

Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins
Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke
Band: 24 (1933)
Heft: 25

Artikel: Réglage de la tension d'alternateurs à l'aide de valves thermioniques
Autor: Druey, W.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1059552>

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: 17.05.2025

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

Réglage de la tension d'alternateurs à l'aide de valves thermioniques.

Par W. Druey, Zurich.

(Communication du Laboratoire de haute fréquence de l'Ecole Polytechnique Fédérale [EPF].)

621.385.8 : 621.316.722

Les travaux de laboratoire nécessitent souvent une tension très exactement constante. Les batteries d'accumulateurs sont chères et d'autre part le courant continu a le désavantage de ne pas pouvoir être transformé. On a développé dans le laboratoire de haute fréquence de l'EPF un appareil à lampes thermioniques qui permet de régler la tension d'un alternateur. La tension alternative constante peut être transformée et redressée par moyens simples. La tension continue est constante aussi, dans les limites de constance de la tension alternative, pourvu que celle-ci ait une forme sinusoïdale. Le régulateur décrit permet d'abaisser des variations de tension de 15 % à $\frac{1}{100} \frac{0}{00}$, le réglage étant effectué en 7 à 8 périodes.

Zur Erzielung sehr konstanter Spannungen für Laboratoriumszwecke verwendete man bisher meistens Akkumulatorbatterien, was, abgesehen von Preis und Unterhalt, insofern von Nachteil ist, als Gleichstrom nicht transformiert werden kann. Im Hochfrequenzlaboratorium der ETH wurde eine Apparatur mit Elektronenröhren zur Regelung der Spannung eines Wechselstromgenerators entwickelt. Der konstante Wechselstrom kann nach Belieben transformiert und mit einfachen Mitteln gleichgerichtet werden. Die Gleichspannung ist in dem Masse konstant, als es die Wechselspannung ist, vorausgesetzt, dass die Wechselspannung Sinusform hat. Die im folgenden beschriebene Spannungsreguliereinrichtung ermöglicht beispielsweise, Spannungsschwankungen von 15 % auf $\frac{1}{100} \frac{0}{00}$ zu reduzieren, wobei der Regelvorgang in 7 bis 8 Perioden beendet ist.

Déjà peu de temps après l'invention de la lampe électronique on a cherché à l'appliquer pour la solution de problèmes de réglage de tous genres, soit en particulier du nombre de tours, de la tension, etc., de machines électriques. D'abord le réglage n'a été exécuté que pour des machines à courant continu. Il existe de la littérature sur ce sujet, voir entre autres sous 1) 2) 3) 7) *). Ce n'est que ces dernières années que l'application a aussi été étendue aux générateurs à courant alternatif. La littérature ne contient pas beaucoup de notes à ce sujet 4) 5) 6) 8). Les plus importantes ont paru dans des périodiques anglais et américains. D'autre part ces régulateurs ne permettent pas un réglage assez efficace pour les besoins de notre laboratoire. Une description de quelques essais exécutés au laboratoire de haute fréquence de l'EPF nous semble donc pleinement justifiée.

La nécessité d'une tension très exactement constante, c'est-à-dire indépendante du nombre de tours du générateur, de sa charge ou du réseau qui alimente son excitation, pour beaucoup d'essais et spécialement des mesures et l'étalonnage est indiscutable. Dans le laboratoire de haute fréquence par exemple, nous sommes forcés de nous servir d'accumulateurs séparés, si nous voulons garantir de la constance des tensions de chauffage des lampes thermioniques ou des différentes tensions appliquées à grilles et plaques; une circonstance qui renchérit et complique l'exploitation.

Pour l'alimentation d'un laboratoire le courant alternatif a l'avantage de pouvoir être transformé et redressé à volonté. La tension redressée, continue, sera constante dans les limites de variation de la tension alternative, pourvu que celle-ci soit, en fonction du temps, suffisamment sinusoïdale.

Les éléments principaux d'un régulateur et leurs fonctions sont traités dans la dissertation de N. A. J. Voorhoeve 4). Ce travail n'est pas tout à fait complet. Il y manque la discussion des moyens de stabilisation du mécanisme de réglage, qui étaient peut-être encore inconnus à l'auteur.

*) Voir la Bibliographie à la fin de l'article.

