

Zeitschrift: Bulletin de l'Association suisse des électriciens
Herausgeber: Association suisse des électriciens
Band: 32 (1941)
Heft: 14

Artikel: Le nouveau régulateur électrique de vitesse Oerlikon - Escher Wyss
Autor: Hirt, Max / Gantenbein, A.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1057641>

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: 16.04.2026

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

Le nouveau régulateur électrique de vitesse Oerlikon - Escher Wyss.

Par Max Hirt et A. Gantenbein, Zurich.

621.316.718.5

Les auteurs décrivent le développement et la réalisation d'un nouveau régulateur électrique de vitesse avec système de mesure de la fréquence pour très grande stabilité à vitesse de réglage très élevée et comparent cet appareil avec le régulateur mécanique ordinaire à force centrifuge. Les tachygrammes relevés aux cours de nombreux essais d'exploitation avec des turbines hydrauliques présentant des conditions difficiles de réglage prouvent les excellentes qualités du nouveau régulateur électrique de fréquence.

Es wird die Entwicklung und Ausführung eines neuen elektrischen Drehzahlreglers mit Frequenzmeßsystem für höchste Stabilität bei grösster Reguliergeschwindigkeit beschrieben und dem bisher üblichen mechanischen Fliehkraftregler gegenübergestellt. Tachogramme von umfangreichen Betriebsversuchen an Wasserturbinen mit schwierigen Reguliervhältnissen beweisen die vorzüglichen Reguliereigenschaften des neuen elektrischen Frequenzreglers.

(Traduction.)

1° Développement.

La littérature américaine des brevets montre que l'idée de remplacer le régulateur mécanique à force centrifuge par un régulateur électrique de fréquence est déjà vieille d'environ 40 ans. Dans ce cas comme dans tant d'autres on constate que certaines idées ne répondent à aucune nécessité au moment où elles sont émises ou qu'elles tombent dans l'oubli par suite de difficultés techniques de réalisation. Quelques dizaines d'années plus tard elles sont «découvertes» à nouveau et peuvent, sous des conditions nouvelles, conduire à des résultats d'importance fondamentale pour la pratique. Un exemple typique dans le domaine de l'électricité est le régulateur électrique de fréquence.

Le régulateur à force centrifuge, dont la construction s'était normalisée au cours des années, avait donné de si bons résultats qu'on n'avait, de prime abord, aucune raison de créer un nouvel appareil. Ce n'est que progressivement, avec l'emploi de turbines hydrauliques modernes et plus puissantes, pour lesquelles il était difficile de transmettre mécaniquement le nombre de tours de la turbine au régulateur à force centrifuge, que se fit sentir la nécessité d'éliminer l'organe de transmission. Le premier pas dans cette direction fut d'entraîner le régulateur par un moteur, alimenté par une petite génératrice «pendulaire» accouplée à la turbine ou directement par la génératrice principale. De cette façon on supprimait le mécanisme d'entraînement. Du moment qu'on transmettait la vitesse à l'aide d'éléments électriques, il était tout indiqué de mesurer directement la vitesse, respectivement la fréquence avec un système électrique de mesure.

Les Ateliers de Construction Oerlikon et la S. A. des Ateliers de Constructions Mécaniques Escher Wyss ont créé en collaboration un régulateur électrique de vitesse pour machines primaires et l'ont essayé soigneusement en exploitation normale avec des turbines hydrauliques. Les premiers essais préliminaires remontent à l'année 1937 et ont servi à éclaircir les problèmes de réglage soulevés par l'emploi d'un système de mesure de fréquence.

A l'Exposition nationale suisse de 1939 à Zurich, Escher Wyss exposait simultanément un régulateur mécanique et un régulateur électrique dans des conditions d'exploitation (fig. 1).

Disons d'emblée que le travail en commun d'électriciens et de constructeurs de machines, où chacun examinait sans idée préconçue le nouveau problème que lui posait son partenaire, s'est révélé très fructueux pour les deux parties.

Pour la mise au point soignée en exploitation industrielle on a fait de nombreux essais avec des turbines Pelton, Francis et Kaplan travaillant dans des conditions de réglage spécialement diffi-

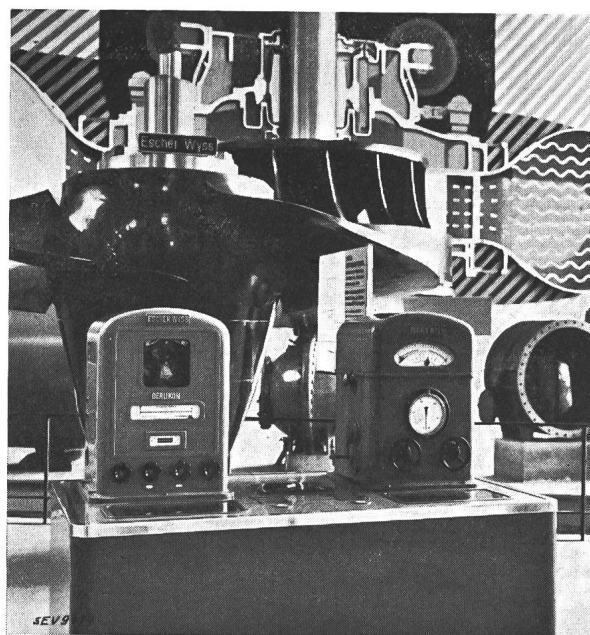


Fig. 1.
Régulateurs de vitesse

exposé à l'Exposition Nationale Suisse 1939 à Zurich; à gauche, le régulateur électrique, à droite, le régulateur mécanique de vitesse.

ciles. Pas moins de 4 centrales voulurent bien mettre leurs installations à notre disposition et le personnel d'exploitation n'hésita pas à sacrifier maints dimanches de beau temps. Nous tenons à exprimer ici nos très sincères remerciements aux Services électriques du Canton de Zurich (EKZ), de la Ville de Berne (EW Bern), des Forces Motrices du Nord-Ouest de la Suisse (NOK), de Murg (EW Murg) ainsi qu'au personnel des centrales de Dietikon, Felsenau, Egglisau et Murg pour leur collaboration et la contribution qu'ils ont apportée au succès final de nos recherches.

Ci-après nous décrivons le principe de fonctionnement de ce régulateur électrique de fréquence.

2° Généralités.

Un système de réglage pratique doit répondre aux 4 conditions caractéristiques suivantes:

- 1° *Haute sensibilité* pour réglage exact à la valeur ajustée.
- 2° *Adaptation facile* du réglage aux caractéristiques particulières de la machine.
- 3° *Temps de réglage réduit* depuis l'instant où la

grandeur à régler diffère de la valeur ajustée jusqu'à la fin de l'opération de réglage.

4° *Grande stabilité*, c'est-à-dire suppression de mouvements pendulaires prolongés.

La condition 1 ne saurait guère être réalisée d'une façon plus favorable qu'avec le régulateur électrique de fréquence à haute sensibilité.

La condition 2 est remplie par l'accès commode aux organes de réglage et leur ajustage facile.

