Zeitschrift: Bulletin de l'Association suisse des électriciens
Herausgeber: Association suisse des électriciens
Band: 52 (1961)
Heft: 12

Artikel: Conditions à poser pour la détermination de l'inertie de l'alternateur
Autor: Gaden, D.
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-1059062

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: 23.08.2025

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

some 9500 stencils and the use of 12 t of paper. With the figures involved, it is evident that small economies can result in appreciable savings in the running of the Central Office and a watch must be kept on the quality, price and availability of supplies. One of the duties of the officer concerned is to keep an eye open for new methods of working that will either result in economies or in improved service to the National Committees for the same cost.

Conclusion

I hope that the above account has given the reader some idea of the duties that are carried out by the Central Office, whose staff has expanded fourfold between 1950 and 1960, in order to cope with the ever-increasing rhythm of international standardization.

Author's address:
L. Ruppert, General Secretary of the I.E.C., 1, rue de Varembé, Geneva.

A. GALVANI

1737 — 1798

Im September 1786 entdeckte Luigi Aloysius Galvani (geboren am 9. September 1737 und gestorben am 4. Dezember 1798 in Bologna) die nach ihm benannte Berührungselektrizität. Er war Arzt und Naturforscher, wurde 1766 Professor der Anatomie und betrieb in dieser Eigenschaft besondere Forschungen über Nerven. Dabei stellte er an Froschschenkeln fest, dass diese Zuckungen ausführen, wenn der aus ihnen und zwei verschiedenen Metallstücken gebildete Stromkreis geschlossen wird.

Seine grundlegenden Versuche veranlassten den Grafen Alexander Volta zu weiteren Studien. *H. W.*

A propos de la stabilité du réglage de vitesse d'un groupe turbine hydraulique-alternateur

Conditions à poser pour la détermination de l'inertie de l'alternateur

Par *D. Gaden*, Genève

621.313.322—82 : 621.316.718.5

Le présent article a été élaboré à la demande de la Commission d'Etudes pour le Réglage des Grands Réseaux Electriques de l'Association Suisse des Electriciens. Selon le vœu émis au sein de cette Commission, l'auteur insiste sur l'intérêt qu'ont les acquéreurs de groupes hydro-électriques, les producteurs d'énergie et leurs ingénieurs-conseils, à connaître les caractéristiques du réseau que ces groupes sont appelés à alimenter : la façon dont la puissance absorbée par les appareils utilisateurs de l'énergie varie avec la fréquence et la variabilité dans le temps de cette puissance, ce qui permet de juger de la rapidité de réponse que le réglage doit assurer. Ce mémoire fait en partie suite à certains exposés présentés à la Journée de discussions organisée à Berne le 19 janvier 1961 par l'Association Suisse des Electriciens.

Die vorliegende Arbeit wurde im Auftrag der Studienkommission für die Regelung grosser Netzverbände des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins ausgeführt. Entsprechend einem im Rahmen der Kommission geäusserten Wunsch wird das Hauptgewicht auf folgende Punkte gelegt, die sowohl für den beratenden Ingenieur der das Wasserkraftwerk projektierenden Firma wie auch für den Betriebsingenieur des Kraftwerkes von besonderem Interesse sind. Es handelt sich dabei um die Kenntnis der Eigenschaften des zu speisenden Netzes, d. h. um die Frequenzabhängigkeit der aufgenommenen Leistung der angeschlossenen Verbraucher und die Schwankungen dieser Leistung mit der Zeit — Faktoren die es ermöglichen, die erforderliche Schnelligkeit der Regelung zu beurteilen. Diese Ausführungen stellen zum Teil eine Ergänzung der Vorträge dar, die an der Diskussionsversammlung des SEV vom 19. Januar 1961 in Bern gehalten wurden.

Nous ne prétendons dans cet exposé à aucune originalité quelconque et nous nous proposons seulement de rappeler, en y insistant, qu'à côté du coup de bélier qui exerce une influence défavorable sur le réglage d'une turbine hydraulique, il existe dans le régulateur et surtout dans l'ensemble du réseau, comprenant les appareils d'utilisation de l'énergie, d'autres facteurs dont l'effet est au contraire favorable et qu'il serait regrettable de ne pas prendre en considération.

Parmi ceux-ci nous citerons en premier lieu la proportion dans laquelle la puissance absorbée par les consommateurs de l'énergie, autrement dit le couple résistant développé par l'alternateur, varie en fonction de la fréquence (vitesse de rotation du groupe), puis la possibilité qui existe peut-être de ralentir la rapidité de réponse du réglage, tout en lui conférant une valeur suffisante pour qu'elle lui permette de satisfaire convenablement à la variabilité dans le temps de cette puissance.