La régulation de la tension d'un alternateur s'effectue à l'aide du courant d'excitation. Si la machine est munie d'une excitatrice, on réglera généralement le champ de celle-ci. Deux possibilités se présentent: soit la connection d'une ou de plusieurs triodes parallèles, en série avec le circuit d'excitation (fig. 1), ou la connection de ces

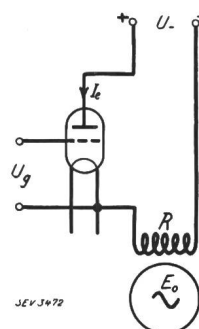


Fig. 1.

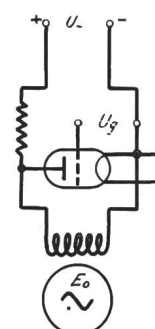


Fig. 2.

triodes de façon à shunter le bobinage du champ (fig. 2). La première méthode a été adoptée dans notre cas. Il est évident qu'il n'est pas nécessaire que le courant d'excitation entier passe par les triodes. Un bobinage séparé peut contribuer une partie fixe à l'aimantation. L'autre partie doit suffire pour couvrir les variations exigées par le réglage. On obtient ainsi une meilleure exploitation des lampes, mais on perd en sensibilité.

Désignons par:

E_0 la tension induite du générateur,

I_e le courant d'excitation,

R la résistance ohmique des bobines du champ,

p la pente des caractéristiques statiques et

R_i la résistance intérieure de la triode,

et proposons nous de calculer la relation statique entre les accroissements ΔE_0 et ΔU_g . A condition qu'ils soient suffisamment petits nous pouvons écrire:

$$\Delta E_0 = C \cdot \Delta I_e$$

C est une constante qui ne dépend, pour une machine donnée, que du degré de saturation du champ magnétique. La théorie sur les lampes thermioniques démontre que:

$$\Delta I_e = p \cdot \frac{R_i}{R + R_i} \cdot \Delta U_g$$

donc:
$$\Delta E_o = \frac{C \cdot p \cdot R_i}{R + R_i} \cdot \Delta U_g$$

Si n triodes sont branchées en parallèle l'expression correspondante devient:

$$\Delta E_o = \frac{C \cdot n \cdot p \cdot R_i}{n \cdot R + R_i} \cdot \Delta U_g$$

En cas de courant continu, U_g peut être dérivé directement de la tension du générateur selon fig. 3, la batterie U_b étant nécessaire pour attribuer à la grille la polarisation initiale exacte. Les connexions doivent être faites de manière à ce que d'une augmentation de la tension aux bornes de la dynamo due à des circonstances extérieures, résulte une diminution de U_g et donc de I_e . Le système tend alors vers un nouvel équilibre, qui est d'autant plus rapproché de l'ancien que le rapport $\Delta E_o / \Delta U_g$ est grand.

Le réglage d'un alternateur est possible en redressant d'abord la tension alternative et en l'appliquant alors (en série avec une batterie de polarisation) aux grilles des triodes. Cependant la tension continue délivrée par un redresseur non chargé est égale à la valeur maxima de la tension alternative. Par suite de harmoniques, qui varient autrement en grandeur et en phase que l'oscillation fon-

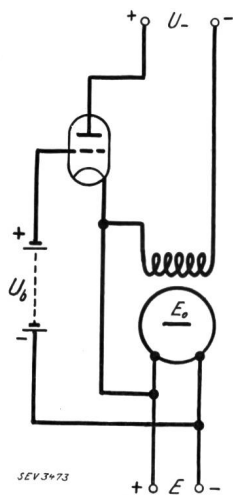


Fig. 3.

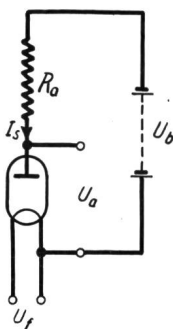


Fig. 5.

damentale avec la charge du générateur, la valeur maximale de la tension n'est pas en rapport fixe avec sa valeur efficace, que nous cherchons à maintenir constante. Avec un redresseur ne marchant pas à vide les résultats sont meilleurs, le potentiel continu fourni dépendant d'une manière plus complexe de la courbe de la tension alternative. Toutefois les déviations peuvent être considé-

rables. Pour le cas d'un petit générateur triphasé, qui nous a servi aux essais (il est entendu qu'une phase seulement pouvait être réglée rigoureusement), et dont je reproduis la courbe de la tension (fig. 4), du reste assez mauvaise, nous avons obtenu une augmentation de la tension efficace jusqu'à 3 % au lieu d'un abaissement de quelques 0/00 trouvés par calcul.

