Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke

Band: 43 (1952)

Heft: 13

Artikel: Travaux abordés par la Commission d'étude pour le réglage des grand réseaux et programme pour les travaux et essais ultérieurs

Autor: Gaden, D.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-1059162

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: 14.12.2025

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

weisen. Die Reihenfolge der Werke entspricht der Statistik der Elektrizitätswerke der Schweiz; rechts sind die industriellen und Bahn-Unternehmungen.

Warum sind diese Frequenz-Grenzen einzuhalten? lautete die zweite Frage; *wegen gewisser Konsumenten? wegen des Parallelbetriebes?* Fast die Hälfte der antwortenden Werke bejahten beide Fragen; in dem grössern Teil der übrigen Antworten wurde der Parallelbetrieb als Grund genannt. Ein grosses Werk (BKW) stellte wegen des Parallelbetriebes hohe Anforderungen an die Frequenz-Abweichung: höchstens $\pm$ 0,1 Hz — und bemerkte dazu, dass damit auch die Anforderungen der Industrie erfüllt seien. Die Ansprüche der Industrie gingen sehr weit auseinander; ausserordentlich bescheiden war ein Drahtwerk, das mit einer Frequenz von 50 $\pm$ 5 Hz zufrieden war. Gewisse Spinnereien, Zwirnereien, Webereien und Papierfabriken verlangten $\pm$ 0,1 Hz; andere Spinnereien und Zwirnereien, die weniger feine Produkte herstellten, begnügten sich mit $\pm$ 1 Hz. Für Pumpen und Kompressoren wurde $\pm$ 0,25 Hz und $\pm$ 0,5 Hz verlangt. Für kurzzeitige Frequenzabweichungen wurden im allgemeinen grössere Werte zugelassen, aber mit dem Wunsch, dass sie selten vorkämen. Von der Textilindustrie und der Papierindustrie wurde auf die Schädlichkeit rascher Frequenzänderungen hingewiesen.

Ungefähr die Hälfte der antwortenden Werke wünschten, dass mit Rücksicht auf die Synchronuhren und die Tarifumschaltuhren $\int f \, dt$ bestimmte Bedingungen erfülle; gegenüber den Konsumenten hatte aber kein Werk Verpflichtungen übernommen, die mit dem Gang der Synchronuhren zusammenhingen. Die meisten antwortenden Werke hielten einen Fehler der Synchronuhren gegenüber der genauen Zeit von ungefähr 1 min als zulässig; einige wollten ein paar Minuten, andere weniger als eine Minute zulassen.

Die meisten antwortenden Werke wirkten nie oder nur selten an der Frequenzhaltung mit. Auf die Frage, ob die Mitwirkung an der Frequenzhaltung Konzessionen an die Wirtschaftlichkeit des Kraftwerkbetriebes bedingten, antworteten ungefähr gleichviel Werke ja wie nein.

Fig. 6 gibt zum Überblick einen Auszug aus den Antworten betreffend die Ansprüche an die Frequenz. Diese Darstellung umfasst nur die Antworten der Elektrizitätswerke und industriellen Unternehmungen mit mehr als 10 MW Leistung. Die Abszissen sind ein Mass der Leistung dieser Werke; die Ordinaten sind die nach Grösse geordneten, von den Werken zahlenmässig angegebenen Grenzwerte der Werktagsfrequenzen.

Die anspruchvollsten Werke waren das EW Basel, die BKW und Elektra Birseck. Die Frequenz sollte innerhalb 50 $\pm$ 0,1 Hz liegen. Die Ansprüche der EOS und der BKW unterscheiden sich nicht so sehr wie es hier scheint, weil die EOS beifügte, dass die Regulierung in einem Band von $\pm$ 0,1 Hz erfolgen sollte. Dieses Band sollte innerhalb der Grenzen $\pm$ 0,5 Hz liegen. Ich will Ihnen nur die Ergebnisse der Umfrage mitteilen und kann auch heute keinen Wert angeben, den die St. K. Reg. als richtig erachtete. Ich darf Sie aber daran erinnern, dass das «Comité d'Etudes des Interconnections Internationales» der UNIPEDE anstrebt, Frequenzabweichungen innerhalb $\pm$ 0,1 Hz einzuhalten.

Schlussbemerkungen

Ich habe versucht, einen Überblick über die Umfrage der St. K. Reg. zu geben. Wenn ich Ihnen auch viele Einzelheiten mitteilte, konnte ich trotzdem kein genaues Bild der Ergebnisse der Rundfrage geben; es wurde durch die nötigen Kürzungen vielleicht in manchen Punkten verzerrt. Ich wies wiederholt auf Punkte hin, in denen die Antworten auf die Umfrage zeigten, dass Messungen an Netzen nötig sind.