Comme chacun le sait, c'est le phénomène de coup de bélier qui caractérise essentiellement le réglage des turbines hydrauliques et qui constitue la source principale de ses difficultés. Lors des mouvements de vannage nécessités par le réglage et entraînant des modifications du débit écoulé, l'inertie des masses d'eau provoque des variations de la pression ou de la différence de

pression à laquelle la turbine est soumise. Il s'agit de transformations continuelles de l'énergie cinétique des masses d'eau, animées d'une vitesse d'écoulement variable, en énergie potentielle de pression et réciproquement. Il s'ensuit qu'au cours d'une fermeture de l'organe de réglage, le couple moteur développé par la turbine (ou la puissance qu'elle engendre), à telle position de cet organe, est plus grand que ce ne serait le cas en régime permanent. Au contraire, pendant une ouverture, ce couple est plus petit et dans les deux cas le retard provoqué par le coup de bélier appelle une exagération des mouvements de vannage qui peut être néfaste à la stabilité du réglage.

Pour mieux illustrer l'influence de ce phénomène et de ceux qui seront considérés par la suite, nous aurons recours à l'examen du comportement du circuit de réglage à l'état «ouvert», alors qu'il est normalement «fermé». Nous distinguerons à l'entrée du régulateur une oscillation inductrice de l'écart $\Delta\omega_e$ de vitesse de forme sinusoïdale, engendrée artificiellement d'une manière quelconque et qui excite le jeu du réglage. Sous l'effet du réglage ainsi mis en action, il se révèle sur l'arbre du groupe, supposé soumis à un couple résistant *constant*, une oscillation induite de l'écart $\Delta\omega_i$ de sa vitesse. Le système étant admis linéaire, hypothèse suffisante dans le domaine des petites oscillations intéressant le problème de la stabilité, cette oscillation induite est également sinusoïdale et de même fréquence, mais elle diffère en amplitude et en phase de l'oscillation inductrice.

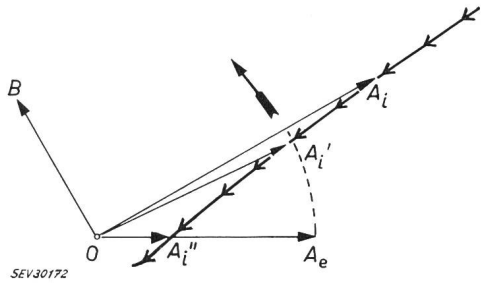

Fig. 1

Courbe de comportement fréquentielle sans coup de bélier

$\overline{OA}_e = \Delta\omega_e = 1$ Oscillation inductrice de l'écart de vitesse;
$\overline{OA}_i = \Delta\omega_i$ Oscillation induite de l'écart de vitesse;
A_i'', A_i', A_i Courbe de comportement fréquentielle du réglage; $\overline{OA}_i'$ Vecteur déterminant la marge de phase; $\overline{OA}_i''$ Vecteur déterminant la marge d'amplitude; $\overline{OB}$ Oscillation de la différence entre couple moteur et couple résistant

La fléche indique le sens de déplacement de la courbe de comportement entraînant principalement une augmentation de la marge de phase

Si dans un diagramme polaire (fig. 1), on prend pour unité et origine de phase le vecteur $\overline{OA}_e = \Delta\omega_e$ représentatif, en valeur relative, de l'oscillation inductrice, l'oscillation induite correspondra à un vecteur $\overline{OA}_i = \Delta\omega_i$, caractérisé par un certain module plus grand ou plus petit que l'unité et un certain argument positif ou négatif selon que $\overline{OA}_i$ est en avance ou en retard sur $\overline{OA}_e$, l'oscillation inductrice. Si l'expérience ou le calcul est effectué pour plusieurs fréquences des oscillations, le vecteur $\overline{OA}_i$ se déplace et son extrémité décrit un lieu qui constitue la courbe de comportement fréquentielle du réglage; celle-ci peut être cotée en valeurs de la fréquence et marquée par des flèches dans le sens des fréquences croissantes.

On démontre que pour qu'une fois le circuit fermé le réglage soit stable, il faut et il suffit que l'observateur parcourant la courbe de comportement fréquentielle dans le sens croissant des fréquences laisse le point A_e à sa gauche. La valeur du module de $\overline{OA}_i$ lorsque son argument est nul, détermine la marge en amplitude; la valeur de l'argument de $\overline{OA}_i$ lorsque son module est égal à l'unité détermine la marge en phase. L'amortissement du réglage, une fois le circuit fermé, dépend de l'importance de ces deux marges.

Une explication grossière de cette proposition peut être donnée par le raisonnement suivant. Pour reproduire en circuit ouvert le processus qui se produira en circuit fermé, il faut que l'expérience en circuit ouvert conduise à un vecteur $\overline{OA}_i$, oscillation induite, qui soit en phase avec le vecteur $\overline{OA}_e$, oscillation inductrice, et d'amplitude égale. Or, on passe du vecteur $\overline{OA}_e$ au vecteur $\overline{OA}_i$ par des intégrations que comporte le jeu du réglage. Notamment, le vecteur $\overline{OA}_i$ se déduit par intégration du vecteur $\overline{OB}$ représentatif de l'oscillation de la différence entre couple moteur et couple résistant. Si donc en régime sinusoïdal *entretenu*, qui conduit à un déphasage de 90° en arrière de l'intégrale sur la fonction, l'oscillation induite $\overline{OA}_i$ est en avance sur l'oscillation inductrice $\overline{OA}_e$, ce sera en régime sinusoïdal *amorti*, qui conduit à un déphasage plus grand que 90°, que les deux oscillations seront remises en phase.

