

Des diverses applications du Régulateur automatique à action rapide Brown-Boveri et des Méthodes de Branchement correspondantes.

Par V. SYLVESTRE, Ingénieur A. M. et I. E. G.

La tendance moderne de l'Industrie électrique est l'uniformisation et la simplification progressive du service.

Aujourd'hui on est déjà loin de l'époque, signalée d'une façon si humoristique par M. le Professeur Kennely, lors d'une des remarquables conférences qu'il a faites dernièrement à l'Institut Polytechnique de Grenoble, où lorsqu'il était nécessaire de couper un réseau à haute tension (6 à 8000 volts à l'époque), il fallait deux hommes : l'un qui trait sur le couteau de l'interrupteur à cornes, et l'autre qui frappait avec un bâton sur l'arc afin de l'étouffer.

Grâce aux perfectionnements successifs apportés par les Constructeurs électriciens aux appareils automatiques, on est arrivé : à régler sans la présence d'aucun personnel, la tension des génératrices fonctionnant seules ou en parallèles, à les protéger efficacement contre les actions néfastes des courts-circuits, à régler la charge et la décharge des batteries d'accumulateurs, la puissance de groupes tampons à volant, celle des fours électriques, enfin à la synchronisation automatique de machines synchrones et de centrales fonctionnant en parallèle.

En dehors de l'interrupteur à huile, les appareils qui ont le plus servi à la réalisation pratique de ces différents problèmes sont les régulateurs automatiques et en particulier le régulateur automatique à action rapide. Le but du présent article est de fournir, avec croquis et schémas à l'appui des explications sur le régulateur automatique à action rapide Brown-Boveri (figure 1) et de signaler aux lecteurs de la Houille Blanche les différentes applications qui peuvent en être faites en variant la façon de brancher les enroulements et les résistances.

LE SYSTÈME

Par le dessin schématique (figure 2), qui est une reproduction en perspective des parties essentielles constituant ce régulateur, on peut facilement se rendre exactement compte du mode d'action de l'appareil.

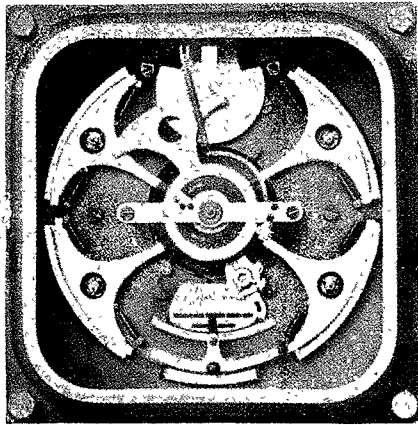


Fig. 1. — Régulateur automatique à action rapide type Brown Boveri (grand modèle).

Le système de ce régulateur repose sur le principe suivant : insérer automatiquement des résistances de réglage dans le circuit dont le courant doit être réglé, en utilisant, à cet effet, un équipage mobile que l'appareil doit comporter.

Cet équipage mobile est construit selon le principe de Ferraris. Par un arrangement approprié des enroulements *a* et *b*, en liaison avec les résistances *u* et *w*, un champ tournant se trouve créé ; dans l'entrefer de ce champ se trouve placé un induit en aluminium *c*, affectant la forme d'un tambour, avec un jeu libre de 60 degrés. Le couple engendré par la réaction des courants induits dans cet induit et du champ magnétique du stator est transmis à l'arbre de l'équipage mobile. Les deux bouts de cet arbre

se terminent chacun par une pointe trempée faisant office de pivot dans une pierre sertie. Sur la partie antérieure de cet arbre, se trouve fixé, par son extrémité intérieure, le ressort *f* en forme de spirale. L'extrémité extérieure du ressort est retenue au barillet. Le ressort auxiliaire (*n*) a pour but de suppléer l'action du ressort principal, afin

