

ÉLECTRICITÉ

Application du Régulateur automatique à l'Éclairage électrique des Trains

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

Vers 1900-1902 a apparu sur le marché des équipements électriques Brown-Boveri pour l'éclairage des voitures à voyageurs, wagons-restaurants, wagons-poste, fourgons à bagages, locomotives, etc..., aussi bien sur les grandes lignes que sur les lignes à voie étroite.

Un tel équipement (1) se compose d'une dynamo shunt à courant continu, d'une batterie d'accumulateurs et d'un régulateur.

La dynamo est suspendue à un axe fixé au bogie de la voiture ou au châssis et est entraînée par un essieu porteur au moyen d'une courroie.

L'appareil de réglage est enfermé dans une boîte fixée dans la voiture à une des parois.

La batterie est enfermée dans une caisse spéciale placée sur le côté de la voiture dans le sens de la longueur.

Cet équipement est généralement employé pour l'éclairage d'une seule voiture, mais il peut aussi servir à l'éclairage de plusieurs voitures reliées électriquement entre elles.

Caractéristiques du système.

1° Le système est entièrement automatique :

Depuis le repos jusqu'à la vitesse maximum la tension du circuit d'éclairage est complètement indépendante du sens de la marche, de la vitesse de la voiture et de l'intensité du courant d'éclairage.

A chaque renversement du sens de la marche, les balais de la dynamo se placent d'eux-mêmes dans la position voulue pour débiter du courant. L'appareil de réglage assure automatiquement le couplage en parallèle de la dynamo sur la batterie et règle automatiquement la tension de la dynamo.

La vitesse de la dynamo n'est pas modifiée par un procédé artificiel, comme par exemple le glissement de la courroie qui entraîne une rapide usure de cette dernière.

Il n'y a ni interrupteur à force centrifuge, ni autre système mécanique nécessitant une mise au point, sujet à un dérèglement et à des frottements.

2° L'équipement ne comprend qu'une dynamo shunt normale, une batterie et un appareil de réglage unique, fermé.

3° L'éclairage n'est fourni par la batterie que pendant l'arrêt ou aux vitesses réduites (au-dessous de 25 kilomètres ou même moins).

4° La dynamo est mise en circuit à la vitesse minimum qui lui fait atteindre exactement la tension convenable et non à peu près, comme cela a lieu avec les appareils centrifuges dont le fonctionnement ne dépend pas de la tension.

5° Pendant la marche, aussitôt que cette vitesse minimum est dépassée, l'éclairage est assuré exclusivement par la dynamo. Même si les coupe-circuits de la batterie ont fondu ou si la batterie est avariée, l'éclairage est maintenu pendant la marche par la dynamo.

6° Dès que la vitesse minimum est dépassée, que l'éclairage soit en fonction ou non, la dynamo commence à charger la batterie, si celle-ci ne l'est déjà pas complètement.

7° La charge de la batterie ne se fait ni à courant constant, ni à tension constante, mais avec un courant qui diminue progressivement depuis un maximum jusqu'à une valeur à peu près nulle quand la batterie est complètement chargée.

Il ne se produit ainsi aucun à-coup nuisible et on évite les grandes résistances toujours nécessaires pour une charge à tension ou à courant constant.

La batterie est très ménagée ; elle reste presque toujours complètement chargée sans jamais subir de surcharge et sa charge est obtenue avec le courant le plus convenable et sans à-coups.

8° La mise en parallèle, la charge et l'éclairage sont indépendants de la température, parce que l'on emploie avec avantage pour l'appareil de réglage des matériaux ayant un faible coefficient de température et parce que tout le réglage s'effectue électriquement.

9° Le rendement total est très élevé, car l'installation ne comprend qu'une dynamo normale à excitation shunt avec réglage par le champ et une batterie d'accumulateurs unique fonctionnant toutes deux dans des conditions favorables et ne comportant presque pas de résistances.

