Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke

Band: 49 (1958)

Heft: 10

Artikel: Aus der Praxis der Leistungsfrequenzregelung

Autor: Schär, F.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-1059723

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: 01.10.2025

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

tats d'expériences à multiplier, il est possible de faire l'estimation du coefficient k, selon les degrés de stabilité réalisés dans la pratique.

Les résultats des essais du 28 mars 1957 sur le réseau de Lausanne constituent plus qu'un encouragement à poursuivre les expériences et leur valorisation par l'analyse spectrale. Si ces résultats doivent être pris, du point de vue quantitatif, avec certaines réserves, la cause ne doit pas en être attribuée à la méthode, mais à la faiblesse des variations constatées, ainsi qu'à l'échelle de nos appareils de mesure. Les expériences doivent être renouvelées si possible sur des réseaux où la clientèle témoignera d'une consommation plus mouvementée, avec des appareils dotés de plus grandes échelles, surtout en ce qui concerne le fréquencemètre.

Du point de vue où nous nous sommes placés, les qualités du réglage se résument finalement, pour la pratique, au rapport de l'écart quadratique moyen ε_ω des variations de vitesse, à l'écart quadratique moyen ε_p des variations de charge consommée par la clientèle. Ce rapport qui doit être rattaché à une certaine gamme de fréquences ν, définit l'*imprécision dynamique* du réglage, notion qui nous paraît pouvoir rendre de très utiles services. Nous espérons que nos lecteurs, spécialement ceux s'occupant de l'exploitation des réseaux, partageront notre intérêt pour ces recherches s'étendant à l'influence du PD^2 des groupes générateurs, puis à celles de la promptitude et du degré de stabilité du réglage, sur son *imprécision dynamique*.

Bibliographie

[1] *Chevallier, A., P. Passérieux* et *M. Holleville:* Etude et prédétermination des fluctuations de puissance sur une liaison d'interconnexion de deux réseaux. Bull. Soc. franç. Electr. 7e série, t. 4(1954), nº 43, p. 401...418.

[2] *Gaden, D.:* Considérations sur la précision du réglage. Bull. Soc. franç. Electr. 7e série, t. 2(1952), nº 16, p. 179...197.

[3] *Lehmann, G.:* Calcul du spectre des fluctuations du courant absorbé par un réseau de distribution électrique. Bull. Soc. franç. Electr. 7e série, t. 3(1953), nº 34, p. 593...595.

[4] *Fortet, R.:* Spectre des fluctuations du courant absorbé par un réseau de distribution électrique. Bull. Soc. franç. Electr. 7e série, t. 4(1954), nº 47, p. 712...717.

[5] *Gaden, D.:* Essai d'un procédé pour caractériser la clientèle d'un réseau selon la variabilité de sa consommation. Bull. ASE t. 46(1955), nº 2, p. 45...56.

[6] *Juillard, E.:* Instrumentation; appareils spéciaux nécessités par les essais. Bull. ASE t. 43(1952), nº 13, p. 571...574.

[7] *Blanc, Ch.:* A propos de l'étude des fonctions aléatoires. Bull. techn. Suisse rom. t. 81(1955), nº 18, p. 265...268.

[8] *Camichel, C., D. Eydoux* et *M. Gariel:* Etude théorique et expérimentale des coups de bélier. Toulouse: Ed. Privat; Paris: Dunod 1919.

[9] *Favre, H.:* La résonance des conduites à caractéristiques linéairement variables. Bull. techn. Suisse rom. t. 68(1942), nº 5, p. 49...54; nº 6, p. 61...66.

Adresse de l'auteur:

D. Gaden, professeur à l'Ecole Polytechnique de l'Université de Lausanne, directeur des Ateliers des Charmilles S. A., Genève.

Aus der Praxis der Leistungsfrequenzregelung[1])

Von *F. Schär*, Olten

621.316.726 : 621.316.728 : 621.311.161

In der Arbeit wird kurz über den Zusammenschluss der Netze mit Hilfe der Leistungsfrequenzregelung berichtet. Sie erläutert die für die Steuerung mehrerer Maschinen verwendeten Blockschemata und beschreibt auch ungünstige Dispositionen. Es werden Messungen der Übergabeleistung sowie des statischen und dynamischen Verhaltens der Turbinenregler besprochen und Forderungen daraus abgeleitet.

Bref aperçu de l'interconnexion de réseaux avec réglage fréquence-puissance. Description des schémas fonctionnels utilisés pour la commande de plusieurs machines, de même que des dispositions défavorables. Exposé des mesures de la puissance de transfert et du comportement statique et dynamique des régulateurs des turbines, ainsi que des exigences qui en résultent.

1. Einführung

Obschon die Entwicklung auf dem Gebiet der Leistungsfrequenzregelung nicht abgeschlossen ist, dürften die folgenden Ausführungen von Interesse sein, da sie auf Grund bisher erreichter Resultate zu weiteren Verbesserungen anregen können.

2. Allgemeines

Fig. 1 zeigt schematisch einige grosse Netze mit ihren Kuppelleitungen, welche an den Übergabepunkten mit Messwertumformern versehen sind, die über Fernregulierkanäle zu Regulierlastverteilern führen. Diese sind derart mit den Regelkraftwerken verbunden, dass die Übergabeleistung oder auch Summen davon an den verschiedensten Orten geregelt und konstant gehalten werden können. Beispielsweise gestattet der Netzregler in Lavorgo, die Übergabeleistung in Mettlen, Gösgen oder Bottmingen zu regulieren. Wie das Schema erkennen lässt, können mit Hilfe der Leistungsfrequenzregelung die Energieflüsse derart beherrscht werden, dass sich die Vorteile einer mehr regionalen Betriebsführung mit denjenigen des Verbundbetriebes kombinieren lassen.

3. Die Disposition der Maschinensteuerung

Aus Fig. 2 ist die Disposition zur Steuerung von 4 Maschinen in Form eines Blockschemas ersichtlich. Der mechanische Netzregler des Kraftwerkes Piottino ist bereits im Betrieb, der elektronische kurz vor der Fertigstellung. Von diesem wird später noch die Rede sein.

Wie das Blockschema erkennen lässt, ist jede Maschine über je 1 Potentiometer an 2 Sammelschienen angeschlossen. Die eine davon führt eine konstante Spannung, die andere ist mit dem Netzregler verbunden. Mit dem linken Potentiometer kann der gewünschte Regellastanteil, mit dem anderen der Grundlastanteil der Maschine eingestellt werden, womit dem Wasser-Zu- und Abfluss gebührend Rechnung getragen wird.

Bei den Aggregaten links in Fig. 2 wird der Stellbefehl über einen elektronischen Vorverstärker bzw. Messwandler und einen Hauptverstärker dem Dreh-

[1]) Das Manuskript wurde am 11. Februar 1958 der Redaktion eingereicht.

zahlverstellmotor zugeführt, welcher den Vor- und Hauptservomotor des Turbinenreglers beeinflusst und so die erzeugte Leistung steuert. Die kleinen Zeichen bei den einzelnen Symbolen charakterisieren das regeltechnische Verhalten. So wirken die beiden Netzregler als PI-Glieder, das heisst, der grössere Prozentsatz des Regelbefehls, der Proportionalanteil, wird möglichst unverzögert an den Turbinenregler weitergegeben. Dies ist durch den senkrechten Strich bezeichnet. Der zweite Teil des Regelbefehls, der Integralanteil, dargestellt durch die schräg ansteigende Linie, wird entsprechend der Maschinenzeitkonstanten so eingestellt, dass die totale Änderung des Stellbefehls der Maschine gerade zur gleichen Zeit um den geforderten Mehr- oder Minderregelbetrag erreicht ist, wenn Soll- und Ist-Wert der Übergabeleistung wieder übereinstimmen. Die Regulierzeitkonstante am Netzregler muss also mit derjenigen des übrigen Regelkreises, hauptsächlich mit dem Hauptservomotor übereinstimmen. Da man am Netzregler nur eine Zeitkonstante einstellen kann, ergibt sich daraus die Forderung, dass man sowohl grössere wie kleinere Abweichungen möglichst mit einer der Abweichung proportionalen Geschwindigkeit, das heisst nach den Regeln einer Exponentialkurve ausregelt, da nur bei ihr für alle Abweichungen mit derselben Zeitkonstanten gearbeitet werden kann.

