

d'ordre constructif, de munir le compensateur d'un enroulement de stator : dans ce cas, le compensateur comporte souvent deux collecteurs, en raison des grandes intensités en jeu.

Cette construction s'emploie également avec avantage dans les cas où l'on désire se servir du compensateur d'un moteur donné pour compenser le facteur de puissance de tout un réseau ; dans ce cas, le compensateur n'a pas seulement à fournir le courant magnétisant du moteur d'induction principal, mais il doit encore débiter le courant magnétisant nécessaire aux autres moteurs raccordés au réseau.

Le compensateur de phase ne peut être appliqué lorsque la vitesse du moteur d'induction doit pouvoir varier dans de grandes limites. Il est alors intéressant de prévoir le réglage de la vitesse par le système Brown-Boveri-Scherbius, dans lequel la compensation de phase s'effectue directement par le moteur triphasé à collecteur faisant partie du système.

QUELQUES APPLICATIONS DU COMPENSATEUR DE PHASE. — Ce compensateur de phase a déjà reçu des applications pratiques très variées.

Il convient particulièrement à la compensation de gros moteurs d'induction à marche lente, par exemple pour la commande des pompes à piston, des compresseurs, des débriteuses dans les fabriques de papier et de cellulose, de trains de laminoirs, etc.

La figure 2 représente un moteur d'induction de 600 HP à 160 tours. Son facteur de puissance est ramené à l'unité par le compensateur représenté à droite sur la figure.

Dans la commande des trains de laminoirs, on doit compter avec un très mauvais facteur de puissance ; souvent celui-ci ne dépasse pas la valeur de 0,5 à cause des nombreux petits moteurs démarrant fréquemment ou faiblement chargés que comporte l'installation pour la commande des appareils de levage, des cylindres des chemins de roulement, etc. Les moteurs actionnant les trains de laminoirs eux-mêmes contribuent d'ailleurs à abaisser le facteur de puissance car ils ont en général une vitesse réduite et doivent être prévus, pour des raisons de construction, avec un grand entrefer, ce qui augmente encore le courant magnétisant. De plus, on est obligé, en considération des à-coups qui se produisent dans le service du laminage, de dimensionner très largement les moteurs qui, par suite, ne travaillent souvent qu'à une charge réduite. Il est avantageux de compenser ces moteurs et d'élever ainsi le facteur de puissance total de l'installation. Pour cette application, il est en général nécessaire, par suite des grandes intensités en jeu et de la chute de vitesse à obtenir au moteur principal, d'employer le type de compensateur à stator.

Le compensateur de phase se recommande également dans les glacières pour la commande des machines à doucir et à polir qui tournent à très basses vitesses et nécessitent des puissances de 300 HP environ pour la commande individuelle, et de 1 000 à 2 000 HP pour la commande par groupe.

Enfin le compensateur de phase est intéressant d'une manière générale dans les installations comportant un grand nombre de moteurs de faible puissance travaillant en même temps qu'un petit nombre de gros moteurs. Dans ce cas on peut surcompenser les gros moteurs pour fournir aux petits leur courant magnétisant et élever ainsi le facteur de puissance de la centrale. Il faut alors employer pour la compensation ceux des gros moteurs dont la charge varie le moins.

Les groupes convertisseurs avec moteurs synchrones des sous-stations peuvent être avantageusement remplacés par

des groupes avec moteurs asynchrones et compensateurs de phase ; cette dernière disposition, tout en conservant au facteur de puissance sa valeur « un », ce qui est le principal avantage des groupes à moteur synchrone, facilite le démarrage du groupe et supprime le danger des oscillations pendulaires et des décrochages.

Le groupe compensateur représenté par la figure 3 est particulièrement intéressant. Il fait partie d'une installation dans laquelle on s'est proposé de réduire la charge des génératrices et des canalisations par l'élévation de la tension à la centrale (de 2 700 à 3 300 volts). Comme toutefois l'élévation de la tension augmentait la consommation de courant magnétisant, le courant total n'aurait guère varié malgré la diminution du courant de travail si l'on n'avait muni quelques gros moteurs d'induction de compensateurs de phase destinés à fournir le courant magnétisant.

Le nouveau procédé de « balayage » des moteurs à gaz, qui permet d'augmenter sensiblement la puissance des moteurs existants donne lieu à une autre application intéressante du compensateur de phase. Cet accroissement de puissance des moteurs serait en effet sans utilité si on ne pouvait en même temps augmenter la capacité des génératrices correspondantes, ce qui est rendu possible par l'emploi de compensateurs de phase ; ceux-ci adjoints à de gros moteurs d'induction affranchissent les génératrices de la fourniture du courant magnétisant. Si l'on suppose par exemple que les génératrices aient été calculées lors de leur installation pour un $\cos \varphi = 0,8$, leur puissance peut être augmentée de 25 pour 100 par une compensation totale de l'installation, c'est-à-dire à $\cos \varphi = 1$.