Retenons de cet exposé que toute influence tendant à avancer, à circuit ouvert et en régime sinusoïdal entretenu, l'oscillation induite $\overline{OA}_i$ est d'un effet stabilisant; elle provoque une augmentation de la marge en phase. Réciproquement, toute influence tendant à procurer un retard exerce un effet déstabilisant.

Si le couple résistant est non seulement constant à vitesse constante, comme nous l'avons supposé, mais indépendant de la vitesse et que le couple moteur, dont les variations sont commandées par le régulateur, est également indépendant de la vitesse, l'oscillation de la différence entre couple moteur et résistant, représentée par le vecteur $\overline{OB}$ et dont l'intégration conduit au vecteur $\overline{OA}_i$, correspond au seul écart de couple moteur. Dans ces conditions, qui font abstraction du coup de bélier, c'est de la seule action du régulateur qu'il faut attendre l'avance recherchée. Celle-ci est assurée par l'utilisation soit d'un asservissement permanent ou temporaire, soit d'un accéléromètre.

Si sans rien changer aux hypothèses faites concernant les couples moteur et résistant, il intervient un phénomène de coup de bélier, nous avons vu que l'influence des variations de pression retarde l'oscillation $\overline{OB}_1$ de couple moteur (fig. 2) par rapport à ce qu'elle serait en $\overline{OB}$ si la pression demeurait constante et qu'elle ne dépendait que de la seule action du régulateur. L'oscillation induite de vitesse $\overline{OA}_{i1}$ est décalée en arrière et la courbe de comportement fréquentielle se rapproche du point A_e, voire le laisse à sa droite. La stabilité est menacée et peut même être détruite. C'est ici la raison pour laquelle les moyens stabilisateurs des régulateurs de turbines hydrauliques doivent être particulièrement puissants; leur action ne peut toutefois être poussée au delà de toute limite; nous y reviendrons plus loin.

A côté de cette influence déstabilisante, il en existe une autre d'effet contraire, également extérieure au régulateur. Le couple moteur d'une turbine dépend de

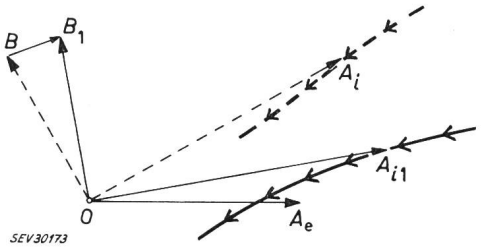

Fig. 2

Courbe de comportement fréquentielle avec coup de bélier

$\overline{OA}_e = \Delta\omega_e = 1$ Oscillation inductrice de l'écart de vitesse; $\overline{OB}$ Oscillation de l'écart de couple moteur, due à l'action du régulateur; $\overline{BB}_1$ Effet du coup de bélier sur le couple moteur; $\overline{OA}_{i1} = \Delta\omega_i$ Oscillation induite de l'écart de vitesse compte tenu de l'effet du coup de bélier

sa vitesse et en prenant pour unité le couple du régime considéré on peut écrire, à ouverture constante du vannage:

$$c_m = 1 + \alpha_m \, \Delta\omega_i$$

α_m étant de valeur négative de l'ordre de —0,6 à —1,2. De même, le couple résistant est fonction de la vitesse, c'est-à-dire de la fréquence de la tension engendrée aux bornes de l'alternateur et l'on peut aussi écrire:

$$c_r = 1 + \alpha_r \cdot \Delta\omega_i$$

la valeur du coefficient α_r dépendant de l'importance relative des charges ohmiques et des charges moteurs alimentées, puis pour les charges ohmiques de la proportion dans laquelle la tension varie avec la fréquence, par la mise au point du régulateur de tension, enfin pour les charges moteurs des caractéristiques des machines entraînées: machines-outils, engins de levage ($\alpha_r \approx 0$), pompes ($\alpha_r \approx +2$).