Les conditions 3 et 4 dépendent l'une de l'autre: temps de réglage réduit et grande stabilité sont des exigences, en principe contradictoires. Pour éviter les petites oscillations qui proviennent spécialement des installations de génie-civil, on a développé deux mécanismes de stabilisation, de concep-

3. Légende des figures schématiques.

Régulateur pendulaire à force centrifuge avec stabilisateur hydraulique à action directe fig. 2	Régulateur électrique de fréquence	
	avec stabilisation électro-magnétique fig. 3 et 4	avec stabilisation électro-hydraulique fig. 8 et 9
1 <i>Groupe de machines</i> 11 Organe de réglage de la turbine 12 Lignes de départ de la génératrice 13 Mécanisme d'entraînement du régulateur pendulaire	1 <i>Groupe de machines</i> 11 Organe de réglage de la turbine 12 Lignes de départ de la génératrice 13 Transformateur de potentiel	1 <i>Groupe de machines</i> 11 Organe de réglage de la turbine 12 Lignes de départ de la génératrice 13 Transformateur de potentiel
2 <i>Régulateur pendulaire à force centrifuge</i> 20 <i>Système de mesure du nombre de tours</i> 21 Masse du pendule à force centrifuge 22 Ressort du pendule 24 Came de commande	2 <i>Régulateur électrique de fréquence</i> 20 <i>Système de mesure de la fréquence</i> 21 Enroulement statorique 22 Réactance 23 Condensateurs 24 Tambour rotatif avec levier de commande	2 <i>Régulateur électrique de fréquence</i> 20 <i>Système de mesure de la fréquence</i> avec asservissement et amortisseur ordinaire 21 Enroulement statorique 22 Réactance 23 Condensateurs 24 Tambour rotatif avec levier de commande
30 <i>Stabilisateur</i> 31 Levier d'ajustage 31a Levier de transmission 32 Piston de pompe 34 Obturateur de l'amortisseur 35 Appui des ressorts 36 Piston amortisseur 37 Lumières pour le passage de l'huile 38 Ressorts de rappel	30 <i>Stabilisateur</i> 31 Engrenage de transmission 32 Roue polaire 33 Enroulement amortisseur 34 Résistance de réglage pour l'enroulement amortisseur 35 Levier solidaire à l'arbre 36 Tambour amortisseur 37 Contacts pour la commande du contacteur 37a 37a Contacteur pour la mise en circuit d'une résistance destinée à affaiblir l'amortissement 38 Ressorts de rappel 39 Secteur de rappel	30 <i>Stabilisateur</i> 31 Levier d'ajustage 310 Engrenage de transmission 32 Piston de pompe 34 Obturateur de l'amortisseur 35 Piston de commande du noyau tournant 42 36 Douille de commande 360 Disque amortisseur 361 Aimant amortisseur 37 Lumières pour le passage de l'huile 370 Accouplement à friction 38 Ressorts de rappel 380 Ressorts de rappel 390 Secteur de rappel
40 <i>Statisme et ajustage du nombre de tours</i> 41 Levier d'ajustage du statisme 43 Moteur pour changer l'ajustage du nombre de tours 45 Volant à main pour changer l'ajustage du nombre de tours	40 <i>Statisme et ajustage du nombre de tours</i> 41 Levier d'ajustage du statisme 42 Noyau tournant pour le statisme 43 Moteur pour changer l'ajustage du nombre de tours 44 Noyau tournant pour changer l'ajustage du nombre de tours 45 Volant à main pour changer l'ajustage du nombre de tours	40 <i>Statisme et ajustage du nombre de tours</i> 41 Levier d'ajustage du statisme 42 Noyau tournant pour le statisme et l'asservissement additionnel renforcé 43 Moteur pour changer l'ajustage du nombre de tours 44 Noyau tournant pour changer l'ajustage du nombre de tours 45 Volant à main pour changer l'ajustage du nombre de tours
50 <i>Commande hydraulique</i> 51 Soupape de commande préliminaire 52 Tige de commande 53 Piston différentiel 54 Soupape de commande principale 55 Servo-moteur principal	50 <i>Commande hydraulique</i> 51 Soupape de commande préliminaire 52 Cylindre de commande 53 Piston différentiel 54 Soupape de commande principale 55 Servo-moteur principal	50 <i>Commande hydraulique</i> 51 Soupape de commande préliminaire 52 Cylindre de commande 53 Piston différentiel 54 Soupape de commande principale 55 Servo-moteur principal

tion nouvelle, au cours d'essais systématiques. Tous deux travaillent avec un asservissement et un amortissement momentanés renforcés et sont caractérisés par une faculté d'adaptation remarquable. Leur fonctionnement, ainsi que le prouvent de nombreux essais, sont également bons, mais il convient d'employer l'un ou l'autre selon les installations et les exigences du service.

Le travail conjugué des différents organes de réglage montre, pour les nouveaux régulateurs électriques de fréquence, une grande analogie avec le régulateur mécanique pendulaire à force centrifuge, type Escher Wyss. Afin de faciliter la compréhension, nous décrirons tout d'abord brièvement le régulateur mécanique. Les éléments du régulateur de fréquence et du régulateur à force centrifuge qui jouent un rôle analogue, sont désignés par des numéros identiques.

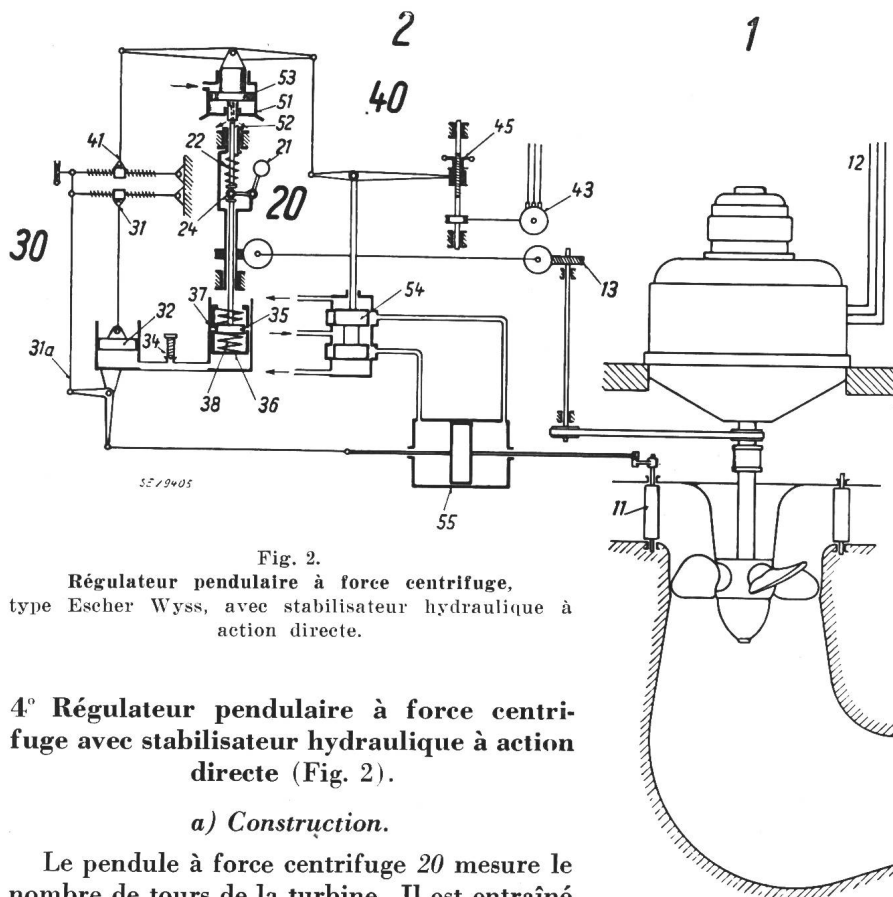


Fig. 2.