Am Anfang des Referates sprach ich von der Zeit und Mühe, die in der ganzen Schweiz für die Beantwortung der Umfrage aufgewendet worden ist. Nun hoffe ich, dass Sie zum letzten Bild (Fig. 7)

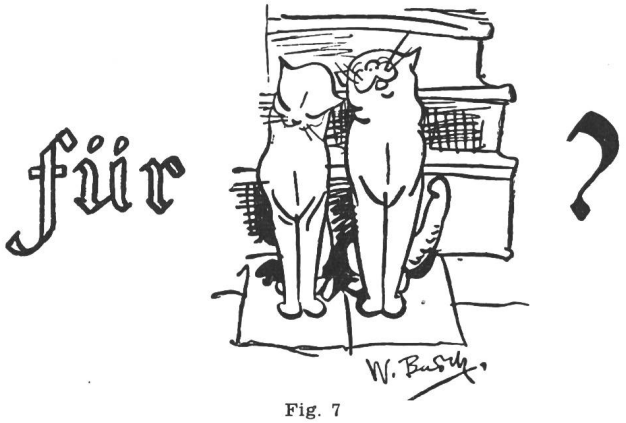

Fig. 7

«Nein» sagen.

Adresse des Autors:
Dr. *H. Oertli*, Ingenieur der Bernischen Kraftwerke A.-G., Viktoriaplatz 2, Bern.

Travaux abordés par la Commission d'Etude pour le Réglage des Grands Réseaux et programme pour les travaux et essais ultérieurs

Conférence présentée à l'Assemblée de discussion consacrée à la régulation des grands réseaux, organisée par l'ASE le 3 avril 1952 à Lausanne,

par *D. Gaden*, Genève

621.316.72 : 621.311.161

L'auteur donne un résumé des travaux abordés par la Commission et expose au moins partiellement son programme ultérieur, en particulier celui des essais à entreprendre. Il termine par quelques propositions personnelles concernant la façon dont devront être interprétés, en vue de leur utilisation, les résultats des relevés qui seront effectués pour juger de l'évolution dans le temps de la charge consommée par la clientèle d'un réseau.

Der Verfasser gibt eine Zusammenfassung über die von der Kommission ausgeführten Arbeiten und legt das zukünftige Arbeitsprogramm insbesondere der geplanten Versuche dar. Er schliesst mit persönlichen Überlegungen über die Art und Weise, wie die registrierten Resultate, die zur Beurteilung des zeitlichen Verlaufes der von einem Netz abgegebenen Leistung nötig sind, ausgewertet werden sollen.

Il m'est échu le périlleux honneur de vous brosser le tableau de l'activité que la Commission d'Etude pour le Réglage des Grands Réseaux a eue depuis ses débuts et de vous présenter une esquisse du programme de ses travaux et essais ultérieurs. J'ai dit «périlleux» parce que c'est plus particulièrement de mon exposé que vous serez tentés de déduire si, à vos yeux, notre Commission a bien travaillé ou non, si elle mérite d'être appuyée par vos encouragements moraux et matériels et si elle vous paraît engagée dans la bonne voie.

Or, notre Commission n'ayant encore rien publié, vous vous imaginez peut-être qu'elle n'a pas beaucoup œuvré, depuis le temps qu'elle existe, et que bien probablement les résultats qu'elle a obtenus doivent être maigres puisque encore inconnus du public intéressé. Si jamais une telle impression vous avait effleurés — car après tout c'est moi qui peut-être indûment vous l'attribue — je souhaite que vous voudrez bien, ce soir, en reconnaître le mal fondé. J'espère que malgré la brièveté des indications que je puis vous donner dans le temps qui m'est imparti, leur effet s'ajoutant surtout à celui des autres conférences de ce jour, vous serez convaincus des efforts de notre Commission et de leur importance.

C'est en avril 1947, il y a donc maintenant cinq ans, que la Commission d'Etude pour le Réglage des Grands Réseaux, fondée par l'Association Suisse des Electriciens, a tenu sa première séance, sous la présidence de Monsieur le Professeur Juillard, notre Président actuel. Elle s'est réunie jusqu'à ce jour douze fois au total, ce qui n'est évidemment pas beaucoup, mais ce qui s'explique.

Notre Commission comporte comme vous le savez, des représentants des Sociétés de production d'énergie électrique: les Exploitants, puis des Sociétés de construction de matériel d'équipement: Constructeurs électriciens et Constructeurs mécaniciens. Toutes ces Sociétés ont bien voulu accepter que leurs délégués soient choisis dans leurs cadres supérieurs, si bien que nos membres ont tous charge d'une activité professionnelle particulièrement lourde.

