

Contribution à l'étude comparée des divers systèmes de transmissions électriques utilisés dans les automotrices Diesel-électriques,

par M. E. HENNIG,

Ingénieur principal à la Société Nationale des Chemins de fer belges.

En principe, le rôle de la transmission électrique dans les automotrices (et locomotives) Diesel-électriques consiste à transmettre, aux essieux moteurs du véhicule, la puissance fournie par le moteur Diesel, de manière que, pour un réglage déterminé de l'injection du combustible (volume injecté par tour), cette puissance puisse rester sensiblement constante, quelles que soient les circonstances de marche du véhicule. Cette constance est imposée par les conditions particulières de marche propres au Diesel, la vitesse angulaire de celui-ci ne pouvant tomber au-dessous d'une certaine limite, sans préjudice pour son bon fonctionnement et sa bonne conservation.

Ce qui précède implique nécessairement la constance de la puissance développée à la jante des roues motrices, c'est-à-dire la constance du produit : effort de traction \times vitesse de marche du véhicule. Pour que cette puissance reste constante malgré les variations de l'effort de traction et de la vitesse de marche du véhicule, il faut également, abstraction faite des variations de rendement de la trans-

mission électrique, que le produit $E \times I$ de la tension aux bornes de la génératrice par l'intensité du courant débité, reste constant.

Or les moteurs électriques de traction à excitation série, que possèdent généralement les automotrices, développent un couple moteur (effort de traction) sensiblement proportionnel à l'intensité du courant absorbé, ce qui revient à dire que ces moteurs appellent à tout moment un courant dont l'intensité varie comme l'effort de traction développé. On est donc sans action sur l'intensité du courant débité par la génératrice et il ne reste, dès lors, d'autre ressource que d'agir sur la tension de ce courant.

Dans ces conditions, si l'on veut que, pour un réglage déterminé de l'injection, le produit $E \times I$ reste constant aux bornes de la génératrice, il faut obtenir que la tension du courant débité varie suivant une fonction inverse de l'intensité de ce courant : à une intensité élevée (effort de traction élevé) doit correspondre une faible tension et, vice-versa, à une faible intensité (effort de traction

peu élevé) doit répondre une forte tension.

* * *

Posé de la sorte, le problème se ramène à étudier une génératrice conçue de telle manière que, pour un régime déterminé de puissance du groupe électrogène, la courbe $E = \varphi(I)$ de la tension aux bornes de la génératrice en fonction de l'intensité du courant débité (caractéristique extérieure de la génératrice) ait la forme d'une hyperbole équilatère rapportée à ses asymptotes comme axes de coordonnées (fig. 1).

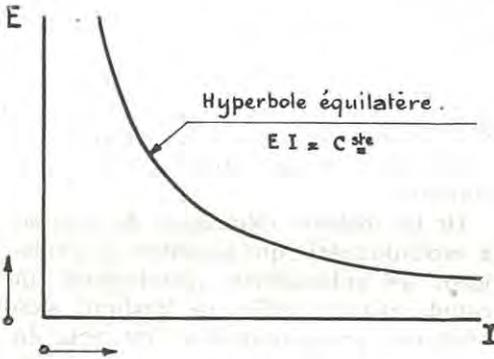


Fig. 1.

Considérant l'intensité du courant appelé par les moteurs de traction comme variable indépendante et tenant compte de ce que la tension fournie par la génératrice est directement proportionnelle au champ et à la vitesse angulaire de celle-ci, le problème à résoudre consiste à faire varier ce champ suivant une fonction inverse de l'intensité du courant débité, la vitesse angulaire du groupe étant maintenue constante par le régulateur centrifuge du Diesel (systèmes dits « à nombre de tours constant »), ou étant libre de varier dans des limites restreintes (systèmes dits « à nombre de tours variable »).

Ce résultat peut être obtenu :

I) soit par l'emploi d'un dispositif modifiant l'excitation de la génératrice selon la charge de celle-ci (systèmes dits « à action extérieure sur le champ de la génératrice »);

II) soit par l'emploi d'une excitatrice fournissant à la génératrice un courant d'excitation variant avec la vitesse de marche du véhicule;

III) soit par l'emploi d'une génératrice autorégulatrice, à caractéristique spéciale se rapprochant plus ou moins de l'hyperbole équilatère.

I. — Systèmes à action extérieure sur le champ de la génératrice.

Cette action peut être exercée :

— Ou bien, à l'intervention d'un *rhéostat de champ* qui modifie l'excitation de la génératrice, ce rhéostat pouvant être manœuvré à la main, comme dans les transmissions non automatiques Ward-Léonard et A. S. E. A., ou intervenant automatiquement sous l'influence des variations d'intensité du courant principal, comme dans les transmissions automatiques Ward-Léonard de la C^o Electro-Mécanique, de la Soc. Thrige, des firmes Brown-Boveri (Mannheim) et Brown-Boveri (Baden), etc.

Dans ces systèmes, le Diesel est placé sous la dépendance du régulateur centrifuge, lequel maintient constant le nombre de tours/minute pour un régime déterminé de puissance;

— Ou bien, à l'intervention automatique d'un *régulateur de couple* (torque system) qui, sous l'influence des variations de charge de la génératrice, modifie l'excitation de celle-ci en court-circuitant ou en insérant des résistances dans le circuit d'excitation, comme dans le sys-

tème Westinghouse (à nombre de tours variable);

— Ou bien, à l'intervention automatique d'un *moteur régulateur* qui modifie l'excitation de la génératrice sous l'influence des variations d'intensité du courant principal, comme dans la transmission automatique A. S. E. A. (à nombre de tours constant).

Dans les systèmes non automatiques A. S. E. A. et Ward-Léonard, il est fait usage :

a) soit d'une génératrice à auto-excitation shunt (fig. 2) comme dans le système non automatique A. S. E. A. de l'automotrice Diesel-électrique 200 ch. de la Société Nationale des Chemins de fer belges en service sur la ligne de Pepinster à Spa. Le courant d'excitation se règle à la main par la manœuvre d'un rhéostat de champ inséré dans le circuit d'excitation shunt de la génératrice;

b) soit d'une génératrice dont le courant d'excitation est fourni par une génératrice auxiliaire (excitatrice) (fig. 3).

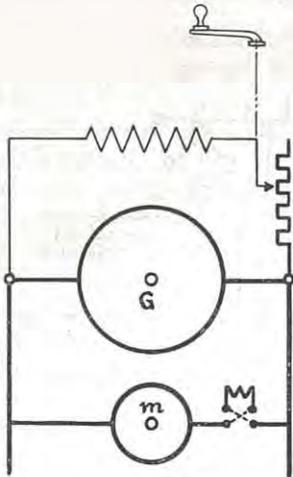


Fig. 2. — Schéma de principe de la transmission A. S. E. A. non automatique.

Tels sont les systèmes non automatiques Ward-Léonard. Le réglage du courant d'excitation s'opère à la main par la manœuvre d'un rhéostat de champ inséré dans le circuit extérieur de l'excitatrice.

Dans les systèmes automatiques Ward-Léonard, il est fait usage :

a) soit d'une génératrice à excitation purement indépendante, comme par exemple dans les transmissions automatiques des firmes Brown-Boveri (Mannheim), Electro-Mécanique, Thrige, etc.;

b) soit d'une génératrice à excitation indépendante et à auto-excitation shunt comme par exemple dans la transmission automatique de la firme Brown-Boveri (Baden).

