

L'ÉCLAIRAGE ÉLECTRIQUE DES TRAINS DE CHEMIN DE FER

SYSTÈME PIEPER-L'HOEST,

Par G. L'HOEST,

INGÉNIEUR EN CHEF AUX CHEMINS DE FER DE L'ÉTAT BELGE.

Fig. 1 à 10, p. 168 à 177.

Depuis une année, les chemins de fer de l'État belge expérimentent un nouveau système d'éclairage électrique des trains, dû à la collaboration de M^r H. Pieper et de l'auteur. Ce système comporte un groupe électrogène unique, produisant l'énergie électrique nécessaire au train entier, laquelle est distribuée à tous les véhicules suivant le mode série.

Avant d'aborder la description de ce système, nous croyons utile de rappeler certaines particularités d'une distribution en série, par moteur à couple constant et à vitesse variable, disposition que nous avons adoptée les premiers, pour l'éclairage collectif d'un train à composition variable.

Dans l'application que nous avons faite, ce moteur est une petite machine à vapeur, à deux cylindres verticaux, à admission constante, alimentée de vapeur à pression constante aussi. Elle ne comporte ni régulateur, ni volant, ni aucun autre organe modérateur de la vitesse.

Une dynamo à excitation invariable, supposons-la provisoirement à excitation indépendante, est directement accouplée au moteur, avec lequel elle fait corps par le bâti.

Si la dynamo est fermée sur un circuit de résistance quelconque, nous remarquons que :

- 1° Le courant sera toujours le même, en régime, quelle que soit la vitesse;
- 2° L'état de régime sera stable, quelle que soit la charge;
- 3° La vitesse de régime sera directement proportionnelle à la résistance totale du circuit.

En effet, à l'instant précis du démarrage, le couple moteur acquiert la valeur qu'il conservera par la suite. Le couple résistant, c'est-à-dire celui qu'oppose la dynamo, est nul, car la vitesse étant nulle, aucun courant n'est produit.

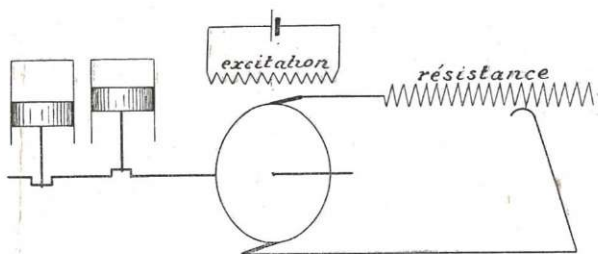


Fig. 1.

Déduction faite des frottements et autres causes de perte, qui sont d'ailleurs sensiblement constantes à toutes les allures, le couple moteur est uniquement appliqué à l'accélération de la vitesse. Nous traduirons cet état passager par l'égalité

$$C_a = C_m,$$

exprimant que le couple accélérateur C_a est égal au couple moteur C_m .

Dès que la dynamo commence à tourner, elle produit un courant d'une intensité i qui augmente avec la vitesse. Le champ inducteur étant constant, nous posons

$$e = An \quad \text{et} \quad i = \frac{An}{r},$$

e étant la force électro-motrice développée, A une constante, n représentant la vitesse exprimée en nombre de tours par unité de temps et r la résistance du circuit.

La puissance P absorbée par la dynamo peut s'exprimer indifféremment par

$$P = ei = \frac{A^2 n^2}{r},$$

ou par

$$P = C_r n,$$

C_r étant le couple résistant.

On en conclut l'égalité

$$C_r n = \frac{A^2 n^2}{r}$$

et

$$C_r = \frac{A^2 n}{r}.$$

Le couple moteur uniquement appliqué à l'accélération au moment du démar-

rage sera partiellement équilibré, dès que la dynamo débitera du courant, par le couple résistant C_r et la différence des deux couples sera égale au couple accélérateur

$$C_a = C_m - C_r$$

$$C_a = C_m - \frac{A^2}{r} n.$$

C_m et A étant constants et r (résistance du circuit) ayant une valeur déterminée, nous voyons que le couple accélérateur, maximum au moment du démarrage, décroîtra au fur et à mesure que la vitesse n augmentera.