Si notre Commission a ainsi profité de compétences les plus bienvenues, elle a par contre rencontré quelques difficultés à réunir tous ses membres, malgré la meilleure volonté de chacun. C'est une des raisons du nombre relativement restreint de ses séances. J'ajoute cependant, que nos membres — et notre président en tête — ont souvent consacré à notre Commission, en dehors des heures de séances, une précieuse partie de leur temps.

La complexité des problèmes de réglage, dont notre Commission avait à entreprendre l'étude, l'a tout d'abord décidée à placer à la base de cette étude certaines précisions, à tirer de l'expérience de la pratique, puis certains désirs ou préférences ou tendances manifestés par les exploitants. Cette préoccupation l'a conduite — et ce fut l'ouvrage de ses premières séances — à l'élaboration d'un volumineux questionnaire dont M. le Dr Oertli vous a entretenus. Je n'ai donc pas à y revenir, sauf à renouveler encore les chaleureux remerciements que M. le Dr Oertli a déjà exprimés aux nombreux exploitants qui ont rendu à notre Commission l'éminent service de lui répondre, avec toute l'attention voulue. La constatation de certaines divergences ou de certaines lacunes ne diminue en rien la reconnaissance de notre Commission qui considère le dossier des réponses qui lui ont été adressées comme un précieux document de base.

Après le dépouillement et le classement judicieux de ces réponses, selon les questions posées et selon l'exploitant intéressé, classement qui fut l'œuvre de M. le Dr Oertli, notre Commission en a tout de suite commencé l'examen. Elle a été ainsi très rapidement amenée à diriger ses travaux dans deux principales voies: l'établissement de quelques règles de base élaborées en étroite collaboration, c'est-à-dire avec une compréhension réciproque, entre exploitants et constructeurs; puis la préparation d'essais à effectuer.

Etablissement de règles de base

En ce qui concerne le premier point, vous pensez peut-être qu'une compréhension réciproque entre exploitants et constructeurs devait préexister, car des contacts antérieurs auraient dû déjà la faire naître. Ceci est bien en partie exact; mais ces contacts n'avaient jamais encore été établis sur un plan aussi général, avec le seul souci de la technique, sans aucune préoccupation commerciale entre client et fournisseur.

Notre Commission a donc entrepris l'élaboration de *Recommandations pour le Réglage de vitesse des Groupes Turbine hydraulique – Alternateur.* Au cours des discussions auxquelles cette élaboration a donné lieu, se sont confrontés les points de vue des exploitants et ceux des constructeurs, ceux des électriciens et ceux des mécaniciens. Ces confrontations n'ont pas été sans difficultés; certaines ont été résolues, d'autres doivent encore l'être. Quelques-unes ne pourront probablement pas actuellement recevoir de solution, faute de connaissances ou d'expériences suffisantes; elles devront être remises à plus tard.

Toutefois, il n'empêche que notre Commission a déjà bien avancé dans la rédaction des Recommandations précitées. Elle continue activement ce travail qu'elle estime important pour bien être au clair sur le problème du réglage des groupes. Elle espère achever la mise au point de ces premières Recommandations dans le cours de cette année et les soumettre à l'approbation de l'Association Suisse des Electriciens.

J'ajoute que l'accomplissement de ce premier travail a fait ressortir d'évidentes difficultés de vocabulaire technique. Aussi notre Commission a-t-elle répondu avec empressement à l'appel adressé à l'Association Suisse des Electriciens par la Société Suisse des Constructeurs de Machines et elle a créé en 1950 une sous-commission de Terminologie en matière de réglage. Sous la diligente présidence de M. le Dr Oertli, secondé par M. Spahn, cette sous-commission, qui comprend des délégués d'autres membres de la Société Suisse des Constructeurs de

Machines intéressés aux questions de réglage, a déjà tenu sept séances.

Il s'agit d'un travail ardu, les points de vue étant souvent différents entre fabricants d'appareils de réglage pour des systèmes à régler divers et constructeurs de régulateurs de machines. Des divergences apparaissent quelquefois également dans la façon même de penser ces questions de réglage. Pourtant, chaque fois que la sous-commission s'est imposée l'obligation de rédiger ses définitions en allemand et en français, et par conséquent de tenir compte de l'esprit des deux langues, elle a bénéficié des effets de salutaires efforts d'unification. Je souhaite qu'elle sache en profiter.

