Zeitschrift: Bulletin technique de la Suisse romande

Band: 84 (1958)

Heft: 13

Artikel: Aperçus sur une étude théorique générale du réglage de la fréquence et de la puissance d'échange des réseaux d'énergie électrique

Autor: Favez, B.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-63496

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 13.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

84e année Lausanne, 21 juin 1958 N° 13

BULLETIN TECHNIQUE DE LA SUISSE ROMANDE

paraissant tous les 15 jours

ORGANE OFFICIEL
de la Société suisse des ingénieurs et des architectes
de la Société vaudoise des ingénieurs et des architectes (S.V.I.A.)
de la Section genevoise de la S.I.A.
de l'Association des anciens élèves de l'E.P.U.L. (Ecole polytechnique de l'Université de Lausanne)
et des Groupes romands des anciens élèves de l'E.P.F. (Ecole polytechnique fédérale de Zurich)

COMITÉ DE PATRONAGE
Président: J. Calame, ing. à Genève
Vice-président: † G. Epitaux, arch. à Lausanne
Membres:
Fribourg: H. Gicot, ing.; M. Waeber, arch.
Genève: Cl. Grosgurin, arch.; E. Martin, arch.
Neuchâtel: J. Béguin, arch.; R. Guye, ing.
Valais: G. de Kalbermatten, ing.; D. Burgener, arch.
Vaud: A. Chevalley, ing; A. Gardel, ing.; E. d'Okolski, arch.; Ch. Thévenaz, arch.

CONSEIL D'ADMINISTRATION
de la Société anonyme du « Bulletin technique »
Président: A. Stucky, ing.
Membres: M. Bridel; R. Neeser, ing.; P. Waltenspuhl, arch.
Adresse: Ch. de Roseneck 6, Lausanne

RÉDACTION
D. Bonnard, ing.
Rédaction et Edition de la S. A. du « Bulletin technique »
Tirés à part, renseignements
Adresse: Case Chauderon 475, Lausanne

ABONNEMENTS

1 an	Suisse	Fr. 26.—	Etranger. .	Fr. 30.—
Sociétaires . . .	»	» 22.—	» . .	» 27.—
Prix du numéro . . .	»	» 1.60		

Chèques postaux: « Bulletin technique de la Suisse romande », N° II. 57 75, Lausanne.
Adresser toutes communications concernant abonnement, changements d'adresse, expédition, etc., à: Imprimerie La Concorde, Terreaux 29, Lausanne

ANNONCES
Tarif des annonces:

1/1 page.	Fr. 275.—
1/2 »	» 140.—
1/4 »	» 70.—
1/8 »	» 35.—

Adresse: Annonces Suisses S. A.
Place Bel-Air 2. Tél. (021) 22 33 26. Lausanne et succursales

SOMMAIRE

Aperçus sur une étude théorique générale du réglage de la fréquence et de la puissance d'échange des réseaux d'énergie électrique, par B. Favez, ingénieur à la Direction des études et recherches de l'Electricité de France.
Divers : De quelques expériences dans l'exécution des revêtements de routes.
Société vaudoise des ingénieurs et des architectes. — Documentation générale — Documentation du bâtiment.

APERÇUS SUR UNE ÉTUDE THÉORIQUE GÉNÉRALE

DU RÉGLAGE DE LA FRÉQUENCE ET DE LA PUISSANCE D'ÉCHANGE DES RÉSEAUX D'ÉNERGIE ÉLECTRIQUE [1]

par B. FAVEZ, ingénieur à la Direction des études et recherches de l'Electricité de France

I. Introduction

Les questions relatives au réglage de la fréquence et de la puissance d'échange des réseaux d'énergie électrique ont déjà fait l'objet de nombreuses études et communications très complètes. En particulier, M. François Cahen a, dans un mémoire dernièrement couronné au concours de la Fondation Georges Montefiore, défini exactement le problème et analysé les différentes solutions envisageables [1]. Il n'est donc pas question ici d'exposer à nouveau en détail les buts de ce réglage mais plutôt de donner quelques aperçus sur les méthodes employées au cours d'une étude théorique générale du réglage, dans laquelle on s'est efforcé de tenir compte de tous les principaux paramètres intervenant dans les circuits de réglage.

Cette étude, effectuée par la Direction des études et recherches de l'Electricité de France, a porté sur différents types de réglage mais, pour des raisons que nous indiquerons ultérieurement, nous nous intéresserons ici uniquement au réglage dit *puissance-phase-énergie*.

On se propose donc tout d'abord de décrire succinctement le circuit de réglage, puis d'en montrer la mise en équation, enfin de préciser les divers modes d'études de la qualité du réglage qui ont été envisagés.

II. Description succincte des circuits de réglage

Les machines productrices d'énergie sont en général munies de régulateur de vitesse individuel de caractère statique. Il en résulte que sous la seule action de ces régulateurs, toute variation de consommation dans les réseaux par rapport à la valeur programme entraîne à la fois une variation de fréquence et une variation de la puissance d'échange entre réseaux interconnectés.

Il est possible d'envisager une importante réduction des statismes des différents régulateurs afin que les variations de fréquence dues aux variations de charge restent très faibles et acceptables par les utilisateurs. Cette solution nécessite l'emploi de régulateurs de turbine extrêmement fidèles, sinon l'affichage d'un très

[1] Communication présentée le 5 septembre 1957 à Zurich aux 2es Journées d'information de l'Association suisse pour l'Automatique.

faible statisme risque d'occasionner des glissements de charge entre groupes. D'autre part, si l'on considère deux réseaux interconnectés, la réduction du statisme de chacun de ces réseaux ne diminuera absolument pas les fluctuations de puissance sur les liaisons d'interconnexion. Lorsque la puissance de ces réseaux est élevée, l'importance du réglage de la puissance d'échange devient prépondérante devant l'importance du réglage de la fréquence.

Pour ces raisons, difficultés de réalisation pratique de régulateurs très fidèles, réglage de la puissance d'échange, il est nécessaire de superposer au réglage effectué par les régulateurs de turbine, habituellement désigné sous le nom de réglage primaire, un réglage centralisé : le réglage secondaire.

Nous porterons aujourd'hui notre attention sur la solution du réglage puissance-phase-énergie. En effet, ce type de réglage est maintenant très largement adopté et sa supériorité sur les autres types de réglage réside dans les facilités qu'il présente de mise sous contrôle d'un très grand nombre de machines. L'augmentation du nombre de machines participant au réglage permet en effet de réduire l'effort de réglage de chacune d'elles, d'où une possibilité d'amélioration de la qualité du réglage en en augmentant la rapidité, une meilleure répartition des puissances à l'intérieur d'un réseau qui reste toujours voisine de la répartition programme choisie par les exploitants, enfin un fonctionnement des machines à une puissance toujours proche de la puissance programme. Ces deux dernières possibilités conduisant à un meilleur rendement de l'ensemble de la production et du transport.

Ceci étant, on se contentera ici de faire une description succincte des dispositifs employés dans le réglage puissance-phase-énergie, renvoyant pour plus de détails aux articles déjà parus traitant de cette question [2-3].

