

EFFICACITE ENERGETIQUE DES INSTALLATIONS ELECTRIQUES INDUSTRIELLES

Kamel CHERIF¹, Abderahmen SELLAMI²

*Institut Supérieur des Etudes Technologiques de Radès, Direction Générale des Etudes Technologiques, rue El Kods -
Radès ville - Tunis*

¹Kam.cherif@yahoo.fr

²sellamiabd02@gmail.com

Résumé— En milieu industriel, l'amélioration de l'efficacité énergétique se traduit par une baisse de la consommation d'énergie, principalement obtenue grâce au déploiement de batteries de condensateurs dans les circuits électriques, objectif de ce travail de recherche. Afin de générer l'énergie réactive au près des charges électriques et de ne pas la prélever sur le réseau de distribution, l'installation des batteries de condensateurs dans une installation électrique accroît la puissance disponible au secondaire du transformateur alimentant l'installation, réduit les chutes de tension sur les câbles amont et diminue le courant acheminé en aval du disjoncteur BT, entraînant une baisse des pertes joules dans les conducteurs.

Mots-clés— Installation électrique, Compensation, énergie réactive, facteur de puissance, batterie de condensateur.

I. INTRODUCTION

Aujourd'hui, les industries, grandes consommatrices d'énergie, sont confrontées à la hausse des coûts énergétiques, aux exigences réglementaires et à la nécessité de réduire leur empreinte carbone [1-2]. Dans ce contexte, optimiser l'utilisation de l'électricité devient une priorité stratégique [3].

Selon Bera M. et al. [4], les cadres internationaux tels que l'Accord de Paris et les ODD «objectifs de développement durable» ont catalysé l'amélioration de l'efficacité énergétique dans divers secteurs. Ce concept est confirmé par Zaghdoud, O. [5]. Il a évalué que l'augmentation de l'efficacité énergétique nécessite que le progrès technologique croît plus vite que la productivité globale des facteurs [5]. L'efficacité énergétique est conditionnée par un rythme de progrès technologique devant dépasser les gains de productivité du capital [5]. Wang, J. et al. Confirme que la notion de l'efficacité énergétique renvoie à une baisse de la consommation d'énergie résultant principalement d'innovations technologiques, plutôt que de changements comportementaux [6-7].

Dans l'industrie, l'une des composantes de la puissance électrique générée par les charges inductives (moteurs, transformateurs, etc.) est la puissance réactive. La circulation d'énergie réactive dans les réseaux de distribution accroît le courant, provoquant des surcharges transformateurs, l'échauffement des câbles, des pertes énergétiques et des chutes de tension significatives. Dans ce contexte, notre recherche analyse la nécessité de générer l'énergie réactive localement aux charges électriques pour limiter son soutirage au réseau de distribution [8-9].

Cette recherche analyse le déploiement de batteries de condensateurs pour compenser l'énergie réactive, générant ainsi des économies sur les factures d'électricité et optimisant les performances des installations électriques.

II. FORMES D'ENERGIE FOURNIES PAR UN RESEAU ELECTRIQUE

Dans les réseaux à courant alternatif, l'énergie active se transforme en effets utiles (mécanique, chaleur, lumière), tandis que l'énergie réactive circule entre charges inductives et circuits capacitifs sans conversion utile. L'énergie réactive est nécessaire pour le fonctionnement de certains équipements, comme les moteurs et les transformateurs, mais une consommation excessive peut entraîner des pertes et une surcharge du

réseau. Pour fournir cette énergie réactive aux équipements, réduisant ainsi la demande sur le réseau principal, il est crucial d'installer des batteries de condensateurs.

III. COMPENSATION DE L'ENERGIE ELECTRIQUE

A. Principe

La compensation de l'énergie réactive concerne l'utilisation de batteries de condensateurs pour améliorer l'efficacité énergétique des installations électriques, en particulier en réduisant les pertes liées à l'énergie réactive. Ces batteries permettent de garder un facteur de puissance proche de l'unité, évitant ainsi les pénalités liées à la sur-consommation de l'énergie réactive et optimisant la capacité du réseau.