Il sera nul pour

$$C_m = \frac{A^2}{r} n;$$

$$i = \frac{A}{r} n.$$

Donc, à l'état de régime

$$C_m = Ai.$$

C_m et A étant invariables, i doit l'être aussi, quelle que soit la vitesse.

Nous avons dit aussi que r ne variant pas, l'état de régime est stable. Supposons, en effet, que dans l'état de régime caractérisé par

$$C_m = \frac{A^2}{r} n,$$

nous modifions par une action extérieure la vitesse n en l'accroissant ou en la réduisant de n' .

Le second terme devient respectivement

$$\frac{A^2}{r} (n - n') \quad \text{et} \quad \frac{A^2}{r} (n + n'),$$

plus petit que C_m dans le premier cas, plus grand dans le second.

Écrivons :

$$C_m = \frac{A^2}{r} (n - n') + C,$$

$$C_m = \frac{A^2}{r} (n + n') - C,$$

C est un couple accélérateur dans la première hypothèse, retardateur dans la seconde, qui tend à ramener à l'état de régime.

Cet état est donc stable. De l'expression

$$C_m = A^2 \frac{n}{r},$$

nous concluons que

$$\frac{n}{r} = \frac{C_m}{A^2}.$$

Le second membre étant constant, le premier doit l'être aussi; donc *la vitesse n est proportionnelle à la résistance totale à tous les états de régime.*

En résumé, le groupe électrogène que nous avons défini nous permet, par la variation automatique de la vitesse, de maintenir un courant constant dans un circuit variable.

* * *

Disposant d'un tel moyen, nous allons exposer succinctement comment nous l'avons appliqué à l'alimentation d'un train de voitures de composition quelconque.

Le problème serait beaucoup simplifié, si on n'avait pas à considérer la nécessité de maintenir l'éclairage des voitures, lorsque le groupe cesse de l'alimenter, soit parce que la locomotive n'est pas attelée, soit parce que le train est scindé, soit pour toute autre cause. Il faut, pour ces cas, constituer dans chaque voiture une réserve d'énergie, c'est-à-dire installer une batterie d'accumulateurs. Cette batterie sera le plus avantageusement formée d'un petit nombre de gros éléments, ce qui facilitera l'entretien et permettra l'emploi plus économique de lampes à bas voltage.

Les voitures du train sont toutes connectées en série, c'est-à-dire que toutes les batteries sont embrochées dans un même circuit fermé sur la dynamo. On remar-

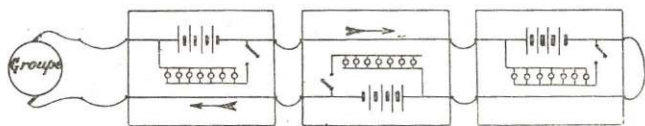


Fig. 2

quera que le virage d'une voiture ne peut avoir pour effet de renverser la polarité de la batterie correspondante, par rapport au sens du courant. Les lampes, dans chaque voiture, sont branchées en parallèle sur la batterie, d'où le nom de série parallèle donné au système. L'intensité du courant nécessaire aux lampes est un peu inférieure à l'intensité du courant constant fourni par le groupe, en sorte qu'un léger excès passe dans les batteries et les maintient en charge, nonobstant les emprunts d'énergie qui leur sont faits au moment où le groupe n'alimente pas.

Un tel système serait d'un fonctionnement certain *en marche*, mais il faut prévoir les opérations du démarrage du groupe. Si l'on faisait ce démarrage avec les

connexions indiquées, un retour de courant dû à l'excès de tension des batteries embrochées sur la force électro-motrice naissante de la dynamo serait inévitable.

On y a paré par l'installation d'un conjoncteur qui, à l'état de repos, substitue une résistance inerte à chacune des batteries, dans le circuit général du train.