Une installation de réglage du type puissance-phase-énergie comprend deux sortes d'équipement bien distinctes :

— d'une part, des organes centralisés qui élaborent les ordres de réglage à partir d'information sur l'écart de fréquence et l'écart de puissance d'interconnexion et qui transmettent ces ordres aux usines en réglage ;
— d'autre part, des dispositifs individuels pour chaque machine en réglage assurant l'exécution des ordres émis par les organes centralisés.

Les organes du premier type comprennent, comme on peut le voir sur la *figure 1* :

— un dispositif A élaborant l'écart de réglage ΔE, qui est une combinaison linéaire de l'écart de fréquence Δf et de l'écart de puissance d'interconnexion ΔP_I ;
— un dispositif B élaborant le paramètre de réglage $\Delta\psi$, qui est une combinaison linéaire de l'écart de réglage et de son intégrale par rapport au temps.

La valeur du paramètre de réglage est transmise à toutes les machines réglantes par des liaisons de télécommunications.

Dans les usines, chaque groupe est muni d'un dispositif individuel d'asservissement de la puissance électrique fournie à la valeur du paramètre de réglage. Le schéma de principe de la chaîne de réglage de chaque unité est indiqué sur la *figure 2*.

On voit sur cette figure que la valeur du paramètre de réglage $\Delta\psi$, affectée d'un certain coefficient K_1 est comparé à la différence entre la puissance P_r fournie

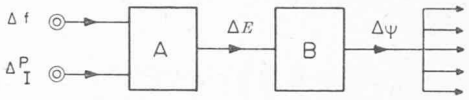

Fig. 1. — Elaboration des ordres de réglage.

A : Régulateur central
B : Baie de réglage
$\Delta E = \Delta f + \Delta P_I/\lambda$ écart de réglage
$\Delta\psi = \left(\beta + \frac{\alpha}{p}\right)\left(\Delta f + \frac{\Delta P_I}{\lambda}\right)$ paramètre de réglage

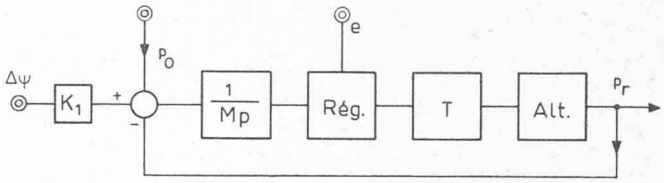

Fig. 2. — Schéma bloc d'un groupe.

Rég. Régulateur
T Turbine
Alt. Alternateur
K_1 Taux de participation
$\Delta\psi$ Paramètre de réglage
p_0 Puissance de programme
e Ecart de fréquence détecté par le tachymètre du groupe (réglage primaire)
p_r Puissance électrique

effectivement par le groupe et la puissance programme P_0. Le résultat de cette comparaison est appliqué à un intégrateur, généralement constitué par le moteur de changement de vitesse des régulateurs de turbine.

Ainsi les deux grandeurs d'entrée du régulateur sont : l'écart de fréquence détecté par le tachymètre individuel du groupe (réglage primaire) et la position du variateur de vitesse qui est l'intégrale par rapport au temps de la comparaison définie ci-dessus (réglage secondaire).

Le régulateur suivant les ordres appliqués à l'entrée modifie la valeur du couple moteur de la turbine, d'où il résulte une modification de la puissance électrique aux bornes de l'alternateur.

Pour se rendre compte du fonctionnement de ce système de réglage, on peut noter qu'en régime établi, l'écart de réglage est nul et qu'alors la valeur du paramètre de réglage est constante. Dans ces conditions, la puissance fournie par chacune des machines réglantes s'écarte de sa valeur-programme d'une quantité proportionnelle à la valeur du paramètre de réglage. Le coefficient de proportionnalité dont on affecte le paramètre de réglage à l'entrée du dispositif individuel de chaque groupe fixe la part relative des machines à l'effort de réglage. En effet, la grandeur d'entrée du dispositif intégrateur de chaque machine est nulle en régime établi, c'est-à-dire que l'équation ci-dessous est vérifiée :

$$K_1 \Delta\psi = P_0 - P_r,$$

expression dans laquelle P_0 est la puissance programme et P_r la puissance effectivement fournie par le groupe.

Il apparaît ainsi que ce procédé de réglage permet d'assurer la répartition des charges entre machines sans nécessiter l'emploi de liaison en retour, comme c'est par exemple le cas pour les systèmes de réglage comportant un dispositif répartiteur de charges (potentiomètres doubles).

III. Mise en équation — Définition des paramètres caractéristiques

Il a déjà été indiqué que la mise en réglage d'un grand nombre de machines permettait d'améliorer la qualité du réglage en en augmentant la rapidité d'action. En effet, puisque la variation de puissance de chaque machine reste faible, une augmentation de la rapidité n'entraîne pas de fatigue importante des éléments de réglage des turbines. Mais on se rend bien compte qu'une augmentation de la rapidité d'action ne permettra plus, pour l'étude du réglage, de considérer, comme on le faisait habituellement, une séparation nette dans le temps des actions des réglages primaire et secondaire. On a donc été conduit, pour l'étude qui nous intéresse aujourd'hui, à effectuer la mise en équation du système de réglage en tenant compte en particulier des temps de réponse des régulateurs des turbines.

Il est possible d'effectuer une mise en équation très complète du comportement des réseaux en tenant compte des différents types de machines qui alimentent ces réseaux et également du fait qu'une partie seulement des machines d'un réseau sont soumises au réglage secondaire, l'autre partie étant seulement en réglage primaire. On montre en effet que dans le cas du réglage puissance-phase-énergie, la proportion de machines en réglage a une influence sur la qualité du réglage, ce qui n'est pas le cas pour les systèmes de réglage qui ne comprennent pas d'asservissement de la puissance des groupes à un ordre intégral.

Cette mise en équation conduit toutefois à des expressions complexes, et dans le cadre réduit de cet exposé, on se contentera d'envisager le cas de deux réseaux alimentés par des groupes de même nature qu'on supposera tous participant au réglage secondaire. Ceci étant, on fait les hypothèses suivantes :

1. A tout instant, le rapport entre la vitesse de rotation et la vitesse nominale des machines est le même pour toutes les machines des deux réseaux.
2. On néglige l'influence des liaisons électriques entre les différents groupes et par conséquent l'influence des variations de tension qui peuvent provenir d'une modification de la répartition des puissances entre les machines.
3. Les paramètres caractéristiques, en valeurs réduites rapportées à la puissance nominale de chaque groupe, des régulateurs des groupes de même nature, sont identiques.

L'adoption de ces hypothèses ne semble pas réduire beaucoup la généralité des résultats obtenus.

Ceci étant, on considère deux réseaux de puissance respective P_A et P_B et soit P_I la puissance d'échange entre ces réseaux *(fig. 3)*. Pour procéder à la mise en équation du système, on utilisera les grandeurs réduites, les valeurs de base étant la fréquence nominale f_0 et la puissance totale $P = P_A + P_B$ des deux réseaux.

