

**Zeitschrift:** Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins  
**Herausgeber:** Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke  
**Band:** 24 (1933)  
**Heft:** 10

**Artikel:** La régulation automatique des alternateurs de faibles puissances en considérant spécialement le problème du réglage du cos  
**Autor:** Marolf, W.  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-1059522>

### **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:** 03.04.2025

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

## La régulation automatique des alternateurs de faibles puissances en considérant spécialement le problème du réglage du $\cos \varphi$ .

Par *W. Marolf*, Baden.

621.316.722+621.316.727

*L'auteur démontre les avantages du réglage automatique de la tension des génératrices de faible puissance fonctionnant soit individuellement, soit en parallèle avec un réseau et discute les arguments présentés lors de l'étude de problèmes de réglage de ce genre. Il prouve, à l'aide d'un exemple, que lorsqu'il s'agit de petites installations travaillant en parallèle avec un grand réseau, l'emploi d'un régulateur de tension statique compensé présente beaucoup plus d'intérêt qu'un réglage à  $\cos \varphi$  constant.*

*Es werden die Vorteile der automatischen Spannungsregulierung kleiner, allein oder mit einem Netz parallel arbeitenden Werke dargelegt und die bei der Untersuchung derartiger Regulierprobleme vorgebrachten Argumente erörtert. An Hand eines Beispiels wird gezeigt, dass für kleine Anlagen, welche mit einem grossen Netz parallel arbeiten, die Verwendung eines statischen Spannungsreglers mit Kompensation gegenüber einer Regulierung auf konstanten Leistungsfaktor wesentliche Vorteile bietet.*

Bien que la tendance actuelle soit de concentrer la production de l'énergie électrique dans des centrales de grande puissance avec un nombre restreint d'unités, on rencontre encore beaucoup de petites installations comportant en général une ou deux génératrices ayant une puissance de l'ordre de 50, 100 ou 200 kVA. En Suisse tout particulièrement, des installations de ce genre s'échelonnent le long de tous les cours d'eau secondaires; chaque mètre de chute des rivières traversant une région quelque peu industrielle est utilisé. Dans d'autres cas, il s'agit d'alternateurs actionnés par des machines thermiques, lorsque la production de chaleur et d'énergie peuvent être combinées avantageusement.

L'expérience prouve cependant que le prix de revient de l'énergie produite par de petites installations indépendantes est souvent influencé trop défavorablement par le coût d'une surveillance continue. Dans certains cas on a même dû mettre complètement hors service des installations dont l'exploitation était déficitaire. En modifiant ces installations pour leur permettre de fonctionner sans surveillance ou complètement automatiquement, on a cependant la possibilité de ramener les frais d'exploitation à une valeur en rapport avec celle de l'énergie produite.

Si par contre la génératrice est installée dans une fabrique, les conditions sont différentes en ce sens que le personnel de la fabrique se charge en général de la surveillance de la génératrice, à côté de son travail habituel. Ce système n'est toutefois pas sans présenter de sérieux inconvénients. En effet, tant le travail normal du machiniste que le service de la centrale souffriront du double emploi de celui-ci. D'autre part, il n'est pas logique de faire faire par du personnel un travail aussi mécanique que le réglage de l'excitation.

En effet, le réglage de l'excitation demande une attention continue, à moins que la charge ne soit pratiquement constante, ce qui n'est que bien rarement le cas. Par contre les autres travaux tels que contrôle des paliers, graissage, nettoyage, etc. peuvent avoir lieu à des heures fixes et ne demandent que relativement peu de temps. L'emploi d'un régulateur automatique convenable permettrait donc d'abandonner la centrale complètement à elle-même en toute sécurité et il est surprenant de constater combien il y a d'exploitations

qui se passent du réglage automatique alors que l'adoption d'un régulateur améliorerait considérablement et à peu de frais les conditions d'exploitation; ce fait est d'autant plus surprenant qu'il existe des régulateurs d'un prix abordable présentant une sécurité de service quasi absolue et pouvant s'adapter aux conditions de service les plus diverses.