Régulateur pendulaire à force centrifuge, type Escher Wyss, avec stabilisateur hydraulique à action directe.

4° Régulateur pendulaire à force centrifuge avec stabilisateur hydraulique à action directe (Fig. 2).

a) Construction.

Le pendule à force centrifuge 20 mesure le nombre de tours de la turbine. Il est entraîné par l'arbre de la turbine à l'aide de la courroie et de l'engrenage à vis sans fin 13. La masse 21 du pendule est équilibrée par le ressort 22 ajusté exactement pour la vitesse de service. Dès que le nombre de tours de la turbine diffère de la vitesse normale, la masse 21 déplace la tige 52 vers le bas ou le haut. Ce mouvement est transmis à un piston différentiel 53, sous pression d'huile, qui le communique par une timonerie à la soupape de commande principale 54 du servo-moteur principal 55. Celui-ci à son tour commande les aubes directrices 11 à l'aide de tiges, d'articulations et de leviers et règle exactement la quantité d'eau qui arrive à la roue motrice en fonction du nombre de tours.

b) Le stabilisateur hydraulique.

La tige de commande 52 du régulateur pendulaire à force centrifuge est reliée au piston amortisseur 36 par deux ressorts d'asservissement 38. La chambre sous le piston amortisseur est mise en communication avec le cylindre de la pompe à piston 32 par un canal. Le piston lui-même de la pompe est uni, sans jeu, par une transmission à leviers 31 et 31a au servo-moteur principal 55. Cette transmission est telle que lors d'une opération de réglage le piston de pompe 32 se déplace dans le même sens que la tige de commande 52 et le piston amortisseur 36. S'il se produit, par exemple, une augmentation du nombre de tours, la tige de commande 52 tire le piston amortisseur 36 vers le haut. En même temps, le servo-moteur principal 55 est commandé par le piston différentiel 53 et la soupape de commande principale 54. Le servo-

moteur entraîne également le piston de pompe 32 vers le haut au moyen du levier de transmission 31a et du levier d'ajustage 31. Sous ces deux pistons ainsi que dans le canal de communication, il se produit un vide que doit suivre le piston amortisseur 36 uni simplement à la tige de commande par des ressorts. Par ce mouvement, le ressort de rappel supérieur 38 est comprimé et exerce une pression additionnelle sur la tige de commande dans le sens de l'asservissement. Ce mouvement vers le bas du piston de la pompe 32 n'est que momentané, car l'obturateur réglable laisse passer plus ou moins d'huile, suivant qu'on l'a ajusté, de sorte que le ressort de rappel supérieur 38 se détend lentement. La tige de commande est libérée peu à peu de la pression à laquelle elle est soumise et le pendule règle de nouveau la vitesse de la turbine au nombre de tours initial.

Afin que le pendule à force centrifuge ne soit cependant pas entravé dans son action par le mouvement de rappel du piston amortisseur lors de grandes variations de la charge, on a prévu des lumières spéciales 37 pour le passage de l'huile. Dès que le mouvement de rappel du piston amortisseur dépasse une certaine limite par rapport à la douille de glissement montée sur la tige du pendule, l'effet d'aspiration et de compression du mécanisme amortisseur disparaît.

c) Changement du nombre de tours.

Le mécanisme pour changer le nombre de tours est branché sur la transmission, entre le pendule à force centrifuge et la soupape de commande. Le

nombre de tours de la turbine n'est donc pas seulement déterminé par le pendule, on peut aussi le modifier à la main, à l'aide du volant 45 ou électriquement, depuis le poste de commande, à l'aide du moteur 43. Selon la position donnée par le volant à main, la turbine prendra une vitesse plus ou moins élevée d'accord avec les nécessités de la marche en parallèle de plusieurs groupes et de la répartition de la charge sur les différentes génératrices.

d) Ajustage du statisme.

Le levier d'ajustage du statisme est également commandé par le servo-moteur principal. Il consiste en une tige filetée dont la rotation amène l'articulation du levier 41 à une distance quelconque du point d'appui; ce déplacement provoque un asservissement plus ou moins rapide des mouvements de commande déclenchés par le pendule. Grâce à cet amortissement, chaque position du volant à

le système électrique de mesure 20 (fig. 3 et 4). A la moindre différence avec la valeur ajustée, le tambour 24 du système de mesure agit sur la soupape de commande préliminaire 51 avec piston différentiel 53. Ce dernier, comme pour le régulateur à force centrifuge, transmet le mouvement à la soupape de commande principale 54, qui commande le servo-moteur principal 55. Celui-ci agit à son tour sur les organes de réglage 11 de la turbine, par exemple le pointeau, les aubes directrices, les pales d'hélice des turbines hydrauliques.

Le système de mesure de la fréquence.

Pour contrôler la fréquence, on utilise un équipement de mesure spécial. Le tambour rotatif 24 de cet équipement est sous l'influence de deux circuits électriques reliés par un transformateur de potentiel 13 aux lignes de départ 12 de la génératrice dont il s'agit de régler la fréquence (voir fig. 3 et 5).

L'un de ces circuits a une très haute résistance ohmique, de sorte qu'une différence entre la fréquence momentanée et la fréquence ajustée exerce une influence négligeable sur la grandeur et le décalage du courant qui le parcourt; pratiquement cela signifie que les deux valeurs restent constantes. Le second circuit est un circuit résonnant à faible résistance ohmique. Le moindre déplacement du point de résonance, c'est-à-dire dès qu'il se produit une différence entre la valeur réelle et la valeur ajustée de la fréquence, provoque aussitôt une rapide modification du courant et de son décalage. Par suite de cette variation du décalage des deux courants, le tambour 24 est soumis à un moment de torsion. Suivant que l'angle de décalage est positif ou négatif, le couple fait tourner le tambour dans un sens ou dans l'autre. Au début, la valeur du couple est directement proportionnelle à la variation de la fréquence. Pour plus de clarté, nous avons in-