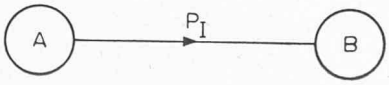

Fig. 3. — Schéma de la mise en parallèle des réseaux A et B.

On note $N_A = \frac{P_A}{P}$ et $N_B = \frac{P_B}{P}$ les rapports respectifs des puissances des réseaux A et B à la puissance totale des deux réseaux.

On se rend compte qu'étant donné les hypothèses faites, l'ensemble des machines alimentant chaque réseau se comportera comme une seule machine, puisqu'on suppose que leurs vitesses de rotation sont rigoureusement semblables, que leurs régulateurs sont identiques et qu'elles sont soumises à l'action du même organe central de réglage secondaire.

Dans ces conditions, les équations qui régissent le fonctionnement de la chaîne de réglage sont les suivantes :

A. *Equation des masses tournantes*

Puisque toutes les machines ont, en valeurs réduites, la même vitesse de rotation, la variation de fréquence Δf de l'ensemble des deux réseaux est provoquée par la différence entre la somme des couples moteurs et la somme des couples résistants appliqués sur les arbres des générateurs.

On montre aisément [4] que l'ensemble d'un réseau est caractérisé par la valeur de son temps de lancer, T_A et T_B, qui est égale au quotient du double de l'énergie cinétique emmagasinée dans les masses tournantes de ce réseau (A ou B) par la puissance de ce réseau, et par la valeur du coefficient d'autoréglage global γ_A ou γ_B, différence entre le coefficient d'autoréglage de la charge (α_{RA} ou α_{RB}) et le coefficient d'autoréglage des turbines (α_{MA} ou α_{MB}).

L'équation des masses tournantes s'écrit alors en valeurs réduites rapportées à la puissance totale $P = P_A + P_B$, et en utilisant la notation symbolique (p = opérateur) :

$$(1) \qquad \left[(N_A T_A + N_B T_B)\, p + N_B \gamma_A + N_B \gamma_B\right] \Delta f = \Delta C_m - \Delta C_r$$

équation dans laquelle ΔC_m est la variation du couple moteur de l'ensemble des turbines et ΔC_r la variation du couple résistant à vitesse constante.

B. *Variation du couple résistant à vitesse constante* ΔC_r

La somme des couples résistants varie en fonction de la puissance consommée dans les réseaux. Puisqu'on fait intervenir le coefficient d'autoréglage de la charge dans l'expression du coefficient γ, la variation de la somme des couples résistants qui intervient dans l'équation 1 est égale à la variation de la puissance consommée dans les réseaux à fréquence constante égale à la fréquence de référence.

On note $\Delta\pi_A$ et $\Delta\pi_B$ les variations respectives des puissances dans les réseaux A et B, d'où :

$$(2) \qquad \boxed{\Delta C_r = \Delta\pi_A + \Delta\pi_B}$$

C. *Variation de la somme des couples moteurs des turbines*

La variation du couple moteur des turbines est fonction des ordres appliqués à l'entrée du régulateur de vitesse.

La variation de couple total ΔC_m est égale à la somme des variations de couple ΔC_m^A et ΔC_m^B des réseaux A et B, soit :

$$\Delta C_m = \Delta C_m^A + \Delta C_m^B.$$

Nous avons supposé que toutes les machines des deux réseaux participent au réglage secondaire, et nous avons indiqué que dans le cas envisagé l'ensemble des machines d'un réseau se comporte comme une machine unique.

Nous allons maintenant rechercher la loi de variation du couple moteur de la machine équivalente du réseau A en fonction des grandeurs d'entrée qui sont l'écart de fréquence et l'écart de la puissance d'interconnexion. On sait que les paramètres caractéristiques des régulateurs de turbine exprimés en valeurs relatives rapportées à la puissance de chaque turbine ont été supposées identiques, c'est pourquoi on va considérer la variation du couple δC_m^A du réseau A rapportée à la puissance de ce réseau. Il en résulte que δC_m^A est égal à :

$$\delta C_m^A = \frac{\Delta C_m^A}{N_A}.$$

Ceci étant, les ordres appliqués à l'entrée du régulateur de la turbine équivalente du réseau A sont une combinaison des ordres provenant du tachymètre du groupe et des ordres du réglage secondaire, caractérisé le plus souvent par la position du variateur de vitesse.

On note δl le déplacement du variateur, en choisissant pour la mesure de δl une valeur de référence telle qu'un déplacement δl égal à 1 % ait la même action sur le régulateur qu'un écart de fréquence détecté par le tachymètre du groupe de 1 %. Dans ce cas, le comportement de la machine est traduit par une expression de la forme

$$\delta C_m^A = F_A(\Delta f + \delta l). \tag{3}$$

F_A est la fonction de transfert du régulateur. Plus précisément, on peut dire qu'en général, pour les turbines thermiques, F_A est de la forme

$$F_A = \frac{1}{\tau p + \delta} \tag{4}$$

expression dans laquelle τ est le temps caractéristique de la promptitude,
δ est le statisme permanent.

Pour une turbine hydraulique à asservissement temporaire et permanent, F_A est de la forme

$$F_A = \frac{1 + T_r \rho}{\tau' T_r' p^2 + [\tau' + (\delta + \sigma) T_r] p + \delta} \tag{5}$$

où

- T_r est le temps de relaxation du dash pot ;
- σ est le statisme temporaire ;
- δ est le statisme permanent ;
- τ' est le temps caractéristique de la promptitude du servomoteur.

Il s'agit maintenant d'expliciter, dans le cas du réglage puissance-phase-énergie, l'expression du déplacement du variateur δl. Pour ce faire, on pourra se rapporter à la description faite au paragraphe II, ainsi qu'aux *figures 1* et *2*.

Le déplacement du variateur est l'intégrale par rapport au temps de la comparaison entre le paramètre de réglage et l'écart de puissance fournie par le groupe soit :

$$\delta l = \frac{1}{mp}\left[\left(\frac{K_A'}{p} + K_A''\right)\left(\Delta f + \frac{\Delta P_I}{\lambda_A}\right) + \delta P_A\right]. \tag{6}$$

Dans cette expression, le terme $\left(\Delta f + \frac{\Delta P_I}{\lambda_A}\right)\left(\frac{K_A'}{p} + K_A''\right)$ est la valeur du paramètre de réglage affecté du coefficient de proportionnalité K_1 ;

δP_A est l'écart de puissance des machines du réseau A exprimé en valeur relative rapporté à la puissance de ce réseau, soit :

$$\delta P_A = \frac{P_{RA} - P_{OA}}{P_{OA}}$$

P_{RA} étant la puissance effectivement produite par les machines du réseau A ; P_{OA} étant la puissance programme des machines du réseau A.

Le paramètre m caractérise la vitesse d'intégration du moteur d'entraînement du variateur de vitesse.

