

**Zeitschrift:** Bulletin de l'Association suisse des électriciens  
**Herausgeber:** Association suisse des électriciens  
**Band:** 44 (1953)  
**Heft:** 1

**Artikel:** Amélioration du facteur de puissance dans les réseaux électriques à haute et basse tension  
**Autor:** Jean-Richard, C.  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-1058042>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

**Download PDF:** 25.12.2024

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

toutes les nombreuses entreprises d'imprégnation décentralisées. La solution la plus simple et la plus heureuse serait de trouver un produit prophylactique qui pourrait être appliqué aux poteaux par les mêmes moyens que dans le procédé Boucherie employé jusqu'à ce jour et qui, en se fixant sur le bois, exercerait contre tous les champignons, sans exception, une action également salutaire. Malheureusement, ce moyen de protection n'existe pas encore!

Un autre moyen serait d'ajouter au produit employé dans le procédé Boucherie des sels semblables aux sels U et UA. Mais alors les différentes vitesses de pénétration des divers éléments composants, dues à l'effet de filtration des parois cellulaires, présentent les plus grosses difficultés. Il est vrai que ces mélanges de sels pourraient être introduits dans le bois, en diffusion relativement uniforme, par exemple par le procédé de saturation en vase clos, procédé qui devrait peut-être subir dans ce cas certaines transformations. Pour ce genre d'imprégnation, de nouvelles installations seraient égale-

ment nécessaires, comme c'est le cas dans le système de protection supplémentaire dont il fut question plus haut. Toutefois, dans le procédé de saturation en vase clos, une seule opération suffirait, alors qu'il en faut deux dans le système de protection supplémentaire des poteaux susdit.

Il va de soi qu'il n'est pas possible, sur la base de ces considérations plutôt théoriques, de décider quelle serait la voie à suivre. Cela ne pourra se décider qu'après des essais pratiques soigneusement combinés, qui devraient s'étendre au moins sur quelques années, en corrélation avec des essais de laboratoire. Alors seulement on pourra déterminer si l'on peut arriver à éviter la perte prématurée de poteaux, actuellement relativement fréquente, due aux atteintes du bolet destructeur poreux, et à augmenter de la sorte la durée de service moyenne des poteaux en question.

Adresse de l'auteur:

O. Wälchli, Dr ès sc. nat., chef du département biologique du Laboratoire fédéral d'essais des matériaux et Institut de recherches (EMPA), St-Gall.

## Amélioration du facteur de puissance dans les réseaux électriques à haute et basse tension

Par Ch. Jean-Richard, Muri près Berne

621.316.722 : 621.316.727

*Des moyens techniques d'améliorer le facteur de puissance sont indiqués, ainsi qu'une méthode simple de caractériser le facteur de puissance d'une manière univoque. La terminologie employée satisfait le besoin d'exprimer les phénomènes physiques d'une manière cohérente.*

*Technische Mittel zur Verbesserung des Leistungsfaktors werden angegeben, ferner eine einfache Methode, den Leistungsfaktor auf eindeutige Weise zu charakterisieren.*

### 1. Exposé du problème

L'essor magnifique de l'électrotechnique est certainement dû à l'extrême facilité avec laquelle le courant électrique, porteur d'énergie active, est distribué depuis les centrales jusqu'aux dernières ramifications de réseaux de plus en plus denses.

Cependant, ce courant est doublé du courant déwatté ou «inactif»<sup>1)</sup> qui provoque une augmentation des pertes d'énergie active pour une même énergie active débitée. L'amélioration du facteur de puissance consiste à faire disparaître le courant inactif. Dans les réseaux à haute et basse tension l'aspect du problème est nuancé. Aussi, la technique a-t-elle dû résoudre d'étape en étape, une quantité de problèmes subordonnés à la grande préoccupation d'améliorer le facteur de puissance.