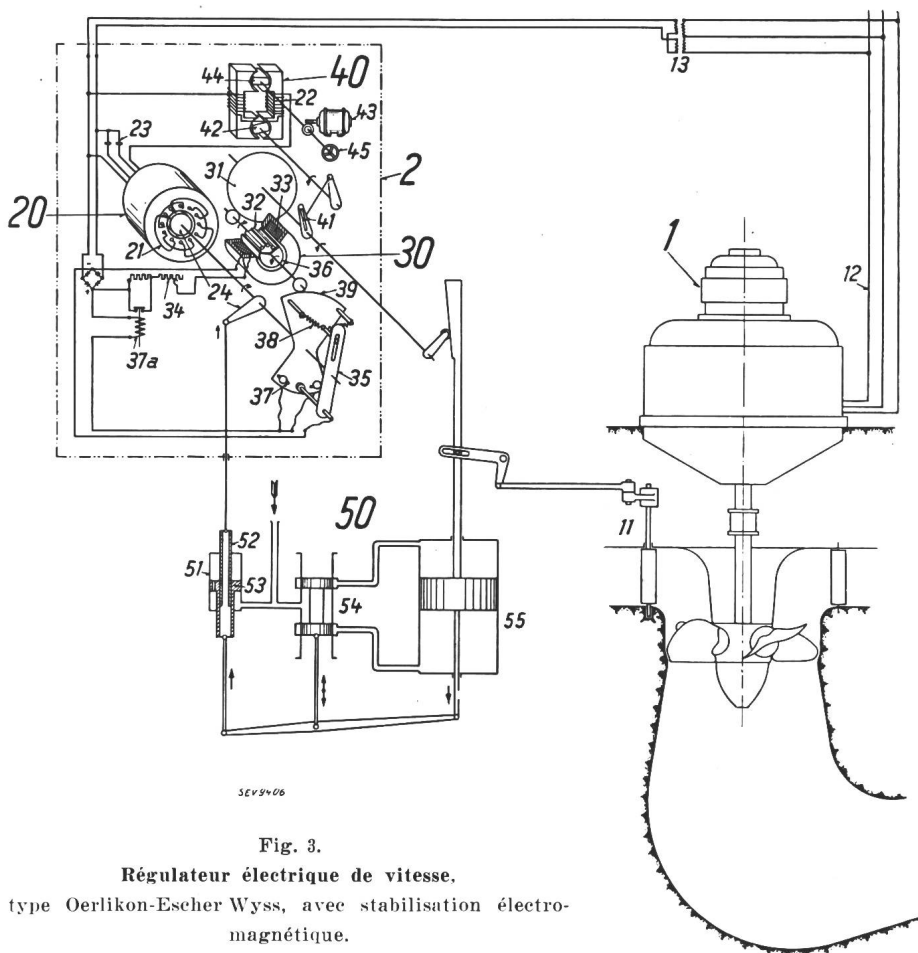


Fig. 3.

Régulateur électrique de vitesse.

type Oerlikon-Escher Wyss, avec stabilisation électromagnétique.

main 45 correspond à une position déterminée du servo-moteur 55 et par là de l'ouverture de la turbine, lors de la marche en parallèle sur un réseau électrique, c'est-à-dire en vitesse constante.

5° Régulateur électrique de fréquence avec stabilisateur électromagnétique.

a) Construction.

Contrairement à ce qui se passe avec le régulateur pendulaire à force centrifuge, on ne mesure plus ici le nombre de tours, mais la fréquence avec

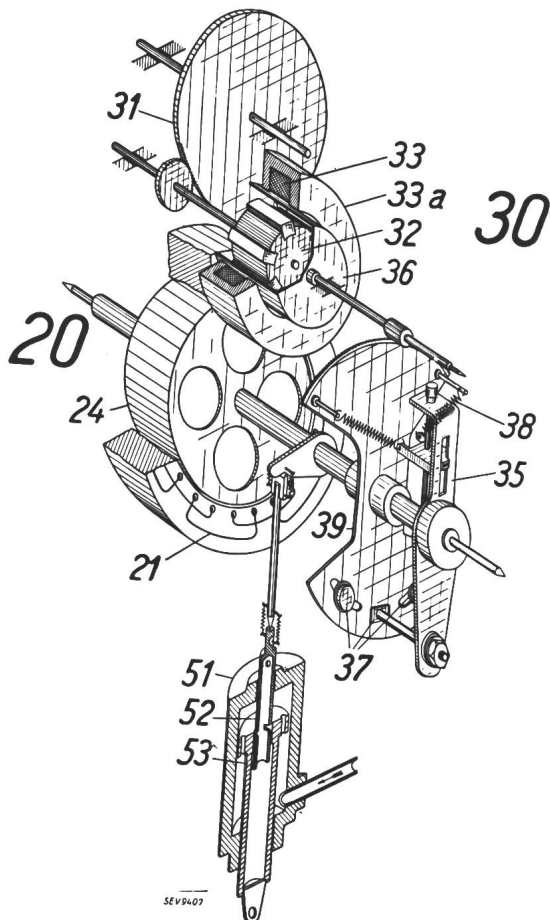
diqué en fig. 6 la valeur du courant, du décalage et du couple résultant en fonction de la fréquence.

La fréquence de résonance et par suite la valeur ajustée de la fréquence peut être modifiée avec la self 22.

Branchement du système de mesure de la fréquence.

Ce système peut être branché directement sur la tension de l'alternateur du groupe dont on veut régler la vitesse ou sur un générateur de fréquence spécial, indépendant de l'état d'excitation de l'al-

ternateur. Comme le système de mesure est muni d'un enroulement monophasé, il pourrait arriver qu'avec une connexion monophasée normale, en cas de court-circuit entre les deux phases qui alimentent le système de mesure de fréquence 20, celui-ci



Système de commande dépendant de la fréquence, avec stabilisation électro-magnétique.

soit sans tension. Cet inconvénient a été supprimé très simplement, en connectant le système de mesure par un couplage en V ouvert, comme indiqué en fig. 5. Par cet artifice, la tension du système de mesure ne peut être nulle que lorsqu'il se produit un court-circuit total aux bornes même de l'alter-

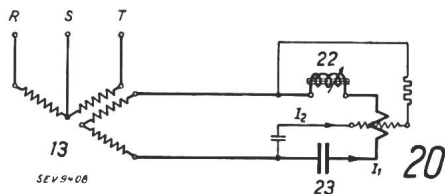


Fig. 5. Système de mesure de la fréquence; connexion et schéma.

nateur. Pour n'importe quelle autre avarie, le système de mesure est toujours soumis à une certaine tension. Le régulateur est toujours à même de fonctionner correctement, même si la tension tombe à une valeur très réduite. En fig 7, nous avons représenté la sensibilité de fonctionnement de la tension. Sous une tension égale à 20 % de la tension

nominale, le degré de sensibilité est encore de $\pm 0,8\%$. Si la tension disparaît pour une raison quelconque, le distributeur de la turbine se ferme automatiquement jusqu'à la vitesse de marche à vide sous l'action d'un petit ressort additionnel agis-

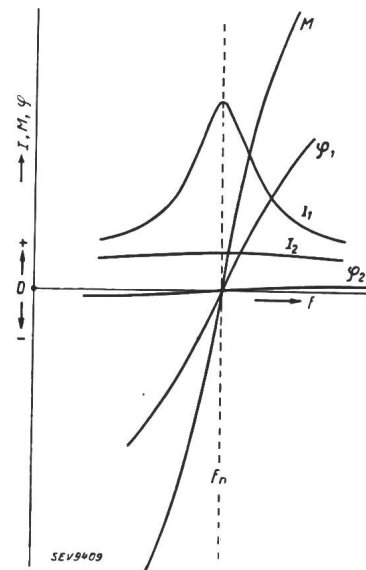


Fig. 6. Système de mesure de la fréquence. Courants (I_1 et I_2), angle de décalage φ_1 et φ_2 et couple (M) en fonction de la fréquence f (f_n = fréquence ajustée).

sant sur le tambour rotatif. La consommation d'énergie du système de mesure n'atteint que 70 VA environ. Le couple disponible représente une utilisation maximum par rapport à cette faible consommation en VA.

b) Le stabilisateur électromagnétique.