En reportant l'expression δl donnée par la formule (6) dans la formule (3), il vient :

$$\delta C_m^A = F_A\left[\Delta f + \frac{1}{mp}\left[\left(\frac{K_A'}{p} + K_A''\right)\left(\Delta f + \frac{\Delta P_I}{\lambda_A}\right) + \delta P_A\right]\right] \tag{7}$$

mais δP_A, variation de la puissance électrique débitée par les machines du réseau A, peut s'exprimer en fonction de l'écart de couple δC_m^A et de l'écart de fréquence Δf.

En effet :

$$\delta P_A = \delta C_r^A + \Delta f + \alpha_r \Delta f \tag{8}$$

et l'équation des masses tournantes appliquée au réseau A s'écrit :

$$(T_A p + \alpha_{rA} - \alpha_{mA})\,\Delta f = \delta C_m^A - \delta C_r^A \tag{9}$$

d'où en combinant (8) et (9)

$$\delta P_A = \delta C_m^A - T_A p \Delta f + (1 + \alpha m_A)\,\Delta f \tag{10}$$

d'où l'expression finale de δC_m^A

$$\delta C_m^A = \frac{F_A}{1 - \frac{F_A}{mp}} \left[\Delta f\left(1 - \frac{T_A}{m}\right) + \frac{1 + \alpha_{mA}}{mp}\Delta f + \frac{1}{mp}\left(\frac{K_A'}{p} + K_A''\right)\left(\Delta f + \frac{\Delta P_r}{\lambda_A}\right)\right]. \tag{11}$$

La fonction de transfert F_A peut se mettre sous la forme :

$$F_A = \frac{1}{\delta} F_A'$$

δ étant la valeur du statisme permanent.

La formule (11) s'écrit alors :

$$\delta C_m^A = \frac{F_A'}{1 - \frac{F_A'}{Mp}} \left[\Delta f\left(\frac{1}{\delta} - \frac{T_A}{M}\right) + \frac{1 + \alpha_{mA}}{Mp}\Delta f + \frac{1}{Mp}\left(\frac{K_A'}{p} + K_A''\right)\left(\Delta f + \frac{\Delta P_I}{\lambda_A}\right)\right] \tag{12}$$

en posant $M = m\delta$.

Le paramètre M, homogène à un temps, est appelé temps caractéristique du réglage secondaire.

De même, la variation de couple moteur du réseau B rapportée au couple nominal de ce réseau s'écrit :

$$\delta C_m^B = \frac{F_B'}{1 - \frac{F_B'}{Mp}} \left[\Delta f\left(\frac{1}{\delta} - \frac{T_B}{M}\right) + \frac{1 + \alpha_{mB}}{Mp}\Delta f + \frac{1}{Mp}\left(\frac{K_B'}{p} + K_B''\right)\left(\Delta f + \frac{\Delta P_I}{\lambda_B}\right)\right]. \tag{13}$$

En reportant les expressions dans l'équation il vient :

$$(14) \qquad \Delta C_m = N_A \, \delta C_m^A + N_B \, \delta C_m^B$$

soit :

$$(15) \qquad \Delta C_m = \frac{F'_A}{1 - \frac{F'_A}{Mp}} \left[\Delta f \left(\frac{N_B}{\delta} - \frac{T_A N_A}{M} \right) + \right.$$

$$\left. + \frac{N_A (1+\alpha_{mA})}{Mp} \Delta f + \frac{1}{Mp} \left(\frac{N_A \alpha_A}{p} + N_A \beta_A \right) \left(\Delta f + \frac{\Delta P_I}{\lambda_A} \right) \right] +$$

$$+ \frac{F'_B}{1 - \frac{F'_B}{Mp}} \left[\Delta f \left(\frac{N_B}{\delta} - \frac{T_B N_B}{M} \right) + \frac{N_B (1 + \alpha_{mB})}{Mp} \Delta f + \right.$$

$$\left. + \frac{1}{Mp} \left(\frac{N_B \alpha_B}{p} + N_B \beta_B \right) \left(\Delta f - \frac{\Delta P_I}{\lambda_B} \right) \right]$$

En posant $\alpha_A = N_A K'_A \qquad \beta_A = N_A K''_A$

$\alpha_B = N_B K'_B \qquad \beta_B = N_B K''_B$

D. *Expression analytique de la puissance d'échange* ΔP_I

Si l'on note $\Delta\pi_A$ et $\Delta\pi_B$ les variations respectives de consommation de réseaux A et B, on peut écrire en comptant positivement la puissance d'interconnexion quand elle circule du réseau A vers le réseau B.

Variation de la puissance d'interconnexion :

Variation de la puissance fournie dans le réseau A — Variation de la consommation dans le réseau A.

soit :

$$(16) \quad \Delta P_I = \Delta C_{mA} - \left[N_A T_A p \Delta f + (1 + \alpha_m) N \Delta f \right] - \left[\Delta\pi_A + N_A (\alpha_r + 1) \Delta f \right]$$

$$(17) \quad \Delta P_I = \Delta C_{mA} - \Delta\pi_A - \left[N_A T_A p + N_A \gamma_A \right] \Delta f$$

ou encore

$$(18) \quad \Delta P_I = - \Delta C_{mB} + \Delta\pi_B + \left[N_B T_B \rho + N_B \gamma_B \right] \Delta f$$

Dans ces conditions, l'écart de réglage est respectivement :

réseau A : $\Delta f + \frac{\Delta P_I}{\lambda_A}$

réseau B : $\Delta f - \frac{\Delta P_I}{\lambda_B}$.

Le comportement de l'ensemble du système de réglage est parfaitement défini par le système des quatre équations (1), (2), (15) et (17).

Un certain nombre de grandeurs caractéristiques interviennent dans ces équations dont nous nous proposons maintenant de préciser la nature. Nous porterons d'ailleurs uniquement notre attention sur les paramètres caractéristiques du réglage secondaire, les autres étant bien connus.

Energie réglante de réglage λ_A *et* λ_B

L'énergie réglante de réglage intervient dans l'élaboration de l'écart de réglage $\Delta E_A = \Delta f + \frac{\Delta P_I}{\lambda_A}$ ou $\Delta E_B = \Delta f - \frac{\Delta P_I}{\lambda_B}$.

En valeur réelle, λ_A et λ_B s'expriment en mégawatts par hertz.

Pente de réglage α_A et α_B

La valeur de la pente de réglage d'un réseau caractérise la précision de réglage de l'intégrale de l'écart de réglage

$$\left(\Delta f + \frac{\Delta P_I}{\lambda_A} \right) \quad \text{ou} \quad \left(\Delta f - \frac{\Delta P_I}{\lambda_B} \right).$$

En effet, à la suite d'une variation de la consommation dans un des deux réseaux, l'action du réglage secondaire a pour effet de faire varier la production des machines du réseau où s'est produite la perturbation d'une quantité égale à la variation de consommation quand le nouveau régime stable est atteint.

La variation du couple moteur (ΔC_m^A ou ΔC_m^B) du réseau où s'est produite la perturbation ($\Delta\pi_A$ ou $\Delta\pi_B$) est égale à cette perturbation,

soit $\Delta C_m^A = \Delta\pi_A$ ou $\Delta C_m^B = \Delta\pi_B$.