- La compensation de l'énergie électrique consiste à utiliser des techniques et des équipements pour minimiser les pertes d'énergie réactive dans les réseaux électriques.

- Les systèmes de compensation incluent des batteries de condensateurs et d'autres dispositifs pour avoir un facteur de puissance amélioré et diminuer ainsi les pertes.

L'objectif poursuivi est triple : optimiser l'utilisation de l'énergie électrique, alléger la charge sur les réseaux et réduire les coûts opérationnels.

B. Cas d'étude d'une installation industrielle

Les pertes électriques industrielles sont un enjeu majeur, et des solutions de compensation sont mises en place pour réduire leur impact sur la production et la consommation. Dans ce contexte, pour une installation donnée, figure 1 dont l'objet est de ramener son facteur de puissance $\cos \varphi$ de 0,75 à 0,93 par une batterie de condensateurs, nous devons déterminer la quantité d'énergie réactive nécessaire aux équipements et en maintenant un facteur de puissance élevé.

Pour déterminer la capacité des condensateurs à installer, nous avons travaillé sur une installation industrielle schématisée par la figure 1.

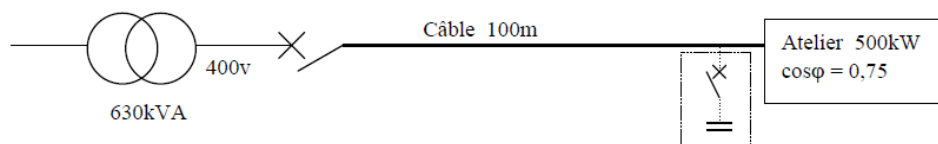


Figure 1. Cas d'étude d'une installation industrielle

Afin d'évaluer l'intérêt de l'amélioration du facteur de puissance de cette installation, nous devons déterminer:

- La puissance apparente du transformateur:

$$S = \frac{P}{\cos \varphi} \quad (1)$$

- Le courant en ligne, exprimé par:

$$I = \frac{S}{\sqrt{3}U} \quad (2)$$

- Les pertes en ligne, données par l'expression (3):

$$P_j = 3RI^2 \quad (3)$$

Sachant que

$$R = \rho \frac{L}{S} \quad (4)$$

$\rho = 22.5 \text{ m}\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ pour le cuivre

$\rho = 36 \text{ m}\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ pour l'aluminium

- La puissance de la batterie de condensateurs est donnée par (5):

$$Q_c = Q - Q' \quad (5)$$

où

$$Q = P.tan\varphi \tag{6}$$

$$Q = P.tan\varphi' \tag{7}$$

La capacité des condensateurs, exprimée par:

$$C = \frac{Q_c}{3U^2w} \tag{8}$$

Le courant de ligne donné par l’expression (7):

$$I_n = \frac{Q_c}{\sqrt{3}U} \tag{9}$$

Le réglage de la protection thermique est donné par l’expression (9):

$$I_r = k * I_n \tag{10}$$

où

k est un facteur qui dépend du type des équipements.

Les équipements de compensation peuvent être de trois types, adaptés au niveau de pollution harmonique du réseau. Ils sont de type standard, type H ou type SAH, figure 2.

Le rapport Gh/Sn permet de déterminer le type d’équipement approprié, figure 2.