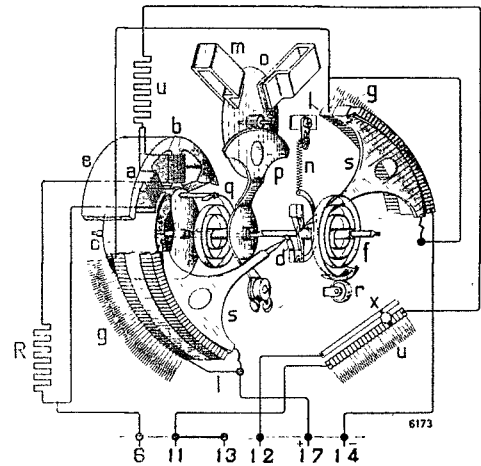


Fig. 2. — Ensemble du mécanisme.

que ce dernier exerce toujours un couple constant, quelle que soit la position de l'induit. A une tension déterminée, le couple électro-magnétique est contrebalancé par le ressort *f*. Ce n'est que lorsque la valeur électrique à régler (tension, courant, puissance) varie, qu'un mouvement de rotation de l'induit intervient, provoquant un déplacement correspondant des secteurs de contact *s* qui sont montés sur l'arbre et qui mettent alors les résistances en ou hors circuit. Les tiges de ces secteurs sont constituées chacune par une pointe reposant sur un chaton en pierre fine adapté à un ressort. L'arc de déplacement de ces pointes est minime. Roulant sur leur périphérie, les secteurs de contact avancent et reculent en passant par une série de plots à surface concave disposés en cercle (figure 3).

Par le fait que les axes des secteurs et de leurs rangées respectives de contacts sont diamétralement opposés, il ne se produit pas de pression sur l'arbre. De cette façon, les mouvements s'accomplissent, pour ainsi dire, sans frottement, tout en assurant un contact suffisant. Les contacts k sont reliés à des spirales g en fil de rhéotan.

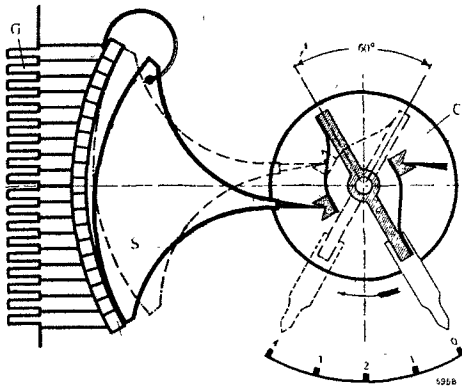


Fig. 3 — Bornes du rhéostat disposé en arc avec secteur roulant formant contact.

Afin d'éviter les mouvements pendulaires, on a prévu un dispositif amortisseur, qui se compose d'un disque en aluminium, tournant entre les pôles de deux aimants d'acier m (figure 2), et se trouvant en liaison mécanique avec le segment p , par l'intermédiaire d'une transmission à engrenages. Ce segment, reposant librement sur l'axe de l'induit c , est élastiquement accouplé avec cet arbre, à l'aide du ressort q .

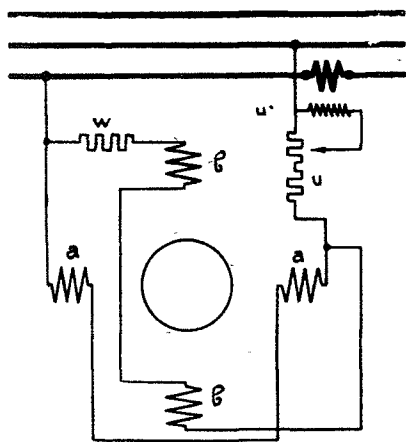


Fig. 4. — Montage comme régulateur de tension.