Der Drehzahlverstellmotor wirkt für sich betrachtet zwar als Integralglied, funktioniert aber durch die Rückführung als Proportionalglied. Die internen Rückführungen des Vor- und Hauptservomotors sind der Einfachheit halber weggelassen. Bei beiden Maschinen haben die Drehzahlverstellmotoren zusätzlich eine zweite Rückführung mit differenzierendem Einfluss, realisiert durch eine Tachodynamo. Bei der zweiten Maschine ist die Rückführung des Hauptservomotors durch eine vorübergehende Statik ergänzt.

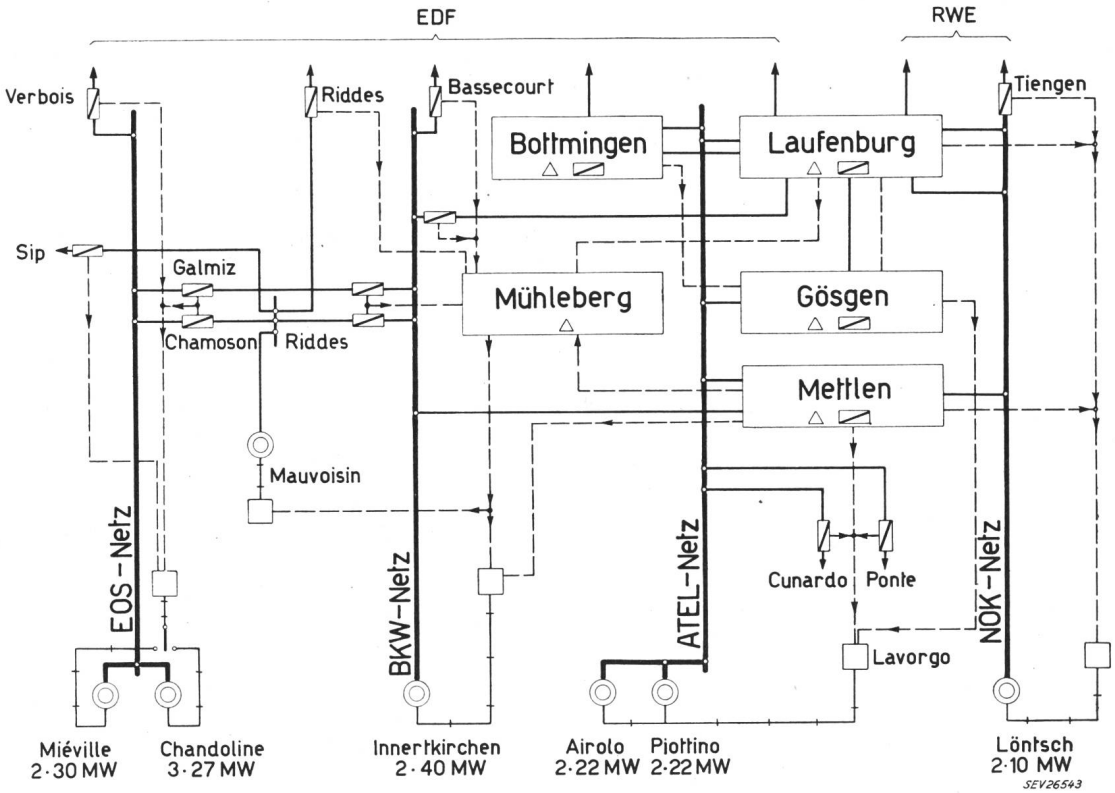


Fig. 1
Übersichtsplan für die Leistungsfrequenzregelung in der Schweiz

◎ Kraftwerke □ Netzregler ▱ Messwertumformer △ Fernmessumschaltung

—— Verbindungsleitung —+—+— Fernübertragung für Stellbefehl - - - Fernübertragung für Übergabeleistung

Im Gegensatz dazu arbeiten die Maschinen des Kraftwerkes Piottino — rechts in Fig. 2 — mit je einem Prallplattenverstärker als Eingang. Dieser hat verschiedene regeltechnische Vorteile, aber den Nachteil, dass sein nachträglicher Einbau in einen schon vorhandenen Regler viel mehr zu tun gibt. Dagegen erfordert die Regelung über einen Drehzahlverstellmotor relativ wenig zusätzliche Montage-Arbeit. Auf seine Disposition zu Regelzwecken ist jedoch besonders zu achten. Abgesehen von absoluter Zuverlässigkeit soll er vor allem ein grosses Drehmoment, dagegen nur eine sehr kleine Schwungmasse haben und zweckmässig übersetzt sein. Interessante Angaben darüber findet man in dem bekannten Buch von *Chestnut* and *Mayer:* «Servomechanism and Regulating System Design», Band 2, Abschnitt 3, [1] [1]).

Da die vom Drehzahlverstellmotor geforderten Eigenschaften bei hydraulischen Steuerelementen

[1]) Siehe Literatur am Schluss des Aufsatzes.

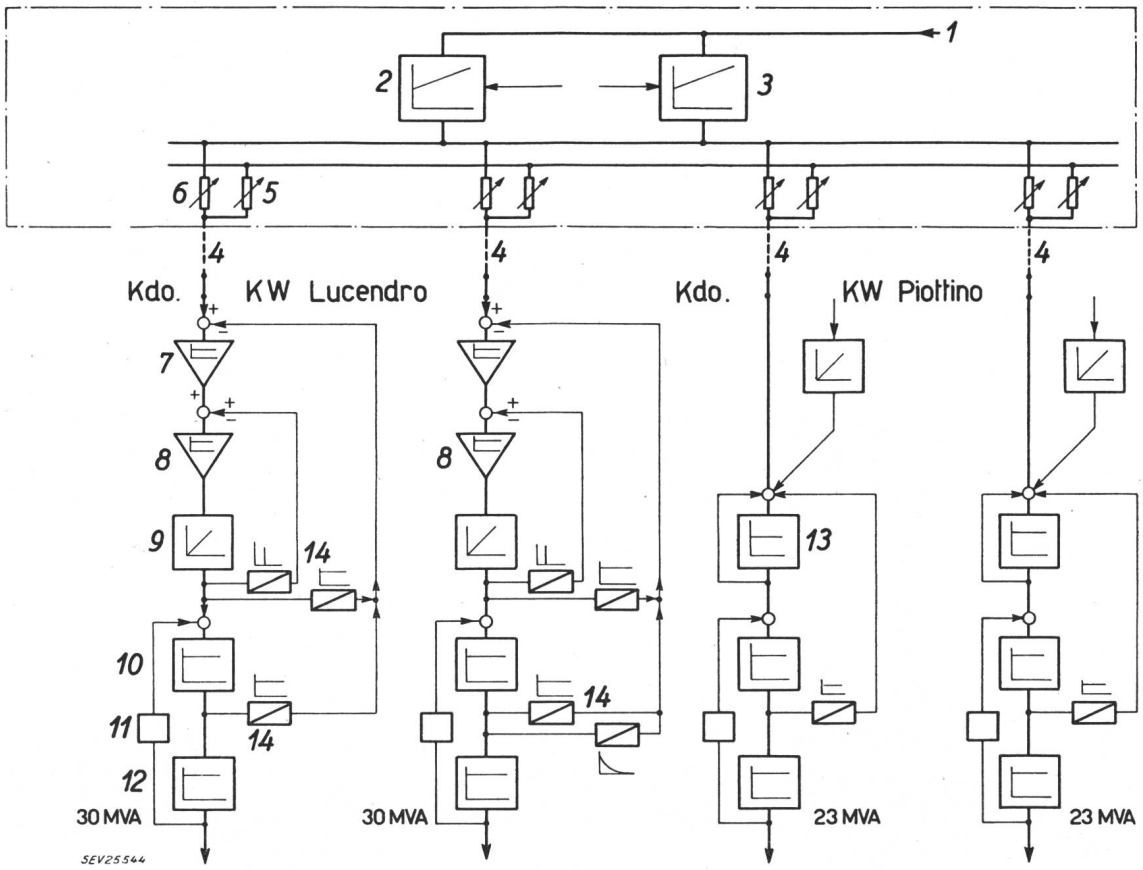
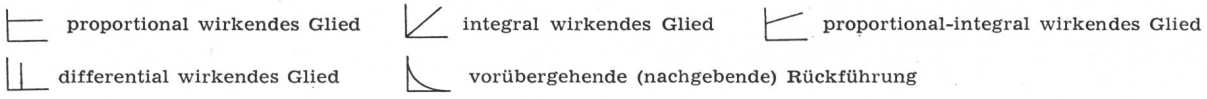


