

de l'éclair dans un récipient d'eau, passage de l'éclair le long d'une chaîne d'isolateurs, éclairs entre pointes écartées de plus de 4 mètres ;

Les arcs réalisés représentaient la décharge en quelques millièmes de seconde, d'une puissance de l'ordre de 10 millions de chevaux, soit plus de deux fois la puissance totale des usines génératrices françaises.

Les invités ont ensuite visité en détail toutes les installations annexes du laboratoire, la station d'essais de durée où des isola-

teurs sont installés depuis plusieurs années, dans des conditions de fatigue identiques à celles qu'ils trouvent en service, les machines d'essais mécaniques à la traction, à la flexion, les cuves d'essais de température, enfin la salle d'exposition où sont rassemblés tous les produits les plus récents de la Compagnie Générale d'Electro-Céramique, depuis les petites poulies en porcelaine de quelques millimètres de diamètre, jusqu'aux pièces de traversées de deux mètres de haut.

P. P.

Congrès International d'Electricité — Paris 1932

Il a semblé, à la Houille Blanche, utile pour ses lecteurs de leur donner ici les analyses de quelques rapports particulièrement intéressants, présentés à l'occasion du Congrès International d'Electricité de 1932.

On sait l'importance de cette manifestation, liée au Cinquantenaire du premier Congrès International d'Electricité de 1881, à Paris. Parallèlement à des œuvres de progression méthodique (comme celle de la Conférence Internationale des Grands Réseaux, qui se tient à Paris tous les deux ans, pour ne citer qu'elle), le Congrès International de 1932 s'était donné pour mission, dans ses treize sections, de produire des mises au point, et même des exposés complets de l'évolution, durant ces cinquante ans, de certaines des questions électrotechniques qui jouissent d'assez de recul pour motiver un tel retour en arrière. Pour d'autres plus jeunes, comme celle de la Physique Nucléaire, aux progrès si étonnamment rapides et aussi à la marche parfois si déconcertante, d'intéressants rapports constituent des monuments définitifs, autant qu'ils peuvent l'être en de si fluctuantes matières. Dans la première série de ces analyses, sont examinées, parmi les plus importantes, quelques-unes des communications du Congrès relatives à la traction électrique.

Evolution et développement de l'électrification à courant continu dans les chemins de fer européens

par M. CARDON.

5^e SECTION. — RAPPORT N^o 3 (FRANCE)

Les installations envisagées dans ce rapport sont surtout les électrifications à 1500 et 3000 V. employées en Europe depuis 1918, en France (Compagnies du Midi, du P. O. du P.-L.-M.), au Maroc, en Espagne, en Algérie et en Tchéco-Slovaquie.

L'auteur examine d'abord la partie mécanique, et ensuite l'équipement électrique.

Ces installations ont donné toute satisfaction, grâce surtout à leur entretien très réduit, en dépit de la dureté du service.

PREMIERE PARTIE

DISPOSITIONS GÉNÉRALES DES LOCOMOTIVES

L'auteur a classé les locomotives en trois catégories : locomotives à *grande vitesse*, *mixtes* à voyageurs et marchandises et de *manœuvre*.

1. *Locomotives à grande vitesse.* — Ce sont celles dont la vitesse normale dépasse 80 à 90 km/h. La diversité des types de machines peut s'expliquer par le manque d'expérience qu'éprouvaient les constructeurs jusqu'ici dans ce genre de locomotives.

2. *Disposition des caisses et des trains de roues.* — Toutes ces machines présentent d'abord un caractère commun : la symétrie. D'habitude, on a deux cabines : une à chaque extrémité. On connaît des locomotives à une ou à deux caisses. Avec une seule caisse, on a deux solutions de la suspension : disposition à châssis rigide, ce qui limite, à cause des courbes, à quatre le nombre d'essieux, donc le poids adhérent, mais offre par contre une irréprochable tenue en ligne aux grandes vitesses dépassant 130 à 140 km/h., et disposition de deux trucks attelés

ensemble, qui a permis de porter à six le nombre d'essieux, augmenter ainsi le poids adhérent, l'effort de traction, donc la puissance. Mais, la tenue en voie est moins bonne ; à partir de 110 km/h., on observe des mouvements de lacets. Les locomotives à deux caisses sont à rapprocher à ce dernier type et suscitent les mêmes remarques. On peut en conclure que les dispositions rigides à caisse unique conviendront particulièrement bien aux très grandes vitesses.