Nous n'avons mentionné que quelques-unes des principales applications du compensateur de phase et celles qui ont déjà été sanctionnées par la pratique, mais il existe encore un très grand nombre d'autres problèmes pour lesquels le compensateur de phase constitue une solution simple, sûre et peu coûteuse (1).

ELECTROTECHNIQUE

LA COMMUTATION DANS LES MACHINES A COLLECTEURS (2)

(Suite)

IV. — Étude de la Composante Transversale de l'Induction Résultante β_r

Sur le diagramme de la figure 8, l'amplitude P'' , c'est-à-dire le coefficient de cette composante en $\sin \Omega t$, est :

$$\Omega \sin p\alpha \cos \varphi + p\omega' \cos p\alpha \sin \varphi$$

Ladite composante est en retard par rapport à $\beta_0 \cos \Omega t$; elle produit donc une f. é. m. d'induction qui sera en opposition avec $\beta_0 \cos \Omega t$, c'est-à-dire avec le courant du stator.

Menons à chaque instant une droite TT' faisant l'angle φ avec yy' (fig. 8). Projetons-y les longueurs OA = $\Omega \sin p\alpha$ et OB = $(p\omega' \cos p\alpha)$ (OB étant, pour simplifier, porté en opposition de OB' = $p\omega' \cos p\alpha$). Si, ayant construit φ_0 et

(1) Il est à rappeler que l'idée première en est déjà ancienne, et est due à Maurice Leblanc et Marius Latour, ce qui le fait désigner aujourd'hui dans les revues, mêmes étrangères (E.T.Z.) sous le nom de Leblanc-Scherbius.

(2) Voir *La Houille Blanche*, nos de Décembre 1913 et Janvier et Mars 1914.

obtenu le point M , on abaisse Bb' perpendiculaire à $\overline{a'b'}$, on aura :

$$\overline{Ob'} = p\omega' \cos p\alpha \sin \varphi$$

la composante cherchée aura pour valeur :

$$\overline{a'o} + \overline{ob'} = \overline{a'b'}$$

Ainsi la composante ($\Omega \sin p\alpha \cos \varphi + p\omega' \cos p\alpha \sin \varphi$)