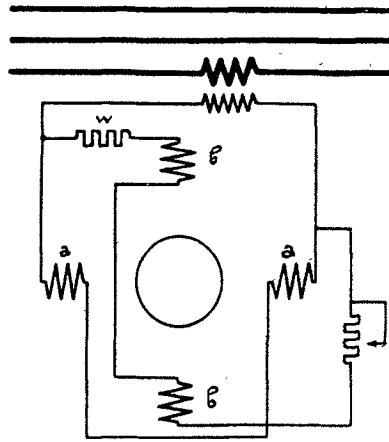


Fig. 5. — Montage comme régulateur de courant.

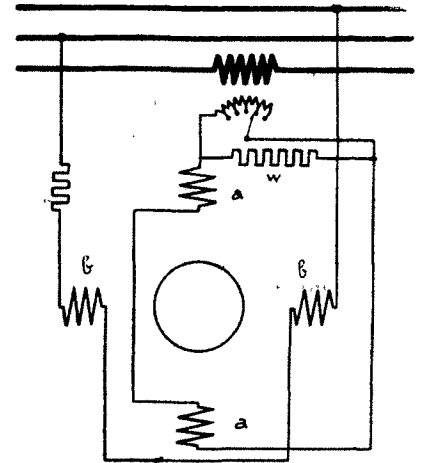


Fig. 6. — Montage comme régulateur de puissance.

Cet accouplement élastique a pour but d'obtenir un réglage rapide, car l'élasticité du ressort q permet au rotor, et, par suite, aux ressorts de contact, de modifier passagèrement les positions respectives par rapport à celle du dispositif amortisseur et de devancer celui-ci, en sorte qu'un nombre plus élevé d'éléments de résistance sont immédiatement mis en ou hors circuit : cela ne saurait être le cas s'il existait une liaison rigide entre le dispositif amortisseur et l'induit.

Méthodes de Branchement

Suivant le but auquel on vise par le réglage, les enroulements a et b peuvent être connectés de telle façon avec les résistances u et W que le champ tournant, ainsi créé, se trouve sous l'influence de la tension, sous celle de l'intensité ou encore sous les deux à la fois. L'appareil peut donc être construit en tant que régulateur de tension, de courant ou de puissance.

a) Comme régulateur de tension (figure 4).

Avec la résistance en rhéotan W , on forme une phase auxiliaire b qui, conjointement avec la phase principale a , produit un champ tournant dont l'intensité dépend de la tension régnant aux bornes.

b) Comme régulateur de courant (figure 5).

Une partie de la résistance W est intercalée dans la rangée de contacts u' (voir figure 2). Suivant la position du contact x , l'appareil peut régler à différentes valeurs de courant.

c) Comme régulateur de puissance (figure 6).

Dans ce cas, la construction de l'appareil, qui peut être employé aussi bien pour courant triphasé que pour courant monophasé, est analogue à celle d'un wattmètre monophasé. Les tissus en rhéotan u et W peuvent assurer un décalage convenable entre les courants de l'enroulement-tension b et ceux de l'enroulement-courant a . Des prises de courant dont le transformateur de courant est muni, permettent de faire varier, dans des limites étendues, la puissance à régler.

En outre, comme il est aussi possible de brancher différemment les résistances de réglage, il y a plusieurs manières de réaliser le réglage, savoir :

1° Les résistances de réglage peuvent être connectées en série avec un enroulement d'excitation et entraîner ainsi une variation du courant d'excitation entre deux valeurs limites (figure 7). On a surtout recours à ce mode

de connexion pour faire varier la tension des génératrices synchrones.

2° Les résistances de réglage g peuvent être reliées à une source auxiliaire de courant. Suivant la position du point de contact, une partie plus ou moins grande de cette tension est appliquée à l'enroulement d'excitation. Le courant d'excitation varie ainsi entre zéro et une valeur maximum donnée (figure 8). Ce mode de connexion trouve application lorsque le réglage de la tension a lieu au moyen d'un régulateur d'induction muni du dispositif de commande automatique à huile sous pression.