3. *Suspension des moteurs.* — Sauf une exception, les locomotives Gearless, dans lesquelles les induits sont calés directement sur les essieux, n'ont pas assuré encore un parcours assez important, pour qu'on puisse juger leurs qualités. Toutes les locomotives à grandes vitesses ont leurs moteurs entièrement suspendus.

4. *Liaison déformable entre moteurs suspendus et essieux.* — La nécessité d'une telle liaison avec les moteurs suspendus est évidente. Elle se fait par bielles (système Kando, par exemple) ou par engrenages avec liaisons déformables.

Les roues d'engrenages peuvent être à l'intérieur ou à l'extérieur des roues motrices. On a un ou deux trains d'engrenages. La transmission du mouvement de l'engrenage à la roue se fait de différentes façons : à ressort, par biellettes articulées, par biellettes et secteurs dentés (système Büchli de la B. B. C.), par transmissions élastiques (Oerlikon). Les axes des moteurs sont le plus souvent horizontaux ; on les voit dans quelques cas exceptionnels verticaux, ce qui permet d'élever le centre de gravité, donc d'améliorer la stabilité, mais complique la construction et ne permet pas une grande puissance par essieu. La transmission par engrenages est beaucoup plus employée que les bielles, grâce à leur facilité d'entretien. L'avantage des bielles est surtout une adhérence parfaite, mais ce qui leur fait préférer les engrenages, c'est leur entretien délicat et leur montage plus difficile.

II. *Locomotives mixtes à voyageurs et marchandises.* — Leur vitesse atteint 80 à 90 km./h., et leur utilisation pour un service double les rend très économiques.

Ces locomotives sont le plus souvent à adhérence totale et à deux bogies moteurs. Les moteurs sont suspendus par le nez et la transmission par engrenages à réduction. Suivant le poids adhérent à obtenir, on a deux ou trois essieux moteurs par bogie. La transmission par engrenages comporte deux, ou un seul train d'engrenages. Les caractéristiques des moteurs sont conçues pour qu'on ait une marche économique dans les deux cas d'une vitesse réduite et grand effort de traction, et d'une grande vitesse (jusqu'à 90 km./h.) et effort plus réduit. Aux grandes vitesses, on constate des mouvements de lacet, plus ou moins prononcés. Les deux solutions de bogies attelés ou indépendants paraissent équivalentes. Toutefois, les bogies attelés paraissent plus stables aux vitesses supérieures à 80 km./h.

Ces machines ont donné toute satisfaction, car, outre le dur service qu'elles sont capables d'accomplir, elles sont d'une construction simple, d'un entretien facile et elles ont une grande souplesse d'exploitation.

III. *Locomotives de manœuvre.* — Souvent ce sont des locomotives à marchandises, dont on a augmenté le rapport d'engrenages. Elles permettent de réaliser une économie importante par rapport à la traction de manœuvre à vapeur. L'expérience a montré que la réalisation d'une solution particulière à cette traction paraît économiquement justifiée.

Elles présenteront une particularité, non pas dans leur partie mécanique qui sera semblable à celle des machines précédentes, mais dans leur partie électrique, qui devra être adaptée aux démarrages et arrêts très fréquents.

DEUXIÈME PARTIE

ÉQUIPEMENT ÉLECTRIQUE DES LOCOMOTIVES

I. *Moteurs de traction.* — Ils sont suspendus par le nez, suspendus indépendants, ou suspendus jumelés.

On obtient une puissance par essieu d'environ 500 Ch. avec la première solution, jusqu'à 1100 Ch. avec la deuxième, tandis que la troisième permet d'atteindre 900 Ch. avec un encombrement réduit de la caisse.

Les moteurs sont à excitation série, ventilation forcée, ce qui procure un gain important de puissance spécifique. Ils ont une bonne commutation, grâce aux pôles auxiliaires et à l'isolement très soigné. Le réglage de la vitesse se fait par variation du champ inducteur, par shuntage, ou variation du nombre des spires inductrices.

II. *Équipements de contrôle.* — Ils doivent établir les différents circuits en vue de réaliser les différentes manœuvres : démarrage, changements de vitesse, inversion du sens de marche.