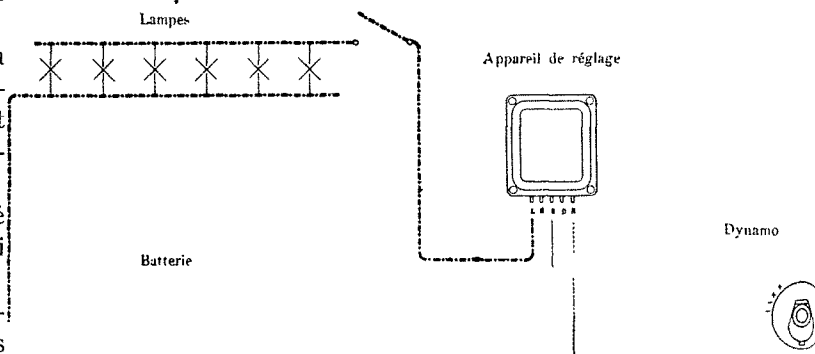


Fig. 63. — Schéma des connexions reliant la dynamo, la batterie, l'appareil régulateur et les lampes.

Construction.

I. *Connexions.* — La figure N° 63 montre schématiquement les connexions entre la dynamo, la batterie, les lampes et l'appareil de réglage.

II. *La dynamo.* — La dynamo (figure N° 64) est une machine shunt normale, d'une construction moderne et des plus simples. Elle est suspendue au bogie de la voiture ou au châssis. La tension de la courroie de transmission généralement employée pour la commande de la dynamo est obtenue soit par le propre poids de la machine, soit par des ressorts. Comme la dynamo doit fournir automatiquement du courant dans les deux sens, un appareil déplace les balais et les amène dans la position voulue pour la production du courant sitôt que la voiture change de sens

(1) Depuis l'accident du tunnel des Batignolles, des milliers d'équipement semblables ont été commandés par les Compagnies de chemins de fer,

de marche. Les paliers sont à graissage par bagues. La dynamo est complètement fermée et protégée contre la poussière ; elle forme, grâce à sa construction simple et robuste, un appareil qui ne demande qu'un entretien minime et n'exige que des réparations insignifiantes, comme le prouvent les milliers d'installations actuellement en service.

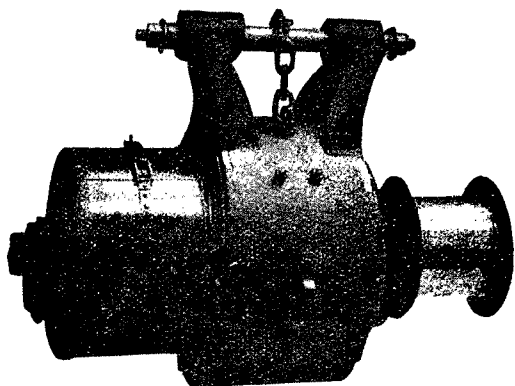


Fig. 64. — Dynamo-shunt d'éclairage des trains.

III. *La batterie d'accumulateurs.* — Le rôle de la batterie d'accumulateurs est de pourvoir à l'éclairage de la voiture pendant l'arrêt de celle-ci. Sa capacité dépend par conséquent en première ligne de la durée de cet arrêt ; elle est généralement choisie de manière à ce que la batterie puisse à elle seule pourvoir à l'éclairage total pendant 7 à 10 heures. La tension adoptée détermine le nombre d'éléments ; ils sont réunis en groupes montés dans les caisses en bois que l'on peut introduire dans des caissons placés sur le côté de la voiture.

IV. *Fonctionnement de l'appareil de réglage.* — L'appareil régulateur a pour but, en premier lieu, de régler la tension de la dynamo, tension qui dépend de la vitesse, de telle manière que d'une part la batterie se charge et d'autre part le circuit des lampes soit alimenté. Lors du démarrage du train, dans un sens ou dans un autre, la dynamo s'excite grâce au déplacement automatique des balais. La tension de la dynamo augmente graduellement avec la vitesse ; lorsque la tension de la batterie est atteinte, un interrupteur automatique C (schéma N° 65) couple la dynamo sur la batterie et sur le circuit des lampes.