Dans ces systèmes, le courant d'excitation séparée est encore fourni par une génératrice auxiliaire (excitatrice) accouplée à l'arbre de la génératrice principale, mais le réglage de l'excitation s'opère

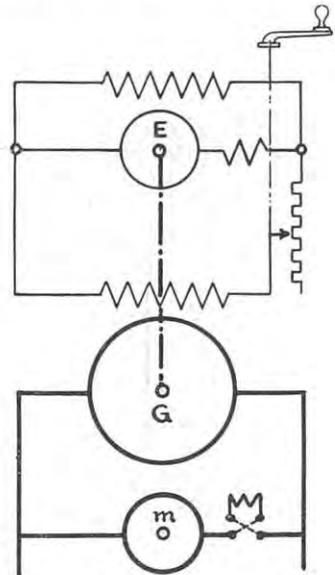


Fig. 3. — Schéma de principe de la transmission Ward-Léonard non automatique.

ici *automatiquement* par un rhéostat de champ (contrôleur d'excitation à tambour), inséré dans le circuit extérieur de l'excitatrice et placé sous la dépendance du courant principal. Cette dépendance peut être réalisée :

— soit, comme par exemple dans le

système Brown-Boveri Mannheim (fig. 4), par un relais de puissance (relais wattmétrique) commandant le tambour du contrôleur d'excitation par l'intermédiaire d'un enclenchement magnétique;

— soit, comme par exemple dans le système Brown-Boveri, Baden (fig. 5), par

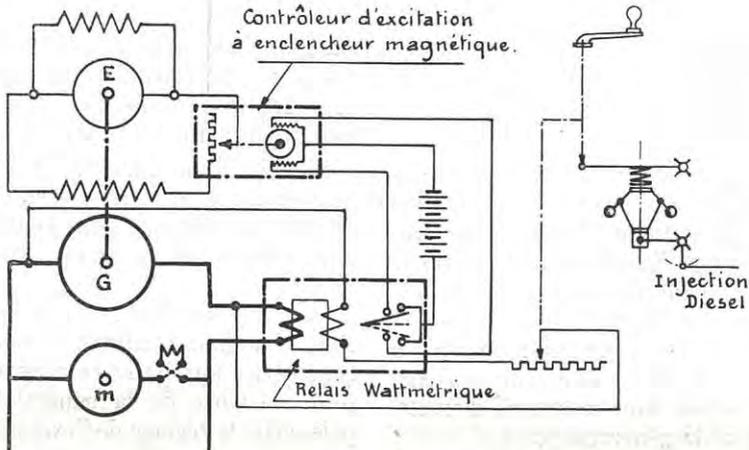


Fig. 4. — Schéma de principe de la transmission Brown-Boveri, Mannheim.

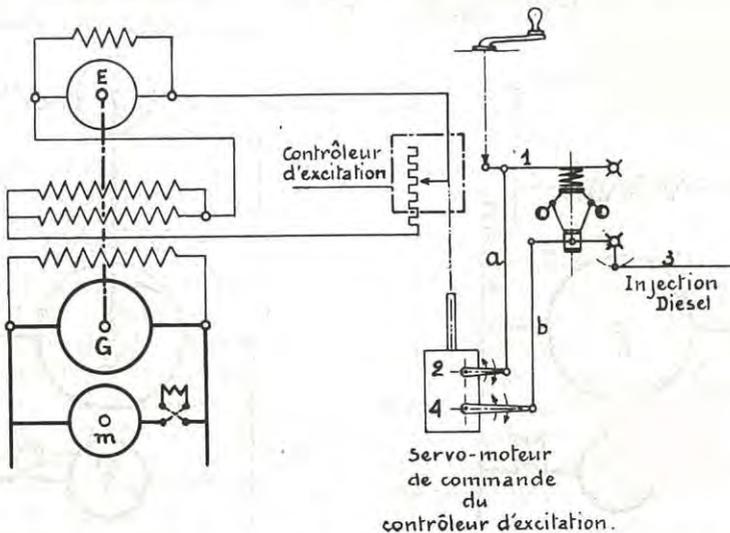


Fig. 5. — Schéma de principe de la transmission Brown-Boveri, Baden.

un dispositif rendant solidaires l'un de l'autre le tambour du contrôleur d'excitation et le manchon du régulateur du Diesel, au moyen d'un servo-moteur à pression d'huile et à distribution par tiroir. Dans ce cas, dès que l'intensité du courant absorbé par les moteurs de traction tend à varier dans un sens ou dans l'autre, la variation correspondante de la charge de la génératrice tend à rompre l'équilibre du régulateur du Diesel. Aussitôt le manchon de ce dernier réagit sur l'injection du Diesel (par le tringlage 3) et sur le tambour du contrôleur d'excitation (par le tringlage *b* commandant le tiroir de distribution 4 du servo-moteur à pression d'huile). Cette double action rétablit instantanément l'équilibre momentanément rompu. La régulation du couple de la génératrice, pour l'obtention d'un régime déterminé de puissance, s'opère par action sur le contrôleur d'excitation, à l'intervention du tringlage (1) de réglage de la tension du ressort du régulateur. Ce tringlage est relié par une tige *a* à la commande d'un arbre à came (2) réglant l'action du servo-moteur sur le tambour du contrôleur d'excitation.

Dans la transmission automatique Westinghouse (fig. 6), le groupe électrogène comprend :

- une génératrice principale (1) à excitation séparée;
- une génératrice auxiliaire excitatrice (2) à auto-excitation;
- une génératrice tachymétrique (3) à aimants permanents.

Ces trois machines sont accouplées à l'arbre du Diesel.

La génératrice auxiliaire (2) fournit le courant d'excitation à la génératrice principale et charge une batterie d'accumulateurs pour les services auxiliaires.

Cette excitatrice est à excitation compound, de sorte que la tension qu'elle pro-

duit est constante pour chaque vitesse angulaire du groupe et quelle que soit la charge de la génératrice principale. Elle possède en outre un enroulement série antagoniste qui limite le courant lors de la charge de la batterie.

La génératrice tachymétrique fournit une tension proportionnelle à la vitesse angulaire du groupe. Elle fait fonctionner un relais voltmétrique (4) sous la dépendance duquel se trouve placé un contacteur (5) agissant sur une résistance de réglage *r* insérée dans le circuit d'excitation séparée de la génératrice principale. Dès que sous l'influence d'une variation de charge de la génératrice principale un déséquilibre tend à se produire entre le couple résistant de la génératrice et le couple moteur du Diesel, la variation de vitesse angulaire qui en résulte fait varier la tension de la génératrice tachymétri-

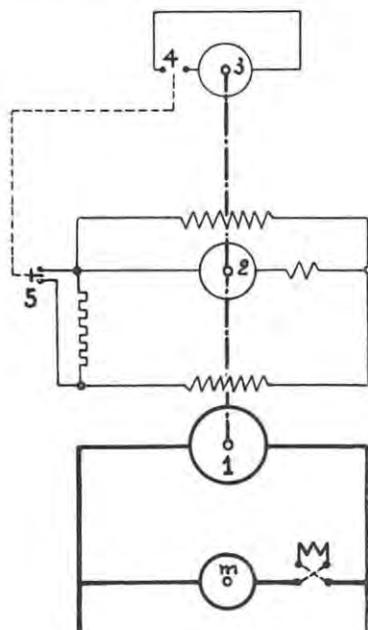


Fig. 6. — Schéma de principe de la transmission Westinghouse.

que. Sous l'influence de cette variation de tension, le relais voltmétrique (4) provoque, selon le cas, l'enclenchement ou le déclenchement du contacteur (5) qui court-circuite ou qui insère la résistance de réglage de l'excitation de la génératrice principale. De ce chef, la tension aux bornes de cette dernière se modifie suffisamment pour qu'aussitôt un nouvel état d'équilibre s'établisse à un nombre de tours/minute peu différent. En un mot, c'est à l'intervention automatique de la génératrice tachymétrique que se règle le champ de la génératrice principale, de façon que, pour un même régime de puissance, la tension aux bornes de celle-ci varie en fonction du courant débité suivant une loi hyperbolique.