Mieux vaut utiliser comme indicatrice du voltage efficace une diode, dont le filament est alimenté par le réseau alternatif. Son courant de saturation est une fonction exacte de la valeur efficace de la tension au filament. N. A. J. Voorhoeve et F. H. Jong⁸⁾ emploie une diode double à deux plaques) qu'ils connectent comme redresseuse du courant alternatif, mais il est préférable de se servir d'une diode simple avec alimentation continue. La fig. 5 représente le schéma. On a:

$$U_a = U_b - R_a \cdot I_s$$

$$\Delta U_a = -R_a \cdot \Delta I_s$$

La batterie U_b étant donnée et U_a devant être assez grand pour assurer le courant de saturation, R_a devient:

$$R_a = \frac{U_b - U_a}{I_s}$$

Appelons σ la pente de la courbe qui représente I_s en fonction de U_f au point d'opération. Pour des petites variations on aura approximativement

$$\Delta I_s = \sigma \cdot \Delta U_f \text{ et } \Delta U_a = -(U_b - U_a) \cdot \frac{\sigma}{I_s} \cdot \Delta U_f$$

$\frac{\sigma}{I_s}$ est une fonction de la température du filament, donc de U_f et croît généralement avec U_f . En voulant attribuer à ce rapport une valeur aussi grande que possible on est par conséquent limité par la nécessité d'un temps d'usure encore économique.

Suivant le degré de réglage désiré, on peut appliquer directement cette variation ΔU_a aux grilles des triodes dans le circuit d'excitation. On constatera que la phase correspond, c'est-à-dire une augmentation de la tension aux bornes du générateur diminue automatiquement le courant d'excitation. Le réglage n'étant ainsi pas suffisamment efficace, on intercalera entre la diode et les triodes un amplificateur, qui consiste dans notre cas (fig. 6) en une lampe à grille écran et une triode. Comme il doit amplifier des changements d'un potentiel statique, il faut que les lampes se suivent en cascade. Deux

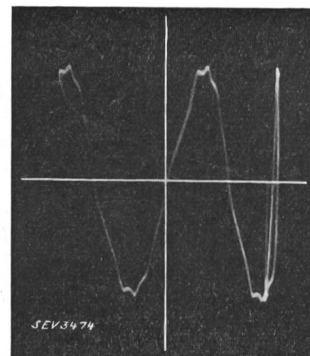


Fig. 4.

étages sont nécessaires afin d'obtenir la position de phase correcte, à moins qu'on connecte les triodes finales en parallèle au champ. Le nombre des lampes amplificatrices est cependant encore prescrit par la nécessité d'une réaction inverse garantissant la stabilité du régulateur. J'en parlerai plus bas.

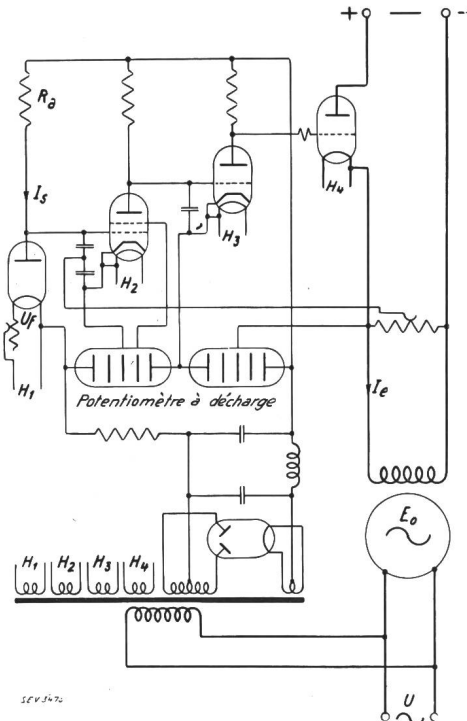


Fig. 6.