Fig. 2
Disposition zur Steuerung der Maschinen in den Kraftwerken Lucendro und Piottino

1 vom Fernmessempfänger; *2* mechanischer Netzregler; *3* digitaler Netzregler; *4* Fernsteuerkanal; *5* Potentiometer für Grundlast; *6* Potentiometer für Regellast; *7* Vorverstärker bzw. Messwandler; *8* Hauptverstärker; *9* Drehzahlverstellmotor; *10* Vor- und Hauptservomotor; *11* mechanischer Regler $f + df/dt$; *12* Turbine und Generator; *13* Prallplattenverstärker; *14* Messgrössenwandler



schon von Haus aus vorhanden sind, kann man sich fragen, ob es nicht zweckmässig wäre, nach geeigneten hydraulischen Lösungen zu suchen, welche die Vorteile beider Arten — einfacher Anbau, grosses Drehmoment, kleine Masse — vereinigen.

4. Vergleich mit einer amerikanischen Anordnung

Zum Vergleich der schweizerischen mit der amerikanischen Praxis ist aus Fig. 3 das Blockschema für die Regelung der Turbinen in Niagara Falls ersichtlich. Das Eingangssignal wird bei dieser Disposition einem Actuator zugeführt, der ebenso wie unser Netzregler ein proportional-integrales Verhalten aufweist und mit Transistoren und magnetischen Verstärkern arbeitet. Der Drehzahlverstellmotor ist ebenfalls vorhanden und rückgeführt, jedoch erst von der elektrischen Seite her. Zudem ist noch ein Lastzuwachsbegrenzer angebracht, realisiert durch einen Phasen-Discriminator, welcher von der elektrischen Seite her die zulässige Laständerung pro Sekunde einzustellen gestattet. Damit kann die Regelgeschwindigkeit den vorhandenen hydraulischen Bedingungen — zulässiger Druckstoss — oder den thermischen Bedingungen der Dampfkessel — maximal zulässiger Lastzuwachs pro Sekunde — in einfacher Weise angepasst werden.

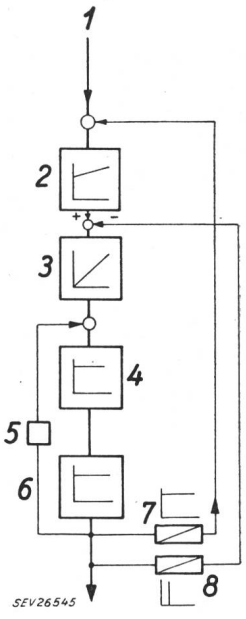


Fig. 3
Blockschema der Turbinensteuerung im Kraftwerk Niagara Falls

1 vom Fernmessempfänger; *2* Actuator (Transistoren und magnetische Verstärker); *3* Drehzahlverstellmotor; *4* Vor- und Hauptservomotor; *5* mechanischer Geschwindigkeitsregler; *6* Turbine und Generator; *7* Messgrössenwandler; *8* Laständerungs-Geschwindigkeitsbegrenzer

Weitere Bezeichnungen siehe Fig. 2

5. Prinzipielle Nachteile einer früher viel verwendeten Anordnung

Zur Vervollständigung der Übersicht und zum besseren Verständnis der nachfolgenden Ausführungen zeigt Fig. 4a das Prinzip eines früher oft verwendeten Regelkreises. Weicht die Übergabeleistung aus irgendeinem Grunde vom Sollwert ab, dann läuft der Drehzahlverstellmotor solange, bis von der Übergabestelle wieder die richtige Leistung rückgemeldet

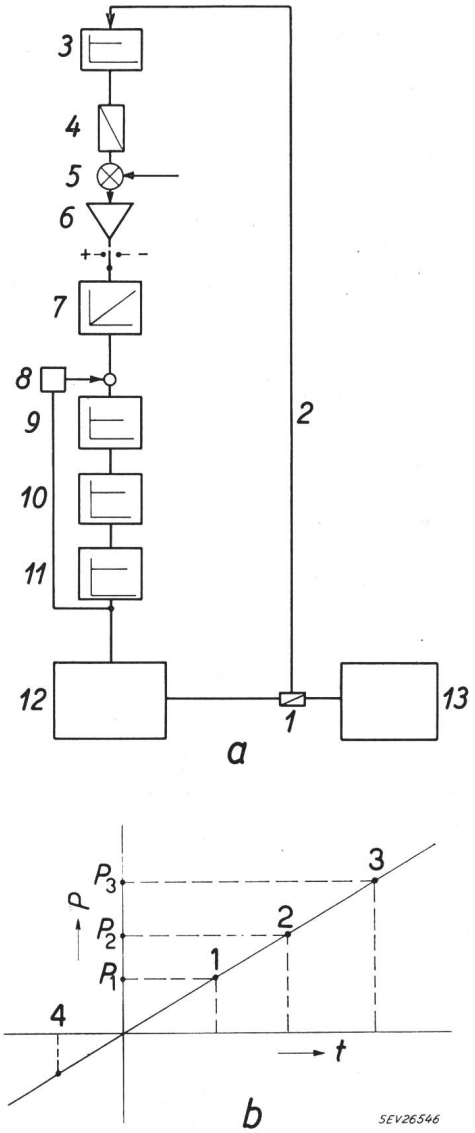


Fig. 4
Blockschema eines Integralregelkreises

1 Übergabemeßstelle; *2* Fernmesskanal; *3* Fernmessempfänger; *4* Messgrössenwandler; *5* Sollwertgeber; *6* Hauptverstärker; *7* Drehzahlverstellmotor; *8* mechanischer Geschwindigkeitsregler; *9* Vor- und Hauptservomotor; *10* Turbine; *11* Generator; *12* eigenes Netz; *13* fremdes Netz
a Schaltbild; *b* Integraldiagramm; *P* Übergabeleistung; *t* Zeit

Weitere Bezeichnungen siehe Fig. 2

wird. Das scheint auf den ersten Blick ganz in Ordnung zu sein. Beachtet man aber, dass der Drehzahlverstellmotor unter Umständen wesentlich rascher auf der neuen Einstellung angelangt ist als der Hauptservomotor der Turbine, dann kann sich folgendes Spiel ergeben:

Die Übergabeleistung P_2 soll Punkt *2* der Fig. 4b entsprechen. Aus irgend einem Grunde ist sie auf den Wert gemäss Punkt *1* zurückgegangen. Der Drehzahlverstellmotor läuft an, und mit einer gewissen zeitlichen Verzögerung hintendrein auch der Hauptservomotor der Turbine. Wenn der Drehzahlverstellmotor die neue Einstellung gemäss Punkt *2* erreicht hat, ist der Hauptservomotor sehr wahrscheinlich noch nicht dort. Der Drehzahlverstellmotor läuft somit weiter, z. B. bis Punkt *3*. Dort wird endlich von der Übergabestelle rückgemeldet, der Sollwert der Übergabeleistung sei nun vorhanden. Zu diesem Zeitpunkt hat aber der Hauptservomotor seinen Befehl noch nicht ausgeführt. Er läuft weiter. Die Übergabeleistung schiesst über das Ziel hinaus, bis vom Drehzahlverstellmotor der Umkehrbefehl eintrifft; d. h. der ganze Regelkreis kommt erst nach einigen überflüssigen Pendelungen zur Ruhe.