Le système automatique A. S. E. A. (fig. 7) utilise une génératrice princi-

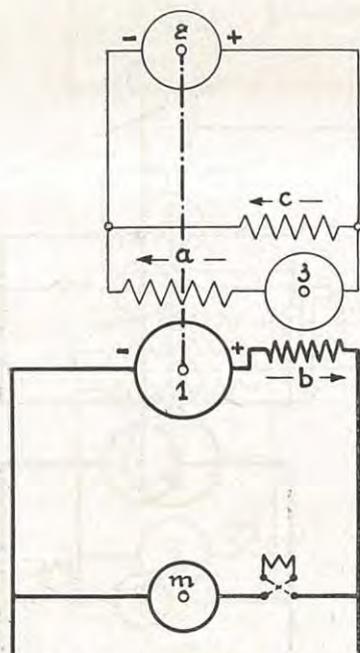


Fig. 7. — Schéma de principe de la transmission A. S. E. A. automatique.

pale (1) dont le courant d'excitation (enroulement *a*), fourni par une génératrice auxiliaire excitatrice (2) à tension constante, accouplée à l'arbre de la génératrice principale, se règle automatiquement par un moteur régulateur (3) inséré dans le circuit extérieur de l'excitatrice. Ce moteur régulateur possède deux enroulements d'excitation : l'un (*b*) traversé par le courant principal; l'autre (*c*), antagoniste, alimenté par le courant à tension constante de l'excitatrice. La différence entre la tension constante de l'excitatrice et la tension du moteur régulateur (force contre-électromotrice variable avec l'intensité du courant principal) engendre dans la génératrice principale un flux qui se modifie très sensiblement suivant une fonction inverse de l'intensité du courant principal. Ce dispositif, très simple, et entièrement automatique, a été monté sur une automotrice construite par la Société anonyme Acieries du Nord pour le compte de la Compagnie du Chemin de fer du Nord français.

II. — Systèmes avec excitatrice à tension variable avec la vitesse de marche du véhicule.

Une transmission de l'espèce a été conçue par la Société des Forges et Ateliers de Constructions électriques de Jeumont. Une application en sera faite à 5 automotrices triples à grande vitesse de la Société Nationale des Chemins de fer belges.

Cette transmission (fig. 8) comporte une génératrice principale (1) dont le courant d'excitation (enroulement *a*) est fourni par une excitatrice (2) entraînée mécaniquement par un essieu de l'automotrice. La vitesse de rotation de cette excitatrice est donc proportionnelle à celle des moteurs de traction (*m*). La même

excitatrice possède un enroulement shunt (*b*) et un enroulement d'excitation séparée (*c*) qu'alimente une batterie d'accumulateurs (3). Cette dernière est chargée, à son tour, par une génératrice auxiliaire (4) à excitation shunt (*d*). La génératrice principale (1) et la génératrice auxiliaire de charge de batterie (4) sont accouplées à l'arbre du Diesel.

Pour permettre le démarrage de l'automotrice (l'excitatrice ne débitant pas encore de courant à ce moment, et la génératrice principale ne possédant pas suffisamment d'excitation rémanente), la génératrice principale est munie d'un enroulement spécial d'excitation séparée (*s*) qu'alimente alors directement la batterie.

Après que le démarrage de l'automotrice s'est effectué, le conducteur règle, pour chaque étage de puissance requise, le nombre de tours/minute et le couple du Diesel ainsi que le couple résistant de la génératrice principale, en agissant simultanément sur l'injection du combustible et sur un rhéostat de champ (*r*) inséré dans le circuit d'excitation séparée de l'excitatrice.

Pour chaque étage de puissance ainsi réglé, l'excitatrice, tournant à une vitesse angulaire proportionnelle à celle des moteurs électriques de traction (donc inversement proportionnelle à l'intensité du courant qu'ils absorbent) fera dès lors varier, dans tous les cas, le flux de la génératrice principale suivant une fonction inverse de cette intensité, c'est-à-dire suivant une loi hyperbolique.

Ce système permet, dans ces conditions, d'utiliser toute la puissance du Diesel dans de larges limites de fonctionnement de l'automotrice. Il répond, de ce chef, à des conditions de fonctionnement particulièrement favorables et n'offre pas les inconvénients inhérents aux systèmes à enclencheurs magnétiques, relais de cou-

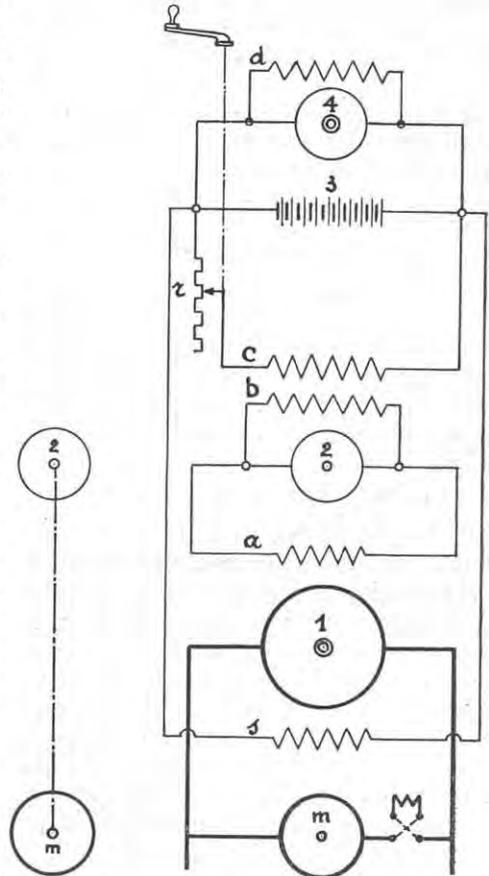


Fig. 8. — Schéma de principe de la transmission

rant, relais voltmétriques, relais wattmétriques, etc., dont une défaillance est toujours possible.

III. — Systèmes à génératrice autorégulatrice.

Lorsqu'on a recours à une génératrice autorégulatrice, deux cas peuvent être envisagés :

A) Le mode d'excitation adopté ne conduit à une caractéristique se rapprochant plus ou moins de l'hyperbole que pour

autant que la vitesse angulaire puisse varier dans certaines limites (systèmes dits « à nombre de tours variable »). Dans ce cas, il faut permettre à la vitesse angulaire de varier pour que, sous l'influence simultanée des variations du courant principal et de la vitesse angulaire du groupe, la tension de la génératrice puisse se régler sur ce courant, suivant une loi hyperbolique approchée.

Les variations de vitesse angulaire permises (environ 5 %) agissent en quelque sorte comme correctif, le régulateur centrifuge du Diesel intervenant seulement pour éviter que la vitesse angulaire du groupe ne dépasse la limite que le constructeur du Diesel s'est assignée pour chacun des régimes de puissance;

B) La génératrice est dotée d'une excitation spéciale conduisant directement à une caractéristique hyperbolique presque parfaite, le nombre de tours/minute pouvant rester constant pour le régime de puissance considéré. Le régulateur centrifuge du Diesel n'intervient ici que pour limiter la vitesse angulaire du groupe à son maximum absolu, la constance du nombre de tours/minute correspondant à un régime de puissance déterminé étant assurée par l'état d'équilibre dynamique entre le couple moteur (Diesel) et le couple résistant (génératrice).

A. — Cas où la vitesse angulaire du groupe est nécessairement variable.

D'une manière générale, le mode de fonctionnement de transmissions de l'espèce (Oerlikon, Gebus, Lemp, R. Z. M., etc.) est le suivant :

Si l'on considère, par exemple, la caractéristique extérieure $E = \varphi(I)$ d'une génératrice à auto-excitation shunt ou à excitation indépendante (fig. 9), on constate qu'une telle caractéristique marque déjà une légère décroissance de la tension

avec l'accroissement du courant débité. Cette chute de tension est plus forte si la génératrice est anticompound (fig. 10), l'influence de l'enroulement série antagoniste affaiblissant le champ de la géné-

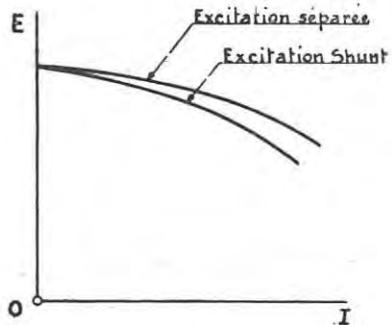


Fig. 9.