Les lignes qui suivent ont pour but d'examiner et de discuter les arguments qui sont généralement opposés à l'acquisition d'un régulateur automatique.

Si la question du réglage automatique des génératrices de grandes puissances n'est généralement pas discutée, on entend souvent prétendre qu'un régulateur automatique constitue un luxe pour une petite installation; or, du moins en cas de marche individuelle, le réglage automatique est au contraire bien plus nécessaire avec les petites génératrices qu'avec des machines de grandes puissances. En effet, les variations de charge sont proportionnellement beaucoup plus importantes pour les petites génératrices; par exemple l'enclenchement d'une charge de 5 kW qui passera inaperçu avec une génératrice de plusieurs centaines de kVA provoquera une variation de tension de 3 à 5 % et même davantage selon la précision du régulateur de vitesse, lorsque la génératrice n'a qu'une puissance de 50 kVA. D'autre part, les frais causés par une surveillance continue influencent le prix de l'énergie produite d'autant plus défavorablement que la puissance de la génératrice est plus faible.

On objecte souvent que le prix d'un régulateur automatique est proportionnellement trop élevé lorsqu'il s'agit d'une petite machine. Il ne faut cependant pas oublier que le prix du régulateur automatique ne peut pas être proportionnel à celui de la génératrice. Le coût de la résistance de réglage et du dispositif de contact du régulateur dépend évidemment de la grandeur de la génératrice; cependant il y a une certaine limite inférieure déterminée par l'exécution mécanique des contacts et la subdivision de la résistance de réglage, limite au-dessous de laquelle on ne peut pas descendre. Quant aux autres éléments constituant le régulateur, c'est-à-dire le système moteur, le dispositif amortisseur, etc., leur prix reste sensiblement le même quelle que soit la puissance de la génératrice. Au contraire, il ne faut pas oublier que les petites

machines sont en général très instables et soumettent ainsi le régulateur à un régime plus sévère.

Un autre argument que l'on entend très fréquemment lorsqu'il s'agit de machines un peu anciennes, c'est que les excitatrices n'ont pas été prévues pour un réglage dans leur circuit shunt et ne peuvent fonctionner qu'avec un rhéostat de champ principal. L'expérience prouve cependant qu'un bon régulateur permet pour ainsi dire toujours un réglage dans le circuit shunt, même si la machine n'a pas été prévue dans ce but. Le régulateur, grâce à sa grande facilité d'adaptation, permet d'assurer un réglage convenable, même si le réglage à main n'est pas possible. D'autre part, ce réglage dans le circuit shunt permet de supprimer les pertes importantes dans le rhéostat de champ principal et d'améliorer ainsi le rendement de l'installation.

Dans la plupart des cas, les installations munies de petites génératrices travaillent en parallèle avec un plus grand réseau qui fournit l'énergie d'appoint nécessaire lorsque la puissance propre de l'installation n'est pas suffisante. Lors de la marche en parallèle, la tension est en général dictée par le réseau étranger; la petite génératrice doit donc adapter sa tension à moins que les caractéristiques du réseau ne lui permettent de la modifier entre certaines limites. C'est pour cette raison que l'on objecte assez fréquemment qu'un régulateur automatique est inutile ou même inapplicable, ce qui est effectivement le cas lorsqu'il s'agit d'un régulateur ordinaire à caractéristique astatique.

Dans d'autres cas, on demande de faire travailler soit la génératrice, soit l'installation à  $\cos \varphi$  constant par suite de mesures tarifaires. Quelques considérations sur le fonctionnement d'un régulateur de tension statique lors de la marche en parallèle de même qu'une comparaison des avantages d'un régulateur de tension ou d'un régulateur de  $\cos \varphi$  présenteront certainement de l'intérêt pour les propriétaires ou exploitants d'installations de ce genre.