Ce conjoncteur J (fig. 3) consiste en un électro-aimant placé à l'origine du circuit de chaque voiture, et dont l'armature retombée ferme le circuit sur une résistance K

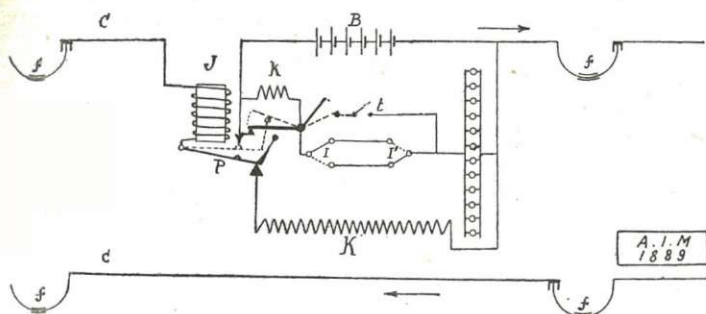


Fig. 3. — Appareillage d'une voiture (schéma significatif).

reliée d'autre part à l'autre extrémité. Dans cet état, la batterie est isolée, du moins à l'un de ses pôles, et forme un circuit local avec les lampes. Pour éclairer, il suffit de manœuvrer l'une des clefs I, I', placées respectivement sur chacune des parois extérieures de la voiture, de façon à l'amener en concordance de circuit avec l'autre. Pour éteindre, il suffit de manœuvrer l'une de ces clefs pour rompre le circuit.

Le groupe électrogène est donc fermé, au moment du démarrage, sur une suite de résistances K. La sensibilité de l'électro-aimant du conjoncteur est fixée de telle sorte que lorsque l'intensité croissante du courant devient telle que la perte de charge dans la résistance surpasse un peu la force électro-motrice de la batterie correspondante, l'armature p se soulève, en substituant, dans le circuit général, la batterie B à la résistance inerte. De la sorte, les substitutions ont lieu presque simultanément dans toutes les voitures, sans qu'il en résulte de retour de courant.

Ce n'est pas tout. Comme la différence de potentiel aux bornes de la batterie en charge est supérieure à celle de la même batterie en décharge, le relèvement de l'armature du conjoncteur aurait pour effet de soumettre les lampes à un voltage plus élevé. Pour l'éviter, on a utilisé le mouvement de l'armature du conjoncteur pour insérer une résistance k, qui est maintenue en court-circuit lorsque la batterie est isolée. Cette résistance abaisse le voltage utile de la batterie en charge de tout l'excès qu'il a sur la batterie en décharge.

Comme on le voit, la mise en éclairage d'une voiture et son extinction sont entièrement indépendantes du fonctionnement du groupe. C'est là une condition essentielle à remplir pour permettre d'allumer lorsque la locomotive est séparée de tout ou partie du train. Cependant cette indépendance, qui oblige à opérer l'allu-

mage ou l'extinction successivement à toutes les voitures, présente encore l'inconvénient de tous les systèmes utilisés jusqu'aujourd'hui, de nécessiter de multiples manœuvres et d'inutiles éclairages à l'approche et à la sortie des tunnels traversés pendant le jour. On y a porté remède, sans complication, en mettant encore à profit le mouvement de l'armature du conjoncteur, la seule pièce mobile du système. A cette fin, on a disposé sur un petit circuit formant pont sur les clefs d'allumage I et I', une clef *t* dite d'allumage automatique, que l'on ferme pendant le jour, sur les lignes à tunnels. Ce circuit dérivé est rompu près du conjoncteur, lorsque l'armature est au repos. Mais si, à l'approche d'un tunnel, on met le groupe en marche, l'armature se soulevant ferme le circuit dérivé et, la clef *t* étant fermée aussi, l'allumage a lieu sans aucune manœuvre et sur tout le train.

Le tunnel franchi, il suffit d'arrêter le groupe pour faire rompre le circuit dérivé près du conjoncteur et déterminer l'extinction générale (fig. 4).

Le conjoncteur avec ses accessoires, les résistances K et *k* forment un ensemble très robuste et très compact, qui se place aisément, soit sur l'impériale, soit dans le creux d'un longeron.

La batterie est logée sous la caisse. Les clefs I, I' et *t* sont insérées dans les parois.

Les câbles de connexion de voiture à voiture sont terminés à un bout par une jonction à bayonnette très robuste, qui s'emmanche dans une boîte de la voiture voisine (fig. 5). Pour éviter qu'une rupture d'attelages détériore les câbles ou leurs attaches, on a ménagé au milieu de la longueur de ces câbles un assemblage cylindrique à frottement dur, couvert d'un isolant.

Tout le câblage est fait sous tubes à gaz et généralement disposé sur l'impériale.