La sous-commission a élaboré une série de définitions de termes importants constituant le premier des trois chapitres envisagés. Elles ne représentent évidemment qu'une partie du travail à accomplir et encore cette partie n'est-elle pas définitive. D'autres définitions restent à établir, puis des figures et des exemples explicatifs. Lorsque les deux derniers chapitres auront été rédigés, le premier devra certainement être retouché. Quoi qu'il en soit, la sous-commission de terminologie a déjà bien travaillé comme ont pu s'en rendre compte ceux d'entre vous qui ont demandé communication du document édité provisoirement sous forme de premier projet, tous les intéressés n'étant pas encore d'accord sur tous les points.

Revenant à notre Commission d'Etude, je vous dirai qu'après avoir terminé — autant que les connaissances et les expériences actuellement connues le permettent — l'élaboration des Recommandations pour le Réglage de vitesse des Groupes, elle compte aborder diverses études et si possible la rédaction de Recommandations analogues pour le Réglage de la fréquence d'un ensemble de réseaux et pour le réglage des puissances échangées entre ces réseaux. M. R. Keller vous a fait ce matin un lumineux exposé des différents systèmes qui se disputent les préférences des exploitants. Naturellement, ces solutions doivent être applicables non seulement au cas des interconnexions uniques entre réseaux, mais aussi à celui des liaisons multilatérales et permettre, à l'intérieur de chaque réseau, la répartition de la charge du réglage entre plusieurs unités, voire entre plusieurs centrales.

Sans revenir sur ce que vous a dit M. R. Keller, permettez-moi d'insister sur le fait que si ces systèmes doivent faciliter la tâche du personnel d'exploitation — et ils la facilitent réellement beaucoup, en améliorant leurs rapports réciproques — ils ne peuvent pas supprimer la nécessité d'une discipline de service se traduisant par le respect de certaines consignes. Pour l'établissement de ces consignes, il restera en outre utile, pour ne pas dire indispensable, que les directions de réseaux soient toutes convaincues que leur intérêt particulier bien compris coïncide avec l'intérêt général, façon de voir qui, il faut s'en réjouir, s'est déjà heureusement bien étendue.

Après ou à côté des questions que je viens d'évoquer, notre Commission souhaite encore pouvoir essayer d'éclaircir le problème de l'amortissement des oscillations pendulaires des alternateurs marchant en parallèle. Vous savez que l'action du réglage automatique de vitesse, en présence du phénomène du coup de bélier, peut dans certaines conditions empêcher cet amortissement de se produire, même s'il est effectif à régulateur bloqué. Cette question reste actuellement très controversée entre électriciens et mécaniciens, les premiers accusant les mauvaises conceptions des régulateurs de vitesse, les seconds l'insuffisance des amortisseurs des alternateurs. Il serait donc utile qu'ensemble ils tâchent de trouver une solution.

Là ne s'arrête évidemment pas le programme des travaux à venir de notre Commission, mais je n'en dirai pas plus long aujourd'hui. Un programme ne s'élabore-t-il pas raisonnablement au fur et à mesure que les travaux avancent, selon les besoins qui se font jour et sur la base des résultats précédemment obtenus? Je pense spécialement aux résultats des essais dont il me reste à vous entretenir.

Préparation d'essais à effectuer

Une seconde conséquence de l'examen du dossier des réponses au questionnaire de notre Commission, a été la décision prise de procéder à des essais, ceci pour essayer de combler les lacunes ou de trancher entre les divergences constatées dans les renseignements reçus.

M. le Dr Oertli vous a déjà parlé de deux ordres de questions qui, à ce point de vue, préoccupent notre Commission: Il s'agit tout d'abord du comportement de la charge consommée par la clientèle d'un réseau, en présence d'une petite variation de fréquence ou en présence d'une petite variation de tension; il s'agit ensuite de l'évolution de cette charge consommée dans le temps.

Je crois devoir me permettre de vous rappeler ici à titre personnel que, dans le cas du réglage des turbines hydrauliques, la réalisation de la stabilité, plus exactement la réalisation de telle valeur de l'amortissement des oscillations de réglage pour le retour au régime, exige que la moyenne géométrique des deux temps suivants soit au moins égale à une certaine valeur limite minimum:

$$T = \frac{PD^2 \times n^2}{0{,}36\ N}\ 10^{-6}\ \text{s}\ ^{1})$$

temps caractéristique de l'inertie spécifique mécanique des masses tournantes du groupe, temps qui, pour une puissance et une vitesse déterminées, est directement proportionnel au PD^2. T est le temps qu'il faut pour amener les masses tournantes du groupe de la vitesse nulle à la vitesse de consigne en leur appliquant le couple de régime.