La vitesse augmentant, la tension de la dynamo continuerait à augmenter, ce qu'il faut éviter. A cet effet, une résistance est introduite dans le circuit d'excitation en dérivation.

Les spires de cette résistance sont désignées dans la figure N° 65 par G ; la mise en circuit se fait automatiquement par un régulateur R au moyen d'un secteur de contact (A) qui se déplace en roulant sur un certain nombre de plots correspondant aux diverses fractions de la résistance. Le premier contact provoque la fermeture de l'interrupteur par l'intermédiaire de l'électro-aimant P et les contacts suivants réalisent l'introduction des résistances dans le circuit. Le secteur de contact est mis en mouvement par une bobine (O) mobile dans le champ magnétique du régulateur R. Ce champ magnétique est produit en premier lieu par un enroulement M_1 en dérivation aux bornes de la dynamo. Il est renforcé par un enroulement M_2 traversé par le courant de la batterie et agissant dans le même sens que M_1 . Un troisième enroulement M_3 traversé par le courant d'éclairage agit en sens inverse de M_1 et M_2 . Le champ magnétique résultant de la combinaison des effets de M_1 et M_2 et de M_1 et M_3 produit sur la bobine mobile O un couple de rotation contre-balancé par

un ressort F agissant en sens contraire et dimensionné de telle sorte qu'il exerce un effort de traction constant.

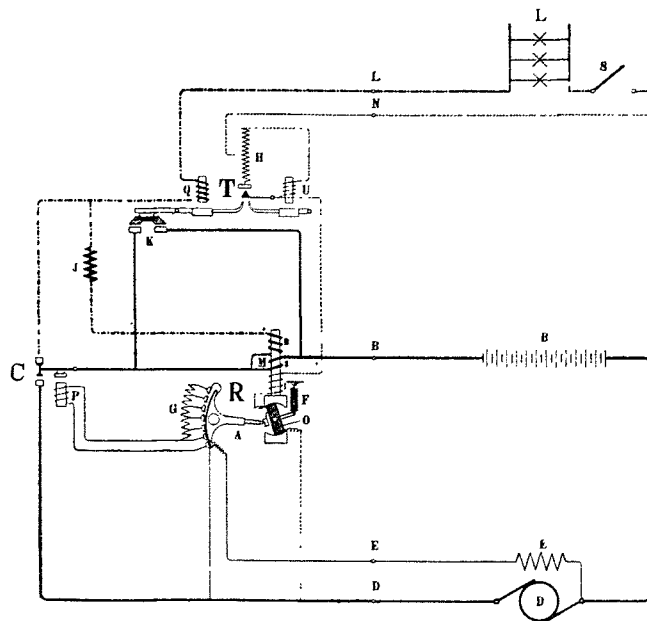


Fig 65 — Schéma des connexions du dispositif « Brown-Boveri » pour l'éclairage des trains.

LÉGENDE

- | | |
|--|-----------------------------------|
| A = Secteur de contact. | O = Bobine mobile. |
| B = Batterie. | P = Electro-aimant de couplage. |
| C = Interrupteur de couplage. | Q = Relais de lumière. |
| D = Dnynamo. | R = Régulateur. |
| E = Inducteur de la dynamo. | S = Interrupteur de lumière. |
| F = Ressort de la bobine mobile. | T = Contact réducteur de tension. |
| G = Résistances de l'excitation. | U = Relais limiteur de charge. |
| H = Résistances de réduction. | |
| J = Résistances de compensation. | |
| K = Interrupteur de court-circuit. | |
| L = Lampes. | |
| M = { Enroulement I. Tension de la dynamo. | |
| inducteur II Courant de charge. | |
| du régulateur III Courant de lumière. | |
- Bornes de connexions de l'appareil de réglage
 B' = à la batterie B.
 E' = à l'excitation E.
 D' = à la dynamo D.
 L' = aux lampes L.
 N' = au pôle négatif.