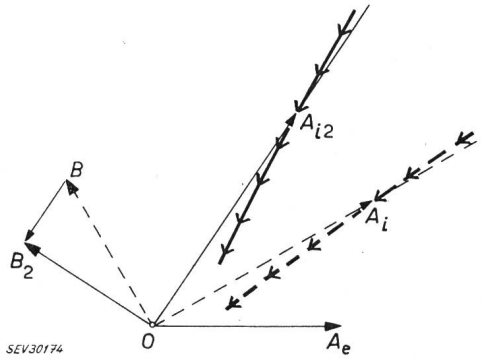

Fig. 3

Courbe de comportement fréquentielle avec effet de l'écart de vitesse sur la différence entre couple moteur et couple résistant

$\overline{OA}_e = \Delta\omega_e = 1$ Oscillation inductrice de l'écart de vitesse; $\overline{OB}$ Oscillation de l'écart de couple moteur due à l'action du régulateur; $\overline{BB}_2 = -\alpha\Delta\omega_i$ Effet de l'écart de vitesse sur la différence entre couple moteur et couple résistant; $\overline{OA}_{i2} = \Delta\omega_i$ Oscillation induite de l'écart de vitesse compte tenu de l'effet de cet écart sur la différence entre couple moteur et couple résistant

Finalement, la différence entre couple moteur et couple résistant est la somme de l'écart $\overline{OB}$ (fig. 3) de couple moteur, dû à l'action du régulateur, et d'un terme $(\alpha_m - \alpha_r) \cdot \Delta\omega_i = -\alpha \cdot \Delta\omega_i$, le coefficient α étant généralement de valeur positive, sauf dans le cas d'une charge purement ohmique alimentée à tension constante indépendante de la vitesse (fréquence) $\alpha_r = -1$. Le vecteur $\overline{OB}$ est dès lors redressé en $\overline{OB}_2$ et en conséquence le vecteur $\overline{OA}_i$, l'oscillation induite, en $\overline{OA}_{i2}$. La courbe de comportement fréquentielle est rejetée en avant, la marge en phase est augmentée et dénote un accroissement de la stabilité.

Cet effet stabilisant a été maintes fois relevé par de nombreux auteurs; il a été non seulement démontré par le calcul, mais constaté par l'expérience. Il a été montré comment l'on pouvait réaliser un coefficient α_r de valeur suffisante, même sur réseau isolé ne comportant que des charges ohmiques; il suffit que le régulateur de tension établisse une loi tension-fréquence de pente assez prononcée. Au cours de la Journée de discussions du 19 janvier 1961, M. *H. Schwendener* a donné dans son exposé un exemple particulièrement frappant de ce mode de faire, appliqué au réglage des groupes de la Centrale de Reckingen.

Toutefois, cet effet favorable a-t-il bien attiré l'attention des intéressés? Sont-ils prêts à en tenir compte dans les conditions posées pour la détermination de l'inertie à conférer aux rotors des alternateurs et pour le contrôle de la stabilité du réglage? N'y a-t-il pas là une source d'économies, dont ils pourraient bénéficier, sur le prix des alternateurs? Jugent-ils, au contraire, plus sage de conserver une marge de sécurité en faisant abstraction de cette influence favorable de la vitesse (fréquence) sur la différence entre couple moteur et couple résistant, ce qui revient à effectuer le contrôle de la stabilité du réglage sur la charge ohmique d'une résistance hydraulique, l'alternateur étant réglé à tension constante, indépendante de la fréquence?

Cette question a été posée par M. *F. Seeberger* aux auditeurs de la Journée de discussions du 19 janvier 1961, qu'il a instamment priés de s'exprimer. Nous laissons ce sujet à la méditation de nos lecteurs et dans le vif espoir d'obtenir d'eux une réponse à l'adresse de notre Commission, nous leur présenterons plus loin deux exemples numériques destinés à les éclairer.

Nous voudrions au préalable faire observer qu'une fois épuisés les moyens stabilisants dont nous venons de faire état, il en existe encore un autre auquel il est alors nécessaire d'avoir recours. Il consiste à augmenter la marge en amplitude, en réduisant, pour une fréquence donnée des oscillations, l'amplitude de l'oscillation induite de $\overline{OA}_{i1}$ en $\overline{OA}_{i3}$ (fig. 4). La courbe de comportement fréquentielle s'éloigne à nouveau du point A_e et la stabilité est plus favorablement assurée.

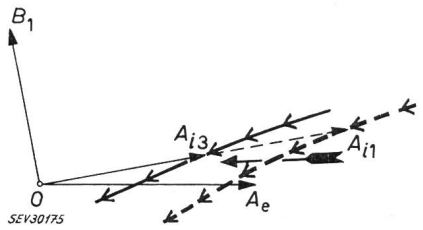

Fig. 4

Courbe de comportement fréquentielle avec augmentation des deux principales constantes de temps du réglage

$\overline{OA}_e = \Delta\omega_e = 1$ Oscillation inductrice de l'écart de vitesse; $\overline{OA}_{i3}$ Oscillation induite de l'écart de vitesse, d'amplitude réduite par l'augmentation du produit $\tau' T_a$ des deux principales constantes de temps du réglage de vitesse

La flèche indique le sens de déplacement de la courbe de comportement entraînant principalement une augmentation de la marge d'amplitude

Ce dernier moyen exige cependant l'augmentation du produit $\tau' T_a$ des deux principales constantes de temps du réglage de vitesse:

Le temps T_a qui caractérise l'inertie des masses tournantes du groupe et qui est parfois dénommé temps de lancer, ce qui conduit à un alternateur plus lourd et par conséquent plus cher.

