

Relèvement du facteur de puissance

1. Problématique

La *SPCC* (société de production et de conditionnement de produits cosmétiques) est alimentée en 20 kV et dispose de son propre transformateur de distribution. La facturation de son fournisseur d'énergie laisse apparaître des pénalités (surfacturation) en raison d'un mauvais facteur de puissance. Un mauvais facteur n'apportant rien sur le plan énergétique, son relèvement permettra de ne plus payer ces pénalités et d'augmenter la puissance active disponible en sortie du transformateur pour une éventuelle extension.

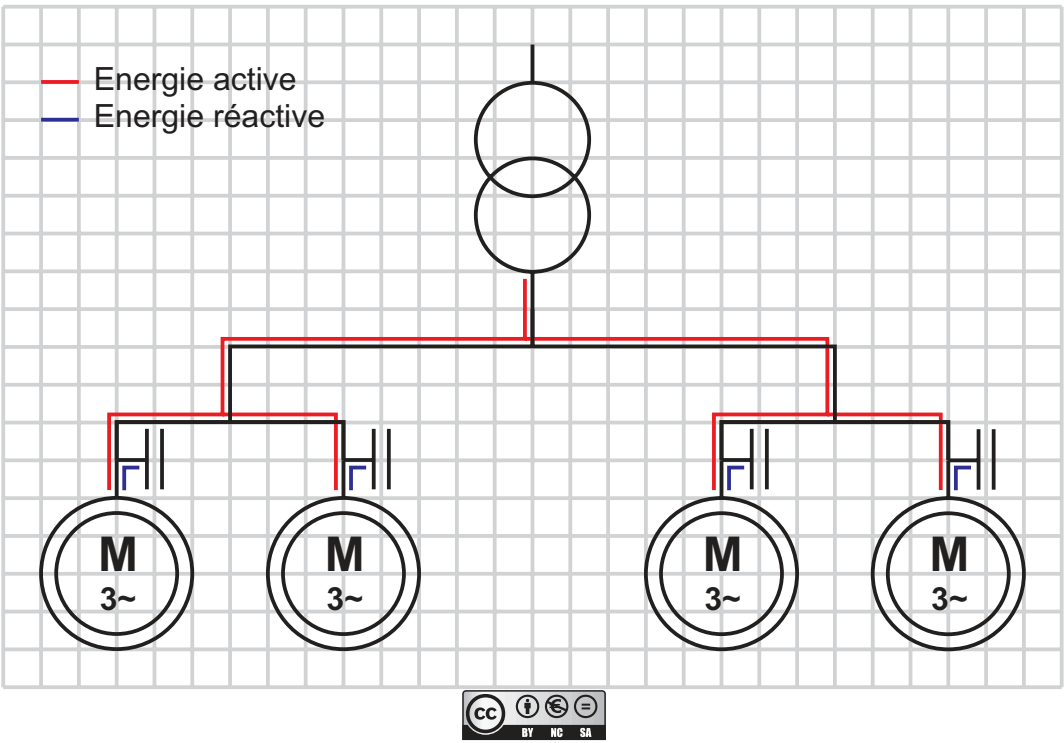
2. Etude

Le relèvement du facteur de puissance se fait en installant des générateurs d'énergie réactive (batteries de condensateurs) à des points stratégiques de l'installation.

2.1. Compensation aux bornes des récepteurs

On place directement des condensateurs aux bornes de chacun des récepteurs. L'avantage principal de cette technique est que les condensateurs sont mis sous tension en même temps que le récepteur, il n'y a aucun risque de surcompensation. L'inconvénient principal est un coût supérieur car il impose un grand nombre de condensateurs répartis sur le site. La compensation étant effectuée au plus près des récepteurs, les canalisations électrique n'ont pas à véhiculer l'énergie réactive sur de longues distances.