Pour se rendre compte clairement comment ce couple mécanique maintient en équilibre le couple électrique agissant sur la bobine mobile, et comment le maintien de cet équilibre est utilisé pour le réglage et spécialement pour la variation des résistances à insérer dans le circuit de l'excitation, le plus simple est de considérer différents cas de fonctionnement.

Les exigences auxquelles doit répondre un système d'éclairage de train varient beaucoup selon qu'il s'agit d'un train à marche lente ou rapide, et d'un service de jour ou d'un service de nuit. Les deux cas extrêmes sont les suivants :

1^{er} cas. — Train express marchant à grande vitesse avec peu d'arrêts et de jour, par suite ne consommant qu'une quantité de lumière très faible.

2^e cas. — Train à vitesse lente avec beaucoup d'arrêts, marchant la nuit et consommant par conséquent une grande quantité de lumière.

Dans le premier cas, la dynamo, après avoir complètement chargé la batterie, ne doit plus fournir aucun courant, les fonctions du régulateur sont, par conséquent, d'empêcher toute nouvelle introduction du courant dans la batterie, ce qui serait nuisible pour cette dernière, puisqu'elle est complètement chargée.

La dynamo ne doit donc produire que peu d'énergie électrique et cela malgré des conditions particulièrement défavorables puisque, en raison du petit nombre d'arrêts, elle fonctionne longtemps et que de plus elle tourne très rapidement par suite de la grande vitesse du train.

Dans le deuxième cas, la dynamo doit non seulement maintenir la batterie en charge, mais elle doit pourvoir à l'alimentation des lampes pendant la marche. La machine doit, par conséquent, produire beaucoup d'énergie électrique, puisqu'il faut absolument éviter que la batterie se décharge à l'excès, ce dont elle souffrirait autant que d'une surcharge normale.

La production d'énergie électrique a donc lieu dans les conditions les plus défavorables, puisque la dynamo ne fonctionne que pendant un temps très court, étant donné le grand nombre d'arrêts et que sa vitesse de rotation est petite à cause de la faible vitesse du train.

Train express marchant pendant le jour.

Dans le premier cas, l'appareil régulateur fonctionne de la façon suivante :

Dès que la vitesse croissante de la dynamo devient suffisante pour que celle-ci produise une certaine tension, il s'exerce sur la bobine mobile O un couple de torsion qui fait tout d'abord avancer d'un cran le secteur à roulement. De ce fait le courant passe par le solénoïde P, provoque le déplacement de l'armature et couple ainsi la batterie en parallèle avec la dynamo.

A ce moment, un courant dépendant de la différence de tension entre la dynamo et la batterie, traverse l'enroulement M_2 de l'appareil régulateur, ce qui a pour effet d'en renforcer le champ. Cette augmentation du champ, alors que le couple de torsion du ressort est resté constant, provoque un déplacement de la bobine mobile dont le résultat est d'introduire des résistances dans le circuit d'excitation et de réduire la tension de la dynamo D, ainsi que le champ produit par l'enroulement M_1 du régulateur, et l'intensité du courant traversant la bobine O.

Il se produit alors à la dynamo une certaine tension provoquant à travers les enroulements M_1 , O et M_2 des courants qui équilibrent le moment constant du ressort. L'appareil de réglage fonctionne de façon à ce que par modification des résistances dans le circuit en dérivation, cet équilibre soit rétabli aussitôt que survient une variation dans la vitesse du train.

Le courant de la charge et la tension de la dynamo sont donc indépendants de la vitesse du train.