3° Les résistances de réglage g peuvent être reliées à une source auxiliaire de courant par l'intermédiaire de deux branchements parallèles, dont les points de contact respectifs sont toujours diamétralement opposés. En conséquence, lorsqu'un enroulement d'excitation est mis en communication avec les contacts, il sera donc excité

négativement dans l'une des positions finales et positivement dans l'autre, tandis que dans la position médiane, il ne sera pas excité du tout. Il s'ensuit donc que la variation du courant d'excitation se produira entre une valeur maximum positive et une valeur maximum négative (figure 9). On adopte ce mode de connexion quand le réglage de la puissance s'opère au moyen d'une batterie-tampon avec dynamo survoltrice, auquel cas la tension de cette dynamo est assurée directement ou indirectement par une excitatrice et varie d'une valeur maximum positive à une valeur maximum négative.

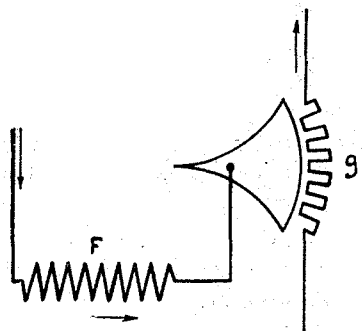


Fig. 7.

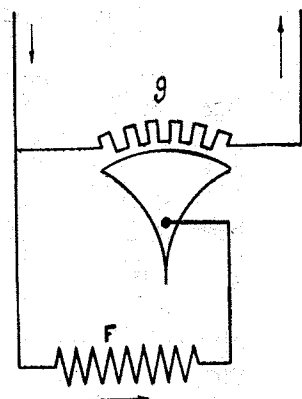


Fig. 8.

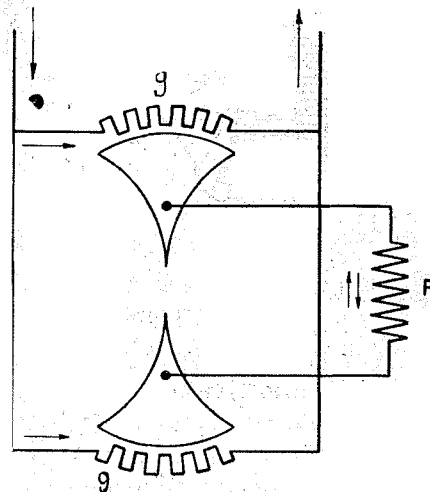


Fig. 9.

Par l'emploi du régulateur à action rapide et en ayant recours au compoundage, on peut obtenir une variation automatique de la tension réglée. Si la tension doit s'élever en fonction du courant total fourni par l'ensemble des génératrices de la centrale ou en fonction de la charge d'une ligne de départ, on installe alors à l'endroit voulu du tableau de distribution un transformateur de courant dont l'enroulement secondaire est relié aux bornes 12 et 13 du régulateur (figure 2). Une partie de la résistance u est, dans ce cas, logée dans les contacts de compoundage u' ; et suivant comme le contact x est réglé, le courant se-

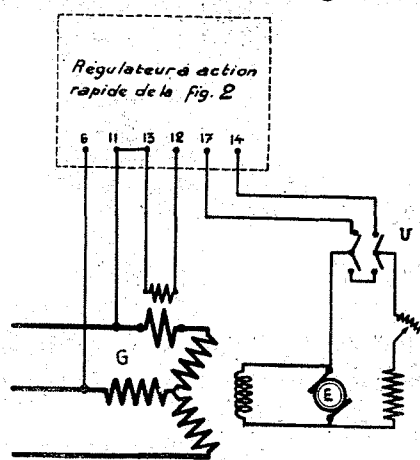


Fig. 10.

naire provenant du transformateur de courant passe à travers une grande ou une petite fraction de cette résistance, influençant ainsi la tension réglée. Chaque régulateur muni de ce dispositif, permet de réaliser un surcompoundage allant jusqu'à 15 %.

