COMMENTAIRES ET DISCUSSIONS COMMENTS AND DISCUSSIONS

Procédés d'amélioration des qualités de réglage des groupes hydro-électriques

Methods for improving the stability of hydro-power units

English synopsis, p. 767

M. ALMÉRAS a publié sous ce titre, dans le n° 1, 1949, de *la Houille Blanche*, un article présentant succinctement diverses propositions ayant pour but l'amélioration du réglage des groupes hydro-électriques. La plus intéressante de ces propositions est certainement celle qui suggère l'emploi de régulateurs tachyacclérométriques à asservissement temporaire, parce que les éléments de cette solution sont déjà connus et éprouvés. Le problème d'améliorer le réglage des turbines hydrauliques, demande une solution urgente, c'est bien ce que reflète l'abondance de la littérature récente sur ce sujet (1, 2, 3) et c'est pourquoi la proposition de M. ALMÉRAS devait, sans aucun doute, être accueillie avec beaucoup d'intérêt par les ingénieurs.

Vu l'importance de la question, nous nous permettons de signaler une petite erreur qui s'est glissée dans l'article original (4). Il en résulte pour la stabilité des valeurs critiques un peu plus grandes. A cette occasion, nous voudrions aussi démontrer qu'il est possible d'arriver aux mêmes conclusions que l'article original (4) en se basant sur d'autres suppositions que l'auteur.

Nous partons des équations de régulation fon-

damentales développées par TOLLE (5), en complétant l'équation du tachymètre par un terme exprimant l'influence de l'inertie qu'on y introduit. On peut montrer (6) que cette équation prend la forme suivante si nous considérons un régulateur idéal :

$$\delta\eta + T_n \varphi' + \varphi = 0$$

où T_n est la moitié du temps de lancer la masse d'inertie, c'est-à-dire le dosage accélérométrique, δ le coefficient de statisme du tachymètre,

$\eta = \frac{y}{y_{\max}}$ la course relative du manchon du régulateur et $\varphi = \frac{\Delta\omega}{\omega_n}$ la variation relative de la vitesse.

Les autres équations correspondent à celles de TOLLE :

l'équation du servo-moteur :

$$\mu' = \frac{\sigma}{T_s} \quad (2)$$

l'équation du tiroir de distribution :

$$\sigma = \eta - \xi \quad (3)$$

l'équation de l'asservissement temporaire en cas de réglage isodrome :

$$T_i \xi' + \xi - \beta T_i \mu' = 0 \quad (4)$$

l'équation du moteur, en tenant compte de l'inertie de l'eau, mais en négligeant son élasticité et celle de la tuyauterie :

$$\frac{1}{2} \mu_{as} T_i T_a \varphi'' + T_a \varphi' + \mu_{as} T_i \mu' - \varphi = 0 \quad (5)$$

Dans ces expressions, nous appelons μ la course relative du servo-moteur, σ la course relative du tiroir de distribution, ξ la course du point d'asservissement, β le coefficient de statisme temporaire, T_s le temps de fermeture de la turbine, T_i le temps de relaxation du dash-pot d'asservissement, T_l le temps caractéristique de la conduite, T_a le temps de lancer le groupe à couple constant. La valeur μ_{as} est supposée égale à 1.

Ce que nous voulons trouver, ce sont les conditions de stabilité. Il s'agit donc de petits mouvements seulement, ce qui nous permet de poser σ égal à zéro parce que les courses du tiroir de distribution sont très courtes. Tant que ce tiroir est d'un diamètre assez grand et que la limitation du temps de fermeture (pour assurer la sécurité de la machine) est obtenue au moyen d'un diaphragme dans la tuyauterie menant au servo-moteur, la recherche de la stabilité pourra, à bon droit, se baser sur cette supposition. En effet, tant que la vitesse du servo-moteur dépend du mouvement du tiroir, sa course est petite et, pour une plus grande course, la vitesse du servo-moteur sera constante. Mais dans cette circonstance, la stabilité peut toujours être obtenue en augmentant simplement le temps de fermeture, opération qui justifie l'hypothèse d'une petite course du tiroir dans la région où la vitesse du servo-moteur est proportionnelle à sa course.

Cette supposition faite, les quatre premières équations nous fournissent :

$$T_i \frac{T_n}{\delta} \varphi'' + (T_i + T_n) \frac{\varphi'}{\delta} + \frac{\varphi}{\delta} + \beta T_i \mu' = 0. \quad (6)$$

et, en liaison avec 5, l'équation caractéristique :

$$\begin{aligned} w^3 \left(\frac{1}{2} T_l \delta T_a \beta T_i - T_i T_n T_l \right) \\ + w^2 [\delta T_a \beta T_i + T_i T_n - (T_i + T_n) T_l] \\ + w (T_i + T_n \times T_l) + 1 = 0 \end{aligned} \quad (7)$$

d'où résultent les conditions de stabilité suivantes :

$$\delta T_a \beta T_i > 2 T_n T_i \quad (8)$$

$$\delta T_a \beta T_i > (T_i + T_n) T_l - T_i T_n \quad (9)$$

$$T_i + T_n > T_l \quad (10)$$

$$\delta T_a \beta T_i > \frac{\left(\frac{T_n}{T_i} + 1 \right) \left(\frac{T_i}{T_l} - 1 - \frac{T_n T_i}{T_l^2} + \frac{T_n}{T_l} \right)}{\frac{T_n}{T_i} + 1 - \frac{3}{2} \frac{T_i}{T_l}} T_l^2 \quad (11)$$