Comme nous l'avons dit plus haut, le mécanisme de stabilisation du régulateur électrique de fréquence a reçu deux solutions différentes; elles sont semblables dans les principes, mais utilisent des moyens de réalisation tout différents. Nous distinguerons donc entre la stabilisation électromagnétique et la stabilisation électrohydraulique.

Le mode de fonctionnement du stabilisateur électromagnétique ressort des fig 3 et 4.

La rotation du tambour 24 du système électrique de mesure de fréquence 20 est transmise par levier

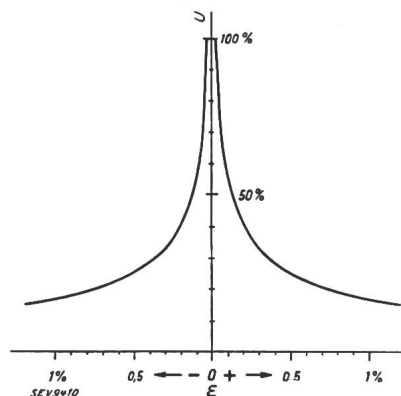


Fig. 7. Système de mesure de la fréquence. Sensibilité (ϵ) en fonction de la tension (U).

à la douille de commande 52 de la soupape de commande préliminaire 51. Le piston différentiel 53 de cette dernière agit sur la soupape de commande principale 54 du servo-moteur principal 55 qui actionne l'organe de réglage 11 de la turbine. Un effet d'asservissement s'exerce sur le stabilisateur

30 depuis le servo-moteur principal. Le stabilisateur consiste essentiellement en un tambour d'amortissement 36, entraîné par les ressorts de rappel 38 de l'équipage de mesure. A chaque mouvement du tambour, une force d'amortissement prend naissance dans l'enroulement amortisseur 33, parcouru par du courant continu, suivant le principe bien connu du frein électromagnétique à courants de Foucault. Le flux magnétique traverse l'anneau de fer 33a qui enveloppe le bobinage ainsi que les épanouissements polaires de la roue polaire 32. Les courants de Foucault ne prennent naissance qu'au moment où le tambour commence à tourner et ils augmentent avec sa vitesse de rotation. La force d'amortissement augmente dans la même mesure. En même temps, par le train d'engrenage 31 et sous l'action du servo-moteur principal, la roue polaire tourne en sens inverse du mouvement imprimé au tambour 30 par le système de mesure de la fréquence. Au lieu d'une «coupure» des lignes de force par la rotation du cylindre, il se produit une «coupure» des lignes de force par la rotation inverse du champ. La roue polaire ramène le tambour en arrière d'un angle qui dépend de la vitesse et augmente ainsi momentanément l'asservissement du système de mesure de la fréquence en tendant plus fortement le ressort de rappel 38. Les flèches marquées dans la fig. 3 permettent de se rendre compte facilement du mode de fonctionnement de ce stabilisateur au cours d'une période de réglage. On conçoit sans autre que ce mécanisme permet d'obtenir un réglage très stable.

Cet asservissement renforcé momentanément avec grand amortissement s'opposerait naturellement à un réglage rapide des grandes variations de vitesse produites par des coupures de la charge. L'asservissement renforcé avec amortissement ne doit donc agir que pour de petits mouvements de réglage, son effet doit être en revanche supprimé lors de grandes variations de vitesse, afin de réduire le temps de réglage au minimum. Ce résultat est atteint dans le cas particulier par un affaiblissement de l'amortissement, donc de l'effet de rappel, dès que le système de mesure de la fréquence dévie fortement. Quand la déviation entre le système de mesure et le secteur de rappel 39 dépasse un certain angle, ajustable, les contacts 37 commandent un contacteur 37a qui, par la mise en circuit d'une résistance, réduit fortement le courant qui passe dans l'enroulement amortisseur. De cette façon, on supprime momentanément le fort asservissement et l'amortissement jusqu'à ce que le système de mesure arrive à proximité de sa nouvelle position d'équilibre où l'asservissement est aussitôt remis automatiquement en fonction. Grâce à cet agencement, on obtient d'une part une marche très stable, et de l'autre, un réglage extrêmement rapide aux grandes variations de charge.

On obtient un résultat analogue, sans affaiblir le courant amortisseur, si on monte un accouplement à friction entre le tambour amortisseur 36 et le secteur de rappel 39. Quand le couple d'asservissement dépasse alors une certaine valeur, l'ac-

couplement commence à glisser et permet un sur-réglage plus grand.

L'alimentation de l'enroulement amortisseur et du système de mesure de la fréquence par une source unique offre l'avantage supplémentaire qu'en cas de chute de tension par suite de courts-circuits sur le réseau, l'amortissement et l'asservissement diminuent automatiquement dans la même mesure. Si, pour une raison quelconque, la tension aux bornes du système de mesure devait disparaître complètement, un petit ressort supplémentaire ramènerait automatiquement le régulateur dans la position qui correspond à la position de marche à vide de la turbine; celle-ci ne peut donc jamais s'emballer.

c) *Changement de l'ajustage du nombre de tours.*

Contrairement à ce qui se passe avec le régulateur à force centrifuge, le mécanisme pour changer l'ajustage du nombre de tours n'agit pas sur la timonerie de commande, mais sur la réactance 22. En déplaçant le noyau de réglage à la main ou à l'aide du moteur d'ajustage 43, qu'on peut manœuvrer depuis la salle de commande, on peut ajuster la fréquence à volonté.

d) *Réglage du statisme.*

Ainsi que nous l'avons dit en décrivant le régulateur pendulaire à force centrifuge, la marche en parallèle de plusieurs groupes de machines exige une caractéristique de travail statique. Pour le régulateur électrique de fréquence, de nature astatique, on obtient le résultat désiré en modifiant la fréquence de résonance du système de mesure, c'est-à-dire la valeur ajustée en fonction de la position du servo-moteur principal. Dans ce but, la réactance 22 est munie d'un second noyau tournant, commandé par le servo-moteur principal. Avec le levier 41, on ajuste le statisme à volonté entre 0 et 6 %.

6° Régulateur électrique de fréquence avec stabilisateur électro-hydraulique.

a) *Construction.*

La construction du système de mesure de fréquence et de toute la commande à huile sous pression est la même que pour le régulateur électrique de fréquence, avec stabilisateur électro-magnétique (voir chapitre 5a).

b) *Le stabilisateur électro-hydraulique.*

Comme le nom l'indique, la stabilisation s'obtient par des moyens hydraulique et électrique. Ce régulateur se distingue des régulateurs décrits ci-dessus (voir chap. 4 et 5) par le mécanisme de stabilisation qui a été décomposé en deux asservissements et amortissements distincts l'un de l'autre, soit:

asservissement et amortissement normal (numérotation supérieure à 100);

asservissement et amortissement supplémentaire action passagère puissante (numérotation inférieure à 100).