La première lampe à grille écran permet d'obtenir un coefficient d'amplification élevé. Utilisant une lampe Philips E 442 avec une résistance anodique de 100 000 Ohms il prenait la valeur 65. Pour le second étage on se sert de préférence d'une lampe de moyenne puissance, car les triodes de réglage absorbent parfois un courant de grille considérable. Une penthode serait appropriée, mais une triode d'amplification moindre est préférable, vu qu'il n'est pas désirable de pousser la sensibilité trop loin. Une lampe Philips E 415 avec $R_a = 20\,000$ Ohms donne un coefficient de environ 11. Désignant le coefficient d'amplification total par a ($a = 715$) on déduit maintenant:

$$\Delta U_g = a \cdot \Delta U_a$$

$$\Delta U_o = -\frac{C \cdot n \cdot p \cdot R_i}{n \cdot R + R_i} \cdot a \cdot (U_b - U_a) \frac{\sigma}{I_s} \cdot \Delta U_f$$

Le filament de la diode est branché au réseau alternatif à l'aide d'un transformateur de multiplication m . Nous avons: $\Delta U_f = \frac{\Delta U}{m}$,

U étant la tension aux bornes de l'alternateur. Finalement on trouve:

$$\Delta U_o = -\frac{C \cdot n \cdot p \cdot R_i}{n \cdot R + R_i} \cdot a \cdot (U_b - U_a) \frac{\sigma \Delta U}{I_s m} = -F \cdot \Delta U.$$

On voit que si une charge du générateur produit une perte de tension de $\Delta E_o + \Delta U \cong \Delta E_o$ la tension aux bornes ne diminue que de ΔU , valeur F fois (exactement $F + 1$ fois) plus petite que sans le réglage. Pour une variation du nombre de tours du groupe on trouve également F comme facteur de réglage.

Pour nos essais nous avons en particulier: 3 triodes (Gecoalve) P. X. 4 en parallèle dans le circuit de l'excitation,

$$\begin{aligned} n &= 3 & R_i &= 850 \text{ Ohms} \\ p &= 0,005 \text{ A/V} & R &= 300 \text{ Ohms} \end{aligned}$$

La diode était une lampe Philips Z (triode) à filament en tungstène pur, grille et plaque étant reliés ensemble,

$$\begin{aligned} U_b &= 550 \text{ V} & \sigma &= 0,043 \text{ A/V} \\ U_a &= 150 \text{ V} & I_s &= 0,02 \text{ A} \end{aligned}$$

Ensuite:

$$C = V/A, a = 715, m = 30.$$

Avec ces valeurs F devient approximativement $F \cong 15\,000$. Au lieu de 15 % de chute de tension sans régulateur la tension ne varie donc plus que de 1/100 000. De telles petites variations de tension sont sans doute déjà dans l'ordre de celles introduites par l'incertitude de contact des connexions surtout du côté de l'entrée à l'amplificateur. Une augmentation de la sensibilité serait donc sans valeur.

Sans l'amplificateur, en reliant la diode immédiatement aux triodes finales, F prendrait la valeur 21, ce qui serait insuffisant pour une quantité d'expériences dans notre laboratoire.

La mesure du courant de saturation d'une diode alimentée par le réseau réglé a démontré que l'abaissement de la tension était en tous cas en dessous de 1/10 000, des variations plus petites ne pouvant pas être constatées. Malgré les harmoniques dans la tension alternative (fig. 4), la tension fournie par un redresseur chargé était suffisamment constante pour alimenter un générateur d'audio-fréquence au principe de battements. La hauteur du ton n'a pas changé audiblement quelque ait été la charge de l'alternateur.

Le régulateur ne représente autre chose qu'un amplificateur dans lequel le générateur et la diode jouent le rôle de réaction. Comme la dynamo contient des bobines et que l'inertie calorique du filament de la diode a une influence analogue à une inductivité, des oscillations sont d'abord inévitables dans un système de tel sensibilité. L. C. Verman and L. H. Richards⁶⁾ et F. H. Gulliksen⁷⁾ ont trouvé le moyen de les supprimer. Il consiste en l'introduction d'une réaction inverse à celle existante, qui ne réagit cependant qu'à des changements d'équilibre. Elle n'influence donc pas le coefficient F , mais bien la durée de la période de régulation.

Les questions de stabilité et de vitesse du réglage, toutefois sans la réaction inverse, sont traitées mathématiquement dans la dissertation de N. A. J. Voorhoeve⁴⁾.