Die Anforderungen eines Netzes an eine Regulierung sind aber normalerweise viel grösser. In den meisten Netzen versucht die Übergabeleistung entsprechend den ständigen Last-Zu- und Abnahmen dauernd, vom Sollwert abzuweichen. Die Regelmaschinen erhalten also dauernd Befehle, d. h. sie befinden sich immer am Regeln. Nun entspricht aber ein zeitproportionales Öffnen oder Schliessen einem Integrieren des Befehls; da der Drehzahlverstellmotor, d. h. das Integralglied, in Serie geschaltet ist, verursacht dies schon von Anfang an eine Phasenverschiebung von 90° bei langsamen und 180° bei raschen Veränderungen. Zur Ausregelung von Leistungsschwankungen, wie solche auf einer Kuppelleitung üblich sind, ist somit ein solcher Regelkreis schlecht geeignet.

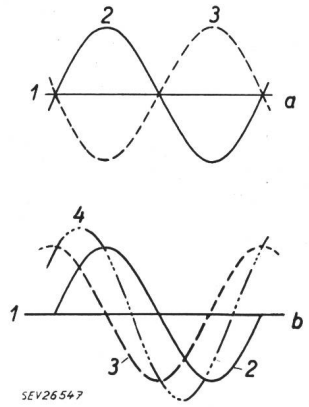


Fig. 5
Auswirkungen von Phasenverschiebungen

a bei einer Phasenverschiebung von 0° reguliert die Regelmaschine die Schwankung vollständig aus.
b bei einer Phasenverschiebung von 90° kommt die Regelmaschine zu spät, die Schwankungen werden vergrössert

1 Sollwert der Übergabeleistung; *2* Schwankung bzw. Schwankungstendenz der Übergabeleistung; *3* Antwortkurve der Regelmaschine; *4* Summenkurve

Zur besseren Veranschaulichung der Phasenverschiebung nehmen wir an, die Schwankungen hätten sinusförmigen Charakter. Dann bedeutet eine Phasenverschiebung von 0°, dass die Mehrleistung *im gleichen* Zeitpunkt eintrifft, in welchem sie über den Regelkanal angefordert wird (Fig. 5). Eine

Phasenverschiebung von 180° dagegen würde bedeuten, dass der von den Regelmaschinen angeforderte «Berg» zum Ausfüllen eines «Tales» erst eintrifft, wenn schon der nächste «Berg» in der Übergabeleistung vorhanden ist. Bei einer Phasenverschiebung von mehr als 30° werden somit die «Berge» im Übergabeleistungsdiagramm noch höher und die «Täler» noch tiefer.

In ähnlicher Art, wie der nur über den Fernregelkanal rückgeführte Drehzahlverstellmotor, wirken Hauptservomotoren, deren Rückführungen entfernt oder elektrisch unwirksam gemacht wurden, weil hier die Umstände, wegen der zur Abweichung proportionalen Geschwindigkeit, günstiger sind.

6. Nachteile der reinen Leistungsregelung

Es sei angenommen, eine Kuppelleitung verbinde Netz A mit Netz B (Fig. 6). Beide Netze haben je eine totale Maschinenleistung von 600 MW, ohne Regelgruppe. Der Soll- und Ist-Wert der Austauschleistung sei gerade 0. Nimmt im Netz B die Last derart zu, dass die Frequenz um 2 ‰ oder 0,1 Hz sinkt, dann übernehmen, entsprechend dem Mittelwert von ca. 5 % der Statik aller Turbinen, die Generatoren beider Netze etwas mehr Last. Über die Kuppelleitung fliesst dementsprechend eine Aushilfsleistung von 24 MW. Da jedoch der Sollwert und voraussetzungsgemäss auch die Regelleistungskonstante gleich 0 ist, erhalten die von der Übergabeleistung gesteuerten Regelmaschinen den Befehl, ihre Leistungen zu verringern, bis die Übergabeleistung eben gleich 0 ist. Sie müssen zu diesem Zweck 24 MW weniger, bzw. mehr erzeugen und können das natürlich nur, wenn sie über genügend Regelleistung verfügen, andernfalls werden sie einfach in die Endlage gesteuert. Da nun aber die Netzfrequenz selten ganz konstant ist, haben die Regelmaschinen beständig sehr viel zu tun. Vom kaufmännischen Standpunkt aus mag diese Auffassung der reinen Leistungsregelung verständlich erscheinen. Bedenkt man aber, dass solche Frequenzhilfen ganz wahllos vom einen, bald vom andern Netz

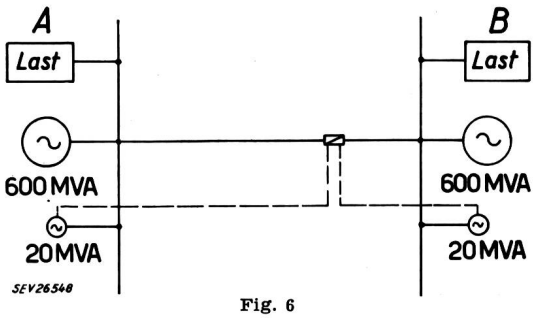


Fig. 6
Leistungsfrequenzregelung zwischen Netz *A* und *B*

benötigt werden und die Summe der zusätzlichen Energielieferungen über einen längeren Zeitpunkt wohl meist gleich 0 ist, dann erscheint das Arbeiten mit der natürlichen Regelleistungskonstanten, bei welcher Regelmaschine und übrige Generatoren stets im gleichen Sinn arbeiten, wesentlich vernünftiger.

Die Wichtigkeit der richtigen Ausführung der Regelbefehle hat die Atel veranlasst, die sie interessierenden Grössen ab und zu auch in Zusammenarbeit mit den Energielieferanten zu messen. Nachfolgend sollen daher einige Messresultate gezeigt werden, welche die Bedeutung solcher Messungen erkennen lassen.

7. Messresultate

Fig. 7 zeigt den funktionellen Zusammenhang zwischen dem Eingangsstrom zum Prallplattenverstärker eines Turbinenreglers im Kraftwerk Piottino und der Leistung an den Generatorklemmen. Die Kurven wurden direkt mit einem Funktionenschreiber aufgenommen. Dabei liess man das Eingangssignal langsam bis zum Endwert ansteigen und nachher wieder auf 0 abfallen. Dadurch erhielt man eine Art «Hysteresiskurve», die den linearen Zusammenhang zwischen den beiden Grössen gut erkennen lässt. Da die Kurven für die Auf- und Zu-Bewegung nahe beieinander liegen, sind die Reibun-

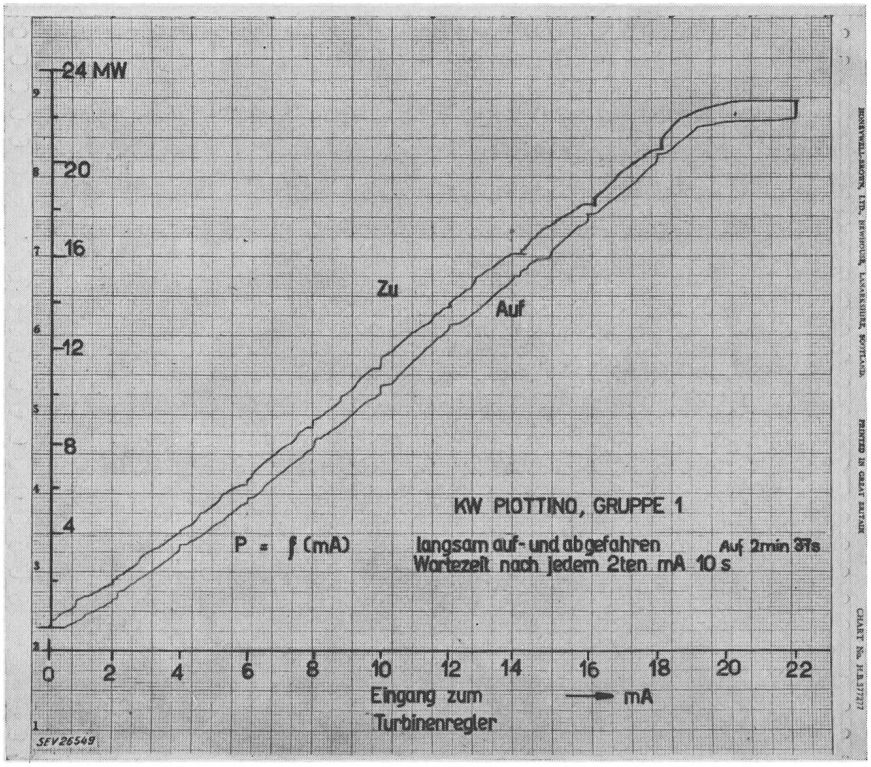


Fig. 7
Leistung eines Generators des Kraftwerkes Piottino in Funktion des Eingangsstromes zum Prallplattenverstärker bei einem Auf- und Zu-Spiel

gen im Steuermechanismus klein. Bei der Aufnahme wartete man nach jeder Änderung des Verstärkerstromes von 2 mA 10 s lang, um die Messwerte auch nach den schweizerischen Regeln für Wasserturbinen beurteilen zu können.

