

III. Compensation de l'énergie réactive

1 .Pour quoi faire de la compensation de l'énergie réactive

Le transport de la puissance réactive par les lignes électriques cause des pertes et une chute de tension à son extrémité, les fournisseurs d'électricité mais aussi les utilisateurs avec des puissances importantes ont donc tout intérêt à la diminuer au maximum.

Afin d'éviter cela, la **compensation de puissance réactive**, série ou shunt selon les cas, est utilisée pour limiter ce transport de puissance réactive.

On utilise le plus souvent des batteries et des condensateurs. Dans une installation, la distance entre la TGBT et la batterie ne doit pas dépasser 15m. Ce dispositif doit être mis au plus près de la charge pour éviter que l'énergie réactive ne soit appelée sur le réseau. La puissance réactive des condensateurs à mettre en œuvre, doit être déterminée en fonction de la puissance de l'installation, du facteur de puissance $\cos\phi$ d'origine (calculé) et du $\cos\phi$ requis à l'arrivée.

2. Les différents types de compensation

Le choix du type de La compensation d'énergie réactive :

- Par condensateurs fixes (si la puissance des condensateurs est inférieure à 15% de la puissance du transformateur).



Figure 1 : Exemple de condensateurs fixes.

- Par batteries de condensateurs à régulation automatique (si la puissance des condensateurs est supérieure à de la puissance du transformateur), qui permettent l'adaptation immédiate de la compensation aux variations de la charge.



Figure 2 : Exemple de batterie à régulation automatique. [16]

3. La compensation peut être

- Globale, en tête d'installation (Figure 3).

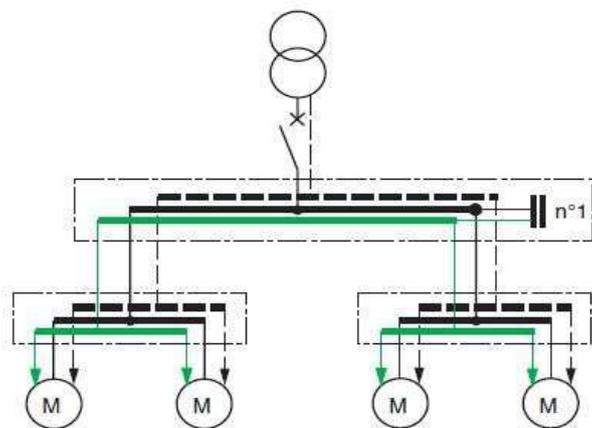


Figure 3 : Compensation globale.

- Locale (Individuelle), aux bornes de chaque récepteur inductif (Figure II.5).

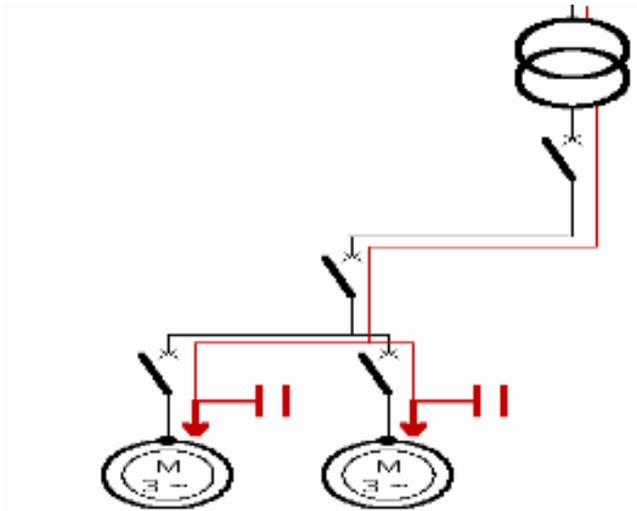


Figure 4: Compensation individuelle.

- Partielle, par secteur, au niveau du tableau de distribution dans des cas rares.

La compensation idéale est celle qui permet de produire l'énergie réactive à l'endroit même où elle est consommée et en quantité ajustée à la demande (compensation locale).

4. Techniques de détermination de la puissance réactive nécessaire à compensation

Lors du calcul du bilan de puissance, on déterminera

- la puissance active de l'installation ;
- et son facteur de puissance actuel $\cos(\varphi)$;

4.1. Méthode graphique

1- On trace le triangle des puissances à l'échelle, ensuite on détermine la puissance réactive actuelle.

2- On trace le nouvel angle φ , ce qui permet de connaître la nouvelle puissance réactive de l'installation. La puissance réactive de compensation est obtenue par différence en les deux.

(Voir Figure 5). La méthode se poursuit par le calcul de la capacité de compensation.

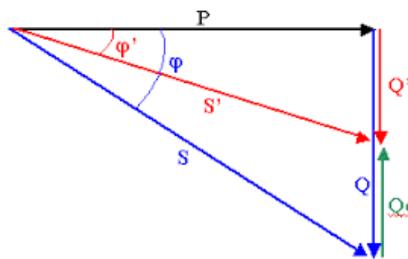


Figure 5 : Triangle des puissances.