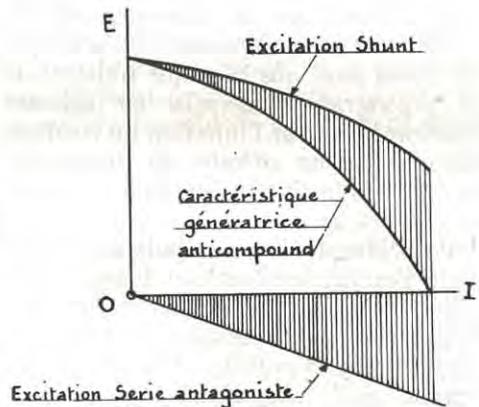


Fig. 10.

matrice à mesure que croît l'intensité du courant principal traversant cet enroulement. Par le calcul judicieux des enroulements, on peut dès lors obtenir que, pour un nombre déterminé de tours/minute du groupe, une caractéristique de l'espèce recoupe, en deux points (tels que A et B) situés dans les limites d'utilisation du courant débité, l'hyperbole de

puissance constante correspondant au nombre envisagé de tours/minute (fig. 11). Ces deux points, dits « points d'équilibre », se rapportent à deux valeurs I_A et I_B de l'intensité du courant débité, pour lesquelles la puissance du Diesel est entièrement utilisée.

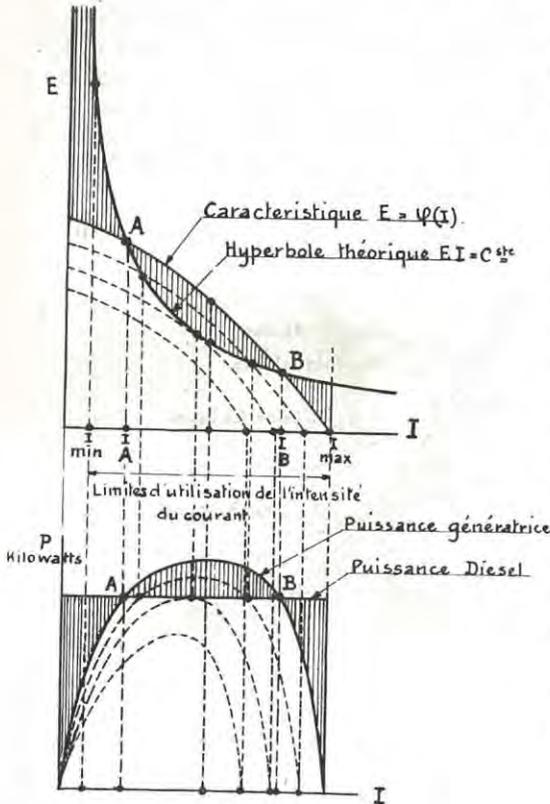


Fig. 11.

Par contre, il ressort de la même figure 11 que :

a) pour des valeurs du courant inférieures à I_A ou supérieures à I_B , la génératrice n'absorbe pas toute la puissance du Diesel;

b) pour des valeurs du courant comprises entre I_A et I_B la puissance que tend à absorber la génératrice est supérieure à celle que le Diesel est capable de fournir. En d'autres termes, le couple résistant de la génératrice tend à devenir supérieur au couple du moteur du Diesel, l'une de ces machines tournant toujours à la même vitesse que l'autre. De ce fait l'équilibre est rompu et, n'était l'influence de la variation permise de la vitesse angulaire, la génératrice, agissant comme frein, finirait par caler le Diesel.

Pour qu'un fonctionnement stable puisse s'établir pour toutes les valeurs de l'intensité comprises entre les limites I_A et I_B correspondant aux points d'équilibre A et B , il faut qu'à tout moment le couple résistant de la génératrice vienne équilibrer le couple moteur du Diesel avant que le nombre de tours/minute du groupe n'ait varié de beaucoup. Autrement dit, il faut que, du moment où la vitesse angulaire du groupe tend à se modifier par suite de la rupture d'un état d'équilibre, la puissance absorbée par la génératrice se modifie assez rapidement pour qu'aussitôt un nouvel état d'équilibre puisse s'établir à une vitesse angulaire peu différente. Cette condition entraîne nécessairement celle d'une variation relativement rapide de la tension pour une faible variation de vitesse angulaire du groupe.

Le processus sera dès lors le suivant :

Supposons qu'à une valeur I_1 du courant principal corresponde, pour un nombre N_1 de tours/minute, un point d'équilibre 1 marqué par l'intersection de la caractéristique E_1 avec l'hyperbole équilibrante P_1 (fig. 12).

Deux cas sont à envisager, selon que le courant augmente ou diminue :

Premier cas.

Dès que, sous l'effet d'un accroissement

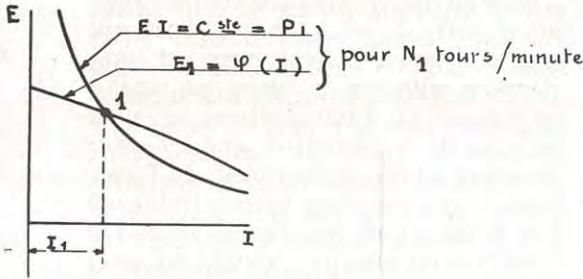


Fig. 12.

de l'effort de traction, l'intensité du courant tend à augmenter (fig. 13), la tension (1) tend à diminuer suivant la

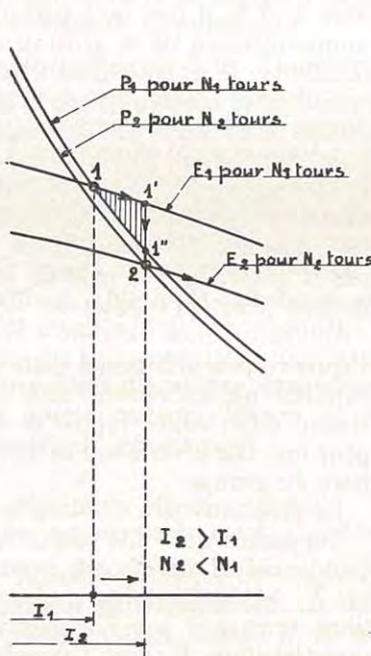


Fig. 13.

caractéristique E_1 et à se régler à une valeur (1') supérieure à celle de l'ordonnée (1'') de l'hyperbole. Il en résulte un déséquilibre entre le couple résistant de la génératrice et le couple moteur du Diesel, le premier l'emportant sur le second. Aussitôt le nombre de tours/minute tend à tomber. Mais si, comme il le faut, la chute correspondante de tension est suffisamment rapide, un nouvel état d'équilibre (2) s'établira avant que le nombre de tours ne soit tombé de beaucoup, par exemple de N_1 à N_2 , le nombre de tours N_2 étant peu différent de N_1 .

Et ainsi de suite.

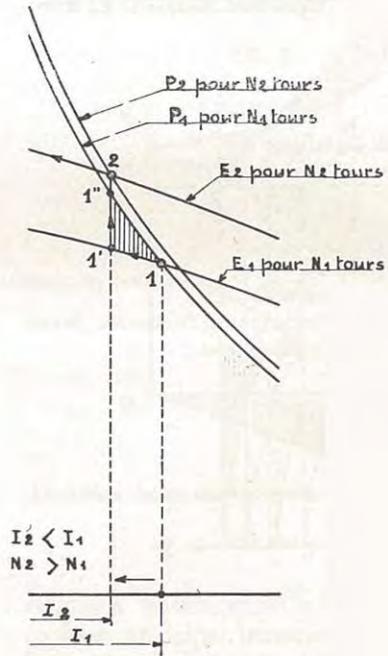


Fig. 14.

Deuxième cas.