τ' temps caractéristique de la promptitude de réglage ou de la rapidité de réponse du régulateur. Lorsque le régulateur est sollicité par un écart relatif de vitesse $\Delta\omega = \varepsilon\ \%, 2\ \varepsilon\ \%, 3\ \varepsilon\ \%, \ldots$ abstraction faite de toute autre sollicitation, τ' est le temps qu'il lui faut pour opérer une modification correc-

[1]) PD^2 est celui des masses tournantes du groupe, en kgm², n le nombre de tours par minute, N la puissance du groupe en kW.

tive de la puissance du groupe de $\Delta p = \varepsilon\ \%$, $2\,\varepsilon\ \%$, $3\,\varepsilon\ \%$, ... Ainsi, un groupe de 20 000 kW dont le réglage, doté d'une promptitude $\tau' = 2$ s, est sollicité par un écart de fréquence de 0,1 Hz sur 50 Hz, soit $\Delta\omega = 0{,}2\ \%$, modifie sa puissance de 0,2 % en 2 s ou de 20 kW/s.

La valeur limite minimum de la moyenne géométrique $\sqrt{\tau' T}$ – et par conséquent, pour une promptitude déterminée, la valeur limite du PD^2 du groupe dépend au premier chef d'un troisième temps Θ caractéristique de l'inertie spécifique hydraulique que l'on peut définir d'une façon tout à fait analogue à celle utilisée pour le temps T caractéristique de l'inertie spécifique mécanique:

$$\Theta = \frac{L\, v_0}{g\, H_0}$$

est le temps qu'il faut pour porter les masses d'eau contenues dans le système d'alimentation de la turbine de longueur L de la vitesse nulle à la vitesse de régime v_0 sous l'application d'une différence de pression égale à la chute H_0 (g = gravité).

La condition de stabilité s'écrit dès lors:

$$\sqrt{\tau' T} \geqq K\,\Theta$$

La valeur limite de la moyenne géométrique $\sqrt{\tau' T}$, en d'autres termes la valeur du coefficient K, dépend encore — et ceci d'une façon très importante — de la différence α entre la pente α_r de la courbe du couple résistant et la pente α_m de la courbe du couple moteur, courbes tracées en valeurs relatives en fonction de la vitesse (fig. 1). La

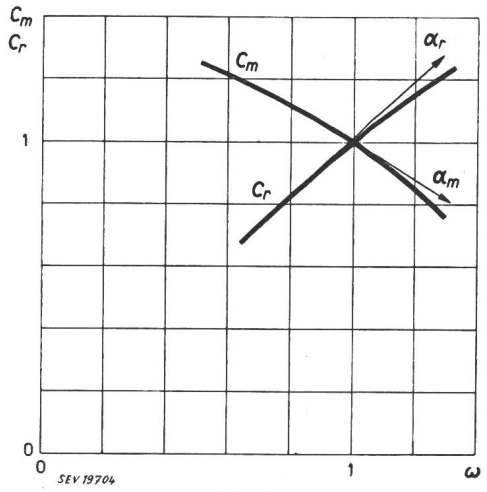

Fig. 1
Couple moteur C_m et couple résistant C_r en fonction de la vitesse
α_r pente de la courbe du couple résistant
α_m pente de la courbe du couple moteur
$\alpha = \alpha_r - \alpha_m$

pente α_m de la courbe du couple moteur est, pour une turbine, approximativement égale à -1. La pente α_r de la courbe du couple résistant, ou ce qui revient au même l'influence sur la puissance résistante d'une petite variation de vitesse, dépend de la sensibilité de la charge consommée:

1° à un écart de fréquence et

2° à un écart de tension, car selon la caractéristique du régulateur de tension, un écart de fréquence peut provoquer un écart de tension et c'est même là un moyen de stabilisation connu, extrêmement efficace en présence d'une charge de nature ohmique, en partie au moins.

Aussi surprenant que cela puisse paraître, les renseignements relatifs à l'influence, sur la charge consommée, d'un écart de tension ou d'un écart de fréquence — ceci dans le domaine des petits écarts — ne sont pas très abondants. En plus des réponses à son questionnaire, notre Commission ne connaît que quelques résultats américains et de plus rares d'origine française et allemande. Encore ne sait-on pas toujours s'ils sont le résultat de mesures précises ou d'estimations faites au cours de l'exploitation.

Pourtant les réponses à ces questions peuvent avoir des conséquences des plus importantes, au point de vue de la détermination, souvent âprement discutée, de la valeur à donner au PD^2 des groupes générateurs, PD^2 sur lequel il est possible, dans certains cas et sous certaines conditions, de faire des économies intéressantes. Des essais à effectuer à ce sujet paraissent donc particulièrement indiqués.

Par ailleurs, la promptitude de réglage et l'inertie spécifique n'intervenant, dans la condition de stabilité que par leur moyenne géométrique, il est évident que l'on peut, à ce point de vue, faire des économies de PD^2 en consentant à des sacrifices quant à la rapidité de réponse du réglage.