Comme le montre la fig. 8, l'asservissement normal est constitué par l'amortisseur magnétique à

courants de Foucault 360 et 361 dont nous avons parlé plus haut, avec le ressort de rappel 380. L'enroulement amortisseur utilisé précédemment est remplacé par un aimant permanent 361. L'asservissement avec l'amortisseur est ajusté de façon

de grands mouvements de réglage, on limite le chemin relatif de travail du petit piston 35 dans la douille de commande 36 à l'aide de lumières 37. Ces lumières 37 du piston et de la douille de commande 36 s'ouvrent quand le petit piston arrive en fin de course permettant à l'huile sous pression de s'échapper. Les ressorts 38 provoquent alors lentement le mouvement de rappel, le temps de rappel étant déterminé par l'obturateur réglable 34.

Tout le mécanisme de stabilisation est monté dans un récipient spécial dont le liquide ne participe pas à la circulation générale de l'huile sous pression. De ce fait, la température de l'huile du stabilisateur varie dans d'étroites limites, et en marche continue, elle a pratiquement la même viscosité qu'après un arrêt prolongé de la turbine.

c) Changement de l'ajustage du nombre de tours.

Le changement de l'ajustage se fait de la même façon que pour le régulateur électrique de fréquence à stabilisation électromagnétique, voir chapitre 5c.

d) Réglage du statisme.

La réactance 22 a ici une triple fonction. L'un des noyaux tournants 44, comme nous l'avons dit, sert à changer l'ajustage du nombre de tours, soit

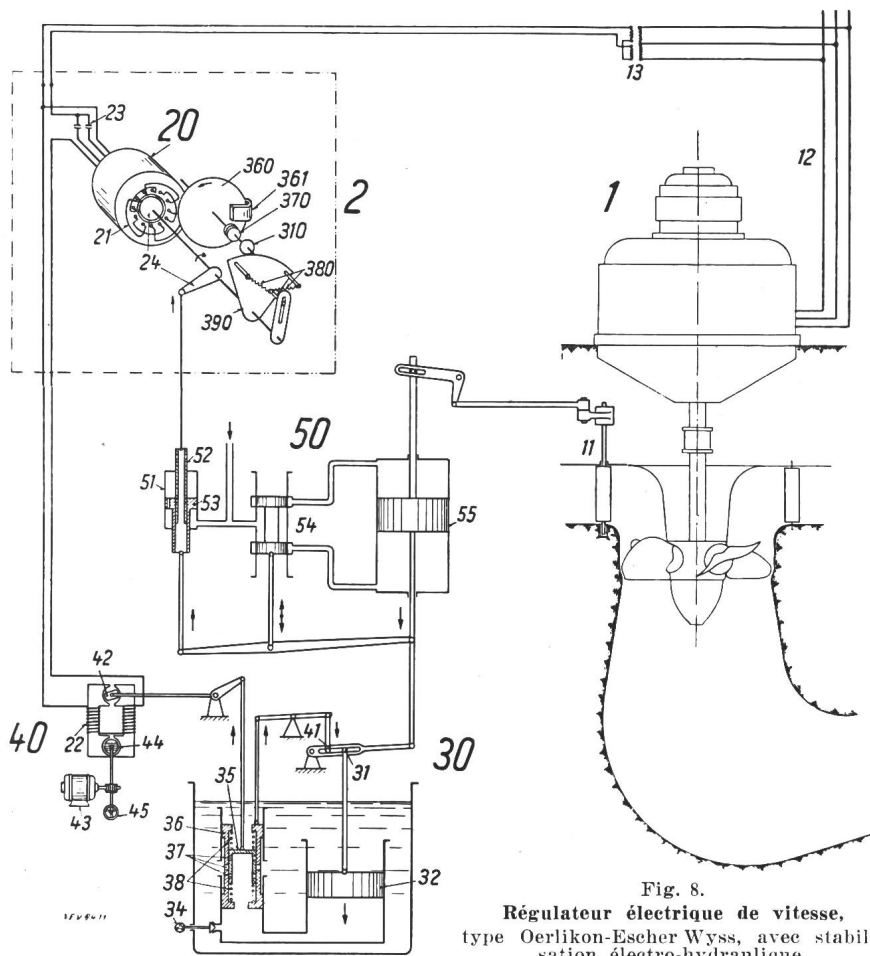


Fig. 8.
Régulateur électrique de vitesse,
type Oerlikon-Escher Wyss, avec stabilisation électro-hydraulique.

qu'aux grands mouvements pendulaires les amplitudes diminuent.

L'asservissement et amortissement supplémentaire à action passagère puissante sert à éliminer les mouvements pendulaires de petites amplitudes. Le mouvement de rappel déclenché par le servomoteur 55 est d'abord renforcé hydrauliquement, puis transmis directement à l'aide de la réactance 22 par voie électrique à l'enroulement 21 et le système de mesure 20. Les fig. 8 et 9 permettent de se rendre compte aisément du mode de fonctionnement.

Un mouvement de réglage provoqué par le servomoteur 55 est amplifié considérablement dans le sens de l'asservissement à l'aide d'un grand piston 32 qui agit sur le petit piston 35 et le transmet au noyau tournant 42 de la réactance 22. Il en résulte une modification de l'inductivité de la réactance qui provoque l'asservissement direct du système de mesure. Par ce mécanisme, un mouvement de réglage parvient au système de mesure sous une forme exagérée, c'est-à-dire qu'il doit être interrompu prématurément. De cette manière, on peut obliger toute turbine qui tend à avoir de petits mouvements pendulaires à une marche stable.

Pour que la commande ne soit pas entravée lors

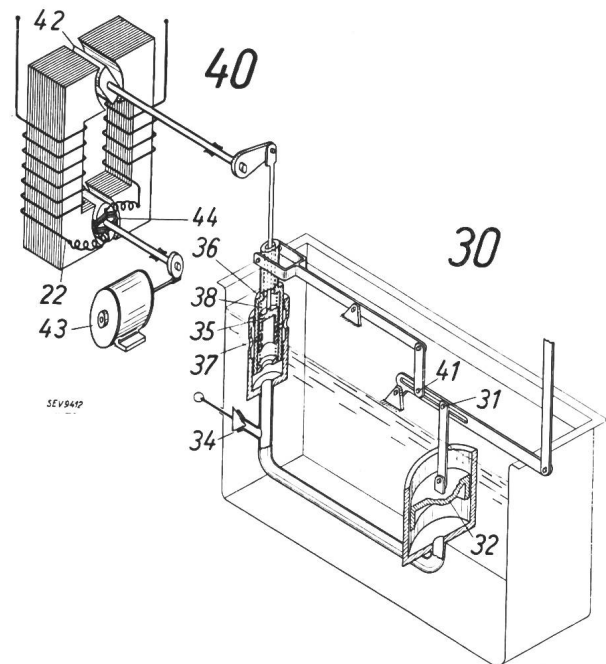


Fig. 9.
Stabilisateur électro-hydraulique
avec mécanisme pour changer l'ajustage du nombre de tours
et du statisme.

