le courant dans un des éléments de chauffe
- la résistance d'un élément

**Réponses**  
 $J_{eff} = 17.5 \text{ A}$   
 $R = 22.9 \Omega$

$$1) P = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \cos \varphi = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \Rightarrow I = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot U} = \frac{21000}{\sqrt{3} \cdot 400} = 30.3 \text{ A}$$

$$J = \frac{I}{\sqrt{3}} = \frac{30.3}{\sqrt{3}} = 17.5 \text{ A}$$

$$2) P = R I^2 \Rightarrow R = \frac{P}{I^2} = \frac{21000}{30.3^2} = 22.9 \Omega$$

## Exercice 8

Une batterie de condensateurs est couplée en triangle sur un réseau 400V. Le courant de ligne est de 38A.

Calculer :

- le courant qui circule dans chaque condensateur
- la puissance réactive d'un condensateur
- la puissance réactive totale
- la capacité d'un condensateur

**Réponses**  
 $J_{eff} = 21.9 \text{ A}$   
 $Q = -8760 \text{ VAR}$   
 $Q_{tot} = -26280 \text{ VAR}$   
 $C = 174 \mu\text{F}$

$$1) J = \frac{I}{\sqrt{3}} = \frac{38}{\sqrt{3}} = 21.9 \text{ A}$$

$$2) Q = U J \sin \varphi = 400 \cdot 21.9 \cdot 1 = 8760 \text{ VAR}$$

$$3) (S = \sqrt{3} \cdot U \cdot I = \sqrt{3} \cdot 400 \cdot 38 = 26327 \text{ VA}) \quad 3) Q_{tot} = 3Q = -26280 \text{ VAR}$$

$$4) Z = \frac{U}{J} = \frac{1}{C\omega} \Rightarrow C = \frac{J}{U\omega} = \frac{21.9}{400 \cdot 2\pi \cdot 50} = 174 \mu\text{F}$$

## Exercice 9 : amélioration du facteur de puissance

Une batterie de condensateurs doit compenser une puissance réactive de -15kVAR sur un réseau 400V / 50 Hz.

Calculer la capacité d'un condensateur lorsque ceux-ci sont couplés

- en étoile
- en triangle

**Réponses**  
 $C = 300 \mu\text{F}$   
 $C = 99.5 \mu\text{F}$

$$Z_c = \frac{1}{C\omega} = \frac{V}{I} \Rightarrow I = C\omega V$$

$$C = \frac{Q_{total}}{\sqrt{3} \cdot U \cdot \omega \cdot V} = \frac{15000}{\sqrt{3} \cdot 400 \cdot 2\pi \cdot 50 \cdot \frac{400}{\sqrt{3}}} = 300 \mu\text{F}$$

$$Q_{total} = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \sin \varphi \text{ ou } Q_{total} = 3 \cdot U \cdot J \sin \varphi$$

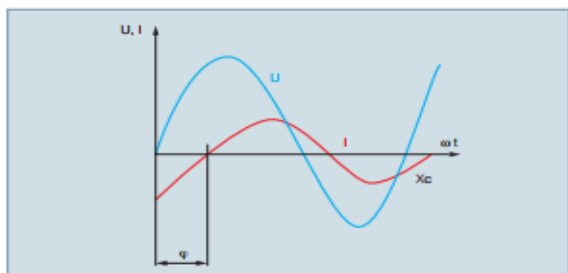
$$Z_c = \frac{U}{J} = \frac{1}{C\omega} \Rightarrow J = U \cdot C\omega$$

$$Q_{total} = 3 \cdot U \cdot U \cdot C \cdot \omega$$

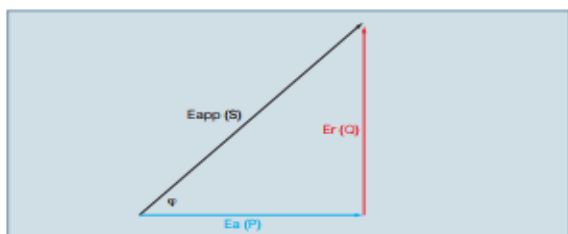
$$C = \frac{Q_{total}}{3 \cdot U^2 \cdot \omega} = \frac{15000}{3 \cdot 400^2 \cdot 2\pi \cdot 50} = 99.5 \mu\text{F}$$