Le temps τ' caractéristique de la promptitude du réglage, ce qui entraîne une diminution de sa rapidité de réponse.

Rappelons que la définition du temps τ' peut être donnée de la façon suivante: τ' est le temps qu'il faut pour qu'en présence d'un écart de vitesse (fréquence) de ε %, le réglage modifie la puissance du groupe de ε % de sa valeur de régime. Par exemple, un groupe de 40 000 kW, dont le réglage est doté d'une promptitude de $\tau' = 1{,}6$ s et qui est sollicité par un écart de fréquence de 0,2 Hz ou 0,4%, varie sa puissance à raison de 100 kW/s.

Ainsi apparaissent les deux facteurs auxquels nous avons déjà fait allusion: l'inertie de l'alternateur et, par conséquent, son poids et son prix, puis la rapidité de réponse du réglage qu'il s'agit de maintenir à une valeur admissible. Nous en discuterons sur la base des deux exemples suivants dont les données sont tirées de la pratique.

Exemple I (Haute chute)

Puissance maximum sur l'arbre	68 400 ch
Puissance pour laquelle la stabilité du réglage doit être garantie sur réseau isolé	68 400 ch
Puissance maximum aux bornes	49 200 kW
Vitesse normale	500 t./min
Vitesse d'emballement	915 t./min
Chute	1 005 m
Temps caractéristique de l'inertie des masses d'eau en mouvement dans la conduite forcée (valeur fictive)	1,8 s
Caractéristique ϱ d'*Allievi* de la conduite forcée	0,25
Coefficient α_m d'autoréglage concernant le couple moteur	− 1
Temps caractéristique de la promptitude admis à	1,5 s
Rapidité de réponse correspondante, en présence d'un écart de fréquence de 0,2 Hz soit 4‰	131 kW/s

Voici le tableau I des valeurs du temps de lancer T_a à réaliser, pour assurer la stabilité, avec un amortissement caractérisé par une proportion de l'ordre de 2,5 entre deux amplitudes consécutives de même sens des oscillations. La première colonne indique les valeurs admises pour le coefficient d'autoréglage α_r, rapport entre la variation relative du couple résistant et la variation relative de fréquence, la deuxième le rapport correspondant entre la variation relative de puissance résistante et la variation relative de fréquence.

Ad exemple I

Tableau I

α_r	$\frac{\Delta p_r}{\Delta f}$	α	Caractéristique de l'inertie T_a s
−1	0	0	11,5
−0,75	0,25	+0,25	10,2
−0,50	0,50	+0,50	9,0
−0,25	0,75	+0,75	7,7
0	1,00	+1,00	6,4

Exemple II (Basse chute)

Puissance maximum sur l'arbre	42 300 ch
Puissance pour laquelle la stabilité du réglage doit être garantie sur réseau isolé (87%)	36 800 ch
Puissance maximum aux bornes	30 300 kW
Vitesse normale	100 t./min
Vitesse d'emballement	260 t./min
Chute	15 m
Temps caractéristique de l'inertie des masses d'eau en mouvement dans le pertuis d'entrée, la bâche et l'aspirateur de la turbine	2 s
Coefficient α_m d'autoréglage concernant le couple moteur	−0,6
Temps caractéristique de la promptitude du réglage (pour 36 800 ch) admis à	1,5 s
Rapidité de réponse correspondante en présence d'un écart de fréquence de 0,2 Hz soit 4‰	70 kW/s

Le tableau II indique les valeurs des mêmes grandeurs que le précédent, établies dans les mêmes conditions.

Ad Exemple II

Tableau II

α_r	$\frac{\Delta p_r}{\Delta f}$	α	Caractéristique de l'inertie T_a s
−1	0	−0,40	10,5
−0,75	0,25	−0,15	9,6
−0,60	0,40	0	9,0
−0,50	0,50	+0,10	8,6
−0,25	0,75	+0,35	7,8
0	1,00	+0,60	6,9
+0,25	1,25	+0,85	6,0

L'examen des tableaux de ces deux exemples montre tout d'abord que selon que l'on admet que la puissance résistante (puissance absorbée par les consommateurs de l'énergie) croît comme la fréquence $\frac{\Delta p_r}{\Delta f} = 1$ ou est indépendante de la fréquence $\frac{\Delta p_r}{\Delta f} = 0$, l'inertie qu'il est nécessaire de donner à l'alternateur varie de 1 à 1,8 dans le premier cas et de 1 à 1,5 dans le second. Il ne s'agit donc pas d'une influence mineure et son importance mérite réflexion.

Si, dans le cas du deuxième exemple, on prend pour unité 100%, le poids de l'alternateur doté d'un temps de lancer $T_a = 6{,}9$ s, correspondant à l'hypothèse d'une puissance résistante croissant comme la fréquence, le poids relatif de l'alternateur s'établit à peu près selon les chiffres du tableau III, en fonction de la proportion dans laquelle la puissance résistante varie avec la fréquence.