La question de l'amélioration du  $\cos \varphi$  et de la tarification de l'énergie réactive a déjà fait l'objet d'un grand nombre d'études. Nous avons l'impression que beaucoup de tarifs proposés pour tenir compte du facteur de puissance de l'énergie absorbée ne sont pas toujours les plus favorables ni pour le fournisseur, ni pour le consommateur de l'énergie. Nous citerons par exemple deux cas rencontrés lors de l'étude de problèmes de réglage d'installations dans le genre de celles mentionnées plus haut. Dans le premier cas, le contrat de fourniture d'énergie prévoit que le  $\cos \varphi$  de l'installation ne devra jamais descendre au-dessous d'une certaine valeur, par exemple 0,8. Dans le deuxième cas, le consommateur doit payer une redevance lorsque le  $\cos \varphi$  moyen descend au-dessous de 0,7, tandis qu'il reçoit une bonification si ce  $\cos \varphi$  dépasse 0,8. Des tarifs de ce genre ne sont cependant avantageux pour aucune des deux parties, car ils ne tiennent pas compte de la tension sous laquelle l'énergie est fournie et de la charge de la ligne de liaison. Il est assez sur-

prenant de constater que la question de la tension et de la charge n'est que rarement prise en considération pour la tarification de l'énergie réactive. Or, ce point nous paraît pour le moins tout aussi important que la question de l'amélioration du  $\cos \varphi$  elle-même.

En considérant les conditions de service d'une installation industrielle avec centrale propre et énergie d'appoint, on peut se rendre compte facilement qu'un tarif dans le genre de ceux mentionnés ci-dessus ne constitue pas toujours la solution idéale du problème. Admettons par exemple (ce sera certainement le cas le plus fréquent) que le branchement d'une installation de ce genre ait lieu selon fig. 1. Une ligne à haute tension relie la fabrique  $F$  avec un réseau étranger  $R$ . En général la ligne ne servira pas uniquement à la fabrique  $F$ , mais elle alimentera encore d'autres consommateurs de moindre importance. A la fabrique, l'énergie reçue sera abaissée au moyen de transformateurs à la tension voulue pour la distribution.

L'énergie absorbée par la fabrique cause évidemment une certaine chute de tension dans la ligne de transport et dans les transformateurs. En admettant que la tension du réseau  $R$  soit maintenue à une valeur constante, la tension en  $F$  variera proportionnellement à la charge. Or, on sait que la chute de tension ne dépend non seulement de la charge de la ligne, mais aussi du  $\cos \varphi$  de cette charge.

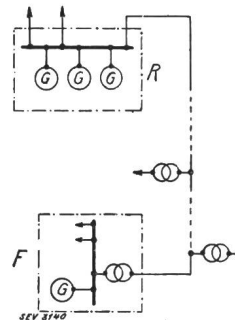


Fig. 1.

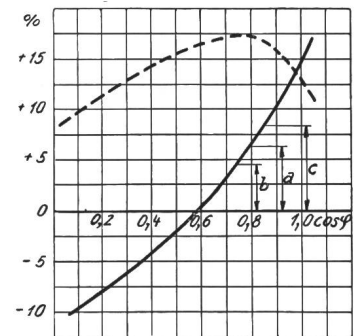


Fig. 2.  
Effet de compensation du transformateur de courant dans la phase  $R$ . La courbe pointillée représente, à titre de comparaison, l'effet du transformateur d'intensité intercalé dans la phase  $S$  (compoundage).

Elle est maximum pour un facteur de puissance correspondant à une charge fortement inductive et diminue lorsque le  $\cos \varphi$  se rapproche de l'unité; elle devient nulle ou même négative lorsque le  $\cos \varphi$  correspond à une charge capacitive. Dans un réseau ordinaire, sans dispositifs de compensation spéciaux, tels que compensateur de phase, etc., et sans utilisation d'énergie de nuit pour le chauffage, le  $\cos \varphi$  sera en général moins élevé pendant la nuit, vu l'influence prépondérante du courant de magnétisation absorbé par les transformateurs travaillant à vide. Ces variations du  $\cos \varphi$  entre la marche à vide et la pleine charge auront tendance à corriger les différences de tension résultant des variations de la charge, puisque le mauvais  $\cos \varphi$  pendant les périodes de faible charge pro-

voque une chute de tension supplémentaire s'opposant à l'augmentation de tension causée par la diminution de la charge.