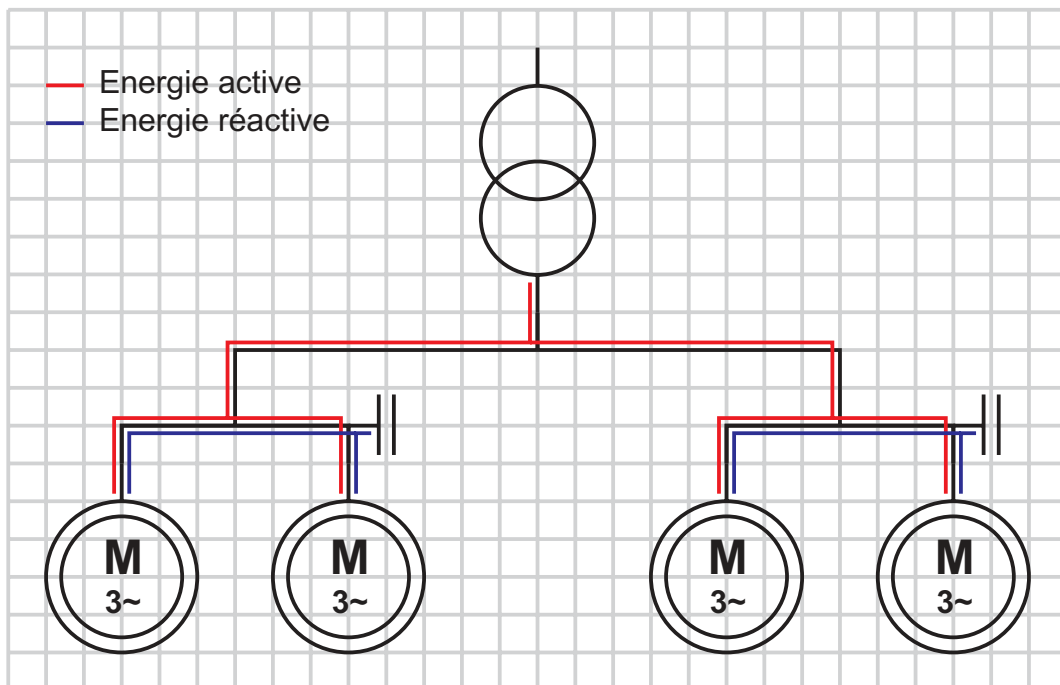
Complétez l'illustration simplifiée ci-dessous en positionnant les batteries condensateurs et en représentant en rouge le trajet de l'énergie active et en bleu le trajet de l'énergie réactive.



2.2. Compensation par îlot (atelier)

On place une batterie de condensateurs par atelier. Elle compense toute l'énergie réactive consommée dans l'atelier. L'avantage est un coût réduit par rapport à la solution précédente. L'inconvénient principal est que lorsque les récepteurs ne sont pas raccordés au réseau (machine à l'arrêt par exemple), les condensateurs produisent de l'énergie réactive ce qui conduit à une surcompensation et produit l'effet inverse à celui voulu. L'énergie réactive est véhiculée sur de distances supérieures par rapport à la compensation aux bornes des récepteurs ce qui entraîne un surdimensionnement des canalisations électriques.