Ad Exemple II

Tableau III

$\frac{\Delta p_r}{\Delta f}$	Caractéristique de l'inertie T_a s	Poids relatif de l'alternateur %
0	10,5	126
0,25	9,6	118
0,40	9,0	114
0,50	8,6	111
0,75	7,8	106
1,00	6,9	100
1,25	6,0	95

Dans le cas du premier exemple, les augmentations de poids ne se révèlent pas aussi spectaculaires, mais les augmentations de prix ne le sont pas moins, surtout si l'on capitalise la valeur des pertes correspondant au déchet de rendement que provoque l'accroissement du temps de lancer réalisé par un diamètre plus grand du rotor. Ainsi, il suffit de passer de $T_a = 6{,}4$ s à $T_a = 7{,}7$ s pour que la différence entre les prix des alternateurs atteigne environ 20%. Au delà d'un temps de lancer de

l'ordre de 8 s, l'augmentation de l'inertie exige l'adjonction au rotor de volants provoquant un renchérissement au moins aussi prononcé.

Ces conclusions montrent l'importance de l'économie qu'il est possible de réaliser en admettant que la puissance résistante croît dans une certaine proportion avec la fréquence.

Cette proportion n'est pas facile à déterminer par la voie de l'expérience et notre Commission d'Etudes pour le Réglage des Grands Réseaux s'est heurtée à la gêne que procure à la clientèle une alimentation, même temporaire, à fréquence quelque peu variable. Des essais effectués sur le réseau de Lausanne ont fait aboutir aux résultats suivants:

$$\alpha_r = -0{,}65 \qquad \frac{\Delta p_r}{\Delta f} = 0{,}35$$

mais il faut tenir compte du fait qu'il s'agit d'un réseau peu industriel. De toute façon on peut approximativement estimer ladite proportion par voie de statistique[1]).

A ce sujet, il y a lieu de considérer qu'il existe, parmi les consommateurs, des charges moteurs qui varient comme la fréquence $\frac{\Delta p_r}{\Delta f} = 1$ (machines outils, engins de levage, etc.) et même comme le cube de celle-ci $\frac{\Delta p_r}{\Delta f} = 3$ (pompes, compresseurs, ventilateurs, etc.) et que l'on peut donner aux charges ohmiques, même si dans certains cas elles sont prépondérantes, un caractère de variabilité analogue, par un ajustement adéquat du régulateur de tension. Ce régulateur a en effet une rapidité de réponse bien supérieure à celle du régulateur de vitesse, si bien qu'au cours de l'évolution des variations de vitesse (fréquence), la tension prend pratiquement la valeur prescrite par son régulateur, abstraction faite de tout régime transitoire. Il suffit dès lors que le régulateur de tension fasse varier celle-ci de $\pm 0{,}5\%$ pour $\pm 1\%$ de variation de la fréquence, pour obtenir une proportion $\frac{\Delta p_r}{\Delta f} = 1$.

Nous croyons donc que l'on ne saurait être taxé d'imprudence en tablant sur une proportion de cet ordre de grandeur et en calculant en conséquence l'inertie à réaliser par l'alternateur. Nous pensons en tout cas avoir fait ressortir l'intérêt qu'a l'exploitant à profiter des caractéristiques de son réseau pour réaliser des économies sur les alternateurs qu'il se propose d'acquérir et par conséquent de connaître ces caractéristiques ou tout au moins de tâcher de les estimer.

Les exemples précités soulèvent en plus une deuxième question, concernant le choix apparemment arbitraire du temps $\tau' = 1{,}5$ s caractéristique de la promptitude du réglage. Ne pourrait-on pas en augmenter la valeur, en réduisant la rapidité de réponse du réglage et obtenir une économie supplémentaire sur le temps de lancer T_a de l'alternateur, puisque la mesure de l'effet du dernier moyen de stabilisation cité plus haut dépend seulement du produit $\tau' T_a$ de ces deux temps caractéristiques?

A première vue, il semble que cette possibilité existe surtout pour des groupes d'un équipement de basse chute que l'on a plutôt tendance à faire peu ou pas participer à l'action de réglage. Encore faut-il s'entendre sur ce que l'on entend par participation au réglage. Il y a en réalité deux genres de participation. D'abord celle assurée, en régime transitoire, par l'action directe du régulateur de vitesse, doté d'un certain statisme, action qui ne provoque une variation de puissance que tant que la fréquence n'est pas rétablie à sa valeur de consigne. Ensuite celle correspondant aux variations durables de puissance dictées par le régulateur de réseau, fonctionnant en réglage fréquence-puissance ou en réglage de fréquence pur, variations de puissance qui subsistent une fois la fréquence rétablie à sa valeur de consigne.