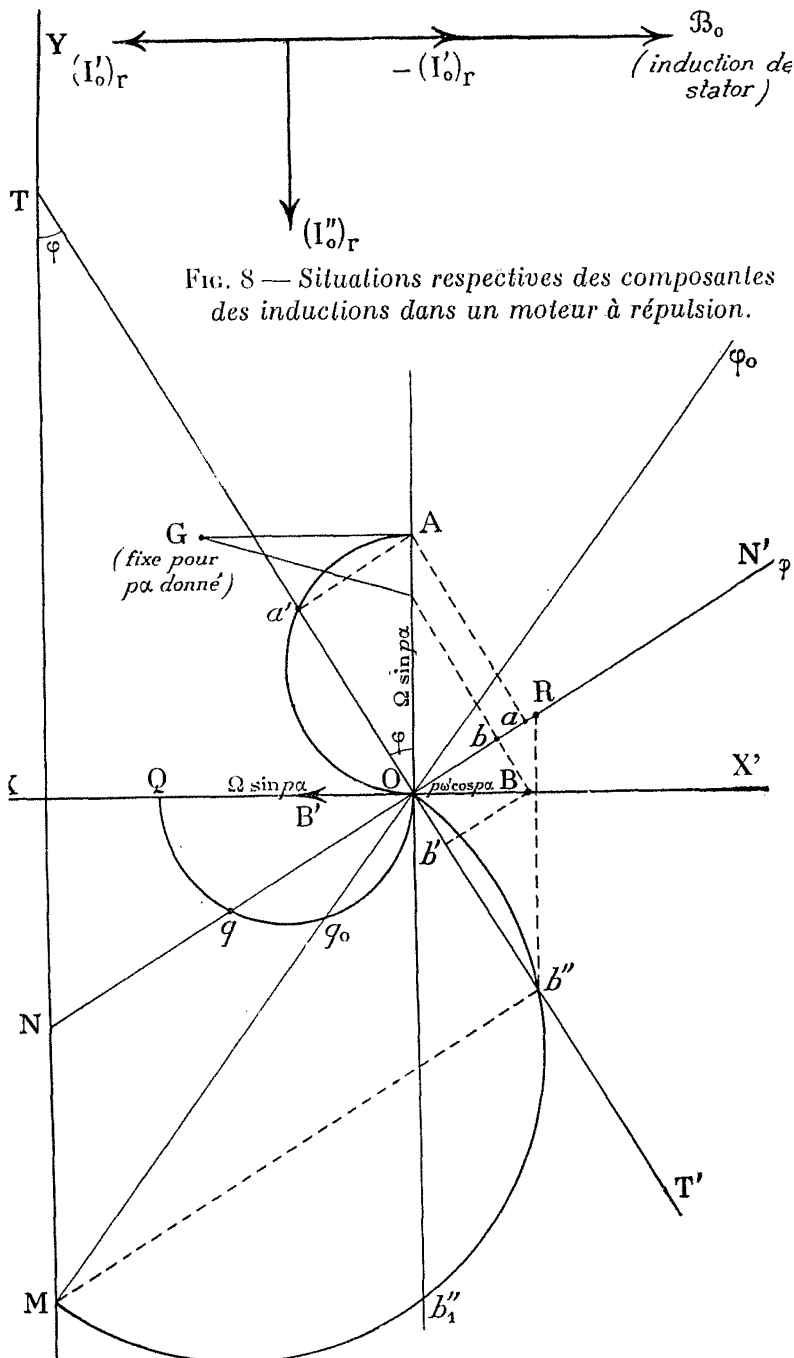


FIG. 8 — Situations respectives des composantes des inductions dans un moteur à répulsion.

$Ob'' = p\omega' \cos p\alpha \cos \varphi$
 La droite OM étant fixe (φ_0), le lieu du point b'' est un demi-cercle de diamètre OM .

Ainsi le point a' se déplace sur un demi-cercle de diamètre \overline{OA} , le point b'' sur un demi-cercle de diamètre \overline{OM} . Mais $\overline{ob''}$ vaut $p\omega' \cos p\alpha \cos \varphi$, et non $p\omega' \cos p\alpha \sin \varphi$. Cherchons la représentation d'une longueur telle que :

$$(p\omega' \cos p\alpha \cos \varphi) \operatorname{tg} \varphi = (p\omega' \cos p\alpha \sin \varphi)$$

Par le point b'' menons une parallèle $b''R$ à $\overline{yy'}$. L'intersection de cette droite avec $\overline{NN'}$ nous donne \overline{OR} , tel que :

$$\overline{OR} = \overline{Ob''} \operatorname{tg} \varphi$$

(car $\widehat{ob''R} = \varphi$ comme alterne interne avec \widehat{OTN}).

Nous aurons donc à chercher les variations de :

$$(\overline{OR} + \overline{Oq})$$

le segment \overline{Oq} étant intercepté sur un demi-cercle de diamètre.

$$\overline{OQ} = \Omega \sin p\alpha$$

La longueur \overline{qR} qui varie de $\overline{q_0R_0}$ à \overline{qR} (R_0 est d'ailleurs confondu avec O), croît d'abord, passe par un maximum, et décroît jusqu'au moment où $\varphi = 0$ (synchronisme) ; \overline{Oq} se confond alors avec OQ et il est maximum. D'autre part $\overline{ob''}$ passe en $\overline{ob''_1}$ et le point R vient en O .

On voit donc que \overline{OR} s'annule pour $\varphi = \varphi_0$ et pour $\varphi = 0$. Comme il n'est pas nul dans l'intervalle, il passe par un maximum, voisin du maximum de \overline{qR} .

Le maximum de \overline{OR} est facile à obtenir par le graphique ci-dessus. Il suffit de mener au cercle $ob''b''_1M$ une tangente parallèle $\overline{yy'}$. On obtient R_0 , tel que :

$$\overline{OR_0} = (\overline{OR})_{\max}$$

Il est donc possible, ce qui est important, de déterminer à chaque instant la valeur de la composante transversale. Remarquons que sa valeur exacte est donnée par \overline{qR} , c'est-à-dire par la projection de qR sur une parallèle à $\overline{XX'}$.

Recherche analytique du maximum de \overline{qR}

On peut déterminer ce maximum par l'analyse.