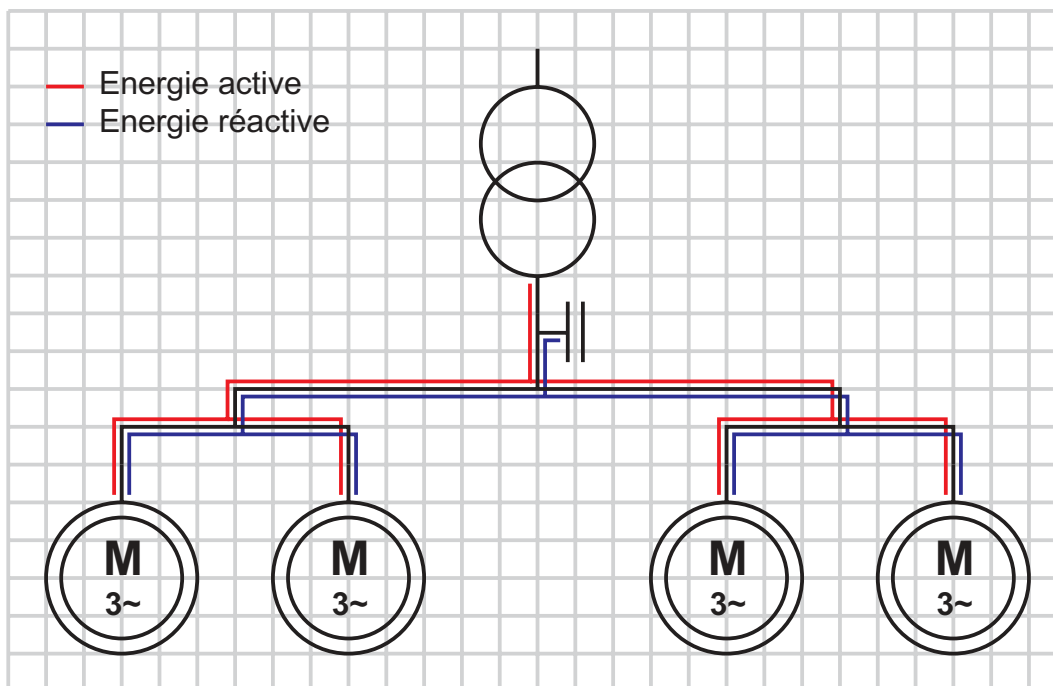
Complétez l'illustration simplifiée ci-dessous en positionnant les batteries condensateurs et en représentant en rouge le trajet de l'énergie active et en bleu le trajet de l'énergie réactive.



2.3. Compensation dans le TGBT

On place une seule batterie de condensateurs pour l'ensemble de l'installation. Le coût de la batterie de condensateurs est réduit par rapport aux solutions précédentes mais l'énergie réactive est véhiculée dans l'ensemble de l'installation entre les récepteurs et le TGBT (surdimensionnement des canalisations électriques).

Comme précédemment, complétez l'illustration de la page suivante en représentant les batteries de condensateurs et en faisant figurer en rouge le trajet de l'énergie active et en bleu le trajet de l'énergie réactive.



2.4. Compensation par batterie fixe

On place une batterie de condensateurs fixe en un point de l'installation judicieusement choisi. Lorsque les récepteurs ne sont pas raccordés au réseau on lui réinjecte de l'énergie réactive. Pour la véhiculer, on est conduit à surdimensionner l'installation. L'effet est donc inverse à celui désiré sur le plan du dimensionnement.

2.5. Compensation par batterie « variable »

La batterie de condensateurs est équipée d'un système qui mesure la quantité d'énergie réactive absorbée par l'installation et ne produit que ce qui est nécessaire pour ne pas avoir de facturation d'énergie réactive. Il n'y a plus de surcompensation possible.

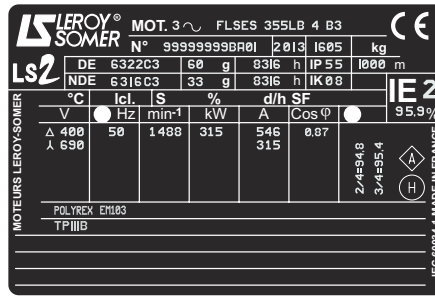
La production peut être variable en « gradins » (raccordement de petites batteries de condensateurs fixes par des contacteurs en fonction du besoin) ou en « continu » grâce à de l'électronique de puissance.

En pratique, les condensateurs ne fournissent pas la totalité de l'énergie réactive consommée par l'installation. Le fournisseur d'énergie en fournit une partie dans son contrat. Le facteur de puissance global de l'installation doit être supérieur à 0,93 ($\cos \varphi \geq 0,93$).

3. Applications

3.1. Compensation d'un moteur de compresseur.

A partir du document « compensation de l'énergie réactive » de Schneider Electric, on vous demande de compenser l'énergie réactive absorbée par le moteur d'un compresseur d'air alimenté sous 400 Vac. La compensation sera faite par l'ajout d'une batterie de condensateurs directement aux bornes du moteur. La plaque signalétique équipant le moteur est reprise ci-après.



Plaque signalétique du moteur du compresseur.

A partir du document « comment optimiser le niveau optimal du facteur de puissance », déterminez la puissance Q_C que doit fournir la batterie de condensateurs pour ramener le facteur de puissance à 0,93.