Le courant admis dans chaque voiture étant d'intensité constante, c'est par le choix de la perte de charge en volts qu'on détermine la puissance utilisée dans chaque véhicule. Une voiture de 3^e classe absorbera, par exemple, 12 volts et sera pourvue d'une batterie de 6 éléments; une voiture mixte en aura 8 et ainsi de suite.

* * *

Le groupe électrogène est monté sur la locomotive, entre le dôme et l'abri du mécanicien (fig. 6).

Rien ne s'opposerait à ce qu'il fût installé ailleurs, par exemple dans le fourgon, disposition qui se prêterait à l'emploi d'un moteur à essence.

Nous avons dit que le moteur est à deux cylindres verticaux, à simple effet, afin de maintenir dans le même sens, de haut en bas, la pression des bielles sur l'arbre coulé et d'éviter tout battement. Le distributeur est cylindrique.

L'arbre coulé tourne dans un carter rempli d'huile, sur les flancs duquel on a ménagé des autoclaves qui permettent une visite aisée et prompte : il suffit de cinq minutes pour retirer un piston.

La condition que le moteur doit avoir une admission constante est très favorable au rendement, car cette admission étant judicieusement choisie selon le timbre de la

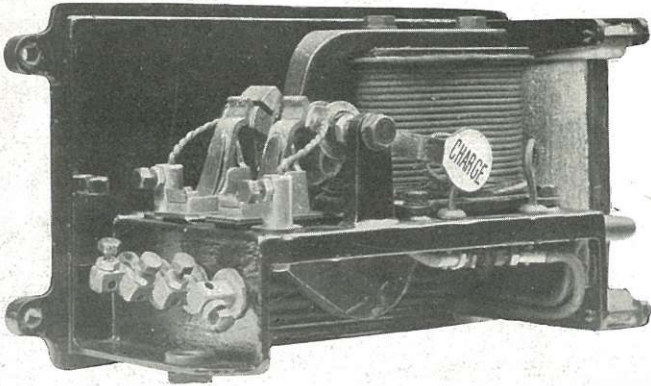


Fig. 4. — Conjoncteur.

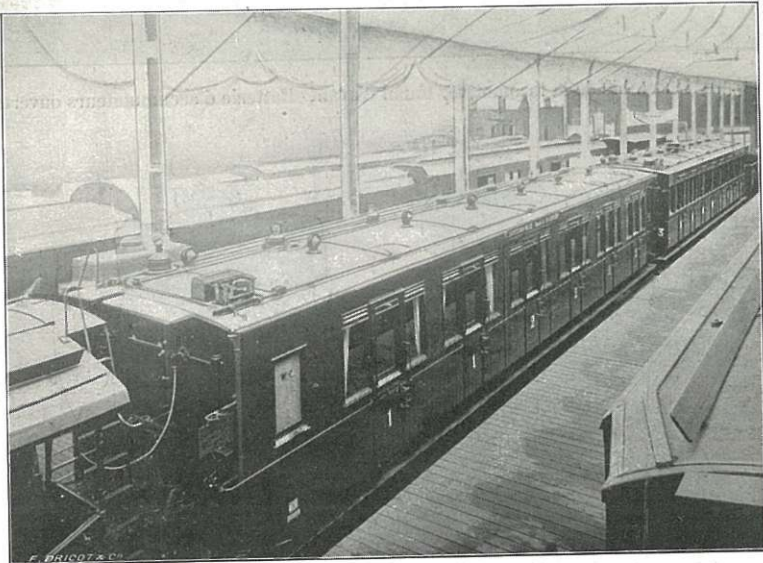


Fig. 5. — Vue du câblage établi, dans des tubes à gaz, sur l'impériale des voitures.
Le conjointeur est à l'avant ; son couvercle est enlevé et posé à côté.