Toutefois, il n'en est pas de même pour la précision du réglage, c'est-à-dire pour le comportement de la vitesse ou de la fréquence, en présence d'une évolution dans le temps de la charge consommée par la clientèle. Ici, pour telle forme d'évolution de la charge consommée et la moyenne géométrique $\sqrt{\tau' T}$ restant constante, les écarts de vitesse varient comme la racine $\sqrt{\frac{\tau'}{T}}$ du rapport des deux temps caractéristiques. A cet autre point de vue une économie de PD^2 devrait, au contraire, être compensée par une rapidité de réponse plus grande de la part du réglage.

Certes dans les pays industrialisés et en partie au moins grâce aux interconnexions, la précision du réglage, comme d'ailleurs sa marge de stabilité, paraît actuellement suffisante. Mais, eu égard à la tendance de réduire le coût des équipements, en particulier par la diminution du PD^2 des alternateurs, ces problèmes ne doivent pourtant pas être négligés. On est ainsi conduit, pour juger des économies qu'il est raisonnablement possible de faire, à chercher un critère judicieux de la variabilité des besoins de la clientèle d'un réseau, ceci du moins dans les limites entre lesquelles cette variabilité peut entraîner des écarts sensibles de vitesse. Ceci est également vrai pour une puissance d'interconnexion par laquelle un réseau répond aux besoins d'un autre réseau.

Or, ce ne sont pas les lentes variations de charge qui peuvent affecter la tenue de la vitesse; elles sont facilement satisfaites par le jeu du réglage. Ce ne sont pas non plus les variations de charge très rapides, se succédant dans un sens et dans l'autre;

leur effet est absorbé par l'inertie des masses tournantes.

On peut s'assurer de ces faits en auscultant le comportement du circuit de réglage par la méthode des sollicitations sinusoïdales. Dans ce but, on excite le jeu du réglage par une variation sinusoïdale d'amplitude $|\Delta p_r|$ de la charge autour d'une valeur de régime et l'on relève la variation $|\Delta \omega|$, de vitesse ainsi provoquée, laquelle est également sinusoïdale (fig. 2).

On constate que le rapport $\left|\frac{\Delta\omega}{\Delta p_r}\right|$ des amplitudes des deux oscillations, l'une excitatrice et l'autre induite, dépend d'une façon très marquée de leur fréquence ν, la fréquence des sollicitations. Sur un

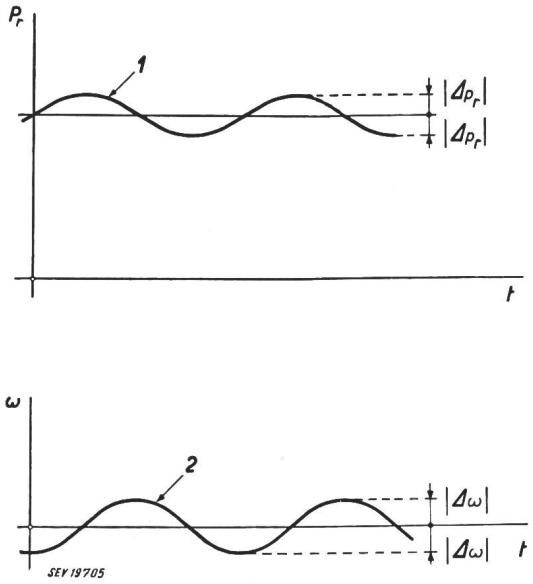

Fig. 2
Sollicitations sinusoïdales
1 Oscillation excitatrice de la charge consommée, d'amplitude $|\Delta p_r|$
2 Oscillation induite de vitesse, d'amplitude $|\Delta\omega|$

diagramme cartésien portant en abscisse la fréquence des sollicitations et en ordonnée le rapport $\left|\frac{\Delta\omega}{\Delta p_r}\right|$ de l'écart de vitesse à l'écart de charge, la courbe $\left|\frac{\Delta\omega}{\Delta p_r}\right|$ présente un maximum très prononcé autour duquel elle retombe rapidement (fig. 3).

L'ensemble du réglage constitue donc un filtre passe-bande assez sélectif qui ne permet aux perturbations survenant dans la charge consommée de se traduire en écarts de vitesse de valeur sensible que dans une certaine gamme de fréquences déterminée. Pour les fréquences plus basses, le jeu même du réglage, facilité par la lenteur de la variation de charge, empêche que la vitesse varie sensiblement. Pour les fréquences plus hautes, les écarts de vitesse sont étouffés par l'effet de l'inertie des masses tournantes.