Si par contre la fabrique possède un alternateur ou éventuellement un compensateur de phase et que le contrat de fourniture d'énergie impose soit un  $\cos \varphi = 1$ , soit comme pour le premier exemple cité, un  $\cos \varphi$  ne descendant jamais au-dessous de 0,8, il n'en résultera pas nécessairement une amélioration de la tension; sous certaines conditions, l'écart entre la tension à vide et en charge sera augmenté sans profit ni pour le fournisseur, ni pour le consommateur d'énergie. Pour le premier, la fourniture d'une certaine quantité d'énergie réactive pendant les périodes de faible charge ou de marche à vide ne présente aucun inconvénient, tandis que les variations de tension restantes, ou éventuellement augmentées seront des plus désagréables pour le consommateur. Elles provoquent premièrement une usure rapide et inutile des lampes à incandescence utilisées après la période principale d'éclairage, c'est-à-dire à un moment où un bon éclairage est sans importance et deuxièmement une augmentation du courant magnétisant absorbé par les moteurs et les transformateurs, ce qui oblige à un effet de compensation renforcé. L'importance d'une tension constante est d'ailleurs reconnue d'une façon générale, puisque l'on cherche à l'aide de régulateurs d'induction, de transformateurs de réglage, etc., à compenser les variations de tension qui se produisent dans un réseau; il n'est donc pas très indiqué d'imposer un tarif pouvant avoir comme résultat une augmentation de ces variations de tension.

Dans d'autres cas, si par exemple la fabrique absorbe une certaine quantité d'énergie de nuit, soit pour le chauffage, soit pour l'alimentation d'un gros moteur compensé, le  $\cos \varphi$  est plus élevé pendant la nuit que pendant la journée; l'écart entre les tensions à vide et en charge sera moindre puisque la ligne est également chargée pendant la nuit. Par contre, même sans régulateur automatique de  $\cos \varphi$ , le facteur de puissance moyen de l'installation sera relativement élevé; il permettra même d'obtenir un rabais avec le deuxième tarif cité, bien que ce  $\cos \varphi$  soit plus défavorable pendant la période de forte charge, c'est-à-dire précisément au moment où il faudrait décharger les installations du réseau étranger en évitant le plus possible un appel d'énergie réactive.

On peut donc se rendre compte facilement qu'un tarif qui voudrait tenir compte d'une façon logique du facteur de puissance devrait prendre en considération non pas le  $\cos \varphi$  moyen ou minimum de l'installation, mais bien outre le  $\cos \varphi$ , la tension à l'arrivée ou la charge de la ligne de transport. En effet, l'amélioration du  $\cos \varphi$  ne présente d'intérêt que si elle permet de décharger le fournisseur de l'énergie de la fourniture du courant réactif pendant les périodes de forte charge ou d'améliorer la tension du réseau. Un dispositif de tarification tenant compte de tous ces facteurs présente cepen-

dant l'inconvénient d'être beaucoup trop compliqué.

Il peut toutefois être remplacé très avantageusement par un simple régulateur de tension statique compensé ayant les caractéristiques du régulateur statique Brown Boveri dont la construction et le fonctionnement sont suffisamment connus pour qu'il ne soit pas nécessaire d'entrer dans les détails. Rappelons simplement qu'un système moteur Ferraris actionnant un jeu de 2 ou 4 secteurs de contact provoque la modification de la résistance de réglage placée généralement dans le circuit shunt de l'excitatrice. Ce système moteur est exécuté soit avec caractéristique astatique, pour marche individuelle, soit avec caractéristique statique pour fonctionnement en parallèle.