Fig. 8 zeigt einen schon etwas weniger guten Zusammenhang zwischen Eingangsstrom und Nadelposition. Die Nadel ändert ihre Lage zwischen 0 und 3 mA des Eingangsstromes des Reglers nicht. Auch ist der Zusammenhang zwischen den erwähnten Grössen nicht linear, wobei allerdings beachtet werden muss, dass zwischen Nadelposition und Leistung ebenfalls kein rein linearer Zusammenhang besteht. Die anfänglich etwas ungünstigen Messresultate wurden bei der Inbetriebsetzung durch den Lieferanten des Reglers korrigiert, so dass sich nachher ein wesentlich besserer Funktionsverlauf ergab.

Die ursprüngliche Antwortkurve einer 30-MW-Maschine im Kraftwerk Lucendro bei stossförmiger Veränderung des Eingangssignals von 9 auf 10 mA zeigt Fig. 9. Anfänglich überschiesst die Leistung; anschliessend treten Reglerschwingungen auf, deren Periodendauer 15,2 s beträgt. Ein solches Verhalten eines Reglers lässt sich nur durch Messungen feststellen. Die unerwünschten Reglerschwingungen konnten durch geeignete Einstellung am Regler selbst zum Verschwinden gebracht werden.

Bei dem genau gleichen Stossversuch an einer andern Maschine (Fig. 10) zeigte es sich, dass infolge der vorübergehenden Rückführung am Ausgang des Hauptservomotors (auf die schon in Fig. 2 verwiesen wurde), der Regler auf ungünstigere Einstellungen weniger empfindlich war. Schon der erste Versuch brachte eine gute Antwortkurve.

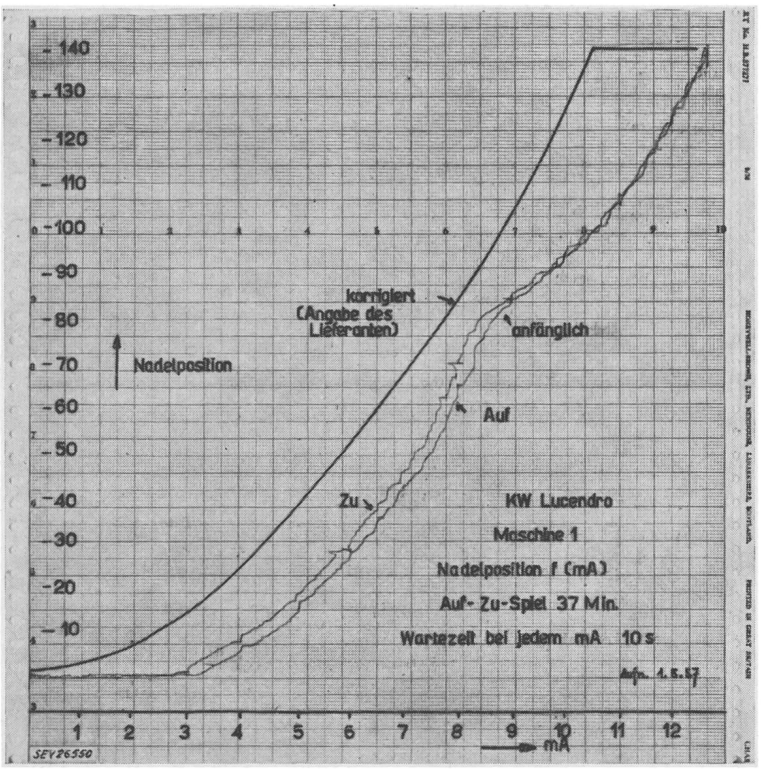


Fig. 8
Nadelposition des Generators 1 des Kraftwerkes Lucendro in Funktion des Eingangsstromes des Turbinenreglers

8. Übergabeleistungsmessungen

Fig. 11 zeigt das Schwanken der Übergabeleistung im Unterwerk Bottmingen, Richtung Kembs, aufgenommen mit einem Schleifenoszillographen, mit einer Geschwindigkeit von 1 cm/s. Der Sollwert der Übergabeleistung war zu diesem Zeitpunkt auf 0 eingestellt, der Parallelbetrieb aus Sicherheitsgründen jedoch nicht unterbrochen. Wie diese Figur zeigt, schwankt die Leistung bis zu 10 MW in wenigen Sekunden. Solche Schwankungen können mit gewöhnlichen Regeleinrichtungen unmöglich schnell genug ausgeregelt werden.

Fig. 12 zeigt das Übergabeleistungsdiagramm im Kraftwerk Gösgen am 31. Juli 1957 für die Zeitperiode zwischen 12 und 21 Uhr. Da die Leistung

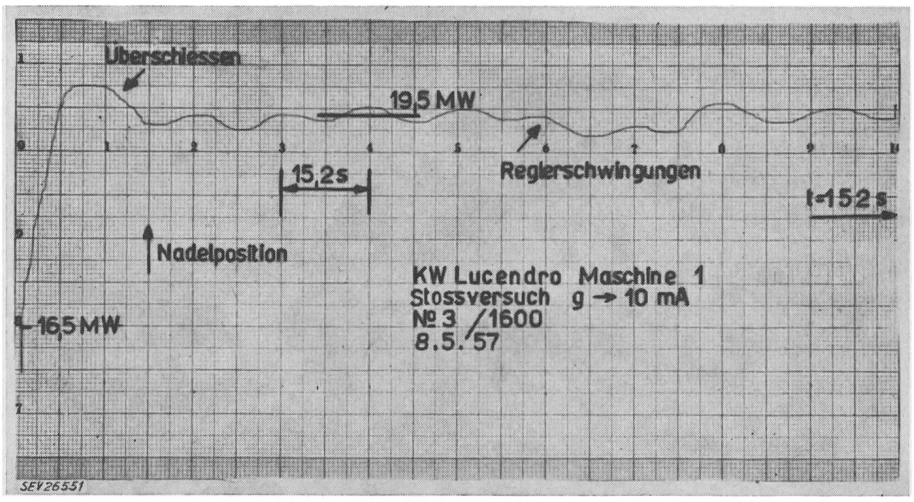


Fig. 9
Antwortkurve des Generators 1 im Kraftwerk Lucendro bei stossförmiger Veränderung des Eingangssignals des zugehörigen Turbinenreglers von 9 auf 10 mA

dauernd schwankte, wurde an Stelle eines Striches ein Band aufgezeichnet. Um 16.45 Uhr betrug die aus dem Diagramm bestimmte Leistungsschwankung scheinbar 5 MW. Ein Ausschnitt aus dem Registrierstreifen des elektronischen Präzisionsfrequenzmessers (Fig. 13) zeigt, dass die Frequenz um 16.45 Uhr praktisch konstant war.