La participation du premier genre est loin d'être d'importance négligeable, même si l'on convient de se priver de celle du second genre. C'est elle qui intervient tout d'abord et son concours est particulièrement bienvenu lors de variations accidentelles brusques de fréquence. Elle constitue la raison pour laquelle notre Commission d'Etudes de l'ASE pour le Réglage des Grands Réseaux insiste[2]) pour que soit proscrite la marche au limiteur d'ouverture; mais il ne faudrait alors pas que la marche au régulateur de vitesse libéré, dont on attend des variations éventuelles de puissance, conduise à une vitesse trop lente desdites variations. Est-ce qu'une valeur de 70 kW/s de cette vitesse (voir Exemple II) pour un écart de fréquence de 0,2 Hz ou de 140 kW/s pour un écart de fréquence de 0,4 Hz, paraît exagérée pour un groupe de 30000 kW? Personnellement, cela ne nous semble pas le cas.

Nous rappelons ici que dans son exposé à la Journée de discussions du 19 janvier 1961, M. *E. Andres* a montré comment, en utilisant un régulateur de réseau fonctionnant en réglage de puissance pur, on pouvait laisser temporairement subsister le premier genre de participation, puis l'éliminer progressivement avec une rapidité plus ou moins grande, même si la fréquence n'était pas rétablie à sa valeur de consigne.

Les exploitants de centrales au fil de l'eau tendent en effet à modifier le moins possible le débit écoulé par les turbines qui les équipent. Dès lors, pour le second genre de participation, on évite à fortiori actuellement d'avoir recours à ces centrales. Toutefois, cette règle est-elle bien fondée? Ces centrales ne pourraient-elles pas, ne fût-ce que dans une faible mesure, apporter leur contribution aux fluctuations — tantôt en plus, tantôt en moins — de la puissance à produire? Plus la tâche du réglage sera répartie, plus la part revenant à chaque centrale sera avantageusement diminuée et c'est-là un point important pour l'économie générale de l'exploitation.

Quoi qu'il en soit, qu'il s'agisse des ordres automatiquement émis par un régulateur de réseau, ou des ordres à main dictés pour un changement de programme ou encore un réglage de niveau, il y a intérêt à ce que leur accomplissement puisse s'effectuer à une allure suffisamment rapide. Or, avec un régulateur de vitesse doté d'un certain statisme permanent δ, ledit accomplissement a lieu suivant une loi exponentielle (fig. 5), dont la constante de temps τ'/δ est le quotient du temps τ' caractéristique de la promptitude par le statisme δ. On peut dès lors calculer le temps T_r nécessaire pour qu'a la suite d'un ordre de la forme d'un

[1]) Voir: Conférence donnée à l'Assemblée d'informations sur le réglage des grands réseaux organisée par l'ASE le 24 avril 1958 à Berne «Influence des variations de tension et de fréquence sur la charge absorbée par les consommateurs» par *E. Juillard* à Lausanne. Bulletin de l'ASE nº 13 du 21 juin 1958.

[2]) Voir: Communication de la Commission d'Etudes de l'ASE pour le Réglage des Grands Réseaux, rédigée par *M. Tiercy* à Lausanne: «Une pratique périmée: La marche au limiteur.» Bulletin de l'ASE nº 13 du 2 juillet 1960.

échelon brusque, l'accomplissement soit réalisé, par exemple à 90%:

$$T_r = -\frac{\ln 0{,}1}{\delta}\tau' = \frac{2{,}303}{\delta}\tau'$$

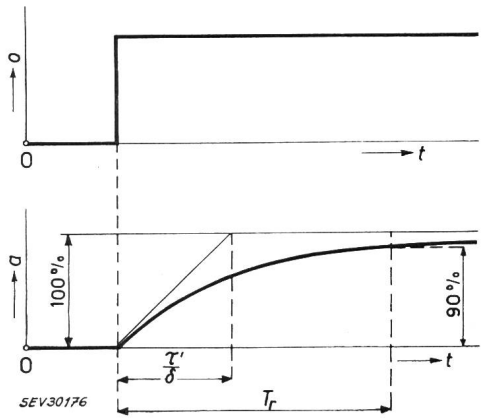

Fig. 5
Ordre o dicté au régulateur de vitesse et son accomplissement a en fonction du temps t

$\frac{\tau'}{\delta}$ Quotient du temps caractéristique de la promptitude par le statisme; T_r Temps nécessaire pour que l'accomplissement soit réalisé à 90 %

Tableau IV indique les valeurs de ce temps T_r, en fonction de celle du temps τ', dans le cas d'une valeur moyenne de 5% ($\delta = 0{,}05$) du statisme.

Valeurs du temps T_{r_τ} en fonction du temps

Tableau IV

τ' s	$\frac{\tau'}{\delta}$ s	T_r s
0,5	10	23
1	20	46
1,5	30	69
2	40	92
2,5	50	115

Au vu des chiffres du tableau IV et sur la base d'expériences acquises dans la pratique auprès de divers exploitants, il ne nous semble pas judicieux de dépasser, pour le temps τ' caractéristique de la promptitude, une valeur supérieure à 1,5 s, voire 2 s au plus. Cependant, cette opinion et ces expériences sont de nature personnelle et nous les soumettons au jugement des exploitants directement intéressés.