Dans les appareils prévus pour la marche individuelle la variation du couple du ressort principal est compensée complètement par un ressort additionnel, de sorte que le système moteur est en équilibre dans n'importe quelle position. L'appareil règle donc toujours la même tension, indépendamment de la charge, du facteur de puissance, de la température de la machine, etc.

Pour les régulateurs des alternateurs fonctionnant en parallèle, on ne compense pas complètement cette variation du couple du ressort principal; le couple du régulateur augmente donc lorsque le système mobile se déplace dans le sens des aiguilles d'une montre. En d'autres termes, la tension réglée diminue légèrement lorsque la charge augmente. Pour compenser cette chute de tension due au statisme et obtenir malgré tout une tension constante, tout en assurant une marche en parallèle stable, on fait agir sur le système moteur le courant secondaire d'un transformateur d'intensité dont le primaire est parcouru par le courant de l'alternateur. Ce transformateur sert à la compensation du statisme du régulateur et non à un compoundage comme on est porté à le croire au premier abord; il agit sur une résistance placée en série avec le système moteur et son influence est réglable à l'aide d'un curseur. La compensation procurée par ce transformateur ne dépend pas uniquement de la valeur absolue du courant débité par la génératrice, mais, comme l'indique le diagramme de la fig. 2, du décalage du courant par rapport à la tension, c'est-à-dire du facteur de puissance de l'alternateur considéré.

Pour mieux comprendre le fonctionnement d'un régulateur statique lors de la marche en parallèle avec un réseau, considérons premièrement le fonctionnement des régulateurs de deux alternateurs fonctionnant en parallèle. La caractéristique statique des deux régulateurs sera compensée de manière à obtenir une tension constante à toutes les charges pour le  $\cos \varphi$  moyen de l'installation. En admettant ce  $\cos \varphi$  égal à 0,8 par exemple, l'effet de compensation sera déterminé par la valeur  $\alpha$ , cette valeur étant choisie de façon à annuler la chute de tension due au statisme du régulateur. Si l'une des génératrices a tendance à se sur-



exciter, c'est-à-dire à travailler avec un  $\cos \varphi$  trop bas, l'influence correspondante  $b$  du transformateur ne compense le statisme que partiellement, ce qui a pour effet une diminution de la tension réglée et par conséquent une réduction de l'excitation. La deuxième génératrice aura nécessairement tendance à se sous-exciter, donc à travailler avec un facteur de puissance trop élevé. L'effet du transformateur d'intensité, représenté par la valeur  $c$ , sera renforcé, ce qui aura pour résultat une augmentation de la tension d'équilibre et par la suite de l'excitation. On voit donc que les régulateurs statiques ont tendance à maintenir égal le facteur de puissance des alternateurs travaillant en parallèle, c'est-à-dire à assurer une répartition de l'énergie réactive proportionnelle à l'énergie active fournie par les différents groupes. Le régulateur statique Brown Boveri n'est donc pas un simple régulateur de tension, mais un vrai rhéostat de champ automatique, en ce sens qu'il assure la triple fonction: maintien d'une tension de régime constante, répartition de l'énergie réactive en proportion de la charge active fournie par les génératrices et enfin marche en parallèle correcte des centrales entre elles. Cette adaptation réciproque de la tension des diverses centrales est provoquée d'une façon entièrement automatique par la sensibilité des régulateurs statiques aux variations du facteur de puissance: si la tension du réseau a tendance à monter, le facteur de puissance de la génératrice considérée monte également; il en résulte un effet de compensation plus élevé et par la suite un renforcement de l'excitation et une augmentation de la tension propre. Inversement une baisse de la tension du réseau provoque un décalage plus grand, donc un effet de compensation moindre d'où une réduction de l'excitation et de la tension.