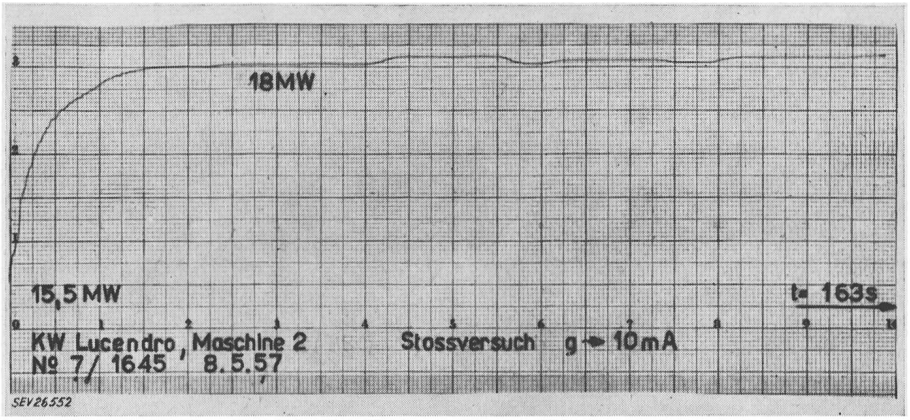


Fig. 10
Antwortkurve des Generators 2 im Kraftwerk Lucendro bei stossförmiger Veränderung des Eingangssignals des Turbinenreglers

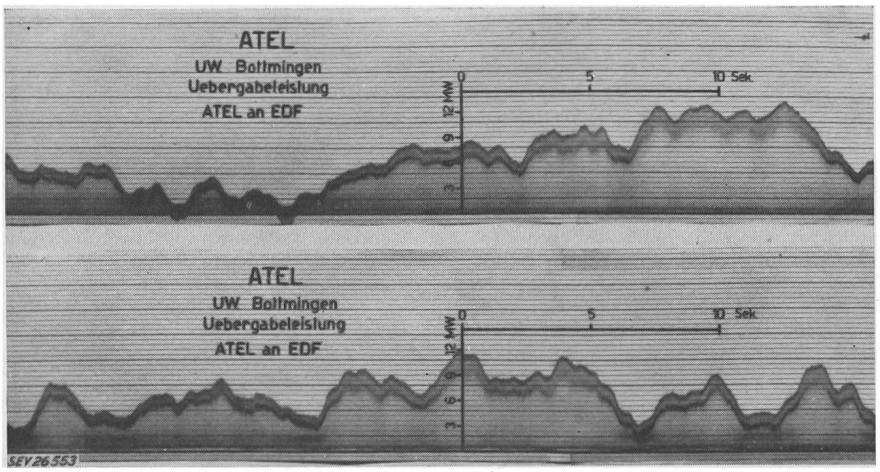


Fig. 11
Oszillogramm der Übergabeleistung der Atel im Unterwerk Bottmingen, Richtung Kembs, an die EDF

Eine Aufnahme der Übergabeleistung um etwa 16.45 Uhr mit einem Funktionenschreiber, welcher über einen Thermoumformer die Leistung bei unterdrücktem Nullpunkt und grösserem Zeitvorschub registriert (Fig. 14) zeigt jedoch, dass die Leistungsschwankungen die Form von «Fransen» aufweisen, sie werden deshalb in der Literatur gelegentlich auch so genannt. Das Diagramm lässt rasche und weniger rasche Schwankungen erkennen. Erstere erreichen die Grössenordnung von ± 2 MW bei einer Periodendauer von 1...2 s. Die langsameren Schwankungen haben eine Periodendauer von ca. 60 s und erreichen Amplituden von ± 5 MW. Der Unterschied zwischen dem Leistungsdiagramm des Registrierwattmeters (Fig. 12) und dem mit dem Funktionenschreiber aufgenommenen (Fig. 14) lässt sich leicht erklären durch die Tatsache, dass das Registrierwattmeter ein Instrument der Genauigkeitsklasse 1,5 ist und bei einem Registrierbereich von 100—0—100 MW einen zulässigen Fehler von 3 MW nach jeder Seite des registrierenden Leistungsbandes haben darf. Wenn demnach die Leistung in Wirklichkeit um ca. 11 MW hin- und herschwankt, dann kann ein solches Registrierwattmeter eine Schwankung von nur 5 MW anzeigen, wobei man aber nicht unrichtig interpretieren darf. Registrierstreifen sind also in dieser Hinsicht mit Vorsicht auszuwerten. Man mag nun einwenden, dass diese relativ raschen Lastschwankungen ohnehin nicht ausgeglichen werden können und nicht viel zu bedeuten haben. Mit den heutigen kleinen Regelleistungen und Regelgeschwindigkeiten ist man allerdings machtlos. Die Amplituden der «Fransen» nehmen aber mit dem schnellen Anwachsen der Industrielasten und der rotierenden Massen rasch zu. Belastungsschwankungen, die früher bei in sich geschlossenen Netzen zu Frequenzänderungen führten, werden heute mehr und mehr auch von rotie-

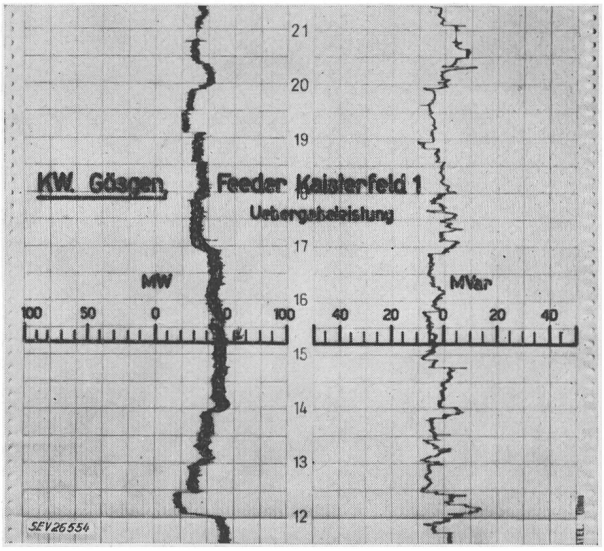


Fig. 12
Diagramm der Übergabeleistung im Kraftwerk Gösgen, Feeder Kaisterfeld, aufgenommen mit Registrierwattmeter

renden Massen fremder Netze übernommen. Dementsprechend rasch wachsen aber auch die Leistungsstösse auf den Kuppelleitungen. Dies kann in Zukunft schliesslich soweit gehen, dass das unerwünschte Unterschreiten der Ansprechimpedanz von Selektivschutzeinrichtungen riskiert wird, womit diese «Fransen» doch sehr an Bedeutung gewinnen. Wie verhalten sich nun die Regelmaschinen bei solch hohen Anforderungen an die Ausregelung der Übergabeleistung? Bei verschiedenen Versuchen wurde dem Turbinenregler an Stelle des Fernmeßsignals am Eingang ein sinusförmig veränderliches Störsignal aufgedrückt und die Leistung am Ausgang nach Grösse und Phasenlage bzw. zeitlicher Verschiebung gemessen, d. h. es wurde der Frequenzgang aufgenommen.

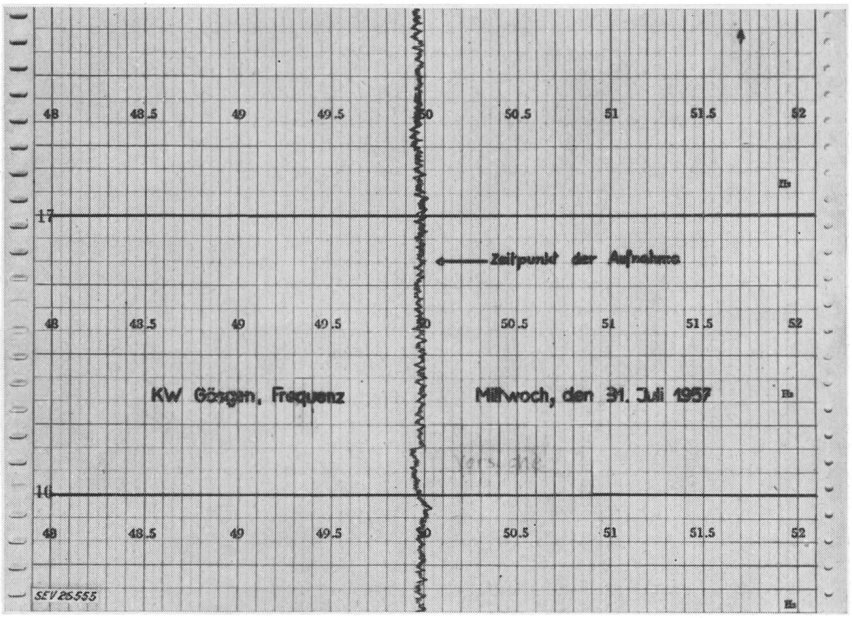


Fig. 13
Ausschnitt aus dem Diagramm des elektronischen Präzisionsfrequenzmessers im Kraftwerk Gösgen