4.2. Méthode Par calculs

La puissance réactive actuelle est donnée par :

$$Q_{ut} = P_{ut} \times \tan\varphi \quad (1)$$

La puissance réactive souhaitée est donnée par :

$$Q' = P_{ut} \times \tan\varphi' \quad (2)$$

La puissance réactive de compensation est donnée par la différence

$$Q_c = Q_{ut} - Q' \quad (3)$$

5. Calcul des valeurs de capacités des condensateurs

5.1. En monophasé

La valeur de la capacité en monophasé se calcule à l'aide de la relation suivante :

$$Q_c = C_{eq} \times \omega \times V^2 \quad (4)$$

Avec :

V : Tension (V) ;

ω : Pulsation des tensions du réseau $2\pi f$ (rd/s) ;

C_{eq} : Capacité équivalente du condensateur (F) ;

5.2. En triphasé

Dans ce cas, il existe deux façons pour monter les condensateurs :

a) Couplage triangle

La puissance réactive fournie par l'ensemble des condensateurs est donnée par l'expression suivante :

$$Qc(\Delta) = 3 \times Ceq \times \omega \times U^2 \quad (5)$$

$$Ceq = \frac{m}{n} \times C \quad (6)$$

Avec :

U : Tension composée (V) ;

ω : Pulsation des tensions du réseau (rd/s) ;

C : Capacité du condensateur (F) ;

n : nombre de condensateurs connectés en série ;

m : nombre de condensateurs connectés en parallèle.

b) Couplage étoile

La puissance réactive fournie par l'ensemble des condensateurs est donnée par la formule suivante:

$$Qc(Y) = 3 \times Ceq \times \omega \times V^2 \quad (7)$$

✓ La relation entre $C_{eq}(\Delta)$ et $C_{eq}(Y)$:

A partir de (5) on obtient : $3 \times Ceq = \frac{Qc(\Delta)}{\omega \times U^2}$ (8)

On sait que : $V = \frac{U}{\sqrt{3}}$ (9)

En remplaçant (II.9) dans (II.8), on obtient :

$$Ceq = \frac{Qc(Y)}{\omega \times U^2} \quad (10)$$

De (8) et (10) :

$$Ceq(Y) = 3Ceq(\Delta) \quad (11)$$

6 .Exemple de calcul de la puissance de compensation

On a choisi le mode de compensation individuelle, car elle réduit les pénalités tarifaires dues à une consommation excessive d'énergie réactive, en plus elle réduit aussi la puissance apparente consommée (en kVA), la section des câbles et les pertes en ligne. Les courants réactifs de l'installation sont significativement réduits ou éliminés.

Au niveau du TGBT on a :

Cos φ = 0,8437 ce qui donne **tan φ = 0,6362** ;

$Q_{ut} = 139,925$ kVAR et $P_{ut} = 219,9773$ kW ;

Cos φ' désiré 0,95 ainsi **tan $\varphi' = 0,32$** ;

$Q_c = P_{ut} \times (\tan\varphi - \tan\varphi') \rightarrow Q_c = 219,9773 \times (0,6362 - 0,32)$

$\rightarrow Q_c = 69,5556$ kVAR

$Q_{ut} = Q' + Q_c \rightarrow Q' = Q_{ut} - Q_c \rightarrow Q' = 139,925 - 69,5556$

$\rightarrow Q' = 70,3694$ kVAR

$$C_{eq}(\Delta) = \frac{Q_c(\Delta)}{3 \times \omega \times U^2} \rightarrow C_{eq}(\Delta) = \frac{69555,6}{3 \times (2 \times \pi \times 50) \times 400^2} = 461,2548 \text{ F}$$

$$\begin{cases} C_{eq}(\Delta) = 461,2548 \text{ } \mu\text{F} \\ C_{eq}(Y) = 1383,7644 \text{ } \mu\text{F} \end{cases}$$

COMPENSATION DE LA PUISSANCE REACTIVE

Les puissances réactives avant et après compensation et les valeurs des capacités des condensateurs pour le TGBT sont données dans le tableau I:

Tableau I : Puissances réactives avant et après compensation.

	Avant		Après				
	Compensation		Compensation				
Charge	Q_{ut} [kVAR]	$\cos \varphi$	Q_c [kVAR]	Q' [kVAR]	$\cos \varphi'$	$C_{eq}(\Delta)$ [μF]	$C_{eq}(Y)$ [μF]
TGBT	139,925	0,8437	69,5556	70,3694	0,95	461,2548	1383,7644

7 .Protection des batteries de condensateurs

Le calibre de l'appareil de protection doit être déterminé sur la base d'un courant d'emploi réel (I_b) majoré par le coefficient K :

- K = 2 pour $Q < 25$ kVAR ;
- K = 1,8 pour $Q < 50$ kVAR ;
- K = 1,7 pour $Q < 100$ kVAR ;
- K = 1,5 pour $Q > 100$ kVAR.

$$I_b = \frac{Q \times 10^3}{U \times \sqrt{3}} \times K \tag{12}$$

Avec :

Q : puissance réactive de la batterie de condensateurs (en kVAR) ;

U : tension nominale du réseau triphasé.

$$I_b = \frac{69555,6}{400 \times \sqrt{3}} \times 1,7 \rightarrow I_b = 170,6712 \text{ A}$$

8. Vérification du type de compensation

Tableau 2 : Type de compensation de l'énergie réactive.

Q_c [kVAR]	S_n [kVA]	Q_c / S_n (%)	Type de compensation
69,5556	400	17,38	Automatique

D'après nos résultats, la compensation de l'installation s'effectue avec une compensation automatique

9. Conclusion

Le calcul du bilan de puissance nous a permis de déterminer la puissance apparente de notre installation afin de choisir un transformateur et un groupe électrogène adéquat pour un bon fonctionnement de notre unité de production.

La détermination de la puissance réactive, nous a permis de dimensionner les batteries de compensation dans le but d'améliorer le facteur de puissance de toute l'installation. Une bonne maîtrise de la puissance réactive consommée par l'installation permet alors de limiter les impacts économiques, diminuer la facture énergétique d'une part et d'obtenir une exploitation optimale d'autre part.