Dans la Journée de discussions du 19 janvier 1961, M. *F. Seeberger* a déjà posé les questions que nous venons de soulever. Les membres de la Commission d'Etudes de l'ASE pour le Réglage des Grands Réseaux seraient particulièrement heureux de recevoir des intéressés des réponses à ces questions, voire des remarques ou des critiques.

Adresse de l'auteur:
D. Gaden, professeur, directeur des Ateliers des Charmilles S. A., Genève.

Technische Mitteilungen — Communications de nature technique

Commission Electrotechnique Internationale (CEI)

Tagungen in Neu Delhi vom 30. Oktober bis 12. November 1960

061.3(54)CEI «1960» : 621.3

SC 12–7, Klimatische und mechanische Prüfmethoden für Material der Nachrichtentechnik

Die Sitzungen des SC 12–7 fanden vom 9. bis 11. November 1960 unter dem Vorsitz seines Präsidenten, P. D. Canning (Grossbritannien) statt, wobei 51 Delegierte von 17 verschiedenen Ländern anwesend waren. Das CES wurde durch den Berichterstatter vertreten.

Zu einer eingehenden Diskussion führte das Dokument 22–7(Secretariat)4, Procedures for environmental testing of electronic equipment, first part: General. Insbesondere führte der Begriff «Umgebungstemperatur» zu grossen Meinungsverschiedenheiten, indem von der Mehrheit der Delegierten der in Ulm festgelegte Text als zu unbestimmt betrachtet wurde. Da das Dokument sowohl kleine Apparate ohne künstliche Kühlung als auch grosse Apparate mit künstlicher Luft- oder Wasserkühlung (wobei in verschiedenen Teilen des Apparates die Kühlungsverhältnisse verschieden sein können) erfassen soll, war es nicht leicht, einen allgemein gültigen und verständlichen Begriff zu entwerfen. Es wurde festgelegt, dass in normalen Fällen als Umgebungstemperatur der Durchschnitt der Temperaturen gilt, die in 1 m Distanz vom Apparat oder in der halben Distanz zwischen der Wand des Prüfraumes und dem zu prüfenden Apparat gemessen werden, und dass in Sonderfällen die Apparatebeschreibung die speziellen Bedingungen festzulegen hat (Art der Messung, Anzahl der Meßstellen). Auch der im Sekretariatsdokument festgelegte Begriff «Temperaturgleichgewicht» wurde als unbefriedigend angesehen, da die während einzelnen Messungen mögliche unbeabsichtigte Variation der Umgebungstemperatur unberücksichtigt war. Da während den Sitzungen keine Einigkeit erreicht werden konnte, wurde aus Vertretern von Frankreich, Grossbritannien und Italien eine Arbeitsgruppe zur Klärung des Problems gebildet. Dem von dieser Gruppe vorgelegten Neuentwurf wurde zugestimmt. Weiterhin wurde von verschiedener Seite der im letzten Jahr in Ulm gefasste Beschluss beanstandet, die Festlegung der Reihenfolge der durchzuführenden Prüfungen vollständig wegzulassen, da dadurch allzugrosse Freiheiten entstehen und eine gute Reproduzierbarkeit der Gesamtheit der Prüfungen nicht mehr gewährleistet werden kann. Dies ist besonders dann der Fall, wenn bei grossen oder kostspieligen Apparaten aus wirtschaftlichen Gründen sämtliche Prüfungen am gleichen Prüfling ausgeführt werden müssen. Das Sekretariat erhielt den Auftrag, erneut ein Normal-Prüfprogramm aufzustellen, das jedoch lediglich als Anhang dem Dokument beigegeben werden soll.

Zu den beiden Dokumenten 12–7(Secretariat)5, Test EHH: Humid heat, und 12–7(Secretariat)6, Test EWHS: Warm humid storage, hat das ungarische Nationalkomitee einen Gegenvorschlag unterbreitet, in dem diese beiden Prüfungen kombiniert wurden. Dieser Vorschlag hat die Zustimmung der Mehrheit der Delegierten gefunden und wurde deshalb an Stelle der beiden Sekretariatsdokumente als Diskussionsbasis verwendet. Auch das CES hat in seiner schriftlichen Stellungnahme beanstandet, dass nicht eindeutig klar ist, unter welchen Bedingungen die eine oder die andere Prüfmethode anzuwenden sei, insbesondere da die beiden Methoden voneinander nur geringfügige und unverständliche Abweichungen aufweisen; der Berichterstatter hat deshalb den ungarischen Gegenvorschlag unterstützt.

Das Dokument 12–7(Secretariat)7, Test EHP: Humid preconditioning, wurde auf Antrag des SC 12–2 aufgestellt, um in die Sammlung verschiedener Prüfmethoden auch die von der CEE festgelegte Feuchtigkeitsprüfung (CEE-Publikation REC 1, Mai 1958) aufzunehmen (speziell zur Prüfung der sicherheitstechni-