Le facteur de puissance du moteur est de 0,87, on veut l'amener à 0,93. Le facteur k est de 0,172. L'énergie réactive que doit fournir la batterie de condensateur est de :

$$Q_C = k \times P \quad Q_C = 0,172 \times 315\,000 \quad Q_C \approx 54\,200$$

La batterie de condensateurs doit fournir 54,2 kVAR.

Calculez la puissance réactive que doit fournir la batterie de condensateurs à partir de la formule suivante :

$$Q_C = P(\operatorname{tg} \varphi - \operatorname{tg} \varphi')$$

$$Q_C = P(\operatorname{tg} \varphi - \operatorname{tg} \varphi') \quad Q_C = 315\,000 \times (\operatorname{tg}(\cos^{-1} 0,87) - \operatorname{tg}(\cos^{-1} 0,93)) \quad Q_C \approx 54\,000$$

La batterie de condensateurs doit fournir environ 54 kVAR.

3.2. Compensation de l'éclairage du local de stockage des produits finis

Soit un local de stockage de produits finis éclairé par 435 réglettes fluorescentes monophasées équipées chacune de deux tubes de 58 W. La consommation d'une réglette (ballast ferromagnétique + tube) P_R est de 134 W, le courant indiqué sur le ballast est de 1,34 A sous 230 V.

Calculez la puissance apparente consommée par une réglette S_R .

$$S_R = U \times I \quad S_R = 230 \times 1,34 \quad S_R \approx 308$$

Chaque réglette consomme une puissance apparente S_R de 308 VA.

Calculez S la puissance apparente consommée l'ensemble des réglettes.

$$S = N \times S_R \quad S = 435 \times 308 \quad S \approx 134\,000$$

La puissance apparente S consommée par l'ensemble des réglettes est de 134 kVA

Donnez la puissance apparente nominale du transformateur de distribution destiné à alimenter cet ensemble. Prendre la puissance immédiatement supérieure à celle calculée.

Le transformateur de puissance immédiatement supérieure est un modèle 160 kVA.

Calculez la puissance active P consommée par l'ensemble des réglettes fluorescentes.

$$P = N \times P_R \quad P = 435 \times 134 \quad P \approx 58\,300$$

La puissance active P consommée par l'ensemble des réglettes est de 58,3 kW.

Calculez le facteur de puissance $\cos \varphi$ de l'ensemble des réglettes fluorescentes.

$$\cos \varphi = \frac{P}{S} \quad \cos \varphi = \frac{58300}{134000} \quad \cos \varphi \approx 0,435$$

La facteur de puissance $\cos \varphi$ de l'ensemble est de 0,435.

Calculez la puissance réactive Q consommée par l'ensemble des réglettes fluorescentes.

$$S^2 = P^2 + Q^2 \quad Q^2 = S^2 - P^2 \quad Q = \sqrt{S^2 - P^2} \quad Q = \sqrt{134000^2 - 58300^2} \quad Q \approx 121000$$

La puissance réactive Q consommée par l'ensemble des réglettes est de 121 kVAR.

Nous allons calculer la valeur de la puissance réactive que doit fournir une batterie de condensateurs pour ramener le facteur de puissance de l'ensemble réglettes + batterie de condensateurs à une valeur $\cos \varphi'$ de 0,93.

Calculez la puissance réactive Q' absorbée par l'ensemble pour cette nouvelle valeur du facteur de puissance.

$$Q' = NU \sin(\varphi) \quad Q' = 435 \times 230 \times 1,34 \times \sin(\cos^{-1}(0,93)) \quad Q' \approx 49300$$

La valeur de la puissance réactive Q' est de 49,3 kVAR.

Calculez la puissance réactive Q_c que doit fournir la batterie de condensateurs pour ramener les réglettes à cette nouvelle valeur du facteur de puissance.

$$Q_c = Q - Q' \quad Q_c = 121000 - 49300 \quad Q_c \approx 71700$$

La batterie de condensateurs doit fournir 71,7 kVAR pour compenser le facteur de puissance des réglettes fluorescentes.

Choisissez une batterie de condensateurs (sans jeu de barres) de puissance réactive immédiatement supérieure à celle calculée précédemment (matériel Schneider Electric).