L'application du théorème aux limites du calcul symbolique à la formule (15) permet d'écrire qu'en régime établi $\Delta f = 0$, $\Delta P_I = 0$ la variation de couple d'un réseau est égale à :

$$\Delta C_m^A = \alpha_A \cdot \int_0^t \left(\Delta f + \frac{\Delta P_I}{\lambda_A} \right) dt = \alpha_A \cdot \Delta\psi_A$$

$$\Delta C_m^B = \alpha_B \cdot \int_0^t \left(\Delta f - \frac{\Delta P_I}{\lambda_B} \right) dt = \alpha_B \cdot \Delta\psi_B.$$

On voit donc qu'une certaine variation de consommation entraînera une variation de l'intégrale de l'écart de réglage d'autant plus faible que la pente de réglage du réseau en cause sera plus élevée.

La pente de réglage s'exprime en valeur réelle en mégawatts par tour.

Coefficient de stabilisation β_A *et* β_B

Le réglage puissance-phase-énergie réalise un contrôle intégral de l'écart de réglage, c'est-à-dire que la variation de couple moteur est proportionnelle à l'intégrale de l'écart.

La présence du terme β_A ou β_B superpose à ce réglage intégral un réglage proportionnel de l'écart qui a pour effet si les valeurs de β_A ou β_B sont judicieusement choisies de stabiliser le réglage.

En valeur réelle le coefficient de stabilisation s'exprime en mégawatts par hertz.

Temps caractéristique du réglage secondaire M

La valeur du temps caractéristique du réglage secondaire M conditionne la rapidité d'exécution des ordres du réglage secondaire.

Si on supprime dans le dispositif d'asservissement individuel de chaque groupe la chaîne de contre-réaction de la puissance électrique, et si la valeur du paramètre de réglage appliquée à l'entrée du dispositif correspond à une variation de charge de P_{MW}, le variateur de vitesse se déplacera à une vitesse correspondant à une prise de charge de P_{MW} en M secondes. Ainsi, pour une certaine valeur du paramètre de réglage, le déplacement du variateur de vitesse sera d'autant plus rapide que le temps M sera plus faible.

La valeur de M est fixée par les caractéristiques du moteur du variateur et du statisme permanent du groupe.

Nous venons d'indiquer la mise en équation d'un système de réglage puissance-phase-énergie dans le cas simple où toutes les machines des deux réseaux sont de même nature et où elles participent toutes au réglage secondaire. La mise en équation dans un cas quelconque est encore possible puisqu'il suffit alors pour obtenir l'expression de la variation de la somme des couples moteurs d'ajouter les variations de couple de chaque type de machine, variations qui s'obtiennent sans difficultés particulières.

Mais la forme assez complexe de ces équations obtenues dans le cas simple envisagé permet de se rendre compte qu'il n'est pas possible d'espérer tirer quelques enseignements de l'étude analytique du problème dans un cas plus compliqué. Il sera donc nécessaire dans la plupart des cas d'avoir recours à d'autres procédés d'études que nous allons maintenant envisager.

IV. Méthodes d'étude de la qualité du réglage

Avant toute chose il semble nécessaire de définir les critères de qualité applicable au réglage de la fréquence et de la puissance d'échange entre réseaux.

Il s'agit en effet dans une étude de ce genre de définir les caractéristiques optimales à donner aux équipements de réglage à partir d'études sur le comportement transitoire du système, alors que dans la pratique ce système aura à maîtriser les répercussions de variations aléatoires de charge. Ce problème n'est pas nouveau et il se pose lors de l'étude de tout système asservi.

En service normal la qualité du réglage ne peut être définie que statistiquement.

Les travaux relatifs à la définition de la qualité d'un système asservi ont conduit à retenir comme facteur de qualité la valeur de l'erreur quadratique moyenne

$$\sqrt{\bar{\varepsilon}^2} \text{ avec } \bar{\varepsilon}^2 = \lim_{T \to \infty} \frac{1}{2T} \int_{-T}^{+T} \varepsilon^2 \, dt$$

chaque fois que l'erreur est d'autant plus nuisible que son amplitude est plus grande et que la gêne causée par une erreur ne dépend pas du moment où elle se produit.

Il semble bien que ces conditions sont applicables au réglage de la fréquence et de la puissance d'échange de réseaux d'énergie électrique et que la qualité du réglage sera d'autant meilleure en marche normale que l'écart type de fréquence $\sqrt{\overline{\Delta f^2}}$ et l'écart type de puissance d'interconnexion $\sqrt{\overline{\Delta P_I^2}}$ sera plus faible.

On pourra d'ailleurs, suivant l'importance des réseaux considérés et des liaisons entre ces réseaux, donner plus d'importance à la valeur de l'écart type de fréquence ou à la valeur de l'écart type de puissance d'interconnexion.

On sait, en effet, que l'écart type des variations aléatoires de charge sur des réseaux varie sensiblement, inversement proportionnellement à la racine carrée de la puissance de ce réseau [5]. Il en résulte que l'écart type de fréquence pour un comportement semblable des organes de réglage sera d'autant plus faible que le réseau sera plus puissant. En définitive, pour des réseaux très puissants, le réglage de la puissance d'interconnexion entre ces réseaux sera le problème prépondérant.

Dans ce cas, on devra s'attacher à définir la valeur des paramètres caractéristiques du réglage des deux réseaux, de façon à minimiser la valeur de l'erreur quadratique moyenne de la puissance d'interconnexion.

D'une façon générale, on sait que l'écart type de la grandeur de sortie d'un système linéaire dont la grandeur d'entrée est aléatoire se calcule à partir du spectre de fréquence de la grandeur aléatoire d'entrée $A(\nu)$ et de la réponse harmonique $g(\nu)$ du système linéaire qui caractérise le comportement de ce système en régime sinusoïdal.

On a $$\varepsilon^2 = \int_0^\infty A(\nu) g^2(\nu) \, d\nu.$$

Cette méthode a déjà été développée dans le domaine du réglage des réseaux par M. Daniel Gaden dans le cas du réglage de la fréquence d'un réseau isolé [6]. Dans ce cas, la grandeur d'entrée du système linéaire est la variation de consommation du réseau, la grandeur de sortie étant la fréquence.

Ces mêmes considérations, appliquées au cas du réglage de la puissance d'interconnexion entre deux réseaux A et B, permettent d'écrire que l'erreur quadratique moyenne $\sqrt{\overline{\Delta P_I^2}}$ sera déterminée par la connaissance de la densité spectrale des variations des puissances $A_A(\nu)$ et $A_B(\nu)$ dans les deux réseaux et par la caractéristique harmonique de la chaîne de réglage.