### ➤ Définition

Une installation électrique, en courant alternatif, comprenant des récepteurs tels que transformateur, moteur, soudeuse, électronique de puissance..., et en particulier, tout récepteur dont l'intensité est déphasée par rapport à la tension, absorbe une énergie totale que l'on appelle énergie apparente [Eapp].



Cette énergie, qui s'exprime généralement en kilovoltampère-heure [kVAh], correspond à la puissance apparente S (kVA) et se répartit comme suit :



• Énergie active (Ea) : exprimée en kilowatt heure [kWh]. Elle est utilisable, après transformation par le récepteur, sous forme de travail ou de chaleur. À cette énergie correspond la puissance active P (kW).

• Énergie réactive (Er) : exprimée en kilovar heure [kvarh]. Elle sert en particulier à créer dans les bobinages des moteurs, transformateurs, le champ magnétique sans lequel le fonctionnement serait impossible. À cette énergie correspond la puissance réactive Q (kvar). Contrairement à la précédente, cette énergie est dite « improductive » pour l'utilisateur.

#### Énergies

$$E_{app} = \vec{E}_a + \vec{E}_r$$

$$E_{app} = \sqrt{(E_a)^2 + (E_r)^2}$$

#### Puissances

$$\vec{S} = \vec{P} + \vec{Q}$$

$$S = \sqrt{(P)^2 + (Q)^2}$$

• En réseau triphasé :

$$S = \sqrt{3} UI$$

$$P = \sqrt{3} UI \cos \phi$$

$$Q = \sqrt{3} UI \sin \phi$$

En réseau monophasé, le terme  $\sqrt{3}$  disparaît.

## FACTEUR DE PUISSANCE

Par définition le facteur de puissance -autrement dit le  $\cos \phi$  d'un appareil électrique- est égal au rapport de la puissance active P (kw) sur la puissance apparente S (kVA) et peut varier de 0 à 1.

$$\cos \phi = \frac{P \text{ (kW)}}{S \text{ (kVA)}}$$

Il permet ainsi d'identifier facilement les appareils plus ou moins consommateurs d'énergie réactive.

- Un facteur de puissance égal à 1 ne conduira à aucune consommation d'énergie réactive (résistance).
- Un facteur de puissance inférieur à 1 conduira à une consommation d'énergie réactive d'autant plus importante qu'il se rapproche de 0 (inductance).

Dans une installation électrique, le facteur de puissance pourra être différent d'un atelier à un autre selon les appareils installés et la manière dont ils sont utilisés (fonctionnement à vide, pleine charge...).

Les appareils de comptage d'énergie enregistrent les consommations d'énergie active et réactive. Les fournisseurs d'électricité font généralement apparaître le terme  $\cos \phi$  au niveau de leur facture.

#### Calcul de la $\tan \phi$

$$\tan \phi = \frac{E_r \text{ (kvarh)}}{E_a \text{ (kWh)}}$$

La  $\tan \phi$  est le quotient entre l'énergie réactive Er (kvarh) et l'énergie active Ea (kWh) consommées pendant la même période.

À l'inverse du  $\cos \phi$ , on s'aperçoit facilement que la valeur de la  $\tan \phi$  doit être la plus petite possible afin d'avoir le minimum de consommation d'énergie réactive.

$\cos \phi$  et  $\tan \phi$  sont liés par la relation suivante :

$$\cos \phi = \frac{1}{\sqrt{1 + (\tan \phi)^2}}$$

Mais il est plus simple de se reporter à un tableau de correspondance page 12.