La figure 10 représente un appareil construit pour régler la tension suivant le schéma de connexion faisant l'objet de la figure 4. Les résistances g sont mises en série

Les connexions extérieures dans les centrales, etc.,

avec l'enroulement d'excitation de l'excitatrice E , de sorte que le réglage de la tension s'accomplit entre deux valeurs limites (figure 7). L'action combinée du transformateur de courant St et de la résistance de compoundage u produit un surcompoundage.

Comme il est possible, ainsi que nous venons de l'exposer, de combiner de façon appropriée à chaque cas particulier les connexions intérieures de l'appareil, soit celles des enroulements, d'une part, et celles des résistances, d'autre part, le régulateur à action rapide rencontre un champ d'applications très étendu.

Les connexions extérieures dans les centrales, etc., diffèrent, évidemment, suivant le résultat qu'on se propose d'atteindre en installant un régulateur à action rapide. C'est pourquoi chaque cas particulier nécessite une étude détaillée du schéma des connexions, en tenant compte des caractéristiques à réaliser.

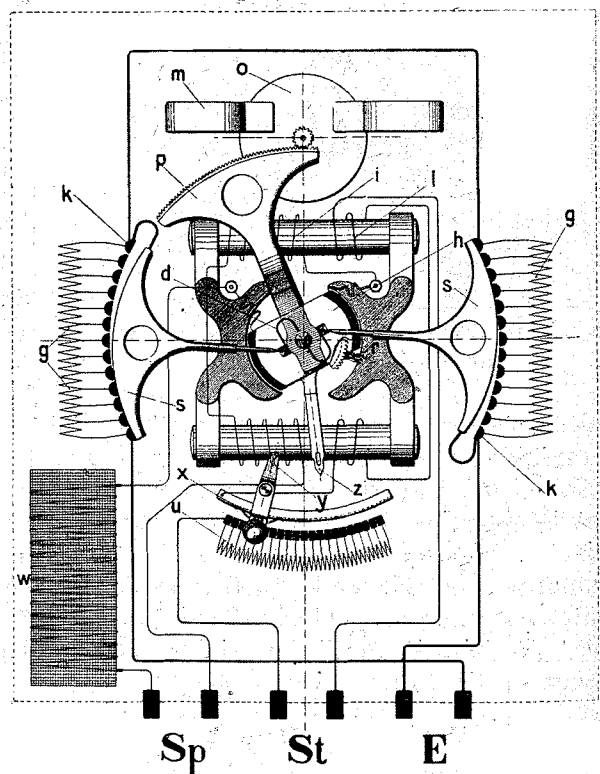


Fig. 11. — Représentation schématique du régulateur à action rapide pour courant continu.

Description du Régulateur pour courant continu

Les régulateurs destinés aux réseaux à courant continu se distinguent de ceux pour courant alternatif unique-

ment par la construction du système actif. Le tambour en aluminium est remplacé par un enroulement mobile h , pivotant dans un champ magnétique (voir figure 11). L'inducteur possède deux enroulements, dont l'un est en fil fin, tandis que l'autre est généralement en fil plus gros. Pour tenir compte de l'augmentation du couple du ressort antagoniste f , avec la torsion, la forme des pôles inducteurs est choisie de façon à faire croître le champ magnétique dans la même mesure que le couple du ressort. On obtient l'astatisme parfait à l'aide d'un petit contre-poids. Les différents couplages, permettant de faire dépendre le couple d'une tension, d'une intensité, d'une puissance ou, enfin, de plusieurs de ces facteurs à la fois, s'obtiennent par les connexions des enroulements inducteurs et des résistances auxiliaires.

Les Applications du Régulateur à action rapide (1).

1° Réglage de la tension des génératrices synchrones.