Si l'on admet, et ceci semble justifié, qu'il n'y a pas de corrélation entre les variations aléatoires de charge dans chacun des réseaux et si l'on note $g_A(\nu) = \dfrac{\Delta P_r}{\Delta \Pi_A}$ et $g_B(\nu) = \dfrac{\Delta P_r}{\Delta \Pi_B}$ les caractéristiques harmoniques reliant la variation de puissance d'interconnexion à une variation de puissance consommée respectivement dans le réseau A et dans le réseau B, on a

$$\overline{\Delta P_I^2} = \int_0^\infty A_A(\nu) \, g_A^2(\nu) \, d\nu + \int_0^\infty A_B(\nu) \, g_B^2(\nu) \, d\nu.$$

Les densités spectrales $A_A(\nu)$ et $A_B(\nu)$ sont des caractéristiques de chacun des réseaux. Il semble, d'après la nature de ces variations de charge et d'après certains essais déjà effectués (en particulier sur le réseau de Lausanne), que la fonction $A(\nu)$ est de la forme [7]

$$A(\nu) = \frac{a^2}{b^2 + \nu^2}.$$

Le critère de qualité étant admis, il s'agit de rechercher une méthode d'étude des dispositifs de réglage qui permette d'évaluer leur qualité selon ce critère.

D'après ce qui vient d'être dit, on serait donc amené à rechercher la forme des réponses harmoniques $g_A(\nu)$ et $g_B(\nu)$ respectivement égale aux fonctions de transfert

$$g_A(\nu) = \left| \frac{\Delta P_r}{\Delta \Pi_A} \right| \quad \text{et} \quad g_B(\nu) = \left| \frac{\Delta P_r}{\Delta \Pi_B} \right|$$

en rappelant que $\Delta \Pi_A$ et $\Delta \Pi_B$ sont des variations de puissance consommée dans les réseaux A et B.

Il semble utile de préciser ce qui précède à l'aide de certains cas simples.

Considérons tout d'abord le cas où aucune machine n'est en réglage secondaire ni dans un réseau ni dans l'autre.

Supposons d'autre part que le réglage primaire soit infiniment rapide. On sait [8] que dans ce cas les fonctions de transfert sont de la forme :

$$g_A(\nu) = \frac{\dfrac{P_B}{S_B}}{\dfrac{P_A}{S_A} + \dfrac{P_B}{S_B}} \qquad \text{et} \qquad g_B(\nu) = \frac{\dfrac{P_A}{S_A}}{\dfrac{P_A}{S_A} + \dfrac{P_B}{S_B}}$$

P_A, P_B étant les puissances nominales des réseaux A et B ;
S_A, S_B les statismes de ces réseaux.

La formule (19) devient alors

$$\overline{\Delta P_I^2} = g_A^2(\nu) \int_0^\infty A_A(\nu)\, d\nu + g_B^2(\nu) \int_0^\infty A_B(\nu)\, d\nu$$

mais les expressions $\int_0^\infty A_A(\nu)\, d\nu$ et $\int_0^\infty A_B(\nu)\, d\nu$ sont respectivement les carrés de l'écart type des variations de puissance (ou fluctuations) dans ces deux réseaux. On a déjà dit qu'on pouvait considérer que ces écarts types étaient proportionnels à la racine carrée de la puissance de ce réseau, soit respectivement pour les valeurs des fluctuations $m^2 P_A$ et $m^2 P_B$, d'où après réduction

$$\sqrt{\overline{\Delta P_I^2}} = m\sqrt{P_A P_B}\, \frac{\sqrt{P_A + P_B \dfrac{S_A^2}{S_B^2}}}{P_A + P_B \dfrac{S_A}{S_B}} \cdot$$

On voit que, dans ce cas, seul le rapport des statismes des deux réseaux intervient dans la valeur de l'écart type de variation de puissance.

L'étude de cette fonction permet de conclure que le minimum de l'erreur quadratique moyenne sera obtenu lorsque les statismes des deux réseaux seront égaux, quelle que soit la valeur absolue de ces statismes.

Un autre cas simple, où le calcul est encore possible, est celui où deux réseaux identiques sont soumis au réglage puissance-phase-énergie et où les hypothèses faites au paragraphe précédent pour effectuer la mise en équation sont appliquables.

On considérera le cas où les deux réseaux sont alimentés par des machines thermiques (ce qui conditionne la forme de la fonction de transfert F des régulateurs primaires) et où les valeurs des paramètres caractéristiques du réglage secondaire sont les mêmes pour les deux réseaux soit :

$$\alpha_A = \alpha_B = \alpha \qquad \beta_A = \beta_B = \beta \qquad \lambda_A = \lambda_B = \lambda.$$

Dans ce cas on peut obtenir, à partir des équations (1), (2), (15) et (17), l'expression analytique de la fontion de transfert $\dfrac{\Delta P_I}{\Delta \Pi_A} = \dfrac{\Delta P_I}{\Delta \Pi_B}$, soit :

$$(19) \qquad \frac{\Delta P_I}{\Delta \Pi_A} = \frac{1}{2}\, \frac{1}{1 + \dfrac{(\alpha + \beta_p)}{M \dfrac{\mathcal{T}}{\delta} p^2 + Mp + 1} \cdot \dfrac{1}{\lambda p}} \cdot$$

Il est facile de tracer la caractéristique harmonique $g(\nu)$ pour différentes valeurs des paramètres à l'aide de méthodes graphiques largement développées dans l'étude des systèmes asservis (utilisation des diagrammes de Bode et de l'abaque de Black).

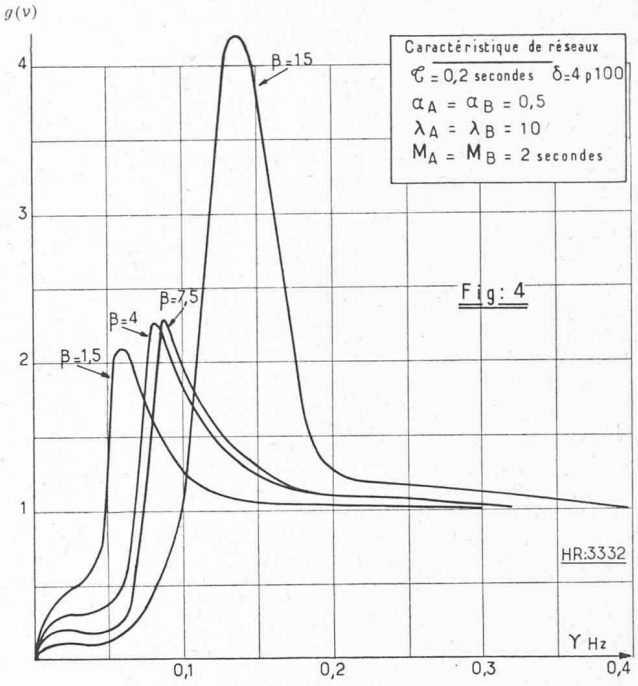

Fig. 4. — Exemple de caractéristiques harmoniques $\dfrac{\Delta P_I}{\Delta \Pi_A}$.