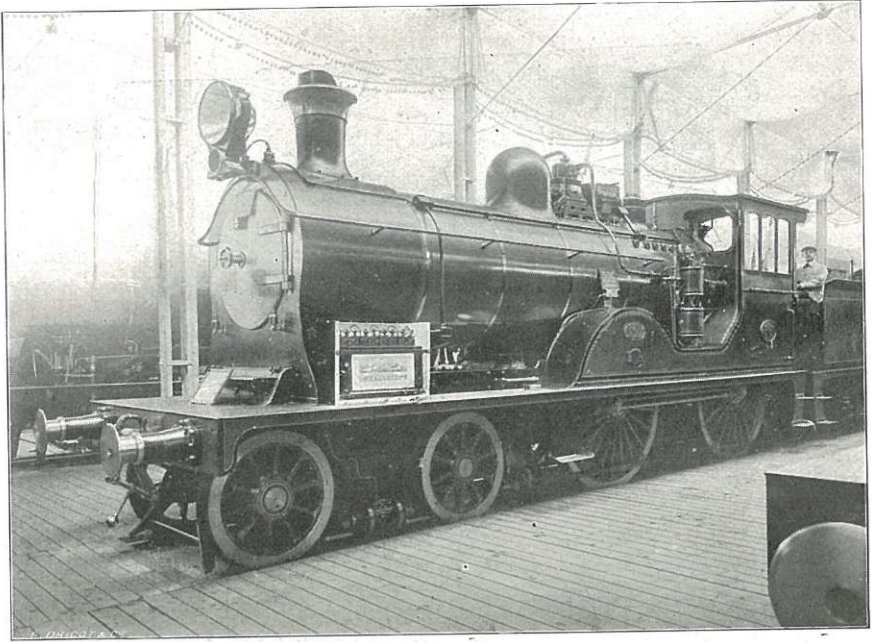


Fig. 6. — Ensemble de la locomotive. Fanal d'avant. Batterie d'accumulateurs ouverte.

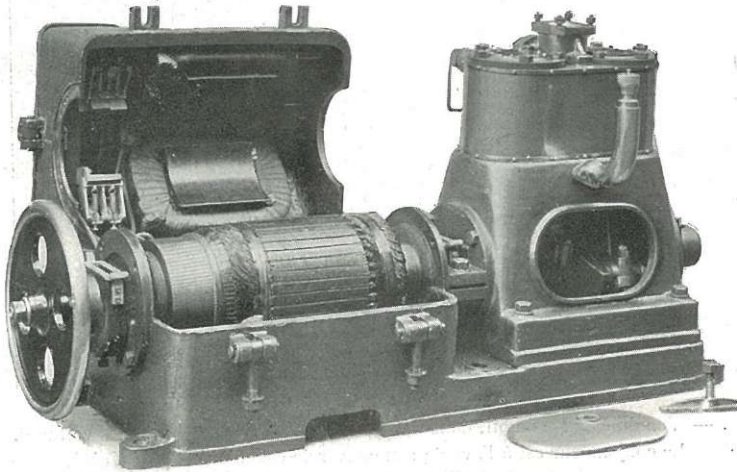


Fig. 7. — Groupe électrogène, couvercle levé et autoclave enlevé.

chaudière, le fonctionnement sera économique à tous les états de charge et de vitesse. C'est, d'ailleurs, ce que l'expérience déjà acquise a confirmé (fig. 7).

Le moteur et la génératrice ont un bâti commun et les arbres sont accouplés de bout en bout. Cette génératrice est du type cuirassé, très semblable à un petit moteur de tramway; l'excitation-série est en parallèle avec une batterie de trois éléments, sauf lorsque le groupe est au repos.

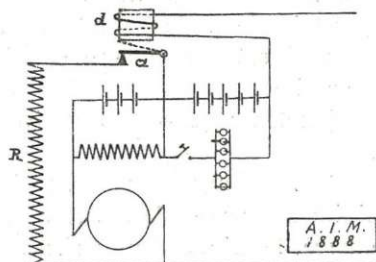


Fig. 8. — Connexions réalisées par la position 2 du démarreur.

Une seconde batterie B, celle-ci de 5 éléments, est traversée par le courant sortant de l'inducteur; l'éclairage de la locomotive est branché aux bornes de cette batterie.

Pour mettre le groupe en marche, le mécanicien ne doit faire d'autre manœuvre que d'ouvrir la prise de vapeur du groupe. La vapeur admise refoule le piston d'un petit servo-moteur qui fait tourner le cylindre d'un controller. Outre sa position de repos à laquelle le ramène un ressort antagoniste, ce controller a deux positions, la position de passage n° 1 correspondant au démarrage, la position n° 2 à la marche.