En pratique, cette gamme est axée sur une fréquence ν_m de 0,05 à 0,10 Hz — voisine de la fréquence propre du réglage — et elle s'étend depuis des fréquences de l'ordre de quelques centièmes de Hz (ν_1), jusqu'à des fréquences de l'ordre du Hz (ν_2).

Il ne s'agit donc pas de faire des relevés wattmétriques sur des écarts se présentant à des intervalles de temps de plusieurs dizaines de minutes ou d'heures, comme c'est le cas des relevés wattmétriques courants, mais sur des écarts se présentant à des intervalles compris entre la seconde et la minute.

Cette question, ainsi que celle des appareils à utiliser, a donné lieu, au sein de notre Commission, à des études et à des discussions de fort longue durée. Finalement, notre Commission ayant entretemps bénéficié des moyens financiers nécessaires, a décidé de s'attaquer, comme M. Juillard vous l'expliquera, à la construction d'un wattmètre et d'un voltmètre enregistreur à haute fréquence propre.

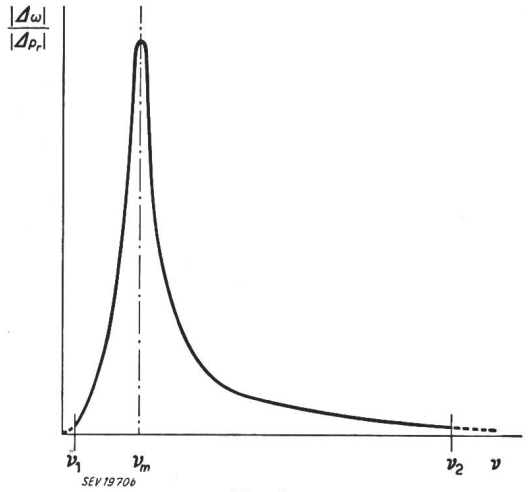

Fig. 3
Sollicitations sinusoïdales
Rapport $\frac{|\Delta\omega|}{|\Delta p_r|}$ des amplitudes en fonction de la fréquence ν de la sollicitation
ν_1 de l'ordre de quelques centièmes de Hz
ν_m de l'ordre de 0,05 à 0,10 Hz
ν_2 de l'ordre du Hz

Une fois en possession des relevés qui seront effectués avec ces appareils, spécialement des relevés wattmétriques en fonction du temps, il restera à examiner comment en déduire un critère de la variabilité des besoins d'une clientèle. Ce critère devra naturellement être susceptible de servir de base à des prévisions de tenue de vitesse, c'est-à-dire de fréquence.

J'estime quant à moi que l'application de la théorie moderne des fonctions aléatoires — la charge consommée par une clientèle est une fonction aléatoire du temps — peut nous apporter des moyens d'analyse extrêmement féconds, comme c'est déjà le cas dans des domaines voisins. Je pense en particulier à l'emploi de spectres pour caractériser ce genre de fonctions.

Dans ce sens, il n'est nullement nécessaire que la dite fonction résulte de la superposition de plusieurs fonctions sinusoïdales et de leurs harmoniques. Il suffit qu'elle présente certains caractères de stationnarité que l'on trouve dans la plupart des phénomènes physiques aléatoires et que l'on doit, je pense, également trouver dans l'évolution de la charge consommée par une clientèle.

Sous cette condition, les écarts de charge étant mesurés à partir de leur moyenne temporelle constante, on peut faire correspondre à la fonction aléatoire traduisant l'évolution dans le temps des dits écarts un spectre continu donnant la répartition du carré moyen des écarts selon les fréquences. Parmi ces fréquences, ce sont celles comprises dans la bande passante du filtre que constitue le circuit de réglage, qui sont pratiquement seules à considérer, parce que susceptibles de provoquer des écarts de vitesse sensibles. Il est par conséquent indispensable que les appareils utilisés reproduisent très fidèlement la réalité en amplitude et en phase, dans cette bande comprenant des périodes de l'ordre d'une seconde à une minute, c'est-à-dire qu'ils aient une période propre bien inférieure à la seconde. Ceci n'est pas le cas des appareils que l'on peut habituellement trouver dans le commerce.

Notre président, M. Juillard, auquel nous sommes redevables de la construction de ces appareils et qui a dirigé leur exécution de concert avec M. Koenig, va vous donner à leur sujet toutes les explications voulues. Leur fréquence propre est de l'ordre de 20 Hz. C'est dire qu'ils doivent parfaitement convenir aux essais que notre Commission a en vue, qu'il s'agisse de la mesure de la charge consommée par la clientèle d'un réseau ou de la puissance fournie en un ou plusieurs points d'interconnexion par un réseau à un autre.