A mesure que la charge de la batterie augmente, la tension augmente également, tandis que le courant de charge décroît. La dynamo est donc quelque peu déchargée et sa tension aux bornes croît. Le courant de l'enroulement M_2 décroît donc, tandis que les courants passant en M_1 et O augmentent ; l'action de ces deux derniers étant prédominante, le couple de torsion électromagnétique de la bobine se trouve renforcé et celle-ci provoque l'insertion d'autant de résistances qu'il est nécessaire pour rétablir l'équilibre entre le couple électromagnétique et celui constant du ressort en diminuant ainsi un peu la tension de la dynamo.

La tension de la dynamo augmente donc graduellement pendant la charge, mais seulement autant qu'il est nécessaire pour neutraliser l'amointrissement du champ magnétique résultant de la décroissance du courant de charge.

Le régulateur rend ainsi possible la charge avec tension croissante et courant décroissant.

Quand la tension de la dynamo et de la batterie ont atteint une certaine valeur correspondant à la charge complète de la batterie, l'aimant U attire son armature et une résistance se trouve mise en parallèle avec l'enroulement de cet aimant et avec la résistance qui le précède.

De ce fait, la résistance dans le circuit de M_1 et de O diminue ; le courant traversant la bobine mobile augmente en même temps que le champ provenant de l'enroulement M_1 et l'état d'équilibre de la bobine mobile O est détruit ; elle tourne par consé-

quent dans le sens où elle ajoute des résistances et fait diminuer la tension de la dynamo. La résistance en dérivation par rapport à l'aimant U est dimensionnée de telle manière que la tension qui en résulte pour la dynamo corresponde à la tension de la batterie au repos, par conséquent cette dernière ne reçoit ni ne débite de courant. Cet état se maintient indépendamment de la vitesse du train, car les variations de tension de la dynamo qui résulteraient des variations de vitesse du train sont toujours compensées par l'adjonction ou la suppression des résistances.

Train lent marchant la nuit.

Deuxième cas : Supposons dans ce cas que l'interrupteur S du circuit de la lumière soit fermé, c'est-à-dire que les lampes soient allumées. Pendant l'arrêt dans une station, les lampes sont alimentées directement par la batterie. Puisque le circuit de la lumière est fermé, l'aimant (Q) a soulevé son armature et a établi d'une part le contact avec T et réalisé d'autre part un pont en K. Le courant fourni par la batterie passe, par conséquent, par le pont K, par C et par Q pour aller aux lampes, tandis que l'enroulement M_2 d'une part et l'enroulement M_3 d'autre part du régulateur, ainsi que la résistance (en série avec M_2) J sont en dérivation et ne sont traversés que par des courants insignifiants. Lorsque le train se met en mouvement, la tension de la dynamo augmente et lorsqu'elle a atteint une certaine valeur, elle provoque, comme dans le premier cas, le fonctionnement de l'électro-aimant P, de sorte que la dynamo et la batterie se trouvent couplées en parallèle. En même temps, l'enroulement M_3 ainsi que la résistance J sont introduits dans le circuit d'éclairage de façon à ce que la tension de la dynamo augmente et que cette dernière puisse assurer l'alimentation des lampes en ne mettant plus la batterie à contribution. Cette élévation de tension est calculée de telle manière que la dynamo produise encore, outre le courant des lampes, du courant pour compenser la perte d'énergie subie par la batterie pendant l'arrêt du train dans la station. L'enroulement M_3 utilisé pour cette augmentation de la tension de la dynamo affaiblit le champ produit par l'enroulement M_1 , la bobine mobile tourne par conséquent dans un sens tel que des résistances en dérivation soient mises hors circuit et la dynamo se trouve ainsi disposée pour produire une tension plus élevée. Mais en même temps, il faut que la tension aux bornes des lampes reste constante et on arrive à ce résultat grâce à la résistance en série J qui provoque une chute de tension.