L'application du régulateur à action rapide la plus fréquente a lieu pour le réglage de la tension des génératrices synchrones. Si l'inducteur de la génératrice est alimenté par une excitatrice, il est évidemment plus avantageux de régler le courant du circuit inducteur de l'excitatrice que celui de la génératrice ; ce courant inducteur étant beaucoup plus faible, il est possible de diminuer les dimensions du rhéostat et de réduire les pertes d'énergie par effet Joule à des proportions insignifiantes. L'excitation de la génératrice est alors réglée non plus par un rhéostat à main, mais par la tension variable aux bornes de l'excitatrice.

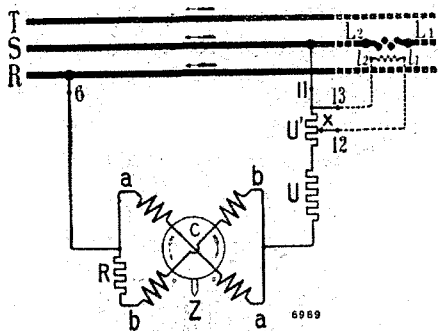


Fig. 12. — Schéma du système actif d'un régulateur de tension

Le système actif manœuvrant le rhéostat de réglage dans le circuit inducteur de l'excitatrice, chaque écart de la tension provoque un déplacement des secteurs mobiles qui, en insérant ou en retranchant des résistances du circuit inducteur de l'excitatrice, rétablissent la tension aux bornes de la génératrice.

Les enroulements de l'inducteur sont connectés d'une façon semblable à celle employée pour les moteurs monophasés, et représentée par le schéma de la figure 12. Par l'insertion de la résistance auxiliaire R, on obtient facilement un décalage de phase du courant des pôles (a) par rapport à celui des pôles (b) et, par conséquent, un champ tournant et un couple dont la valeur dépend directement de la tension. U est une simple résistance auxiliaire.

(1) Voir aussi *Revue B. B. C.*, septembre 1917.

Compoundage.

Quand l'énergie est transmise à grande distance, la chute de tension est généralement si importante que la tension à la station génératrice doit être augmentée graduellement avec l'intensité croissante de la ligne. Cela peut se faire automatiquement à l'aide d'un transformateur de courant débitant sur les bornes 12 et 13 du système inducteur comme l'indiquent les lignes pointillées de la figure 12. L'action est telle que la partie de la résistance U' (entre les bornes 12 et 13) traversée par le courant secondaire des deux transformateurs, cause une chute de tension augmentant avec l'intensité de la ligne et affaiblissant le champ tournant du système inducteur. Par conséquent, l'équilibre entre le couple actif et le couple antagoniste ne pourra avoir lieu qu'avec une élévation correspondante de la tension. Le curseur (x) sert à fixer la proportion de l'effet de compoundage.

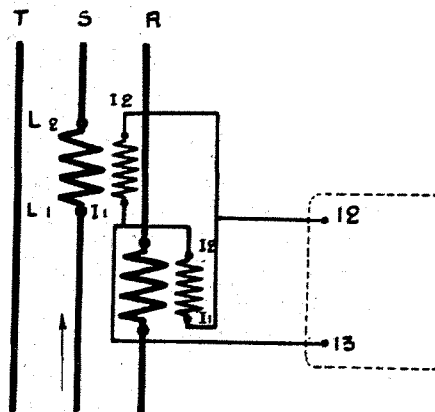


Fig. 13. — Compoundage mixte.

Le compoundage est dû à l'effet de la superposition de deux courants, dont l'un provient d'un transformateur de tension branché sur les phases R et S, et l'autre d'un transformateur de courant placé, par exemple, dans le conducteur S. Dans ce cas, les deux courants sont décalés entre eux de 50° environ, si le $\cos \varphi$ du réseau est égal à 1. Le décalage sera nul pour un $\cos \varphi = 0,65$. Cette relation change complètement si le transformateur de courant est inséré dans une autre phase. Comme l'effet commun de deux courants superposés est proportionnel à leur résultante géométrique, on voit que, pour un couplage déterminé, la valeur du compoundage dépend de l'intensité du courant, de la position du curseur x et du $\cos \varphi$ du réseau. Dans un système polyphasé, on pourra donc produire des effets de compoundage de caractéristiques complètement différentes, suivant la phase que l'on choisira pour l'insertion du transformateur de courant.