Pour fixer les idées, on a tracé sur la *figure 4* les caractéristiques harmoniques $g(\nu)$ relatives à certaines valeurs des paramètres $\alpha\beta$ et λ. Plus précisément, on trouve sur la *figure 4* quatre courbes correspondant à quatre valeurs du paramètre β, les paramètres α et λ étant constants. On voit sur ces courbes qu'une augmentation de β entraîne un accroissement de la fréquence de résonance et également une augmentation de la valeur maximale du gain $\left| \dfrac{\Delta P_I}{\Delta \Pi_A} \right|$.

Pour pouvoir choisir entre ces quatre valeurs du coefficient de stabilisation β celle qui conduit à la plus petite valeur de l'écart type de puissance d'interconnexion, il est nécessaire de connaître la fonction $A(\nu)$ caractéristique des variations aléatoires de charge dans les réseaux.

On a déjà indiqué que la fonction $A(\nu)$ était sensiblement de la forme :

$$A(\nu) = \frac{a^2}{b^2 + \nu^2} \cdot$$

D'après les essais effectués par la Commission d'études pour le réglage des grands réseaux électriques de l'A.S.E., la fonction $A(\nu)$ est pratiquement de la forme $A(\nu) = \dfrac{a^2}{\nu^2}$ pour les valeurs de la fréquence ν supérieure à : 0,015 cycle/seconde.

On a donc tracé sur la *figure 5* les spectres des variations aléatoires de puissance d'interconnexion pour les fréquences supérieures à 0,015 cycle/seconde, soit les fonctions $A_P(\nu) = \dfrac{1}{\nu^2} \cdot g^2(\nu)$ * et ceci pour les quatre

* *Nota :* Pour les valeurs de la fréquence inférieure à 0,015 Hz si la densité spectrale de variation de charge variait encore en raison inverse du carré de la fréquence, la densité spectrale de variation de puissance d'interconnexion demeurerait constante.

En fait comme la fonction $A(\nu)$ est de la forme $\dfrac{a^2}{b^2 + \nu^2}$ cette densité tend vers une valeur constante pour une fréquence nulle, il

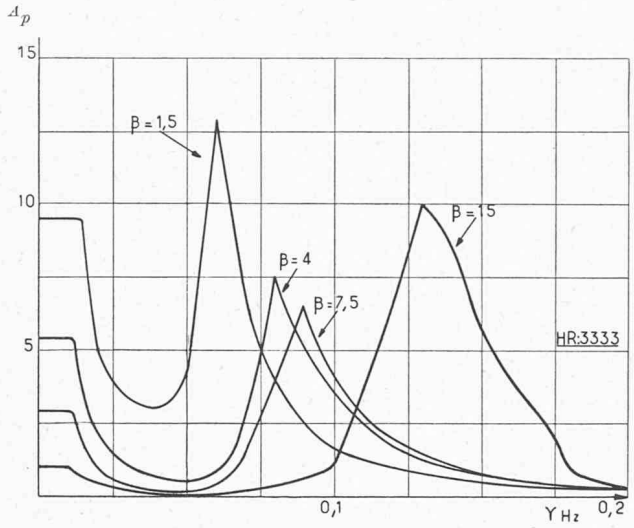

Fig. 5. — Spectre des variations aléatoires de la puissance d'échange.

valeurs du coefficient de stabilisation envisagées précédemment.

L'examen de ces courbes montre que dans le cas considéré, il y a intérêt à adopter une valeur du coefficient de stabilisation β voisine de 7,5. Cette valeur en effet minimise la valeur de l'écart type de puissance d'interconnexion (caractérisée par l'aire comprise entre la courbe et les deux axes de coordonnées), comme on peut le voir dans le tableau ci-dessous.

Valeur de β	1,5	4	7,5	15
$k.\sqrt{\overline{\Delta P_I^2}}$	1,93	1,28	1	1,52

On vient d'indiquer le procédé d'étude qui paraît le plus fructueux quand l'étude analytique est possible.

Nous devons maintenant porter notre attention sur les méthodes d'études utilisables lorsque l'étude analytique est pratiquement impossible, c'est-à-dire comme on l'a indiqué à la fin du paragraphe III, lorsque dans le cas du réglage puissance-phase-énergie toutes les machines des réseaux ne sont pas de nature identique et ne sont pas toutes en réglage secondaire.

On peut encore essayer d'utiliser les méthodes graphiques de l'analyse harmonique. Il est en effet possible d'obtenir les fonctions de transfert caractéristiques de la variation de couple des machines de nature différente par addition des fonctions de transfert relatives à chacun des types de machines. Toutefois ce procédé conduit à des opérations assez longues et rapidement compliquées si l'on ne fait aucune hypothèse simplificatrice sur les valeurs respectives des paramètres caractéristiques du réglage des deux réseaux.

C'est pourquoi, dans le cas le plus général, l'emploi d'un calculateur analogique paraît de beaucoup préférable. Il est en effet possible à l'aide de cet auxiliaire de traiter le problème dans toute sa généralité, la seule limite étant fixée par le nombre des éléments de calculs disponibles.

Les équations utilisées pour l'affichage du problème sur les calculateurs sont celles indiquées au paragraphe III.

Pour fixer les idées, le schéma de mise en machine relatif au cas de deux réseaux comprenant à la fois les machines hydrauliques et thermiques, dont certaines sont en réglage primaire seulement et d'autres en réglage primaire et secondaire, nécessite l'emploi d'environ trente amplificateurs fonctionnels.

Une fois le problème affiché sur le calculateur il est possible soit de procéder au relevé expérimental des caractéristiques harmoniques $\frac{\Delta P_I}{\Delta \Pi_A}$ et $\frac{\Delta P_I}{\Delta \Pi_B}$, soit d'étudier la réponse transitoire du système.

Le relevé expérimental de la caractéristique harmonique fournit directement des éléments permettant de définir les valeurs optimales des paramètres du réglage au sens statistique adopté. Toutefois cette opération s'avère assez longue, malgré la possibilité de modifier l'échelle des temps lors de l'affichage du problème sur le calculateur.

C'est pourquoi il a paru judicieux, pour l'étude effectuée sur le calculateur analogique de la Direction des études et recherches de l'Electricité de France, d'entreprendre tout d'abord l'étude des régimes transitoires. Un très grand nombre de cas ont ainsi été examinés, permettant de fixer les valeurs limites des paramètres caractéristiques du réglage.

Pour cette étude, le critère de qualité retenu a été la valeur de l'écart quadratique de la puissance d'interconnexion consécutivement à l'application d'un échelon de consommation successivement dans chacun des deux réseaux.

Cette étude a permis de se rendre compte de l'influence sur la qualité de la réponse transitoire de la valeur des différents paramètres de réglage et ainsi de choisir les valeurs de ces paramètres pour lesquels le relevé de la caractéristique harmonique présentait le plus grand intérêt.

On sait en effet les relations étroites qui existent entre la forme des réponses transitoires et harmoniques ; le choix des cas les plus intéressants se révèle assez facile.

Enfin, à un autre point de vue, il est bon d'indiquer que l'utilisation d'un calculateur analogique permet de faire intervenir dans les dispositifs de réglage certains éléments non linéaires, en particulier des dispositifs à impulsion tels qu'on en rencontre dans les installations réelles. L'étude de la réponse transitoire avec ou sans ces dispositifs donne des informations très précises sur les caractéristiques à donner à ces éléments pour qu'ils ne viennent pas perturber le réglage.