L'enroulement M_3 et la résistance en série J donnent la possibilité très appréciable de pouvoir allumer ou éteindre à volonté les lampes, par groupes ou en totalité, sans aucune complication et sans pour cela modifier d'une façon sensible la tension aux bornes des lampes ; l'affaiblissement du champ par l'enroulement M_3 est proportionnel à l'intensité du courant, c'est-à-dire proportionnel au nombre de lampes en circuit, par conséquent l'augmentation de la tension de la dynamo provoquée par le roulement du secteur à contact (A) est aussi proportionnelle au nombre de lampes en circuit. Enfin, en troisième lieu, la chute de tension dans la résistance en série J est proportionnelle à l'intensité du courant, c'est-à-dire proportionnelle au nombre des lampes, ce qui fait que la tension aux lampes reste constante, quel que soit le nombre de lampes allumées.

L'éclairage continue à se faire ainsi qu'il vient d'être décrit, soit par la batterie, (pendant les arrêts) ou directement par la dynamo (pendant la marche) tant que c'est nécessaire. Pour que le fonctionnement reste bon, il va sans dire qu'il est nécessaire que la dynamo puisse fournir du courant, c'est-à-dire que la vitesse minimum du train doit rester supérieure à une certaine limite. Mais la dynamo est construite de telle manière qu'elle peut fournir sa pleine tension à une vitesse du train de 25 km à l'heure,

ou même moins si cela est nécessaire ; or, cette vitesse est toujours dépassée même par les chemins de fer d'intérêt local.

Comme les dynamos sont en outre dimensionnées de manière à pouvoir fournir un courant de 2 à 2,5 fois plus intense que le courant nécessaire pour l'éclairage, elles sont toujours capables de charger la batterie, et l'expérience de plusieurs années a prouvé que même à la fin d'un service de nuit des plus défavorable, les batteries se trouvent en bon état de charge.

Lorsque l'éclairage est interrompu, l'enroulement M_3 et l'électro-aimant Q ne jouent plus aucun rôle et nous retombons dans les conditions du premier cas décrit plus haut.

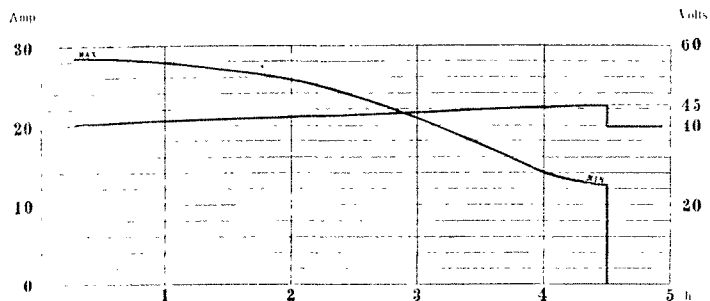


Fig. 66. — Graphique de la charge d'une batterie complètement déchargée, l'éclairage ne fonctionnant pas (d'après les résultats obtenus avec une dynamo de 45 volts, 25 ampères et une batterie de 18 éléments, 105 ampères-heure, régime de décharge en 10 heures).

Nous devons insister particulièrement sur le fait très important que dans ce système d'éclairage des trains le fonctionnement du régulateur est si précis qu'il permet l'éclairage sans avoir recours à la batterie d'accumulateurs. Cet avantage est très intéressant si, par exemple, pendant la marche, un coupe-circuit fusible de la batterie vient à fondre. Pendant l'arrêt dans les stations, il est naturellement nécessaire de se servir de lampes de secours, mais durant la marche, l'éclairage électrique continue à fonctionner d'une manière normale. Dans beaucoup d'autres systèmes d'éclairage des trains, au contraire, si un accident survient à la batterie, l'éclairage électrique est complètement hors de service.