Les modes de commande sont au nombre de trois :

1° *Commande électromagnétique.* — Assez peu employée, elle est lourde et demande un courant de commande important.

2° *Commande par arbre à cames.* — Appliquée surtout sur les automotrices en raison de son encombrement réduit et du petit nombre de fils de commande. Elle exige l'emploi d'un servo-moteur, dont les positions d'arrêt doivent être rigoureusement réglées.

3° *La commande électro-pneumatique,* qui utilise l'air sous 5 kgs de pression et n'exige qu'un très faible courant de commande, est la plus employée. Le fonctionnement est sûr, l'entretien facile,

Au sujet des locomotives de manœuvre, l'auteur indique une solution satisfaisante expérimentée avec succès par la Compagnie d'Orléans. Les induits des moteurs connectés tous en série, sont alimentés à travers une machine spéciale appelée « métadyne » : un induit à collecteur avec quatre lignes de balais, dont deux reliées à la ligne, et deux au circuit des moteurs. Ce rotor est entraîné par un petit moteur en bout d'arbre à vitesse constante, dans une carcasse magnétique, dont on varie à volonté le champ suivant les régimes désirés.

Les inducteurs des moteurs, en série, eux aussi, sont alimentés par une excitatrice spéciale sur l'excitation de laquelle il suffit d'agir pour réaliser les différentes marches en traction ou en récupération.

Ce système paraît très avantageux, permettant avec un appareillage très simple un fonctionnement très économique pendant les démarrages, qui ne nécessiteront qu'une puissance relativement faible, et pendant les arrêts qui peuvent se faire en récupération.

III. *Dispositifs de protection.* — Chaque locomotive comportera un disjoncteur — pour protection contre les surintensités — aussi près que possible de l'arrivée du courant. Le déclenchement du relai provoque le fonctionnement du disjoncteur, qui avant de couper le circuit, insère des résistances pour limiter le courant à couper.

Avec les équipements électro-pneumatiques, ce sont les contacteurs individuels qui interrompent le circuit, en remettant auparavant les résistances de démarrage en circuit.

Contre les surtensions, on a adopté de nombreuses protections, mais certaines locomotives n'en possèdent aucune. Contre chute ou baisse de tension, au contraire, toute locomotive est protégée par l'action de son disjoncteur.

IV. *Appareils de prise de courant.* — Sauf la Compagnie P.-L.-M. qui utilise les frotteurs de troisième rail, on emploie pour les locomotives en question, la ligne aérienne et le pantographe comme prise de courant. Les pantographes au point de vue commande, peuvent être ou bien pressés sur la ligne de contact à l'aide de l'air comprimé, et abaissés par gravité, ou bien tendus toujours par ressorts et abaissés par air comprimé. La pression sur la ligne de contact est de 8 à 10 kgs. Les semelles de contact sont avec ou sans cornes, doubles ou simples. La semelle simple convient particulièrement bien aux grandes vitesses. On marche avec un pantographe aux faibles vitesses, et avec deux aux vitesses dépassant 90 km./h.

V. *Freinage électrique.* — Il est recommandé pour les locomotives employées sur des profils très accidentés, comportant de longues rampes, ou quand les arrêts sont très fréquents. Ce freinage se fait par récupération ou sur résistances.

Freinage par récupération. — Le fonctionnement des moteurs en génératrices est rendu possible par différents procédés, qui comportent l'excitation indépendante des moteurs. L'auteur indique deux montages qui adaptent automatiquement la tension des génératrices à la tension du réseau, pour de faibles variations de celle-ci. Ces montages tendent à diminuer le champ des génératrices, quand le courant augmente, et inversement. En outre, différents appareils de sécurité sont nécessaires, de telle sorte que ce mode de freinage exige un équipement compliqué, avec des appareils de sécurité irréprochables.

Freinage rhéostatique. — Il est plus simple et plus sûr que le précédent, tout en permettant de réaliser une économie importante dans l'usure du matériel. Il sera nécessaire de prévoir des dispositifs pour stabiliser la marche en parallèle des moteurs série fonctionnant en génératrices. Souvent le croisement des

inducteurs suffira. On a réalisé ainsi des efforts de freinage considérables.