Une des raisons du courant inactif se trouve dans toute inductance constitutive du réseau. Ainsi, il y a les transformateurs élévateurs et abaisseurs de la tension et tous les transformateurs de distribution qui absorbent du courant inactif, donc inductif à tout instant de leur service. A vide leur courant inductif est essentiellement fonction de la qualité des tôles et de leur assemblage. A pleine charge il dépend de la tension de court-circuit.

Les tôles et leur assemblage ont pu être améliorés dans des proportions étonnantes, si bien que le courant à vide est actuellement au voisinage de 3 à 5 % du courant nominal.

La tension de court-circuit n'est pas aussi maniable. Alors qu'aux transformateurs de distribution on atteint 3 % de la tension nominale, les transformateurs élévateurs et abaisseurs de tension à grande puissance nominale accusent une tension de court-circuit voisine de 10 % de la tension nominale. C'est-à-dire qu'à pleine charge les réseaux sont mis à contribution, à cause de l'inductance des transformateurs, pour près de 13 % du courant actif par du courant inductif.

<sup>1)</sup> Les expressions «courant réactif» et «puissance réactive» consacrées jusqu'ici font penser à une rotation vectorielle par rapport au courant actif et à la puissance active de 180°, alors que physiquement cette rotation n'est que de 90°. Pour éviter ce dilemme l'auteur propose de désigner par «courant inactif» et «puissance inactive» les grandeurs désignées jusqu'ici par «courant réactif» resp. «puissance réactive».

Puis, il y a les moteurs à induction dont la foule immense répand le mouvement dans d'innombrables endroits. A vide ils absorbent en courant inductif près du 30 % du courant nominal actif. Cette tranche ne peut guère être diminuée, l'entrefer indispensable en étant la cause principale. A pleine charge, une seconde tranche de 30 % s'ajoute à la première. Celle-ci, également, est presque invariable, encore à cause de l'entrefer. Etant donné ces pourcentages considérables il y a lieu de choisir les moteurs au plus juste quant à l'emploi qu'on désire en faire, sans négliger toutefois l'extension toujours possible de l'entreprise.

Les lignes, elles aussi, sont le siège d'inductances notables, partout où il s'agit de lignes aériennes. Aux tensions nominales élevées, de plus de 100 000 V, le pourcentage de l'inductance d'une ligne aérienne, exploitée à 50 Hz, dépasse environ du triple le pourcentage de la résistance ohmique de la ligne. Néanmoins on ne peut songer à la diminuer pour des raisons d'isolation et par conséquent de sécurité du service. Toutefois, à la tension nominale de 220 000 V, on a inséré des condensateurs dans chaque pôle d'une ligne pour diminuer l'inductance de la ligne.

Reste à mentionner la capacitance des lignes aériennes à haute tension. Elle aussi donne lieu à du courant inactif. Mais celui-ci est fourni et non pas absorbé, comme les autres. Pour cette raison on l'appellera capacitif. La somme des courants inactifs des deux sortes est donc plus petite que la plus grande des deux composantes. A ce titre, le courant capacitif peut rendre service pour améliorer le facteur de puissance. Aussi a-t-on disposé deux conducteurs parallèles par phase pour une tension nominale de la ligne de 380 000 V, cette disposition augmentant la capacitance. Seulement, les réseaux n'étant pas chargés en permanence, il arrive aux heures de faible charge que le courant capacitif prévaut. Or, à lui seul il exerce une action préjudiciable à la stabilité du transport du courant actif le long de lignes étendues à haute tension reliant une centrale à un réseau mixte de consommateurs et de producteurs. La centrale est obligée de réduire l'excitation des générateurs en dessous de la valeur qui correspond à la marche à vide à la même tension. Pour éviter cela, il y a lieu de partager le courant capacitif de la ligne de telle façon qu'une partie seulement

se déverse vers la centrale tandis que l'autre partie, au moins égale à la première, se déverse vers le réseau.