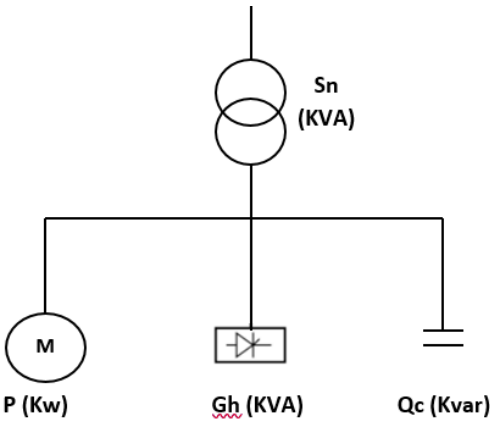


Figure 2a

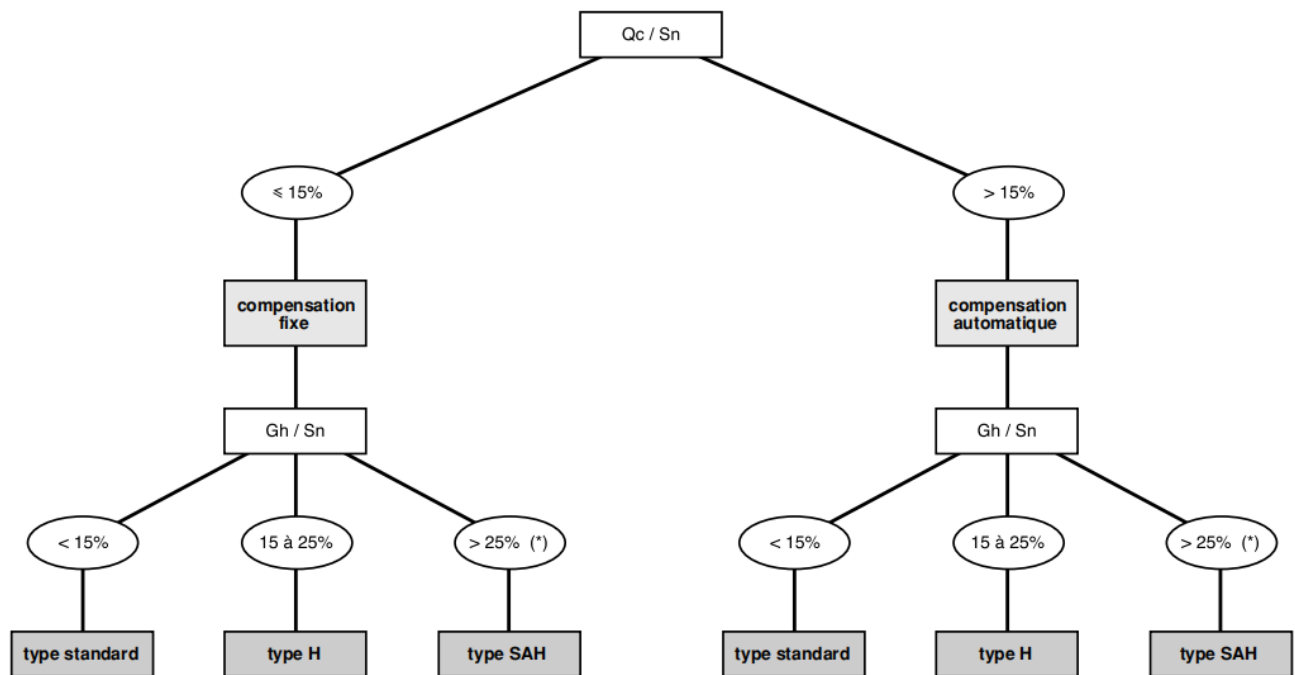


Figure 2b

Figure 2. Types d'équipements

IV. INTERET DE L'AMELIORATION DU FACTEUR DE PUISSANCE

L'installation des batteries de condensateurs dans les installations électriques offre une :

Diminution des pertes en ligne :

- Comme les pertes joules sont proportionnelles au carré du courant ($P = RI^2$), abaisser le courant de 10 % réduit les pertes de 19 %. Pour maintenir la même chute de tension, la section du câble pourrait être diminuée d'environ 20 %.
- Sans compensation, le courant en ligne est très important, le disjoncteur et le câble doivent être surdimensionnés.
- Avec compensation et en utilisant des câbles en cuivre, on obtient moins de pertes en ligne.