VI. *Appareils auxiliaires.* — Ce sont les ventilateurs et les compresseurs. Ils sont commandés par des groupes spéciaux alimentés directement à 1500 volts, dans les locomotives commandées électro-pneumatiquement. Quand on a des équipements avec arbre à cames, c'est sur l'arbre de ceux-ci qu'on monte les ventilateurs, et une génératrice qui alimente à basse tension les compresseurs.

TROISIÈME PARTIE

SOUS-STATIONS DE TRACTION ET LIGNES DE CONTACT

I. *Sous-stations.* — Elles transforment le triphasé haute tension en continu 1500 ou 3000 volts. Le type le plus répandu de convertisseur est la commutatrice à 750 volts continus, qu'on couple par deux unités en série. Ces groupes ont une puissance de 1500 à 3000 kw. On a aussi réalisé des commutatrices donnant directement 1500 volts. Le courant continu à 3000 volts est le plus souvent produit par un moteur synchrone entraînant deux génératrices à 1500 volts.

Les redresseurs à vapeur de mercure à 1500 volts sont de plus en plus employés.

On a tendance aujourd'hui à rendre les sous-stations automatiques et à réduire ainsi notablement le personnel.

II. *Lignes de contact. — Sectionnements.* — Les postes de sectionnement ont une importance très grande dans les lignes à fort trafic. Il faut que tout défaut soit éliminé le plus rapidement possible, avec la moindre répercussion sur les autres sections. L'auteur décrit des installations particulièrement complètes, réalisées par la Compagnie d'Orléans.

Le développement et l'état actuel du système à courant monophasé sur les chemins de fer européens

par le Dr Wilhelm WECHMANN

5^e SECTION. — RAPPORT N° 4 (ALLEMAGNE)

I. *Historique.* — L'auteur fait un historique détaillé du développement du système monophasé, adopté pour la première fois en Suisse en 1905, pour devenir le système le plus employé dans de nombreux pays, comme en Allemagne, en Suisse, en Autriche, en Hongrie, en Norvège et en Suède. Le système à 15000 volts et 16 2/3 p/s, est devenu classique et presque exclusivement employé.

II. *L'état actuel de la technique. Génération et distribution du courant.* — Au commencement, les réseaux de traction monophasés avaient leurs usines génératrices propres, monophasées. Mais, après la guerre, les conditions financières devenant plus dures, on a songé à la collaboration avec les réseaux de distribution triphasés industriels, surtout vu les grandes quantités d'énergie de nuit consommées. On voit ainsi en Allemagne, en Suède, etc., des sous-stations de traction transformant le courant industriel à 50 p/s en courant monophasé à 16 2/3 p : s.

Ce qui limite l'emploi de cette solution, c'est le rendement médiocre des convertisseurs de fréquence. Dès qu'on aura mis au point les redresseurs à grilles polarisées, qui permettront cette transformation avec un rendement dépassant 95 %, on aura à sa disposition la solution la plus favorable.

Sous-stations. — Avant 1926, on ne les a guère éloignées de plus de 50 km. Au contraire actuellement, on arrive à dépasser 100, même 130 km. Ceci exclut la possibilité de l'entraide des sous-stations, mais la pratique a montré que la confiance mise dans le bon fonctionnement des équipements modernes, est justifiée. Cet équipement est prévu pour un service très dur, comportant des court-circuits francs, devant être éliminés très rapidement et sans répercussion sur le fonctionnement général.

Lignes aériennes de traction. — La construction de ces lignes

a été normalisée par une « Union Internationale » qualifiée. Le retour se fait par les rails mis à la terre. Pour compenser l'action des conducteurs d'aller et de retour, surtout en vue des lignes voisines à courant faible, on emploie en Suède les « transformateurs suceurs ». L'auteur décrit des appareillages très perfectionnés adoptés en Allemagne et en Suisse, par lesquels on arrive à éliminer une section endommagée avec la moindre répercussion sur l'ensemble du réseau. On a réalisé un sérieux progrès dans la construction des caténaires, grâce d'une part, à l'adoption de la ligne suspendue, au lieu des traverses massives, et, d'autre part, aux perfectionnements apportés dans la fabrication des isolants, qui ont conduit aujourd'hui à des isolateurs à noyau plein, légers et simples.