A l'aide des lignes ci-dessus, résumant le fonctionnement du régulateur de tension statique Brown Boveri, il est facile de se rendre compte du fonctionnement de cet appareil dans une installation comme nous l'avons envisagée au début de cet article. Si la fabrique absorbe sa pleine charge sous un  $\cos \varphi$  assez mauvais, il en résultera une chute de tension dans la ligne de transport; le régulateur automatique aura tendance à annuler cette chute de tension pour rétablir la tension normale. Toutefois, en surexcitant la machine, il fera travailler celle-ci avec un  $\cos \varphi$  plus bas et la tension d'équilibre du régulateur s'adaptera à celle du réseau extérieur. Le  $\cos \varphi$  de l'installation sera compensé dans la limite du possible, c'est-à-dire en chargeant complètement l'alternateur, en général même davantage que le ferait un régulateur de  $\cos \varphi$ ; il en résulte une amélioration de la tension sur toute la ligne entre  $R$  et  $F$  et en outre le réseau  $R$  sera déchargé de la fourniture d'énergie réactive. Par contre lorsque l'installation travaillera à faible charge, la tension aura tendance à dépasser sa valeur normale; le régulateur désexcitera l'alternateur, mais le  $\cos \varphi$  de ce dernier s'améliorant, la tension d'équilibre sera un peu plus élevée. Le

$\cos \varphi$  dans la ligne de transport s'écartera à ce moment de la valeur qui correspondrait à la chute de tension la plus réduite dans la ligne, mais l'appel d'énergie réactive et la chute de tension qui en résulte compensent la différence de tension entre la marche en charge et la marche à vide. La fourniture d'énergie réactive à vide ou à faible charge ne présente aucun inconvénient pour le réseau  $R$ ; au contraire, elle est largement compensée par l'amélioration de la tension des autres consommateurs branchés sur la même ligne. *En d'autres termes, le régulateur statique tolère les variations de tension que la machine n'est pas en mesure de corriger; il améliore cependant la tension et surtout le facteur de puissance dans les limites compatibles avec la puissance de la génératrice ou du compensateur.*

D'autre part, le régulateur statique compensé présente le grand avantage de permettre aussi la marche individuelle de l'alternateur. Les variations du  $\cos \varphi$  influencent, il est vrai, la tension réglée, mais dans des installations normales, ces différences sont pratiquement sans importance, car elles ne provoquent pas de variations de tension supérieures à 1 ou 2 %. Un régulateur de  $\cos \varphi$  par contre est inutilisable lors de la marche individuelle et nécessite certaines précautions lors de l'arrêt ou de la mise en marche de la génératrice; en cas d'interruption de la marche en parallèle, il peut surexciter la machine d'une façon dangereuse pour l'installation.

Les régulateurs de  $\cos \varphi$  ne devraient donc être utilisés que s'il s'agit de conditions tout à fait spéciales, comme par exemple de moteurs synchrones chargés, dont on veut éviter le décrochage lors de fortes variations de la charge. Dans tous les autres cas, c'est-à-dire qu'il s'agisse d'un ou de plusieurs petits alternateurs travaillant en parallèle avec un grand réseau ou de compensateurs synchrones, il est préférable d'utiliser des régulateurs de tension comme pour les machines fonctionnant individuellement. On peut facilement se rendre compte, à l'aide des lignes précédentes que le régulateur statique assure en effet le réglage le plus rationnel d'une petite installation. Non seulement il permet de se dispenser d'une surveillance continue de la machine, vu qu'il règle l'excitation de la façon la plus avantageuse, soit pour le fournisseur, soit pour le consommateur de l'énergie, mais il est toujours prêt à permettre la marche individuelle de l'installation en cas d'interruption de la marche en parallèle. L'emploi d'un régulateur statique permet même de se dispenser d'une tarification spéciale de l'énergie réactive, tarification qui nécessite toujours un appareillage fort compliqué. En effet, le fournisseur d'énergie a la certitude que les petites installations reliées à son réseau produisent le maximum d'énergie réactive lorsqu'il est nécessaire de décharger le réseau de la fourniture de cette énergie, ce qui est précisément le but que l'on cherchait à atteindre avec les tarifs spéciaux tenant compte du courant réactif.