## 2. Solutions du problème

Une solution est celle qui utilise des machines synchrones capables de fournir du courant inactif et d'en absorber. De telles machines sont installées par les soins de l'exploitant aux endroits qui lui conviennent. Généralement ce sera le cas à l'extrémité réceptrice d'une ligne à haute tension, pourvue de transformateurs abaisseurs. Le régime que l'on fera subir à ces machines sera dicté par la tension à leurs bornes. Lorsque celle-ci aura la tendance d'augmenter il faudra réduire l'excitation. Il s'en suivra que la machine aura la tendance d'absorber du courant inactif. Au contraire, lorsque la tension aura la tendance de baisser il faudra augmenter l'excitation. Il s'en suivra que la machine aura la tendance de fournir du courant inactif. Dans le premier cas son facteur de puissance sera inductif, dans le second cas il sera capacitif.

Une façon simple de caractériser le facteur de puissance consiste à ajouter après la fraction numérique une lettre qui indique le régime soit: *G* pour «générateur», *M* pour «moteur», *C* pour «capacitance», *L* pour «inductance» et deux de ces lettres pour un régime combiné soit *GC* pour «générateur surexcité», *GL* pour «générateur sousexcité», *MC* pour «moteur surexcité» et *ML* pour «moteur sousexcité».

La solution du compensateur synchrone soulage la ligne en amont, mais non pas les lignes en aval. Cependant elle a l'avantage d'être entièrement entre les mains de l'exploitant.

Une autre solution est celle qui utilise des condensateurs sous forme de batteries de condensateurs. Ces batteries sont placées le plus près possible du consommateur. Leurs dimensions doivent être telles qu'elles compensent le courant inactif absorbé par le consommateur sans jamais donner lieu à un retour de courant inactif vers le réseau en amont. Nécessairement il faudra régler de telles batteries au moyen de contacteurs robustes et rapides, commandés par des relais sûrs en fonction soit du temps, soit de la tension, soit du courant inactif de la ligne d'amenée.

Plus ces batteries seront fractionnées et plus il sera possible de les rapprocher des consommateurs. En définitive, chaque moteur à induction aura un condensateur dimensionné de telle façon qu'il compense le courant à vide du moteur. Le facteur de puissance d'une telle paire sera égal à 1,0 *M* à vide et de près de 0,95 *ML* en pleine charge. Pour y arriver, il s'agira de mobiliser les fabricants des machines-outils. Car c'est à la fabrication qu'il est possible, avec peu de frais, de munir le moteur d'entraînement de la machine-outil du condensateur correspondant au courant à vide du moteur. Cette façon de faire dispense le consommateur du souci de surveiller le facteur de puissance de sa consommation tout en lui garantissant un facteur de puissance au voisinage de 0,95 *ML* indépendamment de la charge momentanée et de l'extension que prendra son entreprise. Toute l'économie du pays en bénéficiera. D'ailleurs on remarquera que la compensation du courant à vide égal à 30 % du courant nominal actif améliore le facteur de puissance à pleine charge de 0,85 *ML* à 0,95 *ML*, alors qu'une seconde compensation égale à la première ne ferait augmenter le facteur de puissance que de 0,95 *ML* à 1,0 *M*. Ainsi la première compensation fait presque toute la besogne et évite les retours de courant inactif vers la ligne d'amenée. La nature a quelquefois des gestes généreux de cette sorte.

Une autre solution consiste à munir les transformateurs abaisseurs de la tension de contacteurs à gradins réglables sous charge.

Il y eut un temps où les fabricants s'opposaient formellement à ce que leurs transformateurs soient munis de prises auxiliaires. «Disposer une prise de courant sur un enroulement équivaut», disaient-ils, «au geste qui consiste à planter un clou dans une paroi tapissée». Mais les besoins de l'exploitant l'ont emporté. Aujourd'hui les fabricants ont appris à construire des transformateurs avec prises auxiliaires et contacteur à gradin. Grâce au rapport de transformation variable sous charge il est possible de régler ce rapport de telle façon que le facteur de puissance soit amélioré au