La réaction est effectuée dans notre cas (fig. 6) par un potentiomètre parallèle au bobinage du champ. Son contact mobile mène par un condensateur à la grille de la première lampe de l'amplificateur. Le potentiomètre nous permet de donner à la réaction le degré juste. On obtient pour ainsi dire un ralentissement des variations du courant d'excitation, d'où résulte la stabilité du système. On se rend facilement compte de la difficulté de trouver une réaction inverse à moyen simple pour le cas où l'amplificateur a un nombre d'étages impaires. L. C. Verman and L. A. Richards⁶⁾ introduisent la réaction de stabilisation à l'aide d'une grille dans la diode. Remplaçant donc celle-ci par une triode on épargne une lampe amplificatrice. La perte de sensibilité n'est pas grave, d'autant plus qu'il existe des lampes à grille écran qui permettent d'augmenter le coefficient d'amplification de 65 à environ 400. Cependant il s'y ajoute encore une diminution due à la triode (remplaçant de la diode), le courant plaque dépendant beaucoup moins de la température du filament. Nous pensons entreprendre encore des essais afin de déterminer le degré de sensibilité pouvant être atteint.

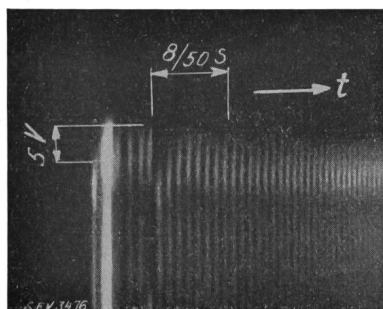


Fig. 7.

Il est souvent nécessaire de supprimer des oscillations parasites à haute fréquence en abaissant le coefficient d'amplification pour ses fréquences, court-circuitant p. e. les grilles par des condensateurs aux cathodes.

La grandeur de la période de réglage a été déterminée par un oscillogramme (fig. 7), pris sur un

oscillographe à rayon cathodique. La photographie représente les maxima supérieurs de la courbe de tension. Au moment de l'enclenchement de la charge la tension (valeur maximale) tombe d'environ 5 volts à la valeur qu'elle aurait sans réglage. Après 7 à 8 périodes (7/50 à 8/50 s) le réglage paraît être terminé. On s'aperçoit que les maxima n'atteignent plus leur ancienne hauteur. Ceci est l'effet des harmoniques. La valeur efficace de la tension n'a pas changé d'une quantité mesurable.

Les tensions anodiques pour la diode et l'amplificateur sont obtenues d'un redresseur alimenté par le réseau stabilisé. La subdivision des tensions est effectuée par deux potentiomètres à décharge «Stabilisator» en série. Ces «Stabilisator»⁹⁾ ont l'avantage d'empêcher, grâce à leur résistance intérieure très petite, un couplément dangereux des différents circuits. Malheureusement nous avons dû constater que leurs tensions vacillent continuellement de quelques millièmes de volts autour de leurs valeurs moyennes, provoquant une inconstance de la tension réglée de 1 à 2 ‰. Ce phénomène nécessite encore quelques recherches. On peut éviter ces vacillements en utilisant des batteries comme source des tensions anodiques, solution qui est toutefois chère, ou en se servant d'une résistance ohmique comme potentiomètre. Dans ce dernier cas un découplément efficace est indispensable pour assurer la stabilité du régulateur. Les circonstances ne nous ont encore pas permis de développer un circuit définitif, mais les essais vont être poursuivis prochainement.

De pareils régulateurs à valves thermioniques ont déjà été construits pour des alternateurs d'une puissance jusqu'à 100 kW. On est entièrement satisfait de la sécurité de service.

Je tiens à remercier M. le professeur Tank pour l'intérêt et l'assistance qu'il a toujours prêtés à ce travail.

Bibliographie.

- 1) F. W. Meyer, ETZ 1921, S. 689.
- 2) Werner Taeger, ETZ 1924, S. 1407.
- 3) N. A. J. Voorhoeve, Arch. Elektrotechn. 1928, S. 228.
- 4) N. A. J. Voorhoeve, Diss. Delft 1930.
- 5) H. W. Dodge and C. H. Willis, Electr. Wld. NY. 1931, p. 25.
- 6) L. C. Verman and L. H. Richards, Rev. Scient. Instr. 10, 581, 1930, et Electr. Engng. 1931, S. 436.
- 7) F. H. Gulliksen, Electr. Wld. 1931, p. 162.
- 8) N. A. J. Voorhoeve und F. H. Jong, ETZ 1932, S. 530.
- 9) Voir sous ETZ 1932, S. 1091.