Lignes téléphoniques. — Les dispositifs les plus connus adoptés pour éviter l'action de la ligne de traction sur les lignes téléphoniques sont : montage symétrique de tous les appareils à courant faible ; pose des lignes souterraines en câbles ; isolation pour la haute tension des lignes directement influençables par la ligne de traction, et leur séparation à l'aide de transformateurs de tout circuit accessible au personnel ; action exercée en vue de rendre la courbe de tension de la ligne de traction autant que possible sinusoidale ; emploi de transformateurs suceurs.

Matériel roulant. — On est arrivé à vaincre la plus grosse difficulté : la commutation. Actuellement, on emploie uniquement les moteurs série simples, qui au point de vue commutation et frais d'entretien, valent les moteurs à courant continu.

Entraînement. — Il y a dix ans, l'entraînement à bielles était prédominant. Mais, à mesure que la fabrication d'engrenages pour grandes puissances a progressé, la transmission par engrenages a éliminé l'entraînement par bielles, ce dernier donnant lieu à un entretien délicat et coûteux. Dans 35 locomotives allemandes pour trains omnibus, deux paires de moteurs jumelés commandent par engrenages deux paires de bielles qui entraînent deux essieux moteurs, chacun par l'intermédiaire d'un faux essieu.

D'autres exemples de commandes par engrenages et bielles sont fréquents.

En Europe Centrale et en Suisse en particulier, on a tendance à employer l'engrenage seul. L'entraînement le plus employé est le système Büchli, qui transmet le couple sans ressort à la roue motrice. D'autres systèmes existent, comme l'arbre creux avec ressorts à boudin, venu d'Amérique sous le nom de « quill drive » et employé au Loetschberg, puis les sabots disposés sur les six bras de l'arbre creux, attaquant la roue sur des plaquettes ménagées à cet effet, des chemins de fer allemands.

Pour des vitesses de l'ordre de 80 km./h., on vient d'adopter en Allemagne, les moteurs suspendus par le nez. Sur ces mêmes locomotives, on a prévu un dispositif d'égalisation automatique de la charge des essieux.

Il convient de mentionner enfin les 35 locomotives à 100 km./h. des chemins de fer autrichiens, dans lesquelles deux moteurs verticaux attaquent par engrenages coniques un arbre creux, qui entoure l'essieu moteur et l'attaque par un accouplement à articulation.

Dispositions générales de l'équipement électrique. Commande et éléments. — Pendant qu'on augmentait le nombre des moteurs, jusqu'à 12 quelquefois, on continuait à adopter partout, un seul transformateur. Celui-ci est à huile, refroidie artificiellement. D'habitude, on règle la tension au secondaire qui comporte, à cet effet, un grand nombre de prises. Tout dernièrement, on a adopté le réglage sur la haute tension sur deux locomotives suisses. Le transformateur, ainsi que tout l'appareillage électrique, est généralement disposé dans la partie centrale de la locomotive. Les pantographes sont à une semelle, le courant à capter ne dépassant guère 150 ampères. Les facteurs seront près des transformateurs pour réduire la long des connexions.

Les moteurs, ainsi que leurs appareillages auxiliaires, ventilateurs, inverseurs d'excitation, sont divisés en deux groupes avant et arrière. Les moteurs auxiliaires peuvent être du type série, à répulsion ou à induction.

On emploie la commande par contacteurs, actionnés électropneumatiquement, électromagnétiquement ou de préférence par arbres à cames, car cette disposition évite une grande quantité de circuits compliqués de sécurité et de contrôle. Certaines locomotives allemandes de voyageurs et marchandises seront équipées avec « une commande par régulateur de précision » qui permet de passer d'une position principale à une autre du régulateur de tension, sans variation brusque de la tension. Disposition très utile, surtout au moment d'un patinage, que celle par laquelle le mécanicien peut diminuer la tension au moyen du régulateur de précision, alors que la limite d'adhérence serait dépassée.

Freinage électrique. — Dans le freinage à résistances, les moteurs sont excités en continu ou en monophasé, et débitent sur des résistances placées sur le toit d'habitude.

La récupération est également utilisée. En Suisse, on a appliqué un système utilisant l'excitation shunt des moteurs de traction.

Chauffage du train. — Toujours assuré électriquement, et suivant une convention internationale à 1000 volts.