Adresse de l'auteur:

D. Gaden, ingénieur, directeur des Ateliers des Charmilles S.A., Genève.

Instrumentation; appareils spéciaux nécessités par les essais

Conférence présentée à l'Assemblée de discussion consacrée à la régulation des grands réseaux, organisée par l'ASE le 3 avril 1952, à Lausanne,

par *E. Juillard*, Lausanne

621.317.7

La Commission pour l'étude du réglage des grands réseaux est arrivée à la conclusion qu'il lui fallait procéder elle-même à l'enregistrement des fluctuations de tension, de puissance et de fréquence survenant dans quelques grands réseaux. L'auteur donne une description succinte des appareils spéciaux réalisés dans ce but. Il expose en particulier le principe d'un voltmètre et d'un wattmètre électroniques, à zéro buté, capables d'alimenter des scripteurs rapides. Ces derniers reproduisant fidèlement à l'encre, sur papier, des fluctuations dont la fréquence peut atteindre 5 Hz.

Die Studienkommission für die Regulierung grosser Netzverbände erachtet es als notwendig, die in grossen Netzen auftretenden Schwankungen von Spannung, Leistung und Frequenz selbst zu registrieren. Der Autor gibt eine eingehende Beschreibung der hiefür entwickelten Spezialinstrumente. Insbesondere erläutert er das Prinzip eines elektronischen Voltmeters und jenes eines elektronischen Wattmeters mit verschobenem Nullpunkt, die zur Speisung von Schnellschreibern dienen. Diese Schnellschreiber gestatten die getreue Aufzeichnung mit Tinte auf Papier von Schwankungen, deren Frequenz bis 5 Hz beträgt.

Introduction

Monsieur Gaden [1]) a exposé pourquoi et comment la Commission de l'ASE pour la régulation des grands réseaux est arrivée à la nécessité de procéder elle-même à des mesures servant à fournir des renseignements statistiques sur l'ordre de grandeur des variations de charge d'un réseau et des conséquences qui en résultent.

Tenant compte du but de ces mesures et aussi du fait qu'elles pourraient révéler certaines allures insoupçonnées jusqu'ici, la commission a désiré que ces mesures fournissent des documents complets, indiscutables, desquels on pourrait en tout temps puiser ou reprendre des renseignements sur tel ou tel point particulier. Elle a donc décidé de procéder à l'enregistrement graphique des trois grandeurs: fréquence, tension et puissance active, chacune d'elles séparément en fonction du temps, mais bien entendu repérables l'une par rapport à l'autre.

Prises sur un intervalle de temps assez long (quelques heures ou quelques jours), ces grandeurs (fréquence, tension, puissance) varient suivant une loi capricieuse, mais qui peut être considérée — suivant le procédé classique de Fourier — comme la somme de variations sinusoïdales, d'amplitudes différentes et de fréquences comprises entre zéro et des valeurs élevées. Il a été montré que les composantes à basse fréquence ne créaient aucune difficulté aux régulateurs; les variations à fréquences élevées sont absorbées par l'inertie des masses tournantes; seules les variations dont les fréquences sont contenues dans l'intervalle de $^1/_5$ à 2 Hz sont à retenir dans l'étude qui nous occupe et à enregistrer avec précision. Les composantes à fréquences élevées (50 Hz p. ex.) ne doivent pas être enregistrées, sinon le graphique contiendrait les valeurs momentanées et serait très difficile à interpréter. En d'autres termes, les oscillographes ne conviennent pas.

Il s'agissait donc de trouver des enregistreurs capables d'inscrire fidèlement sur un papier se déroulant assez vite, des phénomènes périodiques de fréquences allant de zéro (ou $^1/_5$ Hz) à 2 Hz.

Une deuxième condition s'impose encore. L'ampleur — disons l'amplitude des variations usuelles de régime (fréquence, tension, puissance) — ne dépasse pratiquement pas $\pm$ 10 % de la valeur moyenne prise sur un temps prolongé. La fréquence et la tension n'atteignent pratiquement jamais ces chiffres (sauf incident exceptionnel) au cours de la journée. La puissance d'un réseau quelque peu important fluctue autour d'une moyenne qui ne se déplace qu'assez lentement. Pour pouvoir évaluer l'ampleur des variations avec quelque précision, il faut que toute la largeur du papier soit utilisée pour enregistrer ces $\pm$ 10 %. En d'autres termes, il faut faire usage d'appareils dits à zéro buté, dans lesquels le milieu du papier représentant 100 %, l'aiguille arrive à une extrémité ou à l'autre pour une variation de la grandeur à mesurer de $\pm$ 10 %.

[1]) voir p. 566.