En résumé, on peut dire que lorsque la mise en équations conduit à des expressions simples (cas de réseaux de nature identique où toutes les machines sont soumises au réglage secondaire) l'emploi des méthodes graphiques de l'analyse harmonique permet de définir les valeurs optimales à donner aux paramètres caractéristiques du réglage.

en est donc de même de la densité spectrale de la variation de puissance d'interconnexion. Il y a donc là une imprécision sur les valeurs de l'écart type de la puissance d'interconnexion. On doit remarquer toutefois que dans le cas considéré, cette imprécision n'est pas gênante parce que l'aire relative aux fréquences inférieures à 0,015 Hz est faible devant l'aire totale qui caractérise la valeur de l'écart type.

Par contre, dès que le problème se complique (réseaux alimentés par des machines de nature différente, toutes les machines n'étant pas en réglage secondaire, sans que les valeurs des paramètres des deux réseaux répondent à certaines relations d'homogénéité), l'emploi d'un auxiliaire de calcul s'avère indispensable. Dans ce cas, l'utilisation d'un calculateur analogique est très fructueuse.

V. Conclusions

Après avoir décrit succinctement les circuits de réglage du type puissance-phase-énergie, on a posé les équations qui régissent le fonctionnement de ces circuits en indiquant que la résolution analytique de ces équations n'était susceptible de fournir des informations intéressantes que si certaines hypothèses simplificatrices sur la nature des réseaux étudiés étaient admises. Dans le cas contraire, une étude sur calculateur analogique s'avère indispensable.

Le but de l'étude entreprise était de définir les valeurs des paramètres caractéristiques du réglage, à savoir pente de réglage, énergie réglante de réglage, coefficient de stabilisation, temps caractéristiques du réglage secondaire, qui assurent le meilleur réglage. En exploitation, la qualité du réglage ne peut être définie que statistiquement, et on a choisi de considérer la valeur de l'écart type des variations de fréquence et de l'écart type des variations de la puissance d'interconnexion. On a alors indiqué comment l'étude décrite permet de choisir les valeurs des paramètres caractéristiques du réglage qui minimisent ces écarts types, si l'on connaît les caractéristiques aléatoires des variations de charge dans les réseaux.

Il est bon de préciser, pour finir, qu'en exploitation normale il n'est pas certain que ces valeurs optimales pourront être adoptées. En effet, une amélioration de la qualité du réglage n'est en définitive obtenue que par un travail plus intensif des machines en réglage. Il sera donc peut-être nécessaire d'établir un compromis entre la recherche d'une bonne qualité du réglage et le souci d'éviter une fatigue trop grande de ces machines.

Il est bien évident que cette fatigue sera d'autant plus faible, pour une même qualité de réglage, que le nombre de machines soumises au réglage secondaire sera plus élevé.

Il en résulte qu'on pourra pratiquement s'approcher d'autant plus de la qualité optimale théorique d'un type de réglage que le mode de réalisation de ce type de réglage permettra de faire participer au réglage un plus grand nombre de machines. Les avantages dans ce domaine du réglage puissance-phase-énergie sont particulièrement nets.

BIBLIOGRAPHIE

[1] F. Cahen : *Le réglage automatique des grands réseaux par l'accroissement des puissances des centrales à l'écart de phase.* Bulletin scientifique de l'A.I.M., nº 1, janvier 1957.

[2] F. Cahen et A. Chevallier : *Le réglage puissance-phase. Nouvelle méthode pour le réglage automatique de la fréquence d'un réseau comportant de multiples usines génératrices.* Bulletin S.F.E., octobre 1953.

[3] F. Cahen et A. Chevallier : *Le réglage automatique de la fréquence dans les grands réseaux : le réglage intégral.* C.I.C.R.E. — Rapport nº 339, session de 1954.

[4] F. Cahen, R. Robert et B. Favez : *La détermination expérimentale du temps de lancer d'un réseau de production et de distribution d'énergie électrique.* R.G.E., octobre 1956.

[5] G. Lehmann : *Calcul du spectre des fluctuations du courant absorbé par un réseau de distribution électrique.* Bulletin S.F.E., nº 34, octobre 1953.
R. Fortet : *Spectre des fluctuations de courant absorbé par un réseau de distribution électrique.* Bulletin S.F.E., nº 47, novembre 1954.

[6] D. Gaden : *Considérations sur la précision du réglage.* Bulletin S.F.E., nº 16, avril 1952.

[7] D. Gaden : *Essai d'un procédé pour caractériser la clientèle d'un réseau selon la variabilité de sa consommation.* Bulletin de l'Association suisse des électriciens, nº 2, année 1955.

[8] A. Chevallier, M. Holleville et P. Passerieux : *Etude et prédétermination des fluctuations de puissance sur une liaison d'interconnexion de deux réseaux.* Bulletin S.F.E., nº 43, juillet 1954.

DIVERS

De quelques expériences dans l'exécution des revêtements de routes

Au moment où beaucoup de journaux publient des articles sur la nécessité de moderniser notre réseau routier, j'ai pensé qu'il était peut-être bon, dans l'intérêt général, de commenter quelques expériences d'un spécialiste, non pas tant au point de vue des résultats scientifiques, mais plutôt au point de vue, non moins important, des relations entre personnes travaillant à cette modernisation.

Il y a quelques années, les relations entre représentants du maître de l'œuvre et entrepreneurs étaient des plus cordiales et relevaient d'une estime réciproque où chacun consacrait le meilleur de lui-même pour l'obtention de ce but final : un travail exécuté selon les règles de l'art. Les difficultés inhérentes à tous les travaux étaient discutées en cours d'exécution et faisaient l'objet de compromis où chacune des parties prenait ses responsabilités.

Avec l'augmentation du nombre des chantiers et la rapidité de l'exécution mécanisée des travaux, il est beaucoup plus difficile aux représentants du maître de l'œuvre de suivre les chantiers et de pouvoir tranquillement prendre les décisions indispensables au fur et à mesure de l'avancement des travaux. De plus, l'accroissement énorme du trafic, tant au point de vue du poids des véhicules que de leur vitesse, a modifié complètement les données habituelles de la construction des routes. Les cahiers des charges de nos administrations n'ont pas suivi cette même évolution. Nos ingénieurs de l'administration, surchargés par les études et les chantiers en cours, ne disposant pas d'un personnel technique capable de les seconder, ni de normes correspondant aux sollicitations actuelles, sont souvent mis devant le fait accompli, sur des chantiers où l'entrepreneur est lui, obligé d'aller de l'avant et manque et de plans et de directives. Lorsque le travail ne donne pas satisfaction, ou bien lorsqu'il donne lieu à des dépassements de crédit, les relations humaines deviennent tendues et le conflit est à la porte. Ce n'est un secret pour personne que le conflit et la suspicion ne favorisent pas un travail bien fait. Il y a quelques