Dans la position 1 (fig. 9), le controller ferme la batterie *b* sur le circuit d'excitation et l'ensemble des deux batteries sur l'induit. Le groupe démarre ainsi quelle que soit la position des pistons dans les cylindres.

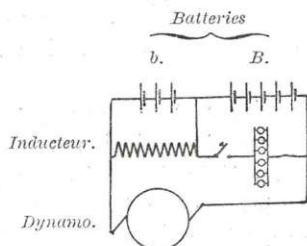


Fig. 9. — Connexions réalisées par la position 1 du démarreur.

Le passage à la position 1 ne dure qu'un instant; dans la position 2 (fig. 8), qui correspond à la marche normale, la connexion de la petite batterie en parallèle avec le circuit exciteur n'est pas changée, mais le circuit extérieur se trouve fermé sur une résistance d'amorçage R. Une dérivation traverse la batterie B, puis, par l'électro-

aimant *d* d'un disjoncteur, va se compléter par le circuit régnant sur tout le train et aboutissant à l'autre pôle de la dynamo.

Si le circuit du train est ouvert, il ne passe aucun courant dans la dérivation et la dynamo entretient le courant constant prévu dans la résistance *R*.

Mais dès que le circuit du train est fermé, une fraction du courant *y* passe, l'électro-aimant du disjoncteur est excité, son armature *a* se soulève et rompt le circuit d'amorçage. Dès lors, tout le courant produit passe au train; moindre d'abord que la normale, par suite de la plus grande résistance du circuit qui lui est offert, ce courant augmente rapidement à la faveur de l'accélération du groupe et tend à acquérir sa valeur de régime.

Dans les voitures, les conjoncteurs se sont successivement amorcés et toutes les batteries ont été insérées.

Ces faits de la mise en route sont longs à exposer, mais, en réalité, ils ne mettent en totalité qu'un temps minime, une seconde environ, à s'accomplir.

Une fois son groupe démarré, le mécanicien ne s'en occupe plus. Si, au cours du service, on vient à dételer des voitures, le circuit du train étant rompu, la palette du disjoncteur retombe et le moteur ralenti entretient sa marche en faisant passer tout le courant dans la résistance *R*. Le mécanicien n'a pas à intervenir. Dès que le circuit du train est rétabli, après les manœuvres faites, une fraction du courant *y* passe, le disjoncteur s'excite, rompt le circuit *R*, les conjoncteurs des voitures fonctionnent et les batteries sont insérées à nouveau, en l'absence de toute action du mécanicien. Dans toutes ces manœuvres, l'éclairage des voitures est resté le même, brillant du même éclat, les batteries ayant suppléé instantanément à la défection du courant venant de la machine.

Le voyage accompli, le mécanicien ferme la prise de vapeur du groupe; les armatures de conjoncteur retombent en même temps que le groupe s'arrête et les lampistes procèdent à l'extinction par l'extérieur des voitures.

Sur la locomotive, point de voltmètre ni d'ampèremètre à observer, point de rhéostat de réglage à manœuvrer. Sur le train, aucune précaution à prendre pour l'accouplement, aucun risque d'erreur dans les connexions.

* * *

Il eût été plus conforme à la pratique très généralement suivie dans les distributions électriques, d'adopter le montage en dérivation : c'est ce qu'a fait l'administration des chemins de fer prussiens dans les essais qu'elle poursuit encore en ce moment. Nous croyons utile de comparer un tel système avec celui que nous avons étudié.

Nous empruntons à un excellent mémoire, exposé le 22 avril 1902 par M^r le Dr Wichert, conseiller supérieur intime des constructions, devant la Société des ingénieurs-mécaniciens allemands, les détails qui vont suivre sur les équipements en dérivation, étudiés avec beaucoup d'ingéniosité et de science (1).

(1) Voir *Bulletin du Congrès des chemins de fer*, n° 1, janvier 1903, p. 46.