mieux. Ce réglage peut se faire automatiquement grâce à un régulateur de puissance déwattée ou «inactive». Celle-ci est capacitive lorsqu'elle est fournie et inductive lorsqu'elle est absorbée. Le régulateur de puissance inactive maintient la puissance inactive en fonction de la puissance active qui passe par le transformateur. La loi à laquelle il obéit dicte une première tranche de puissance inactive de base qu'il y ait de la puissance active ou qu'il n'y ait pas. Elle dicte une seconde tranche de puissance inactive proportionnelle à la puissance active. Les deux tranches peuvent être ajustées à volonté. Ainsi la tranche de base peut être choisie de telle façon qu'elle évacue la puissance inactive fournie par la capacitance de la ligne à haute tension vers le réseau à tension moins élevée et partant plus près des consommateurs. Par contre, la seconde tranche sera choisie eu égard au fait que le facteur de puissance à pleine charge est déterminé par le consommateur p. e. voisin à 0,95 *ML* pour le consommateur et un peu en dessous de 0,95 *GC* pour le transformateur du côté secondaire qui débite. La seconde tranche sera donc de 25 % si la première tranche est de 10 %. La pente de 25 % est avantageuse aussi par rapport au nombre de coups de réglage par jour. Ce nombre ne devrait pas dépasser le chiffre de 35 par égard aux contacts du graduateur. A cet effet, chaque coup de réglage peut être retardé d'un certain nombre de secondes.

Le réglage de la puissance inactive est lié à la présence des deux côtés du transformateur de générateurs capables de maintenir la tension. Au cas, où ils viendraient à manquer soit de l'un soit de l'autre côté du transformateur le réglage de la puissance inactive n'est plus possible. Aussi, faut-il abandonner ce réglage et passer au réglage de la tension. Pour ce faire on utilise un relais «delta», sensible à la variation de la puissance inactive survenant lorsque le graduateur passe d'une position à une position voisine. Cette variation sera grande en service normal, de 3 à 5 % de la puissance nominale du transformateur et petite en service anormal, de 2 % env. Pour une variation de 2,5 % et au-dessus le relais «delta» adoptera le réglage de la puissance inactive et pour une variation en dessous de 2,5 % il adoptera le réglage de la tension. Une petite marge de 1 à 2 ‰ en plus et en moins de 2,5 % doit être laissée au relais «delta» pour qu'il puisse s'orienter.

Les valeurs indiquées n'ont d'autre but que d'illustrer le procédé. Elles peuvent être modifiées dans certaines limites selon les besoins du cas particulier qui se présente en exploitation.

Grâce au réglage de la puissance inactive non seulement une partie de la puissance inactive fournie par la capacité de la ligne peut être évacuée vers les consommateurs mais encore la puissance active sera accompagnée d'une part de puissance inactive parfaitement adaptée. En admettant que les pertes subies effectivement en appliquant le réglage de la puissance inactive soient égales à 1, comparativement les pertes sans réglage peuvent atteindre 1,4, chaque fois où le transport vers un consommateur néglige de transporter sur la même ligne la puissance active et la puissance inactive demandées par le consommateur.

Le réglage de la tension, lui aussi, peut être mis au service de l'amélioration du facteur de puissance. A cet effet on rendra le réglage de la tension sensible à la puissance inactive en faisant baisser la valeur de consigne de la tension lorsque le débit de puissance inactive augmente. Ainsi, la consommation de puissance inactive diminue. Le moyen qui permet d'arriver à ce résultat consiste à insérer une résistance ohmique dans le circuit «tension» du régulateur et de la faire traverser par le courant de la phase en angle droit avec la «tension». La composante capacitive de ce courant provoquera une augmentation de la tension aux bornes du régulateur si bien que la tension réglée baissera d'autant.

Evidemment, ce réglage de la tension peut être appliqué indépendamment du réglage de la puissance inactive. Les deux réglages contribuent donc à l'amélioration du facteur de puissance.

### Adresse de l'auteur:

Ch. Jean-Richard, ingénieur diplômé EPF, 19, Quartierweg, Muri près Berne.