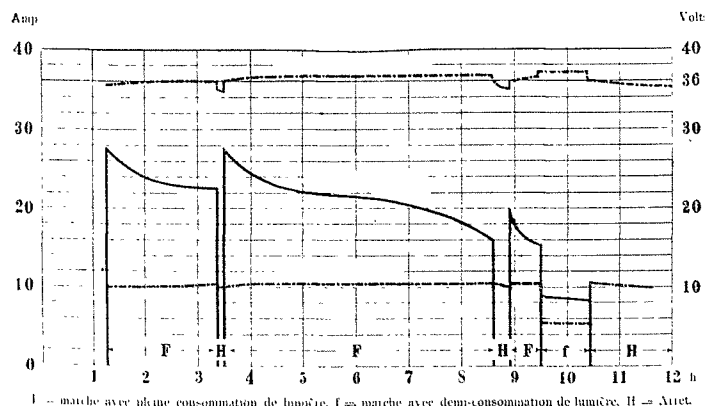


Fig. 67. — Graphique de la charge d'une batterie complètement déchargée pendant le fonctionnement de l'éclairage (d'après les résultats obtenus avec une dynamo de 45 volts, 25 ampères et une batterie de 18 éléments, 105 ampères-heure, régime de décharge en 10 heures).

Les graphiques figures N° 66 et N° 67 indiquent la façon dont se recharge une batterie complètement déchargée et cela pendant un trajet avec ou sans consommation de lumière.

Construction du Régulateur.

Après avoir décrit dans ses grandes lignes le fonctionnement du régulateur, jetons un coup d'œil sur sa construction dont dépend d'une façon capitale l'utilisation pratique de l'appareil (voir figure N° 68).

Comme innovation importante, nous signalerons tout d'abord le réglage des résistances en dérivation au moyen du secteur de contact à roulement A (visible à gauche et à droite sur la figure N° 65). Les extrémités de chaque résistance sont fixées aux pièces de contact rangées les unes à la suite des autres et tournées en forme de gorge triangulaire, ce qui permet le centrage du secteur de contact roulant à l'intérieur.

On obtient ainsi une grande mobilité et par suite une grande sensibilité de l'appareil sans que la force nécessaire pour le mettre en mouvement soit trop élevée.

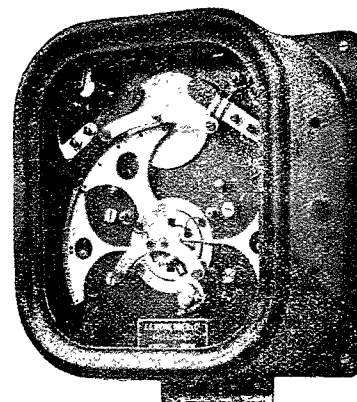


Fig. 68. — Régulateur automatique pour l'éclairage électrique des trains.

Pour éviter toute oxydation, les pièces de contact sont en argent ; l'expérience de plusieurs années a confirmé la bonne tenue des contacts et la parfaite résistance à l'usure de cette construction. Le disque visible en haut de la figure N° 68 sert d'amortisseur. Le régulateur comportant tous les détails mentionnés n'occupe qu'une place très minime, environ 355 sur 315 m/m. Il peut être logé facilement à l'intérieur de la voiture.

Le raccordement des différents circuits au régulateur se fait au moyen de 5 bornes facilement accessibles. Si l'appareil ne fonctionne pas d'une manière satisfaisante, le personnel du train n'est pas obligé d'en rechercher la cause ; il n'a qu'à enlever le régulateur et le remplacer par un autre, comme cela se fait généralement pour les appareils de mesure, compteurs, etc...

Nous avons vu, par ce long exposé, avec quelle facilité et simplicité le régulateur automatique à action rapide se prête à la résolution pratique et sûre des problèmes de réglage les plus divers.

Ce régulateur est sans aucun doute celui qui a fait faire ces dix dernières années le plus de progrès à la technique du réglage automatique.

Son extrême simplicité, jointe à une grande sensibilité (il règle à 0,5 % près) et à une rapidité de réglage exceptionnelle, font qu'il fait l'objet d'une faveur de plus en plus grande auprès des techniciens et qu'on le rencontre à peu près partout en Europe dans les Centrales ou dans les usines qui ont à résoudre les problèmes délicats de réglage automatique.