à la main, soit à l'aide du moteur 43. Le second noyau 42 est utilisé à la fois pour le statisme et pour la stabilisation électro-hydraulique à action passagère puissante.

Le statisme est réglable entre 0 et 6 % à l'aide du levier 41 qui agit sur la douille de commande 36 en fonction de la position du servo-moteur principal 55. Le petit piston 35 est maintenu dans la position moyenne de la douille de commande 36 par les ressorts 38.

Un levier sert à transmettre la position du piston 35 au noyau tournant 42 de sorte que la fréquence ajustée correspond à une position déterminée du servo-moteur.

7° Régulateur électrique de fréquence-puissance.

Principe et construction.

Un réglage combiné de la fréquence et de la puissance est souvent désirable; il permet en particulier de réaliser un nouveau mode d'accouplement des réseaux avec une répartition automatique et égale des pointes de puissance sur plusieurs centrales. Une description détaillée de ce réglage n'entre cependant pas dans le cadre de cet article, et c'est pourquoi nous nous bornerons à l'esquisser.

Au système de mesure de la fréquence que nous venons de décrire vient s'ajouter un système de mesure de la puissance qu'on commande à distance

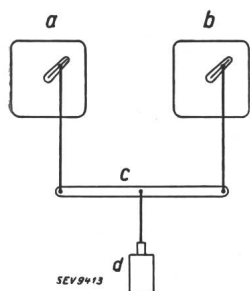


Fig. 10.

Régulateur électrique de fréquence-puissance, type Oerlikon-Escher Wyss. Croquis de principe.

- a Système de mesure de la fréquence.
- b Système de mesure de la puissance.
- c Levier de réglage.
- d Soupape de commande préliminaire.

ou qui règle la puissance à des valeurs déterminées suivant un horaire. La transmission des mouvements de réglage aux organes de commande hydraulique est indiquée schématiquement d'une façon claire dans la fig. 10. Les systèmes de mesure de la fréquence *a* et de la puissance *b* agissent tous deux sur la soupape de réglage préliminaire *d*, déjà décrite, à l'aide du levier *c*. La grandeur de la fréquence réglée dépend, dans un rapport déterminé, de la position occupée par le système de mesure de la puissance. En bloquant l'un ou l'autre système de mesure, on peut à volonté (par exemple suivant un horaire) travailler avec réglage de la fréquence ou de la puissance.

8° Essais et résultats d'exploitation.

Nous avons choisi la centrale de Murg-Plätz pour exécuter les premiers essais pratiques avec le régulateur de fréquence. Elle est équipée avec une turbine Pelton munie d'un réglage combiné du déflecteur et du pointeau; l'eau est amenée à cette turbine par une très longue conduite forcée. Ces premiers essais montrèrent que le système de mesure de la fréquence travaillait avec une très grande

exactitude, mais que l'amortisseur devait agir beaucoup plus énergiquement.

Le régulateur fut complètement modifié et monté dans la centrale d'Eglisau pour de nouveaux essais. Après que les essais préliminaires eurent montré que le régulateur fonctionnait d'une façon satisfaisante, la direction d'exploitation nous autorisa à utiliser une turbine en exploitation normale pendant plusieurs mois, afin de pouvoir disposer d'une expérience suffisante. En fig. 11, nous avons reproduit le montage du régulateur électrique et mécanique au cours de ces expériences.

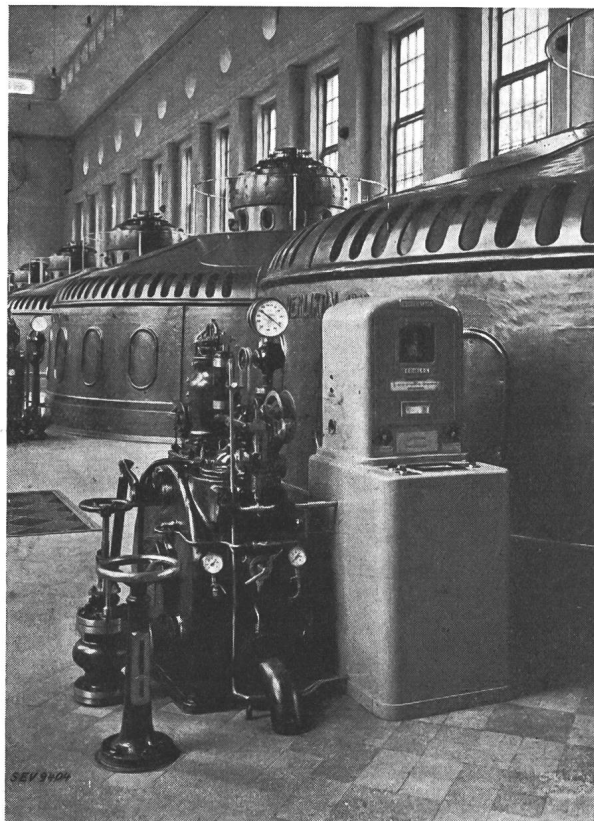
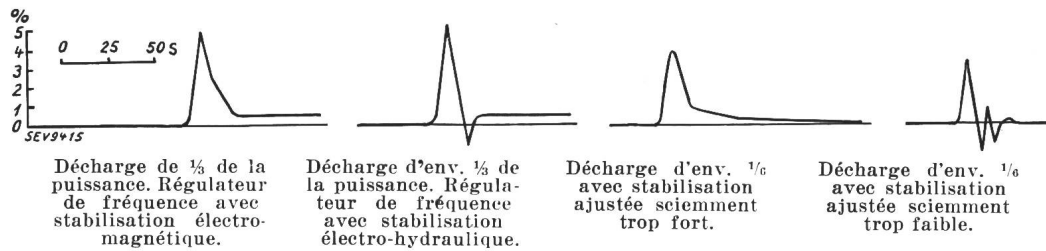


Fig. 11.

Essais d'exploitation

à la centrale d'Eglisau. À gauche, le régulateur mécanique de vitesse; à droite, le régulateur électrique monté provisoirement.

Nous étions en pleine période d'essai quand éclata la guerre et des raisons militaires (zone interdite) nous obligèrent à démonter et à reprendre les appareils. Quelque temps après, nous pouvions les monter dans la centrale de Felsenau du Service électrique de la Ville de Berne. Dans cette centrale, le régulateur resta en service pendant quelques mois, puis on procéda à des essais de réglage. La variation du nombre de tours en fonction de la charge fut observée avec un tachygraphe (instrument qui permet de relever graphiquement le nombre de tours). Quelques tachygrammes caractéristiques (fig. 12a) montrent qu'on peut ajuster la vitesse à volonté dans de larges limites en modifiant l'amortissement. Bien que ces essais eurent prouvé complètement que le régulateur de fréquence répondait maintenant à tout ce qu'on attendait de lui, nous l'avons monté encore une fois dans la centrale de Dietikon pour être sûr qu'il commande également bien une turbine Kaplan de réglage difficile. Pen-



Décharge de $\frac{1}{2}$ de la puissance. Régulateur de fréquence avec stabilisation électro-magnétique.