Les conditions 8.9.10. sont nécessaires pour que tous les coefficients de 7. aient le même signe, tandis que la condition 11. est une conséquence de $c_1 c_2 - c_0 c_3 > 0$, condition qui doit être remplie par les équations du type

$$c_0 w^3 + c_1 w^2 + c_2 w + c_3 = 0.$$

En posant $T_n = T_i$, ce qui paraît le plus favorable, les conditions ci-dessus prennent la forme :

$$\delta T_a \beta T_i > T_l^2 \cdot 2 \left(\frac{T_i}{T_l} \right)^2 \quad (12)$$

$$\delta T_a \beta T_i > T_l^2 \cdot \frac{T_i}{T_l} \left(2 - \frac{T_i}{T_l} \right) \quad (13)$$

$$\frac{T_i}{T_l} > \frac{1}{2} \quad (14)$$

$$\delta T_a \beta T_i > T_l^2 \cdot \frac{2 \left(2 \frac{T_i}{T_l} - 1 - \frac{T_i^2}{T_l^2} \right)}{2 - 3/2 \frac{T_i}{T_l}} \quad (15)$$

Alors les coefficients ' k ' par lesquels T_l^2 doit être multiplié pour obtenir le deuxième membre de ces inégalités, peuvent être représentés graphiquement en fonction de T_i/T_l , comme l'indique la figure 1. Dans ce diagramme, la courbe 1 est valable pour la condition 12., la courbe 2 pour 13., 3 pour 14., et 4 pour 15.

En tout cas, il convient de remarquer que l'inégalité 15 n'est correcte que pour les valeurs positives du dénominateur. Si ce dernier s'avère négatif, c'est que nous avons divisé l'inégalité 15 par une valeur négative. Il faut donc changer son sens et écrire :

$$\delta T_a \beta T_i < k T_l^2 \quad (*)$$

Alors, si l'on se rapporte à la figure 1, et compte tenu de 12, 13, 14, la valeur ' k ' doit se

(*) L'article original n'envisage pas ce cas.

FIG. 1.

trouver dans l'aire hachurée. Si l'on tient compte de 15, tant que $T_i/T_l < 3/4$, cette valeur doit se trouver sous la courbe 4, mais pour $T_i/T_l > 3/4$ elle doit se trouver au-dessus d'elle, c'est-à-dire dans la région à hachures croisées.

Il est donc impossible d'obtenir la stabilité dans le cas $T_i = 2/3 \times T_l$, parce que c'est justement là le point d'intersection des courbes 1 et 4. Il faut que T_i soit plus grand que $2/3 T_l$, même beaucoup plus grand, afin que les valeurs ' k ' ne se trouvent pas trop serrées entre les deux courbes respectives. Aussi semble-t-il convenable de choisir la valeur $T_i/T_l = 3/4$, ce qui se traduit par le fait que ' k ' est seulement déterminée par la courbe 1, puisque, dans ce cas, la courbe 4 prend la valeur $\pm \infty$, autrement dit l'inégalité 15 est toujours vérifiée quand on satisfait à la condition 12.

Ceci est correct pour toutes les valeurs de T_i/T_l qui dépassent $3/4$. Avec $T_i/T_l = 3/4$, de la condition 12, il résulte :

$$\varepsilon T_a \beta T_i \geq \frac{9}{8} T_l^2$$

Nous pouvons donc dire, avec un certain degré de sécurité, que les conditions de stabilité sont :

$$\frac{T_i}{T_l} = \frac{3}{4}, \quad \varepsilon T_a \beta T_i \geq \frac{9}{8} T_l^2$$

En comparant ce critère avec la condition jusqu'ici employée :

$$\varepsilon T_a \beta T_l > 3,74 T_l^2$$

on voit que, par rapport à un régulateur normal, le gain n'est pas 4,2, mais seulement $\frac{3,74}{1,12} = 3,33$. D'ailleurs, cette valeur est encore très favorable et, à notre avis, le mode de réglage proposé aidera pour un certain temps les ingénieurs à surmonter les difficultés auxquelles le réglage des turbines hydrauliques se heurte par suite des progrès réalisés pour les turbines mêmes.

MIROSLAV NECHLEBA, Doc. Ing. Dr.,
Brno, Tchécoslovaquie.

BIBLIOGRAPHIE

- (1) ALMERAS. — Procédés d'amélioration des qualités de réglage... *La Houille Blanche*, 1949.
- (2) STEIN. — Einfluss von Selbstregelung und Abklingzeit auf den Materialaufwand von Wasserturbinen. *Escher-Wyss Mitteilungen*, 1946-47.
- (3) GADEN. — Considérations sur le problème de la stabilité. *La Concorde*, Lausanne, 1945.
- (4) DEJOU. — Considérations sur les régulateurs des groupes générateurs hydroélectriques de basse chute. *Revue générale de l'Electricité*, 1948.
- (5) TOLLE. — Regelung der Kraftmaschinen. *Springer*, Berlin, 1920.
- (6) NECHLEBA. — Inerční síly u regulátoru indirektních. *Strojnický Obzor*, 1938.