Locomotives à convertisseurs. — Transforment le monophasé en triphasé ou en continu, par des convertisseurs rotatifs. Leur avantage est de permettre d'employer le courant industriel à 50 p : s, au prix, il est vrai, d'une sérieuse complication de la locomotive. On a appliqué cette solution en Hongrie sous une tension de 15000 volts.

Le fonctionnement paraît très satisfaisant, et ce sera vraiment la solution de l'avenir, dès qu'on aura suffisamment perfectionné le redresseur à vapeur de mercure à grilles polarisées.

On peut signaler 5 locomotives allemandes pouvant marcher sur lignes non électrifiées par accumulateurs, chargés à travers des redresseurs à vapeur de mercure.

Les locomotives avec entraînement individuel des essieux, procurent une meilleure utilisation du poids et, en Allemagne comme en Suisse, c'est l'unique solution envisagée pour l'avenir.

III. *Conditions économiques.* — Deux enquêtes détaillées ont été faites à ce sujet en Europe, par la Suisse et par la Suède. On est arrivé à la conclusion que le capital investi dans l'électrification est rémunéré au taux de 6,8 % en Suisse, et de 4,9 en Suède. Cette différence est due aux conditions économiques défavorablement influencées en Suède par l'emploi du système triphasé avec transformation dans chaque sous-station et, d'autre part, par la faiblesse relative du trafic.

La traction électrique permet la réduction du personnel. On tend de plus en plus à confier la conduite des trains à un seul homme, en cas de défaillance duquel, le courant est automatiquement coupé et le train freiné.

IV. *Importance par rapport à d'autres systèmes de traction.* — D'après les statistiques présentées, on peut affirmer que le système monophasé est le plus important parmi les autres systèmes, à courant continu ou triphasé.

En ce qui concerne la longueur des voies électrifiées, il vient largement en tête avec 9751 km. en 1931. Au point de vue consommation, de même, mais abstraction faite des réseaux urbains qui de ce point de vue sont les plus importants.

Moteurs de chemin de fer à courant alternatif par M. P. MULLER.

5² SECTION. — COMMUNICATION N° 4 C (ALLEMAGNE)

Tout dernièrement, on a montré qu'il y a lieu de distinguer sous les balais deux f. e. m. : la « f. e. m. de transformateur » due au champ pulsatoire et la « f. e. m. de commutation » ren-

contrée aussi en courant continu, et il y a lieu d'examiner chacune de celles-ci séparément : des essais stroboscopiques montrent qu'une flamme aux balais est constituée nettement par deux parties : l'une provenant de la f. e. m. de transformateur, et une autre de la f. e. m. de commutation. C'est cette dernière qui paraît la plus dangereuse.

Les moteurs à courant alternatif sont placés dans des conditions plus dures de ce point de vue : un entrefer réduit, grand nombre de pôles, grande fréquence, faible largeur de dents, etc. On est conduit à des enroulements conçus en vue d'une bonne commutation ; un nombre modéré d'encoques et peu de spires par encoche, bobinage diamétral à pas échelonné, etc. Pour éviter les harmoniques et les oscillations dues aux encoches, on peut adopter une disposition oblique des encoches et un large entrefer. Une bonne commutation exige de même une construction absolument impeccable du collecteur et des porte-balais.

La f. e. m. de transformateur est indépendante de la vitesse, et gênante surtout au démarrage. Elle produit un courant de court-circuit qui se ferme dans le balai et qui est limité par la résistance ohmique et inductive de la spire et de la résistance ohmique du contact et du balai. Ce courant est perpendiculaire au champ et, en se superposant au courant principal, peut décaler celui-ci par rapport au champ et rendre le couple périodiquement négatif, provoquer des étincelles, des vibrations du balai et réduction de l'adhérence.