Décharge d'env. $\frac{1}{2}$ de la puissance. Régulateur de fréquence avec stabilisation électro-hydraulique.

Décharge d'env. $\frac{1}{6}$ avec stabilisation ajustée sciemment trop fort.

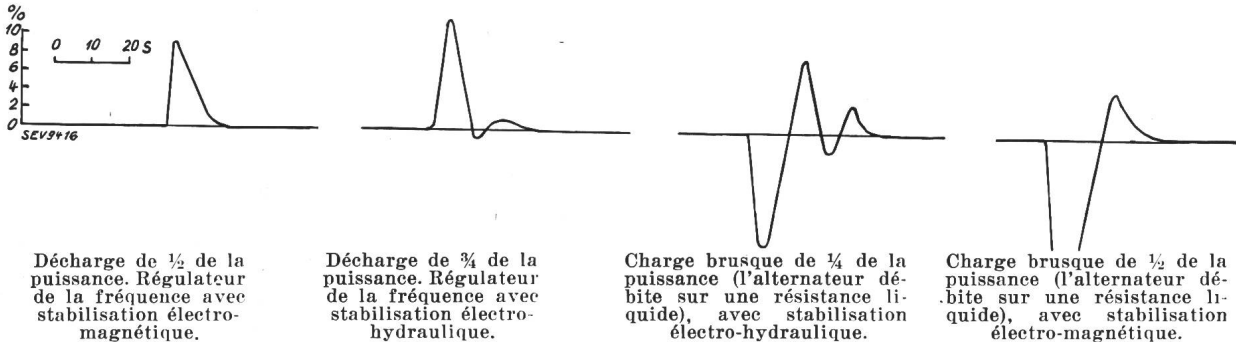
Décharge d'env. $\frac{1}{6}$ avec stabilisation ajustée sciemment trop faible.

Fig. 12a.

Tachygrammes

(variation du nombre de tours en % de la vitesse nominale)

relevés avec un tachygraphe, système Dr. Horn, sur une turbine de la centrale de Felsenau du Service Electrique de la Ville de Berne. Turbine Francis double horizontale avec réglage automatique du distributeur
 $H = 12,5$ à $14,3$ m $P = 1700$ à 1950 kW $Q = 16$ m³/s $n = 214$ t/min



Décharge de $\frac{1}{2}$ de la puissance. Régulateur de la fréquence avec stabilisation électro-magnétique.

Décharge de $\frac{3}{4}$ de la puissance. Régulateur de la fréquence avec stabilisation électro-hydraulique.

Charge brusque de $\frac{1}{4}$ de la puissance (l'alternateur débite sur une résistance liquide), avec stabilisation électro-hydraulique.

Charge brusque de $\frac{1}{2}$ de la puissance (l'alternateur débite sur une résistance liquide), avec stabilisation électro-magnétique.

Fig. 12b.

Tachygrammes

(variation du nombre de tours en % de la vitesse nominale)

relevés sur une turbine de la centrale de Dietikon du Service Electrique du Canton de Zurich.
 Turbine Kaplan avec réglage du distributeur et de l'hélice
 $H = 3,75$ à $4,2$ m $P = 1250$ kW $Q = 34,5$ à 40 m³/s $n = 93,8$ t/min

dant deux dimanches, on procéda à de nombreux essais de charge et de décharge, consistant en des déclenchements du réseau, suivis immédiatement de charge sur résistance liquide et inversément (fig. 12b).

Les résultats furent bons, malgré les conditions défavorables. Il fut possible, ici aussi, de donner à la variation du nombre de tours une allure favorable grâce à l'ajustage facile du mécanisme de stabilisation.

Au cours d'essais pratiques d'exploitation, le régulateur électrique de fréquence type Oerlikon-Escher Wyss a prouvé qu'il est une solution remarquable de la commande électrique des organes de réglage des machines primaires. Ce qui intéresse tout spécialement l'exploitant, est la facilité stupéfiante d'adaptation aux caractéristiques des turbines; comme toutes les pièces importantes sont d'un accès commode et que la construction est simple, la mise en service est facile, et n'importe quelle turbine peut être amenée très rapidement à une marche stable sous temps de réglage minimum.

9° Données techniques et avantages.

- 1° Insensibilité de réglage minimum, inférieure à 0,03 %.
- 2° Temps de réglage minimum et très grande stabilité grâce à un mécanisme d'asservissement et d'amortissement nouveaux.
- 3° Statisme réglable à volonté entre 0 et 6 %.
- 4° Le régulateur est à même de fonctionner jusqu'à des tensions d'environ 10 % de la tension normale.
- 5° Fermeture automatique de la turbine jusqu'à la vitesse de marche à vide dès que le système de mesure n'est plus sous tension.
- 6° Adaptation automatique des forces d'asservissement et d'amortissement au couple développé par le système de mesure.
- 7° Mécanisme d'avertissement et d'amortissement indépendant de la commande à huile sous pression, resp. de la température ambiante.
- 8° Consommation faible du système de mesure, env. 70 VA.
- 9° Erreurs dues à l'échauffement et à la température pratiquement négligeables.
- 10° Le système de mesure est indépendant de la tension.
- 11° Le système de mesure est indépendant de la forme de la sinusoïde de la tension.
- 12° Construction simple du réglage fréquence-puissance.
- 13° Montage facile sur d'autres machines primaires, par exemple sur les turbines à vapeur.

Hochfrequenztechnik und Radiowesen — Haute fréquence et radiocommunications

Messungen an Dipolen im Dezimeterwellengebiet.

(Nach P. Lange, Telefunken-Mitteilungen Bd. 21, Mai 1940, Nr. 83, S. 72.) 621.396.67.029.6

Für viele Zwecke ist die Kenntnis des Widerstandes eines im Strombauch erregten horizontalen Dipols wichtig, und zwar in Abhängigkeit von seinen Abmessungen und seiner Entfernung vom leitenden Boden. Die Theorie solcher Dipole im freien Raum oder mit reflektierender, unendlich ausgedehnter Ebene ist bekannt. Es wird dabei angenommen, dass der Dipol unendlich dünn sei. Die Anwendung von

Dezimeterwellen gestattet, die Theorie durch Versuche im kleinen Maßstab nachzuprüfen.

Die Widerstandsmessungen werden mit einer Lecherleitung durchgeführt, die auf der einen Seite mit dem unbekanntem Widerstand \Re abgeschlossen und auf der Gegenseite mit einem Meßsender erregt wird. Dann wird nach der Telegraphengleichung

$$\frac{\Re}{Z} = \frac{n(1 + \operatorname{tg}^2 \alpha x)}{n^2 + \operatorname{tg}^2 \alpha x} + j \cdot \frac{(1 - n^2) \operatorname{tg}^2 \alpha x}{n^2 + \operatorname{tg}^2 \alpha x}$$