9. Messungen des Frequenzganges

Das Oszillogramm von Fig. 15a stellt im oberen Teil die Leistung der Maschine und im untern Teil das Eingangssignal dar. Beide schwanken sinusförmig mit einer Periodendauer von 156 s. Das Leistungsminimum tritt jedoch erst 32 s später als der Befehl auf, d. h. die Phasenverschiebung beträgt 74 °. Zudem weist das Leistungsdiagramm horizontale Stellen auf. Anscheinend hat sich dort der Kolben des Hauptservomotors nicht bewegt. Es sind die bekannten nicht ganz vermeidlichen Totzeiten, die durch Reibung und allenfalls Lecköl bedingt sind und auf die in interessanter Weise schon *Th. Stein* hingewiesen hat [4]. Das Diagramm in Fig. 15b zeigt ebenfalls deutlich die Phasenverschiebung zwischen Eingangssignal und Leistung der Maschine. Die Periodendauer war hier 96 s, und die Phasenverschiebung betrug rund 90 °. Der auf diese Weise geprüfte Regler ist schon über 25 Jahre in Betrieb und konnte nicht oft revidiert werden. Das gleiche trifft allerdings auch auf manchen anderen Regler zu. Man darf auch nicht vergessen, dass es sich hier um sehr grosse Verstärkungen handelt. Die Eingangsleistung beträgt 0,1 W und die Ausgangsleistung 20 MW, so dass die Verstärkung $2 \cdot 10^8$ beträgt.

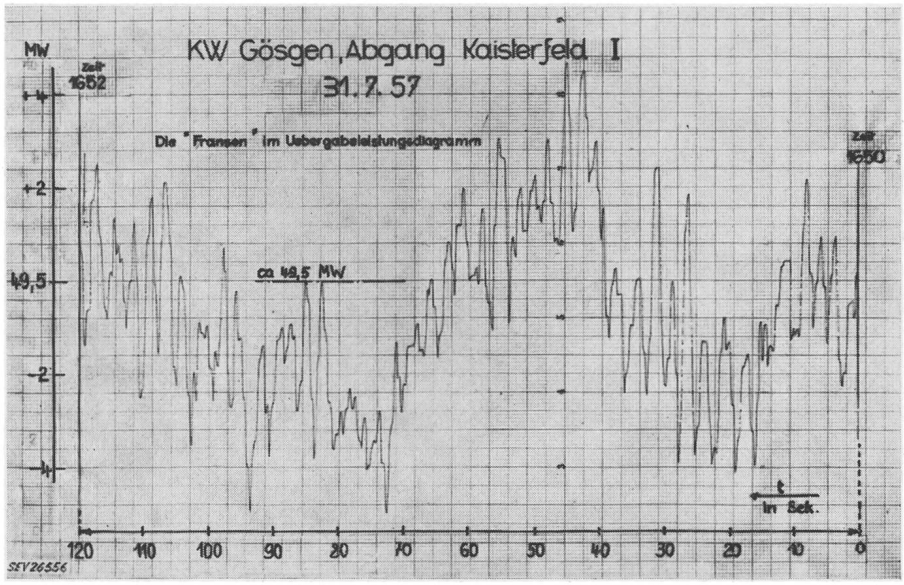


Fig. 14
Diagramm der Übergabeleistung im Kraftwerk Gösgen, Feeder Kaisterfeld, aufgenommen mit Funktionenschreiber
(Nullpunkt unterdrückt)

Aus Fig. 16 sind entsprechende oszillographische Aufnahmen aus dem Kraftwerk Lucendro ersichtlich. Das Fernmess-Signal steuert über den Drehzahlverstellmotor das Vorsteuerventil, und dieses den Hauptservomotor. Bei einer Periodendauer von 60 s resultiert zwischen Eingangssignal und Drehzahlverstellmotor eine Voreilung von ≈ 20 ° und zwischen Verstellmotor und Hauptservomotor eine Nacheilung von 49 °. Die totale Phasenverschiebung beträgt also 29 °.

Aus Fig. 17a ist das Verhalten des Reglers ersichtlich, wenn der Einfluss der Rückführung des Dreh-

zahlverstellmotors an dessen Eingang gleich 0 ist. Der Drehzahlverstellmotor überschiesst offensichtlich, das Endresultat auf die Nadel ist jedoch eher günstig. Man darf wohl daraus den Schluss ziehen, dass die Rückführung von Zwischengliedern für diese Frequenzen nicht so wichtig ist, wie die Stellung des Hauptservomotors oder die Leistung. Das untere Oszillogramm in Fig. 17b zeigt das Verhalten bei nur 8 s Periodendauer. Der Verstellmotor reagiert noch, ist aber nicht mehr in der Lage, in die Endposition zu laufen. Der Hauptservomotor kommt kaum mehr mit, die erzeugten Leistungsschwankungen sind praktisch 0. Das ist hier auch erwünscht, da jetzt zwischen Eingang- und Ausgangsignal eine Phasenverschiebung von 200° besteht. Die Regelmaschine macht also «mehr» als das Gegenteil von dem, was man haben sollte. Sie ist zwar statisch unbedingt stabil, dynamisch aber befriedigt dieses Verhalten nicht. Zeichnet man die Resultate aller Oszillogramme graphisch auf, dann erhält man den Frequenzgang.

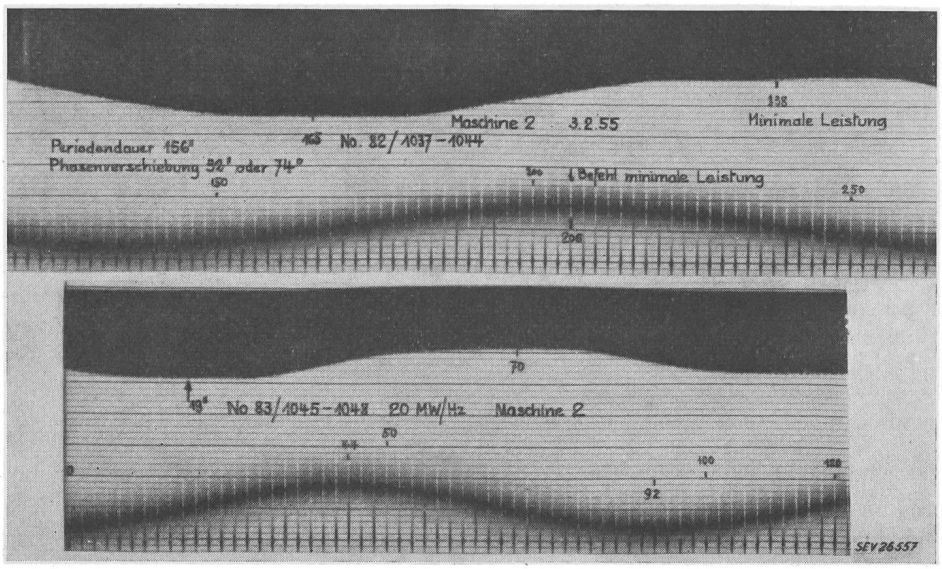


Fig. 15
Oszillogramme der Ausgangsleistung und des sich sinusförmig verändernden Eingangssignals
(Kraftwerk Piottino)
Periodendauer des Eingangssignals 156 s (*a*) bzw. 96 s (*b*)
Bezeichnungen siehe im Text

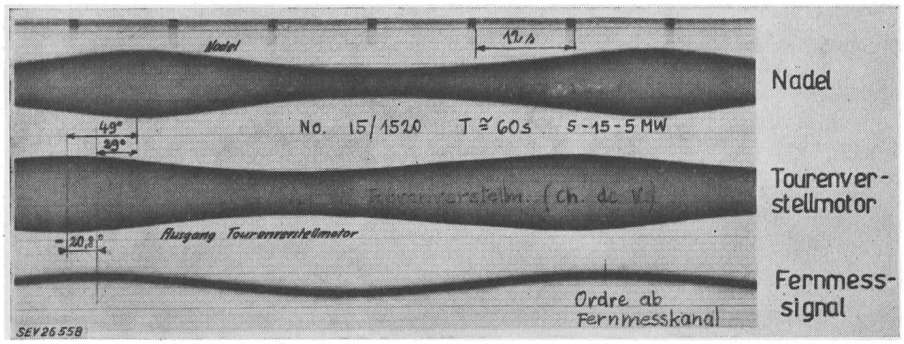


Fig. 16
Oszillogramm der Ausgangsleistung und des sich sinusförmig verändernden Eingangssignals
(Kraftwerk Lucendro)
Periodendauer des Eingangssignals 60 s

10. Direkte Aufnahme des Frequenzgangs

In Fig. 18 ist ein Blockschema zur direkten Aufnahme des Frequenzganges dargestellt. Das Schreibsystem für die x- und die y-Koordinate eines Funktionenschreibers wird nach dem Blockschema in den entsprechenden Positionen und Zeitabständen impulsartig gespeist. Fig. 19 zeigt diesen Zyklus in Polardarstellung. Da der Schreiber für ein und dieselbe Frequenz nur einen bestimmten Punkt aufzeichnen muss, können mit einer solchen Anordnung Frequenzgänge von 0 bis zu einigen 100 Hz/min aufgenommen werden.