D'après l'expérience, une valeur maximum de 8 volts par segment est encore admissible. Le dispositif le plus efficace pour diminuer les effets nuisibles de la f. e. m. de transformateur, est l'augmentation de la résistance inductive de la spire, donc sa dispersion, ce qui aura pour effet de diminuer le courant de court-circuit en valeur, diminuer son déphasage. On atténue ainsi la vibration et l'on améliore le couple de démarrage. L'emploi d'un enroulement inducteur fractionné offre aussi beaucoup d'avantages, par suite de la naissance d'une courbe de champ plus sinusoïdale. En marche, les conditions se modifient favorablement et les étincelles de démarrage s'atténuent fortement déjà, pour un petit nombre de tours. Pour éviter l'étincelle, il faut que l'énergie $\frac{L \cdot i^2}{2}$ soit suffisamment faible pour qu'elle puisse être captée par les balais. Il y a toujours intérêt à augmenter L, car i est proportionnel à $1/L$. Le balai recouvrant plusieurs segments, un phénomène important intervient ; quand une spire quitte le balai, le courant décroissant induit dans la spire suivante une f. e. m. supplémentaire. Avec plusieurs spires dans une même encoche, le phénomène se répète, le courant atteint sa valeur maximum dans la dernière spire. Ainsi le balai est surchargé sur le bord arrière du dernier segment, ce qui s'accroît encore plus quand la commutation est insuffisante, et qui a pour effet la concentration sur le bord de sortie du balai, du courant de travail.

Les harmoniques supérieures, dans la tension du fil aérien, ont aussi un effet nuisible, atténué toutefois par un suffisamment grand entrefer. On compense plus ou moins par un champ auxiliaire déphasé la f. e. m. de transformateur, au moyen d'une résistance mise en parallèle. Celle-ci a aussi pour effet d'amortir les oscillations du champ auxiliaire au passage des dents de l'induit.

La f. e. m. de transformateur devient une très sérieuse difficulté seulement dans les moteurs de 50 p : s. Elle rend la construction de ces moteurs très délicate, et les locomotives à convertisseurs deviennent plus économiques.

Toutes ces considérations peuvent servir à donner des directives dans la construction des moteurs. La solution la plus économique serait obtenue si chaque partie du moteur atteignait juste les limites d'échauffement permises.

Au démarrage, les conditions sont essentiellement différentes des conditions de marche normale, ce que l'auteur illustre par les résultats d'un essai, comportant une marche de 5 km.

Tout ce qui précède constitue un très riche enseignement et un excellent guide pour un calcul rationnel des différentes parties du moteur.

Signalons enfin que les moteurs monophasés modernes semblent utiliser beaucoup mieux la matière que les moteurs à courant continu.

Les moteurs de traction à haute tension

par M. BIANCHI

5^e SECTION. — RAPPORT N° 6 (ITALIE)

Ce rapport est consacré à l'exposé des principaux problèmes qui se sont présentés dans la construction des moteurs triphasés à 3400 volts 16,7 p/s, et dans celle des moteurs à 3000 volts courant continu, surtout par suite de l'élévation de la tension d'alimentation.

Moteurs triphasés. — Le choix de ces moteurs a été conditionné vers 1900 d'une part, par la nécessité de diminuer le courant de contact, et parce que, d'autre part, le système monophasé n'était pas encore développé. La fréquence était fixée par des considérations mécaniques ; on employait de préférence les systèmes de transmission à bielles, ou avec induit calé sur l'arbre même. Le progrès réalisé dans la construction de ces moteurs à induction est dû, moins à la mise au point du calcul qu'à l'expérience pratique acquise.

I. *Encombrement et schéma d'enroulement des moteurs asynchrones à haute tension.* — Il y a lieu de remarquer tout d'abord une importante réduction de poids par kilowatt à l'heure, jusqu'à environ 13 kg. par kw.

Pour faire varier la vitesse, on emploie trois procédés : couplage en cascade, variation du nombre de pôles, variation du nombre de phases. Ce sont ces deux dernières méthodes qui se sont développées surtout. L'auteur donne un tableau rassemblant les différentes possibilités de changement de pôles d'un moteur asynchrone. La méthode indiquée consistant dans le choix d'un enroulement, genre *courant continu*, ne permet d'avoir que deux vitesses. Pour avoir plusieurs vitesses, il faut changer en même temps le nombre de phases, ce qui exige alors un transformateur triphasé-polyphasé.

L'auteur indique un cas particulier permettant d'obtenir trois vitesses, par un couplage spécial de deux moteurs en série. La limitation du poids ne permet pas généralement l'adoption d'un transformateur pour l'alimentation du stator, mais on peut, appliquer cette méthode au rotor.