L'inverse se produit dès que, sous l'effet d'une diminution de l'effort de trac-

tion, le courant tend à diminuer (fig. 14). La tension (1) tend à augmenter suivant la caractéristique E_1 et à se régler à une

valeur (1') inférieure à celle (1'') de l'ordonnée de l'hyperbole, de sorte que, cette fois, c'est le couple moteur du Diesel qui l'emporte sur le couple résistant de la génératrice. Aussitôt, le nombre de tours/minute tend à augmenter. Mais si, comme il le faut, l'accroissement correspondant de tension est suffisamment rapide, un nouvel état d'équilibre s'établira avant que le nombre de tours n'ait aug-

menté de beaucoup, par exemple de N_1 à N_2 , le nombre de tours N_2 étant très peu différent de N_1 .

Et ainsi de suite.

Dans ces conditions, le courant principal variant de I_A à I_B ou de I_B à I_A :

1° Si le courant croît de I_A à I_B (fig. 15), les états d'équilibre successifs s'établissent comme suit :

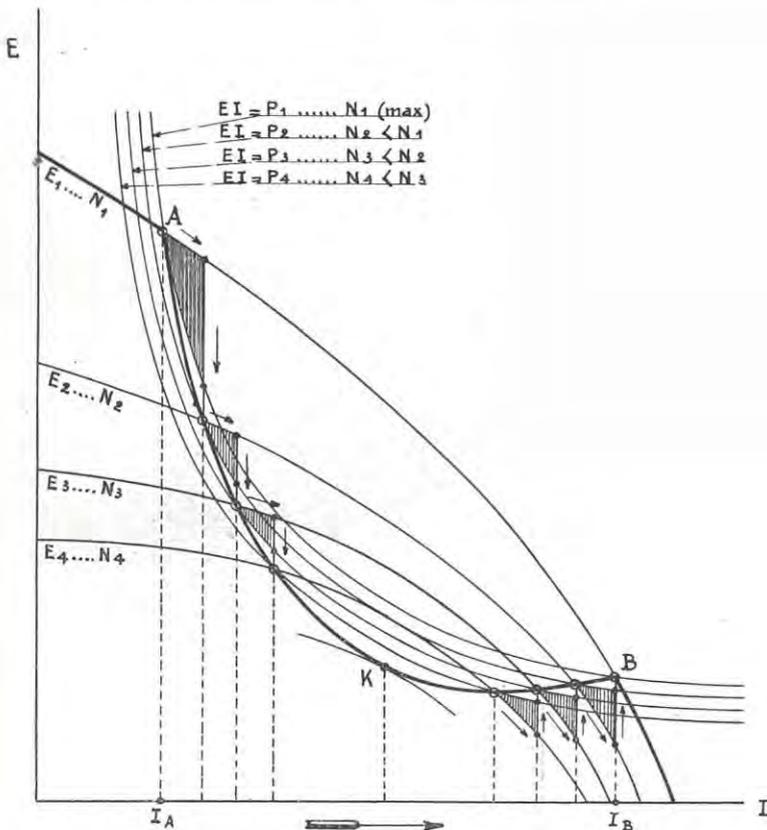


Fig. 15.

a) d'abord, par surcharges successives du Diesel, de sorte que le nombre de tours décroît de la valeur maximum N_1 , correspondant au point d'équilibre A ,

jusqu'à une certaine valeur minimum (point d'équilibre K);

b) ensuite, par décharges successives du Diesel, de sorte que le nombre de tours

croît cette fois depuis cette valeur minimum et atteint à nouveau la valeur maximum N_1 correspondant au point d'équilibre B.

2° Si, au contraire, le courant décroît de I_B à I_A (fig. 16), les états d'équilibre successifs s'établissent encore :

a) d'abord, par surcharges successives

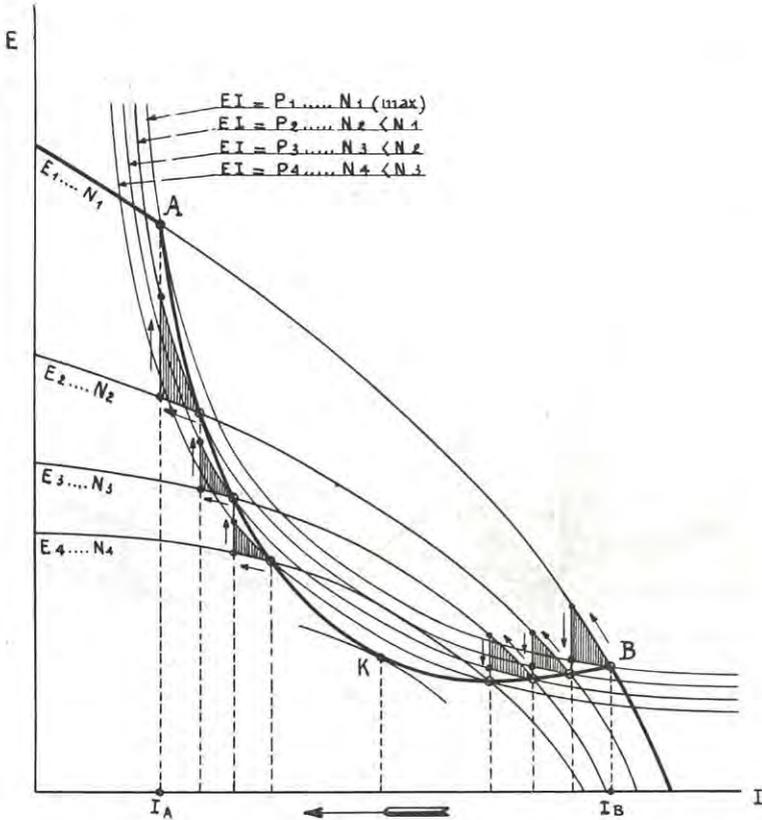


Fig. 16. -

du Diesel, avec décroissance du nombre de tours jusqu'à la valeur minimum correspondant au point d'équilibre K;

b) ensuite, par décharges successives du Diesel, avec accroissement du nombre de tours jusqu'à la valeur maximum N_1 correspondant au point d'équilibre A.

Rapportées aux ordonnées de l'hyper-

bole (P_1) correspondant au nombre de tours maximum N_1 autorisé pour le régime de puissance considéré (fig. 17), les différences entre ces ordonnées et celles de la caractéristique A K B de fonctionnement à vitesse angulaire variable représentent, en valeur relative (%), le « degré de réduction de vitesse angulaire et de

puissance » du Diesel, soit, en d'autres termes, la mesure du déchet dans l'utilisation de la puissance du Diesel (« Drückung »).

1. — La transmission Oerlikon (fig. 18).

La Société Oerlikon a cherché à obtenir, sinon une constance parfaite de la puissance absorbée par la génératrice, du moins une grande simplicité en vue d'arriver à un poids minimum de l'équipement électrique.

En principe, la génératrice est à auto-excitation shunt. Toutefois, dans le but d'éviter les difficultés inhérentes à l'amorçage de la génératrice, l'enroulement inducteur de celle-ci est utilisé pendant le démarrage de l'automotrice comme enroulement d'excitation séparée qu'alimente alors une batterie d'accumulateurs.

Lorsque, la mise en vitesse étant réalisée, la génératrice fonctionne en auto-excitation shunt, elle recharge la batterie.

Une résistance réglable par un rhéostat manœuvré à la main est insérée dans le circuit d'excitation en vue de permettre au conducteur de faire choix d'un régime de puissance déterminé.

2. — La transmission Gebus (fig. 19).

Ce système, également d'une grande simplicité, utilise, comme le système Oerlikon, une génératrice à auto-excitation shunt. Toutefois au lieu d'avoir recours à une batterie d'accumulateurs pour faciliter l'amorçage de la génératrice, la Société Gebus a muni la génératrice d'un enroulement série, conditionné de manière que le champ qu'il détermine n'influence la génératrice que pour de fortes intensités du courant principal, c'est-à-dire au démarrage de l'automotrice.