Sur le corps cylindrique de la locomotive est installé un groupe électrogène à vitesse constante et à pression variable commandée par un régulateur. La dynamo (fig. 10) est *shunt* et est pourvue d'un régulateur d'excitation à manœuvrer par le mécanicien, qui suit à cette fin les indications d'un voltmètre V. Une lampe-témoin *l* à ampoule rouge contrôle les indications du voltmètre. Un interrupteur *i* à manœuvrer à la main par le mécanicien et un automatique *a* à minimum sont insérés dans

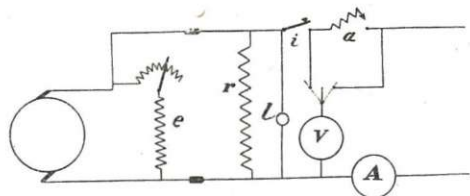


Fig. 10.

une branche de la conduite; un commutateur à la main permet au mécanicien de relier à volonté le voltmètre en avant ou en arrière des interrupteurs. Un ampèremètre A est aussi inséré dans une des conduites. Enfin, des plombs fusibles défendent la dynamo et une forte résistance non inductive *r* est placée en dérivation, parallèlement à l'excitation, pour donner écoulement à l'extra courant de la dynamo, en cas de rupture accidentelle du circuit principal, en pleine marche.

Les clefs d'interruption étant ouvertes et les conducteurs reliés au train, voici les opérations qui incombent au mécanicien :

Pour mettre en route, il admet la vapeur au moteur; dès que la vitesse de marche est acquise, il doit relever le voltage de la conduite qui règne sur le train, en manœuvrant le commutateur du voltmètre. Par le même appareil, il relève la différence de potentiel aux bornes de la dynamo; il règle ensuite le rhéostat d'excitation pour amener cette différence de potentiel à une valeur un peu supérieure à celle de la conduite du train. Cela obtenu, il ferme les clefs pour lancer le courant sur la ligne. Il consulte alors l'ampèremètre et, suivant de l'œil ses indications, il manœuvre le rhéostat d'excitation pour régler l'intensité du courant selon le nombre et l'importance des équipements de voiture à alimenter.

En route, il maintient le courant d'alimentation en opérant sur le rhéostat d'excitation et en se réglant sur les indications de l'ampèremètre.

Lorsque la locomotive doit être découplée, le mécanicien ramène au préalable le courant de charge à une valeur faible, puis ouvre la clef d'interruption. Éventuellement, il arrête le groupe.

Pour accoupler de nouveau, il répète les opérations de la mise en marche.

Ces multiples manœuvres ne seraient guère à considérer, si elles devaient être exécutées par un électricien tout à son affaire. Mais l'attention qu'elles réclament est

une sujétion pour le mécanicien dont les devoirs sont déjà si nombreux et si graves.

Rappelons ici que dans le système-série que nous avons décrit, la mise en marche n'exige que l'ouverture d'une prise de vapeur, l'arrêt, la fermeture de cette prise, et qu'en route le mécanicien n'a à intervenir, ni pour régler le groupe, ni en cas de découplément. Il ne doit manœuvrer ni commutateur, ni clef d'interruption et n'a à consulter ni ampèremètre, ni voltmètre, ni lampe-témoin.

L'équipement d'une voiture dans le système en dérivation comporte, outre les conducteurs d'alimentation, une batterie de 32 éléments, des lampes tarées à 48 volts et des résistances en fer, en série avec chacune des lampes. Il y a, de plus, dans chaque voiture, une lampe rouge et une lampe blanche servant à contrôler la correction des accouplements. Ces accouplements sont à fiche ou concentriques, cette dernière disposition ayant été adoptée, sans doute, pour éviter les inversions dans les accouplements.

La liaison d'une voiture à une autre doit se faire avec quelque attention, car à l'instant où les batteries de deux voitures contiguës sont mises en parallèle, il se produit inévitablement des échanges de courant; de là, nécessité de multiplier les fusibles de sûreté. Si en un point le sens de ces courants d'échange est le même que celui du courant de charge venant de la locomotive, l'intensité au point considéré peut devenir excessive et faire fondre le plomb; il faut dès lors le remplacer et faire réduire momentanément le courant de charge par le mécanicien. Une batterie défectueuse ou fortement déchargée peut donner lieu, au moment de sa mise en parallèle avec les autres, à un courant d'échange tel que la fusion des plombs soit inévitable. C'est sans doute pour permettre la charge séparée d'une batterie en cet état, qu'on a dû prévoir des clefs d'interruption à chaque batterie, ce qui comporte des manœuvres attentives. Le mal réparé, il faut rétablir la mise en circuit des batteries isolées; des oublis sont à craindre et c'est pourquoi on a installé dans chaque voiture une lampe-témoin qui ne brille que si la batterie correspondante est reliée et dont le garde-voitures doit contrôler l'allumage.