Une autre variation de l'effet est obtenue par la combinaison de deux transformateurs de courant placés dans des phases différentes (figure 13).

Un dispositif approprié de commutateur (figure 14), permet de brancher un régulateur sur l'un ou l'autre de plusieurs transformateurs de courant. Lorsque l'on désire pouvoir mettre le régulateur au point pour d'autres valeurs, on emploiera un rhéostat de mise au point spécial, inséré dans le conducteur aboutissant à la borne 6.

Le régulateur d'une génératrice travaillant isolément.

Le système actif est branché sur deux conducteurs de la génératrice même, si la tension est inférieure à 250 volts. Si la tension est plus élevée, cette connexion se fait par

l'intermédiaire d'un transformateur de tension (figure 15). Le transformateur de courant pour le compoundage et les connexions correspondantes sont marqués en pointillé. Le commutateur bipolaire (sans interruption) permet de mettre hors circuit le rhéostat du régulateur.

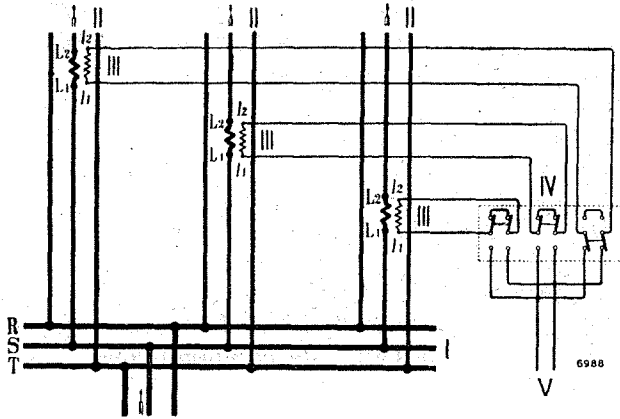


Fig. 14. — Schéma du couplage du commutateur de compoundage avec les transformateurs de courant.

Le régulateur d'une génératrice à charge non équilibrée.

Dans certains réseaux alimentant des moteurs monophasés, les phases sont inégalement chargées ; il en résulte une différence entre leurs tensions. On se sert, alors, d'une disposition de régulateur se distinguant de celle du cas précédent, en ce que le système actif est connecté aux trois conducteurs de la génératrice ; c'est donc la valeur moyenne des trois tensions qui est maintenue constante (figure 16).

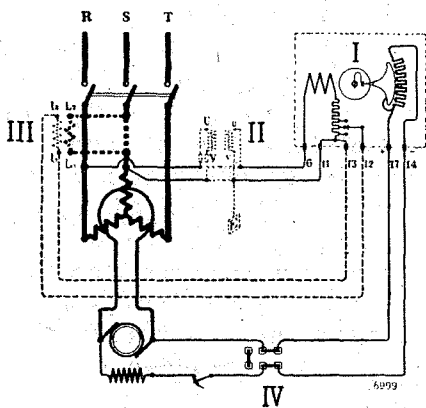


Fig. 15. — Régulateur de tension d'une génératrice triphasée marchant isolément.