Au surplus, la génératrice Gebus ne fonctionne que dans la région non saturée de sa courbe de magnétisation, région

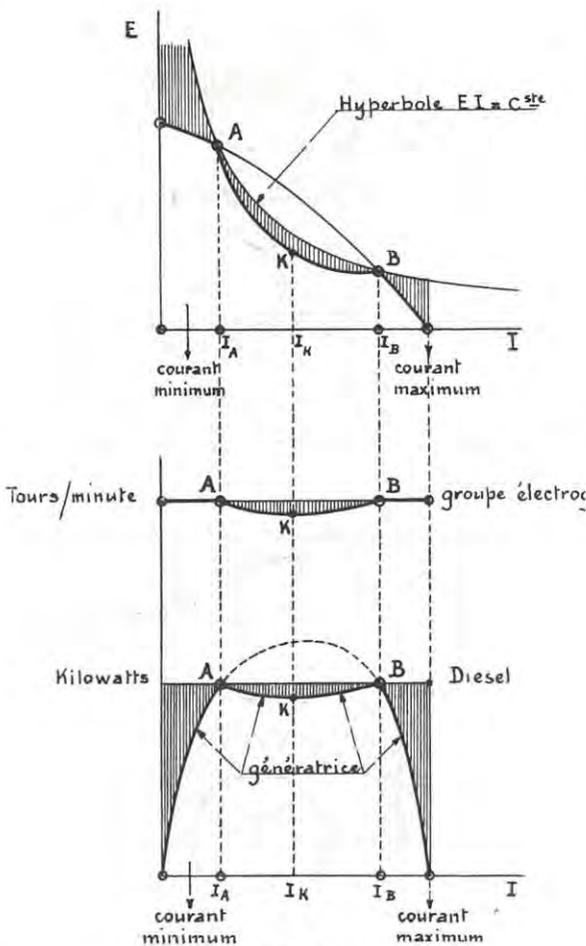
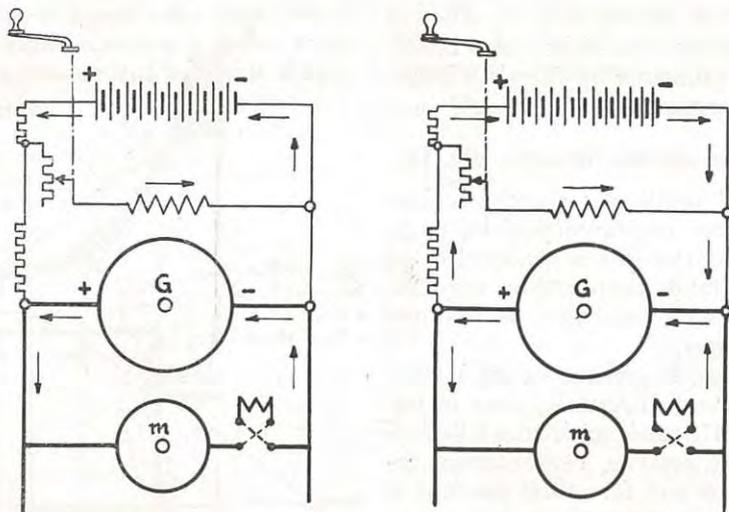


Fig. 17.

située aux confins de la partie fortement inclinée de cette courbe et à l'origine du coude se raccordant à cette partie. Dans ces conditions, de faibles variations de vitesse angulaire sont à même de produire des variations de tension suffisamment rapides pour qu'à la suite de chaque rupture d'équilibre dynamique, il soit possible de trouver aussitôt un nouveau point d'équilibre à une vitesse peu différente.



Génératrice fonctionnant en excitation séparée (démarrage).

Génératrice fonctionnant en auto-excitation shunt et en chargeuse de batterie (pleine marche).

Fig. 18. — Schéma de principe de la transmission Oerlikon.

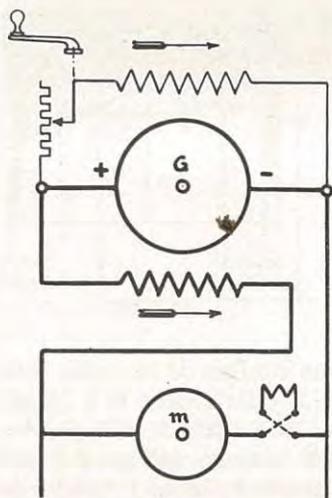


Fig. 19. — Schéma de principe de la transmission Gebus.

Un rhéostat de champ, agissant sur des résistances réglables insérées dans le shunt de la génératrice et dont la manœu-

vre est conjuguée avec la commande, par servo-moteur électrique, du dispositif de réglage de la tension du ressort du régulateur centrifuge du Diesel, permet au conducteur de faire choix parmi un certain nombre de régimes de puissance.

3. — La transmission américaine « Lemp » de la A. E. G. (fig. 20).

La génératrice principale (1) possède deux enroulements inducteurs A et B alimentés par une génératrice auxiliaire (excitatrice) (2) à excitation indépendante par batterie d'accumulateurs (3).

La génératrice principale et l'excitatrice sont accouplées à l'arbre du Diesel.

L'un des enroulements inducteurs (A) de la génératrice principale est relié directement aux bornes de l'excitatrice. L'autre (B), en dérivation sur l'enroulement A, est raccorder aux bornes de la batterie, laquelle peut ainsi être chargée par l'excitatrice.

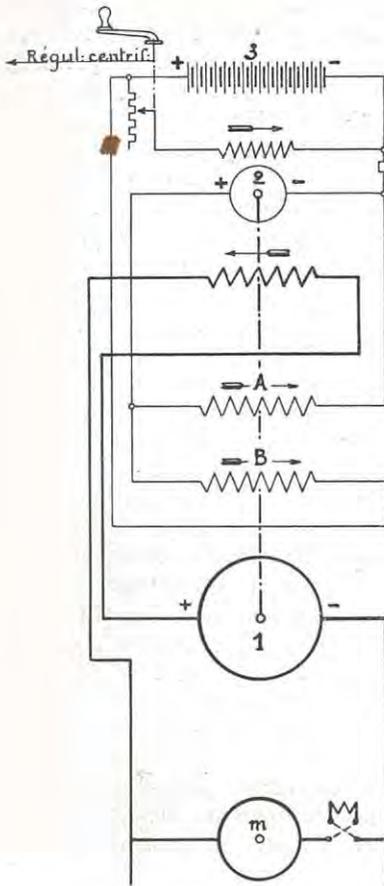


Fig. 20. — Schéma de principe de la transmission américaine « Lemp ».

De plus, l'excitatrice est anticompoundée par le courant principal, ce qui a pour effet d'accentuer la forme plongeante de la « caractéristique » extérieure de la génératrice principale.

Enfin, grâce à ce mode d'excitation, de faibles variations de vitesse angulaire sont à même de déterminer des fluctuations suffisamment rapides de tension aux bornes de la génératrice principale, ces variations de vitesse se répercutant, en même temps, sur la tension de l'excit-

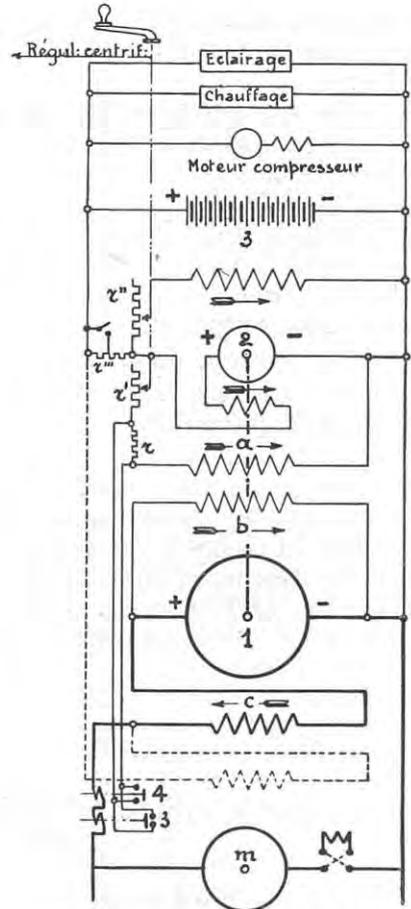


Fig. 21. — Schéma de principe de la transmission R. Z. M. de la Reichsbahn.

trix déterminant le champ de la génératrice principale et sur la tension de celle-ci.