La solution-série que nous avons exposée ne réclame ni cette délicatesse de manœuvre ni ces observations attentives, si peu en harmonie avec la pratique du chemin de fer.

Dans l'équipement en dérivation, la perte de charge qui se produit de la tête à la queue du train fait que le voltage se trouve trop élevé près de la locomotive ou trop faible à l'autre extrémité. Des lampes de même voltage ne pourraient s'accommoder de ce régime inégal, si on n'y apportait un correctif. Le moyen employé est l'insertion, dans le circuit particulier de chaque lampe, d'une résistance en fer enfermée dans une ampoule de verre, dans laquelle on a fait le vide. La résistance à chaud du fer croissant rapidement avec la température, l'excès de courant dû à un excès de voltage se trouve être fortement atténué. Cet expédient qui paraît satisfaisant comme résultat a l'inconvénient de nuire au rendement. En effet, des 64 volts disponibles aux bornes de la batterie, 48 seulement sont appliqués aux lampes, le reste étant absorbé par les résistances.

Le système-série ne nécessite pas ce moyen de régulation.

On est frappé, à première vue, du nombre élevé des éléments d'accumulateurs que comporte le système en dérivation, tel qu'il a été réalisé, et l'on serait tenté de croire à une erreur commise par les auteurs de ce système. Il n'en est rien cependant : l'équipement décrit, nous le répétons, a été étudié avec beaucoup de soins et la tension relativement élevée qu'on a dû adopter résulte du principe même de la distribution en dérivation. La réduire aurait conduit à augmenter proportionnellement l'intensité du courant, qui est déjà de 160 ampères, alors qu'elle n'est que de 40 dans le système-série. Cette intensité de 160 ampères entraîne l'emploi de conducteurs déjà importants qu'on ne peut accroître sensiblement sans enlever la souplesse nécessaire aux bouts d'accouplement. D'autre part, il faut ici maintenir la perte de charge dans de certaines limites, ce qui n'est pas à considérer dans le système-série, du moins au point de vue de la correction du fonctionnement.

Pour traduire en fait les considérations qui précèdent, nous dirons qu'avec le système en dérivation, l'équipement d'un train de dix voitures comporte 320 éléments d'accumulateurs et des conducteurs capables d'un courant de 160 ampères. Le système-série de même importance en lumière demanderait 94 éléments et des conducteurs capables de 40 ampères seulement. Sans doute, ces derniers éléments seraient individuellement d'un modèle plus grand, mais l'ensemble serait bien moins lourd, moins coûteux, plus robuste et d'un entretien moins assujétissant.

Dans un train pourvu du système en dérivation, le mécanicien ignore si la conduite générale est bien accouplée sur toute la longueur du train ; de là, nécessité de ces lampes rouges placées dans chaque voiture et qu'un garde-voitures doit inspecter pour s'assurer de la correction des liaisons. Dans un train-série, le mécanicien est prévenu par un voyant que porte le disjoncteur, que toute la rame est connectée ; aucune déconnexion ne peut se produire sans qu'il en soit averti sur-le-champ.

Nous croyons avoir établi la supériorité du système-série au point de vue des facilités du service et de l'entretien, ainsi qu'à celui de la sécurité et de la dépense d'exploitation. Quant au coût de l'installation, nous référant aux prix indiqués par M^r Wichert, nous pouvons affirmer qu'il est moindre que moitié dans le système-série que dans le système-dérivation. Ceci se rapporte évidemment aux deux solutions que nous avons comparées, c'est-à-dire l'équipement que nous avons conçu et celui que nos collègues allemands ont étudié avec une compétence et un soin auxquels nous rendons hommage. Si nous sommes arrivés à un meilleur résultat, nous l'attribuons uniquement au choix que nous avons fait d'un système de distribution qui se prête mieux aux exigences du problème.