Mode d'isolement des moteurs asynchrones à haute tension. — Cette question constitua l'une des principales difficultés, pendant longtemps. De très nombreuses détériorations ont compromis les isollements des premiers de ces moteurs. Un examen systématique a permis de reconnaître que le défaut n'apparaît non pas dans l'isolement à la masse, mais dans l'isolement entre conducteurs. Les court-circuits entre deux conducteurs voisins entraînent un échauffement local, et ensuite la perforation de l'isolement à la masse. De même, on a reconnu qu'un isolement trop épais peut nuire en tant que mauvais calorifuge. Des améliorations notables ont été réalisées, surtout par l'emploi de plus en plus généralisé du mica, de l'amiante émaillée, etc. L'auteur décrit les différents isollements employés.

III. *Conditions d'essais des isolants des moteurs de traction.* — Avant et après montage, on fait subir aux moteurs, et plus particulièrement aux enroulements, des essais d'isolement très sévères, fixés par les chemins de fer italiens.

Les qualités des matériaux employés et les soins d'exécution ont une énorme importance, car avec les mêmes épaisseurs d'isolant, on a trouvé des tensions de perforation différant de 300 %.

Le nombre des avaries par détérioration d'isolant dans les moteurs isolés suivant les méthodes indiquées, et en s'inspirant de ces expériences, est nul ou très petit.

Moteurs à courant continu. — L'expérience acquise dans la construction des moteurs triphasés a grandement facilité la réalisation des moteurs à courant continu à haute tension, qui a sérieusement commencé en 1924. On adopte des groupes de deux machines à 1500 volts en série.

I. — *Conditions pratiques de fonctionnement.* — On ne construit pas de moteurs à 3000 volts, non pas parce que ce serait irréalisable avec un seul collecteur (car on construit de ces moteurs pour les services auxiliaires), mais on choisit les moteurs à 1500 volts couplés deux à deux en série, car cette solution convient mieux à la commande individuelle des essieux par engrenages, dont on est très satisfait. Il faut prévoir ces moteurs pour fonctionner à des tensions bien supérieures à 1500 volts, par exemple, en cas de récupération. Et surtout, quand un essieu patine, la tension de son moteur baisse et celui mis en série est survolté. La possibilité et la grandeur de la surtension croissent avec le nombre de moteurs en série. Dans certains schémas de récupération, il peut apparaître une surtension de 6 fois 1500 soit 9000 volts avec 6 moteurs mis en série pour récupérer et surexciter pour une cause accidentelle quelconque.

II. *Moteurs à 1500 volts.* — Ces moteurs ne présentent aucune difficulté d'étude. Ils remplissent des services très différents, ce qui permet d'entrevoir leur standardisation.

III. *Moteurs à 3000 volts.* — Leur construction est courante pour les services auxiliaires. Les difficultés de construction augmentent en général avec ces moteurs, quand la puissance diminue. L'auteur donne les caractéristiques de deux moteurs de compresseurs de 8 kw., qui sont à peu près à la limite de construction normale.

Dans ces moteurs de traction, on peut affirmer que la limite de la tension peut être d'autant plus grande que la puissance est plus grande.

IV. *Moteurs bipolaires.* — La réduction du nombre de pôles (quatre dans les exemples précédents) à deux permettrait une nouvelle augmentation de la tension avec un seul collecteur, même en limitant la tension entre lames à 25-30 volts. On a employé aussi les moteurs bipolaires à deux collecteurs, dans lesquels la tension entre lames se réduit à 10-15 volts.

V. *Mode d'isolement.* — L'auteur étudie le mode d'isolement adopté sur les grands moteurs de traction à 1500 volts, qui montrent beaucoup d'analogie avec l'isolement des moteurs de traction triphasés. De même, il signale quelques particularités des moteurs à 3000 volts et faible puissance (10 kw).

Modalité de construction pratique. — Une bonne commutation est réalisée à l'aide des pôles de compensation. Les *flashes* au collecteur, la pratique l'a montré, ne sont jamais dus à un défaut de commutation, mais à de fausses manœuvres ou des surtensions en ligne. Pour éviter le *flash*, un bon dispositif consiste dans le rapprochement du porte-balais à la masse, l'étincelle s'amorçant alors à cette dernière, au lieu de parcourir la surface du collecteur.

Parfois, pour faciliter l'inspection, on réduit le nombre des rangées de balais de quatre à deux, bien que ceci augmente du double le diamètre du collecteur.

(A suivre)