Quant au démarrage de l'automotrice, il est favorisé par l'intervention de la batterie dans l'excitation de l'excitatrice.

4. — La transmission standard R. Z. M. de la Reichsbahn (fig. 21).

S'inspirant de la transmission américaine « Lemp » et de la transmission

« Gebus », la Reichsbahn a créé un système standard dont le principe est le suivant :

La génératrice principale (1), à excitation mixte anticomposé (fig. 21), possède trois enroulements, à savoir :

— un enroulement séparé (*a*), alimenté par le courant d'une génératrice auxiliaire (excitatrice) (2), accouplée au groupe électrogène et fonctionnant en auto-excitation composé;

— un enroulement shunt (*b*);

— un enroulement série (*c*), antagoniste aux deux précédents.

A cause de cette disposition, tout accroissement d'intensité du courant principal provoque un affaiblissement correspondant du champ fourni par les enroulements d'excitation séparée et d'excitation shunt. La tension aux bornes de la génératrice principale décroît ainsi d'une façon très sensible quand le courant principal augmente, et vice-versa, ce qui confère à la caractéristique extérieure de la génératrice une allure fortement plongeante (fig. 22).

Comme dans le système Lemp, l'in-

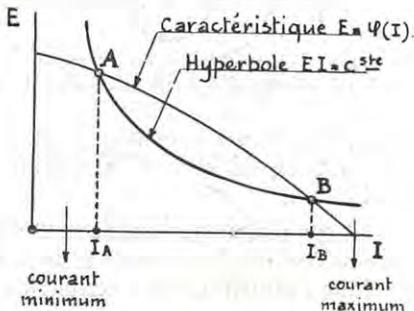


Fig. 22.

fluence de la variation de vitesse angulaire sur la tension aux bornes de la génératrice est également ici particulièrement

marquée, du fait que, l'excitatrice étant accouplée à l'arbre de la génératrice, toute variation de tension de la première de ces machines accentue la variation de tension de l'autre.

Toutefois, une particularité du système R. Z. M. réside dans le moyen imaginé par la Reichsbahn pour diminuer le degré de réduction de vitesse et de puissance du Diesel entre les limites d'utilisation complète de la puissance définies par les points d'équilibre A et B (fig. 22). Cela, dans le but de pouvoir reculer ces limites.

Le programme que s'était imposé la Reichsbahn visait, en effet, à la réalisation d'un système de transmission standard (Einheitssystem) pouvant s'adapter, avec la même souplesse, tant à des services omnibus nécessitant de fortes accélérations qu'à des services directs rapides. Or, cette condition impliquait, nécessairement, que les points d'équilibre A et B fussent aussi éloignés que possible l'un de l'autre : le point A se situant alors dans la zone des faibles intensités utilisées aux vitesses de marche élevées de l'automotrice, et le point B, dans celle des fortes intensités utilisées aux faibles vitesses de marche. Mais, ainsi que le montre la figure 23, le degré de réduction

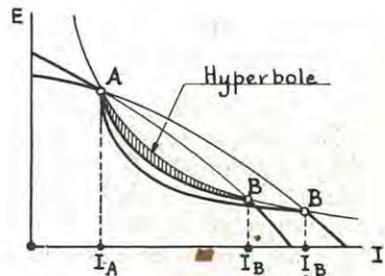


Fig. 23.

de vitesse et de puissance du Diesel (zone hachurée) est d'autant plus prononcée que l'écart entre les abscisses des points

d'équilibre A et B est plus grand. Pour tourner la difficulté, la Reichsbahn a imaginé d'affaiblir, par un moyen automatique, le champ de la génératrice entre deux valeurs intermédiaires du courant débité, comprises entre les limites extrêmes d'utilisation de ce courant. Grâce à ce moyen la génératrice fonctionne, pour un même nombre de tours/minute, suivant deux caractéristiques différentes,

telles par exemple E_1 et E_2 : l'une à pleine excitation, l'autre à excitation réduite. Cette dernière recoupe l'hyperbole de puissance maximum du régime considéré en deux points C et D auxquels correspondent deux autres états d'équilibre sur la même hyperbole. La génératrice fonctionne dès lors suivant la caractéristique effective $A A' C K D B' B$ (fig. 24) et le degré de réduction de vitesse et de puis-

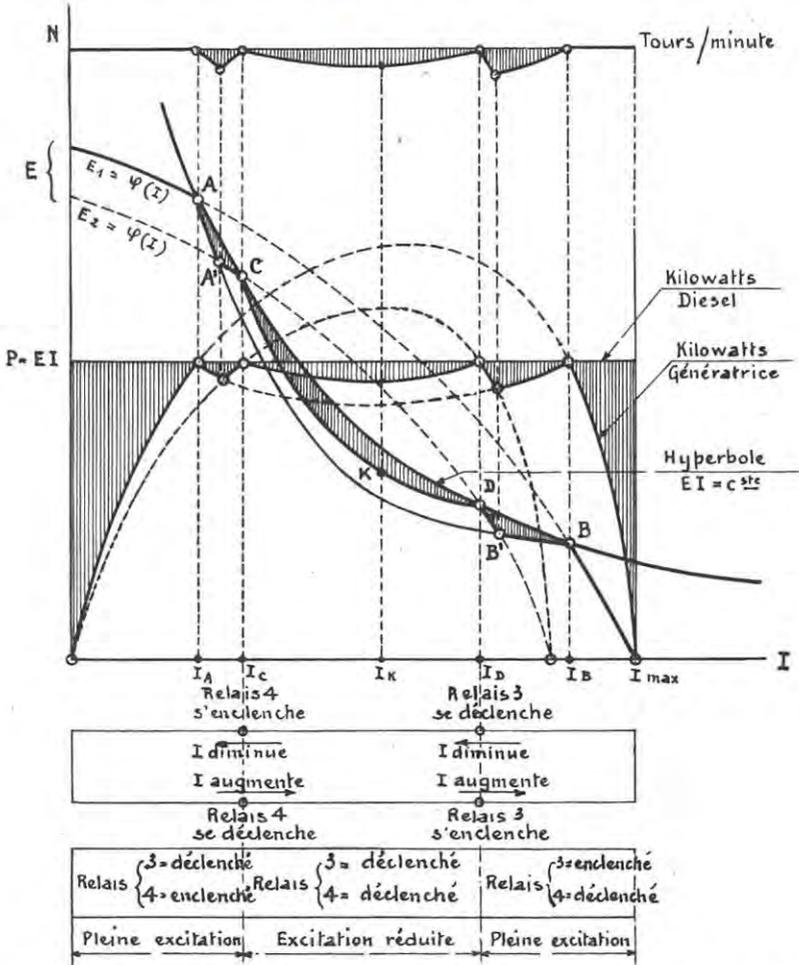


Fig. 24. — Caractéristique de fonctionnement de la transmission R. Z. M. de la Reichsbahn.

sance du Diesel n'est plus que celui indiqué par la zone hachurée.

L'affaiblissement voulu de l'excitation de la génératrice principale s'opère, au moment opportun, à l'intervention automatique de deux relais de courant 3 et 4 (fig. 21 et 24) provoquant l'insertion d'une résistance r dans le circuit d'excitation séparée.

Au cours du démarrage de l'automotrice, l'intensité du courant principal offre une valeur maximum et le relais 3 est enclenché, de sorte que, la résistance r étant courtcircuitée, la génératrice fonctionne à pleine excitation.

La vitesse de marche de l'automotrice allant en croissant, au moment où le courant décroissant est tombé à la valeur I_D , le relais 3 se déclenche, provoque l'insertion de la résistance r et la génératrice fonctionne à excitation réduite. Lorsque le courant n'offre plus que la valeur I_C , le relais 4, jusqu'alors déclenché, s'enclenche à son tour et rétablit le court-circuitage de la résistance r , de sorte que, dès ce moment, la génératrice fonctionne à nouveau à pleine excitation.