Soit :

$$\Lambda = \frac{\Omega \cos \varphi \sin p\alpha + p\omega' \sin \varphi \cos p\alpha}{Z}$$

cette composante, c'est-à-dire :

$$\Lambda = \frac{\Omega \cos \varphi \sin p\alpha + p\omega' \sin \varphi \cos p\alpha}{R} \cos \varphi$$

Nous aurons ainsi, suivant une transformation connue :

$$\Lambda = \frac{\Omega}{R} \left[\cos \varphi \sin p\alpha + \frac{\operatorname{tg} \varphi_0 - \operatorname{tg} \varphi}{\operatorname{tg} \varphi_0} \cos p\alpha \sin \varphi \right] \cos \varphi$$

ou :

$$\Lambda = \frac{\Omega}{R} \left[\frac{1 + \cos 2\varphi}{2} \sin p\alpha + \frac{\operatorname{tg} \varphi_0 - \operatorname{tg} \varphi}{\operatorname{tg} \varphi_0} \cos p\alpha \frac{\sin 2\varphi}{2} \right]$$

$$= \frac{\Omega}{2R} \left[\sin p\alpha (1 + \cos 2\varphi) + \frac{\operatorname{tg} \varphi_0 - \operatorname{tg} \varphi}{\operatorname{tg} \varphi_0} \cos p\alpha \sin 2\varphi \right]$$

Posons : $\theta = \operatorname{tg} \varphi$, il vient :

$$\Lambda = \frac{\Omega}{2R} \left[\sin p\alpha \left(1 + \frac{1 - \theta^2}{1 + \theta^2} \right) + \frac{\theta_0 - \theta}{\theta_0} \cos p\alpha \frac{2\theta}{1 + \theta^2} \right]$$

$$\Lambda = \frac{\Omega}{2R} \left[\sin p\alpha \frac{2}{1 + \theta^2} + \frac{\theta_0 - \theta}{\theta_0} \cos p\alpha \frac{2\theta}{1 + \theta^2} \right]$$

$$\Lambda = \frac{\Omega}{R} \left[\frac{\sin p\alpha + (\theta_0 - \theta) \cos p\alpha \frac{\theta}{\theta_0}}{1 + \theta^2} \right]$$

a pour valeur $\overline{a'b'}$, et a b étant la valeur de la composante symphasique, tout au moins construite suivant notre première méthode de détermination des couples.

La composante transversale ne peut donc être annulée en aucun cas avec ce sens de calage des balais.

On peut suivre sa déformation quand φ (ou ω') varie.

En effet, considérons l'angle \widehat{OTN} : il est égal à φ , par hypothèse. Nous aurons donc en projetant \overline{NM} sur la direction TO , un point b'' , tel que :

$$= \frac{\Omega}{R} \left[\frac{\sin px + \theta \cos px - \frac{\theta^2}{\theta_0} \cos px}{1 + \theta^2} \right]$$

$$\frac{d\Delta}{d\theta} = \frac{\Omega}{R} \times \left[\frac{(1 + \theta^2) \cos px \left(1 - \frac{2\theta}{\theta_0}\right)}{(1 + \theta^2)^2} - \frac{\left(\sin px + \theta \cos px - \frac{\theta^2}{\theta_0} \cos px\right) 2\theta}{(1 + \theta^2)^2} \right]$$

Le maximum cherché correspondra donc à la condition $(1 + \theta^2) \left(1 - \frac{2\theta}{\theta_0}\right) \cos px - \left(\sin px + \theta \cos px - \frac{\theta^2}{\theta_0} \cos px\right) 2\theta = 0$

ou :

$$\cos px \left(1 - \theta^2 - \frac{2\theta}{\theta_0}\right) = 2\theta \sin px$$

$$\operatorname{tg} px = \frac{1 - \theta^2 - \frac{2\theta}{\theta_0}}{2\theta} = \frac{\theta_0 - \theta_0 \theta^2 - 2\theta}{2\theta \theta_0}$$

Transformons une dernière fois cette équation :

$$\theta_0 \theta^2 + 2\theta (1 + \theta_0 \operatorname{tg} px) - \theta_0 = 0$$

ou :

$$\theta^2 + 2\theta \frac{1 + \theta_0 \operatorname{tg} px}{\theta_0} - 1 = 0$$

et en remplaçant θ par sa valeur $\operatorname{tg} \varphi$:

$$\operatorname{tg}^2 \varphi + 2 \operatorname{tg} \varphi (\operatorname{co} \operatorname{tg} \varphi_0 + \operatorname{tg} px) - 1 = 0$$

Cette équation donne deux valeurs de $\operatorname{tg} \varphi$. L'une est positive, l'autre négative. La seule acceptable ici est la racine positive, qui nous donne le maximum trouvé approximativement plus haut par un procédé graphique. Il suffit de remplacer $\operatorname{tg} \varphi$ par :

$$\left[-(\operatorname{cotg} \varphi_0 + \operatorname{tg} px) + \sqrt{(\operatorname{cotg} \varphi_0 + \operatorname{tg} px)^2 + 1} \right]$$

dans l'expression de Δ , pour obtenir Δ_{\max}

(à suivre)