Diminution des chutes de tension

L'ajout de condensateurs de compensation permet de limiter, voire d'annuler, la circulation des courants réactifs inductifs dans les conducteurs en amont, réduisant ainsi les chutes de tension.

Augmentation de la puissance disponible

- Lorsqu'on augmente le facteur de puissance d'une charge, le transformateur fournit moins de courant. Cette marge libérée permet d'alimenter d'autres équipements.
- Sans compensation, le transformateur fonctionne en régime de surcharge.

V. CONCLUSION

La compensation d'énergie réactive constitue une solution clé pour optimiser les installations électriques. En neutralisant les effets de la puissance réactive, cette approche permet d'améliorer le facteur de puissance, de réduire les pertes d'énergie, d'alléger la charge des infrastructures et d'éviter les surcoûts. Elle contribue également à stabiliser la tension du réseau, garantissant un fonctionnement plus fiable et durable des équipements.

REFERENCES

- [1] Y. Li, S. Mao, P. Tao, D. Li and S. Dai, "The Development of Electrochemical Energy Storage and its Application to Local Industries," 2024 3rd Asia Power and Electrical Technology Conference (APET), Fuzhou, China, 2024, pp. 600-607, doi: 10.1109/APET63768.2024.10882715.
- [2] Bera, M., Das, S., Garai, S., Dutta, S., Choudhury, M. R., Tripathi, S., & Chatterjee, G. (2025). Advancing energy efficiency: innovative technologies and strategic measures for achieving net zero emissions. *Carbon Footprints*, 4(1), N-A.
- [3] A. K. Lal Karn and S. Kakran, "Operation Management of Microgrid Supplying to the Residential, Industrial and Commercial Community using Different Demand Response Techniques," 2022 4th International Conference on Energy, Power and Environment (ICEPE), Shillong, India, 2022, pp. 1-6, doi: 10.1109/ICEPE55035.2022.9798064.
- [4] Bera, M., Das, S., Garai, S., Dutta, S., Choudhury, M. R., Tripathi, S., & Chatterjee, G. (2025). Advancing energy efficiency: innovative technologies and strategic measures for achieving net zero emissions. *Carbon Footprints*, 4(1), N-A.
- [5] Zaghdoud, O. (2025). Technological progress as a catalyst for energy efficiency: A sustainable technology perspective. *Sustainable Technology and Entrepreneurship*, 4(1), 100084.
- [6] Wang, J., Zhang, H., Wu, B., & Liu, W. (2025). Symmetry-Guided Electric Vehicles Energy Consumption Optimization Based on Driver Behavior and Environmental Factors: A Reinforcement Learning Approach. *Symmetry*, 17(6), 930.
- [7] Haniz, A., Kawasaki, H., Hosokawa, G., Urushibata, T., Yanagi, Y., Kunitachi, T., ... & Matsumura, T. (2025). Multipath Parameter Optimization for Improving Accuracy of Ray-Tracing-based Received Power Prediction in Industrial Environments. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*.
- [8] D. Mestriner et al., "ITER Reactive Power Compensation Systems: analysis on reactive power sharing strategies," 2019 IEEE International Conference on Environment and Electrical Engineering and 2019 IEEE Industrial and Commercial Power Systems Europe (EEEIC / I&CPS Europe), Genova, Italy, 2019, pp. 1-6, doi: 10.1109/EEEIC.2019.8783219.
- [9] W. Wysocki and M. Szlosek, "Compensation of reactive power as a method for reducing energy losses: On the example of calculations and measurements of load flow through the distribution transformer in one of the polish distribution network," 11th International Conference on Electrical Power Quality and Utilisation, Lisbon, Portugal, 2011, pp. 1-5, doi: 10.1109/EPQU.2011.6128904.