Un processus analogue se déroule lorsque, par exemple, l'automotrice abordant une rampe, le courant appelé par les moteurs de traction augmente progressivement.

Le réglage, par le conducteur, du régime de puissance de la génératrice, pour un volume donné de l'injection par tour, s'opère également — comme d'ailleurs dans la plupart des autres systèmes — par la manœuvre d'un rhéostat de champ. A cet effet, des résistances r' et r'' (fig. 21) sont insérées tant dans le circuit d'excitation de la génératrice auxiliaire (excitatrice), que dans celui de la génératrice principale alimenté par cette excitatrice; de plus, la manœuvre du rhéostat est conjuguée avec la commande à distance du dispositif de réglage de la tension du

ressort du régulateur centrifuge, dont dépendent le volume d'injection par tour et la limite de vitesse angulaire correspondante.

Moyennant une détermination judicieuse des résistances de champ r' et r'' propres à chaque régime, il est ainsi possible :

1° d'adapter la puissance absorbée par la génératrice principale à une loi de décroissance définie par une fonction donnée de la vitesse angulaire du groupe;

2° d'obtenir que, dans certaines limites de la vitesse angulaire du groupe, la tension de l'excitatrice reste suffisamment élevée aux régimes inférieurs de cette vitesse angulaire. Ceci est nécessaire parce que, dans le système R. Z. M., la génératrice auxiliaire (excitatrice) doit, en même temps, assurer la charge à 110 volts de la batterie d'accumulateurs (3) pour les services auxiliaires et le lancement du Diesel.

Pour cela, il est inséré, dans le circuit de charge de la batterie, un conjoncteur-disjoncteur qui met la batterie en circuit de charge lorsque l'excitatrice débite une tension suffisante, ou qui met la batterie hors circuit de charge lorsque la tension de la génératrice devient inférieure à celle de la batterie.

Pour que les variations d'intensité du courant de la batterie, qui dépendent de la tension de cette dernière, n'aient pas de répercussion sur la tension de la génératrice principale, et par conséquent sur l'absorption de puissance de celle-ci, la génératrice auxiliaire (excitatrice) est compoundée par un enroulement série.

Afin de protéger la batterie contre des surcharges éventuelles — la génératrice auxiliaire fournissant une tension maximum de 150 volts — il est inséré une résistance tampon r''' dans le circuit de charge de la batterie.

Enfin, en vue du lancement du Diesel par la génératrice principale fonctionnant en moteur alimenté par le courant de batterie, la génératrice principale a été munie d'un enroulement série supplémentaire de façon qu'à ce moment elle puisse fonctionner comme moteur série.

Le système R. Z. M. est appliqué par la Reichsbahn à un grand nombre d'automotrices, dont quelques-unes sont déjà en service, mais dont la plupart sont encore en construction, soit :

- 13 automotrices à 4 essieux et à moteur Diesel 300 ch., pour lignes principales (vitesse maximum = 90 km./h.);
- 103 automotrices à 4 essieux et à moteur Diesel 410 ch., pour lignes principales (vitesse maximum = 110 km./h.);
- 13 automotrices jumelées (à 6 essieux) et à deux moteurs Diesel 410 ch., pour vitesse maximum de 160 km./h.;
- 2 automotrices triples (à 8 essieux) et à deux moteurs Diesel 600 ch., pour vitesse maximum de 160 km./h.

B. — Cas où la vitesse angulaire du groupe n'est pas nécessairement variable.

La firme A. E. G., s'inspirant également de la transmission américaine « Lemp », a perfectionné ce système de la manière suivante (fig. 25).

La génératrice autorégulatrice (1) fonctionne, comme dans le système Lemp, avec excitation indépendante; mais, en principe, le système A. E. G. comporte deux excitatrices (2) et (3). Un des enroulements inducteurs (A) est relié directement aux bornes des deux excitatrices en série, tandis que l'autre (B), branché en dérivation sur le circuit extérieur des deux excitatrices, est raccordé, comme dans le système Lemp, aux bornes d'une batterie d'accumulateurs (4). Les deux excita-

trices possèdent un enroulement inducteur commun (a) alimenté par le courant de cette batterie.

L'une des deux excitatrices (2) est fortement anticompoundée par le courant principal (enroulement b), tandis que l'autre (3) est faiblement compoundée par ce même courant (enroulement c).

Dans ces conditions, l'excitatrice anticompoundée (2) produit une tension dont la valeur et le signe varient essentiellement avec l'intensité du courant principal, tandis que l'excitatrice compound (3) fournit une tension sensiblement con-

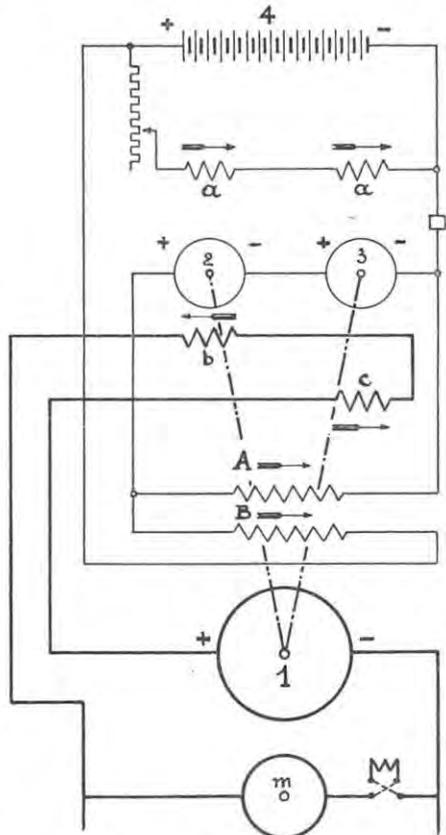


Fig. 25. — Schéma de principe de la transmission A.E.G. à double excitatrice.

stante. Il résulte de cette disposition ce qui suit :

a) Lorsque l'intensité du courant principal offre une valeur moyenne, les courants traversant l'enroulement d'excitation séparée (*a*) et l'enroulement antagoniste (*b*) de l'excitatrice anticompound (2) se compensent.

b) Lorsque, partant de sa valeur moyenne, l'intensité du courant principal décroît, l'influence du courant dans l'enroulement d'excitation séparée (*a*) devient progressivement prépondérante sur celle du courant principal dans l'enroulement antagoniste (*b*). L'excitatrice anticompound (2) fournit une tension croissante en valeur absolue, et de même signe que la tension constante fournie par l'excitatrice compound (3), à laquelle elle vient s'ajouter.

c) Lorsque au contraire, partant de sa valeur moyenne, l'intensité du courant principal croît, l'inverse se produit : l'influence de l'enroulement antagoniste (*b*) devient progressivement prépondérante; l'excitatrice anticompound (2) fournit une tension encore croissante en valeur absolue, mais de signe contraire à celui

de la tension constante de l'excitatrice compound (3), dont elle vient alors se déduire.

La tension résultante aux bornes de la génératrice principale, ainsi obtenue, varie dès lors avec l'intensité du courant débité, suivant une loi très sensiblement hyperbolique.

Ainsi conçu, ce mode d'excitation spéciale permet d'utiliser, dans de larges limites de fonctionnement, la pleine puissance du Diesel, ce qui explique la désignation de « Vollastschaltung » sous laquelle la firme A. E. G. présente ce système.

Dans des réalisations récentes, dites « à pôles divisés », la même firme (A. E. G. en Allemagne et G. E. C. O. en Amérique) applique le principe décrit ci-dessus, suivant l'une ou l'autre des deux variantes :

a) excitatrice à pôles divisés et génératrice principale du type courant;

b) excitatrice unique, et génératrice principale à pôles divisés.

Ce système sera appliqué sous l'une des formes *a* ou *b* à 3 automotrices triples à marche rapide de la Société Nationale des Chemins de fer belges.