La puissance réactive nécessaire est de 71,7 kVAR. La puissance réactive immédiatement supérieure est de 80 kVAR. La référence de cette batterie est 51719.

Calculez la puissance apparente S' consommée par l'ensemble composé des réglettes fluorescentes et de la batterie de condensateurs précédemment choisie.

$$S'^2 = P^2 + Q'^2 \quad S' = \sqrt{P^2 + Q'^2} \quad S' = \sqrt{58300^2 + (134000 - 80000)^2} \quad S' \approx 79500$$

La puissance apparente S' consommée par l'ensemble est de 79,5 kVA.

Nous allons maintenant considérer les 435 réglettes fluorescentes comme un récepteur triphasé équilibré constitué de 135 réglettes réparties entre chacune des trois phases et le neutre. Les puissances actives, réactives et apparentes sont identiques à celles calculées précédemment.

Calculez le courant absorbé I avant le relèvement de facteur de puissance.

$$S = \sqrt{3} U I \quad I = \frac{S}{\sqrt{3} U} \quad I = \frac{134000}{\sqrt{3} \times 400} \quad I \approx 193$$

Le courant I dans chaque phase vaut 193 A.

Calculez le courant absorbé I' après le relèvement de facteur de puissance.

$$S' = \sqrt{3} U I' \quad I' = \frac{S'}{\sqrt{3} U} \quad I' = \frac{79500}{\sqrt{3} \times 400} \quad I' \approx 115$$

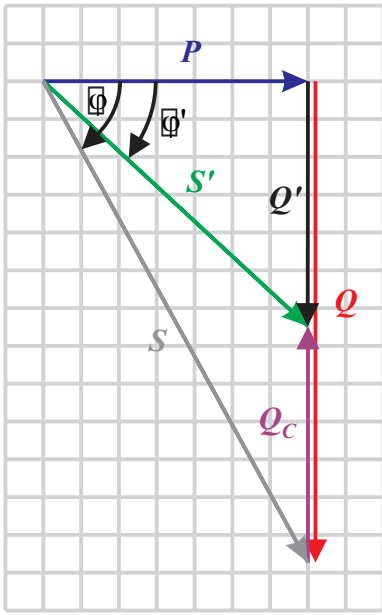
Le courant I' en ligne après relèvement du facteur de puissance est d'environ 115 A.

Conclure sur l'intérêt d'avoir un bon facteur de puissance.

Avoir un bon facteur de puissance permet de réduire la taille du transformateur de distribution qui alimente les équipements et donc de réduire son coût.

Avoir un bon facteur de puissance permet aussi d'avoir un courant en ligne plus faible et donc de réduire la section des conducteurs permettant ainsi une réduction des coûts lors de la réalisation de l'installation électrique.

Tracez ci-dessous le diagramme vectoriel des puissances en faisant apparaître les puissances réactives avant et après compensation du facteur de puissance ainsi que celle fournie par la batterie de condensateurs.



Il existe des réglettes fluorescentes équipées d'un condensateur de relèvement du facteur de puissance intégré. Cette approche réduit les coûts car il n'y a plus besoin de calculer la batterie de condensateurs à installer ni de câblage supplémentaire pour la raccorder.

4. Facturation de l'énergie réactive

Un mauvais facteur de puissance entraîne une augmentation du courant en ligne sans rien apporter sur le plan énergétique. Cette augmentation du courant en ligne impose de surdimensionner tous les équipements (transformateurs, câbles, etc.). Les fournisseurs d'énergie n'ont donc aucun intérêt à avoir des clients ayant un mauvais facteur de puissance ce qui les conduits à facturer l'énergie réactive au-delà d'une certaine consommation qu'ils jugent « acceptable ». Un client consommant trop d'énergie réactive est donc incité à installer une batterie de condensateurs afin d'avoir un facteur de puissance supérieur à une valeur définie par le fournisseur d'énergie (généralement il impose une $\tan \varphi < 0,4$ soit un $\cos \varphi \geq 0,928$). Le coût d'une batterie de condensateur est généralement amorti en moins d'un an.