L. BARBILLION,

TRACTION ÉLECTRIQUE

L'USURE ONDULATOIRE DES RAILS (1)

Par GIDANSKI,

Ingénieur du Rapid Transit System de Brooklyn

Description du phénomène tel qu'on le constate sur le réseau du « Rapid Transit System » de Brooklyn. — Théorie basée sur l'hypothèse d'un laminage et d'un refoulement à froid du métal des rails par la jante des roues, laminage favorisé par la rigidité de la plateforme sous-jacente. — L'action de jantes dures sur un rail lui-même peu dur favorise la production du phénomène.

On sait combien ce phénomène qui consiste en l'apparition sur la table de roulement des rails de légères saillies et de légers creux régulièrement alternés affecte désagréablement les réseaux de traction les mieux établis et combien son étude qui revient périodiquement à tous les congrès internationaux est d'actualité.

Certaines parties du « Rapid Transit de Brooklyn » présentent des atteintes notables de cette usure ondulatoire, plaie des réseaux urbains et dont le Métropolitain de Paris pour ne citer qu'un exemple, offre des échantillons remarquables.

La longueur des ondulations complètes relevées sur la table de roulement des rails de Brooklyn varie de 0 m. 063 à 0 m. 150, et la profondeur des creux oscille de 0,025 mm. et même moins, à 1,5 mm. valeur maxima et effectivement fort grande et probablement fort gênante.

Le phénomène de l'usure procède forcément, par suite de sa régularité de causes simples et bien définies. Il est à remarquer que les dénivellations pour un trafic déterminé ne dépassent pas une certaine limite, quel que soit le temps considéré, mais cette limite se recule et les creux s'accroissent, si le poids des charges augmente. Il est donc peu logique de procéder au meulage d'ondulations encore peu accentuées, elles ne tarderont pas à disparaître, et l'on arrive à perdre rapidement une grande quantité de métal du champignon du rail, ce qui réduira sa durée. L'auteur se trouve bien, sans attendre que les dénivellations aient atteint leur plein développement, de faire cependant le meulage quand les dépressions signalent 0,25 mm. à 0,30 mm.

L'expérience a prouvé qu'à partir de cette cote les perturbations vibratoires deviennent gênantes et préjudiciables tant à la plateforme et aux voies qu'au matériel roulant.

On a émis pour expliquer le phénomène diverses hypothèses que l'auteur range sous les huit rubriques suivantes :

- 1° Glissements latéraux dus à une oscillation de l'essieu en raison du jeu dans les plaques de garde ;
- 2° Surécartement des rails et défaut de fixité de ceux-ci ;
- 3° Application des freins ;
- 4° Différence de diamètre des roues assemblées par un même essieu ;
- 5° Indéformabilité absolue de la plateforme ;
- 6° Transgression de la limite d'élasticité du métal du champignon ;
- 7° Dureté plus considérable pour le métal des jantes que pour celui des rails ;
- 8° Laminage s'effectuant à froid du métal des rails.

C'est l'hypothèse 8, à laquelle il faut associer les facteurs indiqués en 5°, 6° et 7°, qui rend compte le mieux des perturbations.

Il est facile de se rendre compte, et l'auteur le montre par un diagramme simple, que l'action d'une jante chargée animée d'un mouvement de translation se traduit par la production d'une force oblique à la normale menée à la surface de roulement. Cette force a pour effet, car elle est considérable, et agit sur une surface très restreinte, d'y développer des tensions qui dépassent de beaucoup la limite d'élasticité du métal. Il en résulte que le métal est refoulé en forme de petite crête jusqu'à ce que la matière vigoureusement tassée et comprimée par le refoulement même prenne une dureté lui permettant de résister à la charge de la jante. Celle-ci franchit alors la partie considérée, puis retrouvant le métal ordinaire, elle y crée un nouveau creux suivi d'un refoulement, et ainsi de suite. Chaque passage concourt à cet effet, qui ne devient manifeste qu'après un nombre considérable de ces passages. La transgression de la limite d'élasticité du métal est donc la cause déterminante de l'usure ondulatoire. Avec l'emploi des jantes coniques il faut s'attendre à voir les parties de la table de roulement voisines du mentonnet plus profondément attaquées. C'est en effet ce qui se produit.

(1) D'après l'Electric Railway Journal du 27 décembre 1913.