Le régulateur servant alternativement à plusieurs groupes

Lorsque la marche en parallèle n'a lieu que pendant de courts intervalles, ou lorsque l'importance des petits groupes de réserve, par exemple, ne justifie pas l'achat d'un appareil par groupe, on pourra choisir, pour le régulateur, une disposition permutable (figure 17). Le système actif est alors connecté aux barres collectrices, tandis que le rhéostat de réglage est relié à plusieurs commutateurs dont chacun correspond à la dynamo excitatrice d'un groupe. Comme le régulateur ne peut influencer qu'une seule excitatrice à la fois, on évite les erreurs de manœuvre en employant le dispositif de commutateurs avec une poignée commune amovible. S'il y a d'autres groupes marchant en parallèle, le personnel de surveillance devra, lors d'un changement important de la charge moyenne, simplement remettre au point leur excitation, à l'aide des rhéostats à main. Il est évident qu'une pareille restriction du fonctionnement automatique n'est applicable que pour des installations ayant une demande d'éner-

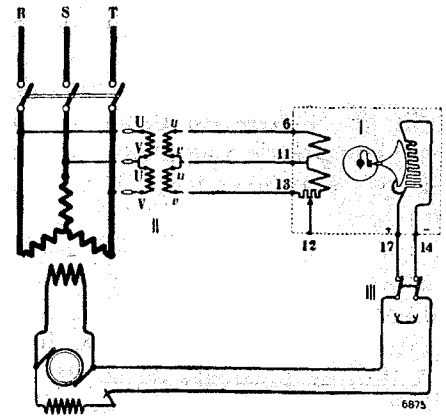


Fig. 16. — Régulateur de tension d'une génératrice triphasée, phases inégalement chargées.

gie assez uniforme. D'autre part, la permutabilité du régulateur n'est possible que si les courants d'excitation des différentes excitatrices sont d'intensité semblable.

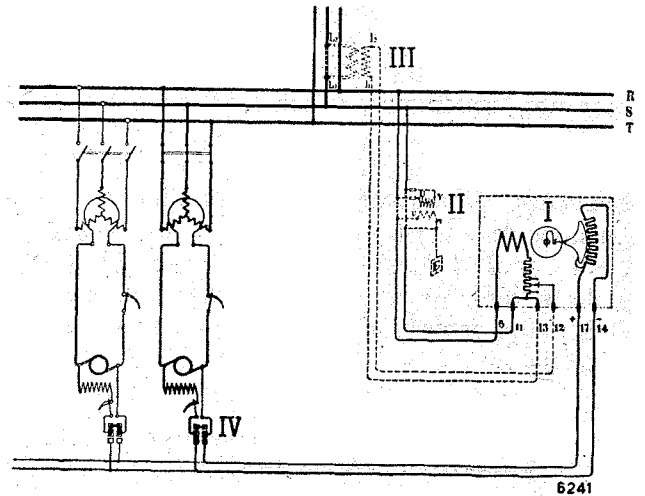


Fig. 17. — Régulateur de tension servant alternativement à plusieurs génératrices triphasées.

Le régulateur pour l'excitatrice commune.

Dans beaucoup d'installations, les groupes ne sont pas munis d'excitatrices adossées. Les inducteurs des géné-

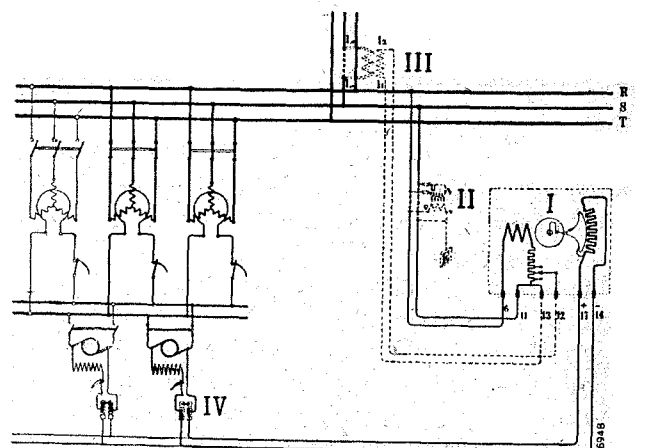


Fig. 18. — Régulateur de tension pour génératrices triphasées avec excitatrice commune.

ratrices sont reliés à un jeu de barres alimenté par une dynamo commune. Un deuxième groupe d'excitation est généralement tenu en réserve (figure 18).

(A suivre.)