In Fig. 20 ist ein mit dem Funktionenschreiber vom Turbinenregler direkt aufgenommenes Nyquistdiagramm wiedergegeben. Es ist dies eine Kurve höherer Ordnung, deren Form stark durch den hydraulischen Hauptservomotor mit Rückführung beherrscht wird. Der Teil links der senkrechten Achse ist etwas gross. Möglicherweise spielen hier noch Totzeiten, Kompressionsänderungen usw. mit. Die Länge des Vektors entspricht der Leistungsvariation bei der betreffenden Frequenz und der Phasenwinkel der Verschiebung zwischen Eingangssignal und Leistungsvariation am Ausgang. Der Winkel von 30° bedeutet die Grenze der zulässigen Phasenverschiebung. Darüber hinaus würden die Schwankungen nur vergrössert. Man sieht, dass die zugehörige Periodendauer ca. 60 s beträgt, d. h.,

Fortsetzung des allgemeinen Teils auf Seite 465
Es folgen «Die Seiten des VSE»

Fortsetzung von Seite 456

Aus der Praxis der Leistungsfrequenzregelung
(Fortsetzung)

wenn man maximal 30° Phasenverschiebung zulassen will, dann kann man mit einer einzigen Maschine die eingestellte Regellast nicht schneller als mit einer Periodendauer von rund 60 s oder einer Kreisfrequenz von $\omega \approx 0{,}1$ ausregeln. Aus Fig. 21 ist ersichtlich, dass für die Leistungsänderung von 4,5 MW bei einer Periodendauer von 60 s rund 30 s verstreichen. Der durchschnittliche Leistungszuwachs beträgt also 4,5 : 30 = 0,15 MW/s. Es ist möglich, dass dieser Zuwachs noch etwas grösser sein darf, aber er wird trotzdem relativ klein bleiben, insbesondere wenn man beachtet, dass noch nicht alle Glieder des Regelkreises in das Diagramm einbezogen sind. Erweist es sich als notwendig, grössere Leistungsschwankungen mit einer maximal zulässigen Phasenverschiebung von 30° zu regeln, dann muss man eben bedeutend mehr Maschinen steuern. Dabei ist zu beachten, dass die Maschinen nicht nur statisch, sondern auch dynamisch möglichst gleich laufen. In neuerer Zeit steuern einzelne Gesellschaften in den USA bis 100% aller Erzeugergruppen. Die Regelleistung pro Maschine wird damit kleiner, die Beanspruchung allfälliger Druckleitungen geringer. Es ergeben sich daraus nicht nur kleine Druckanstieg-Geschwindigkeiten, sondern auch kleine Amplituden. Durch Begrenzen der Regelgeschwindigkeit kann dafür gesorgt werden, dass die Regelbefehle der «Fransen» von den langsam regelnden Speicherkraftwerken nicht mehr ausge-

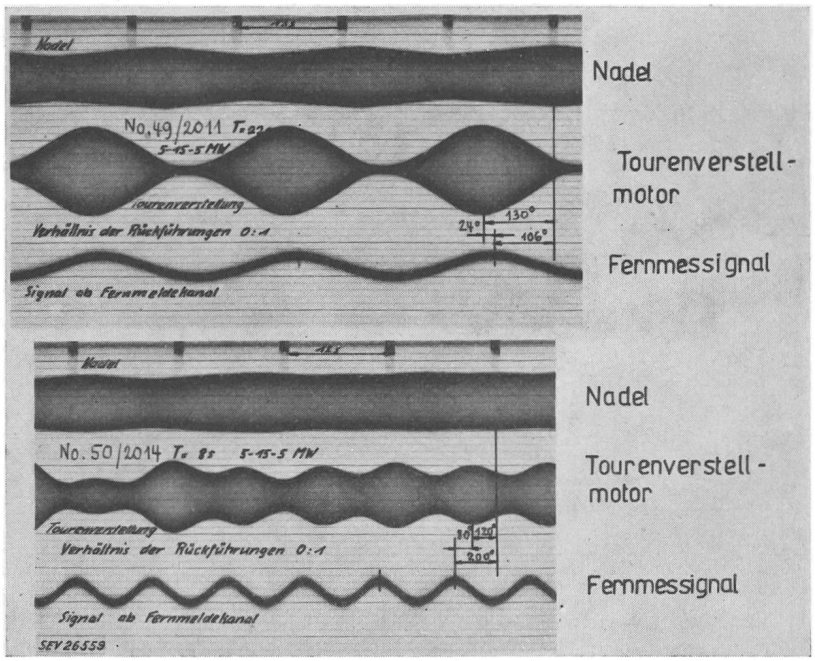


Fig. 17
Oszillogramme der Ausgangsleistung und des sich sinusförmig verändernden Eingangssignals
Periodendauer des Eingangssignals 22 s (*a*) bzw. 8 s (*b*) bei Einfluss 0 der Rückführung des Drehzahlverstellmotors

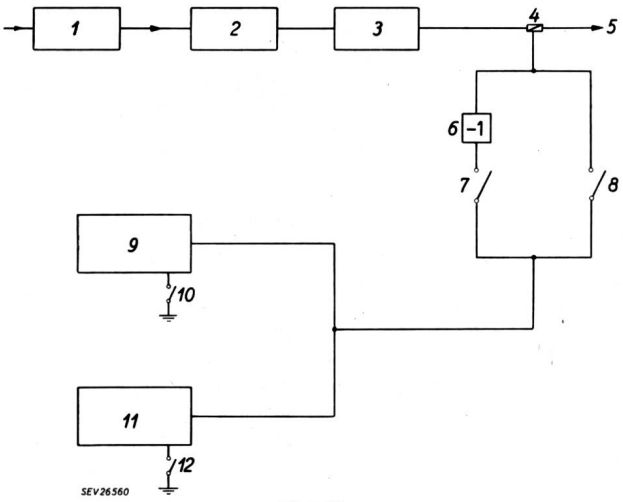


Fig. 18
Blockschema für die direkte Aufnahme des Nyquistdiagrammes des Turbinenreglers mittels Funktionenschreiber
1 Geber für sinusförmiges Eingangssignal; *2* Regler (Prüfling); *3* Generator; *4* Messgrössenwandler; *5* Netz; *6* Polwender;
7 Schalter geschlossen von $\omega t = \left(\frac{3+8N}{4}\right)\pi$ bis $\left(\frac{7+8N}{4}\right)\pi$;
8 Schalter geschlossen von $\omega t = \left(\frac{8N-1}{4}\right)\pi$ bis $\left(\frac{8N+3}{4}\right)\pi$;
9 Schreibsystem für y-Koordinate; *10* Kurzschluss-Schalter nur geöffnet an den Punkten $\omega t = 0$ und π; *11* Schreibsystem für x-Koordinate; *12* Kurzschluss-Schalter nur geöffnet an den Punkten $\omega t = \frac{\pi}{2}$ und $3\frac{\pi}{2}$
ω Kreisfrequenz $2\pi f$; t Zeit in Sekunden; N Anzahl ganze Umdrehungen bzw. Anzahl Perioden

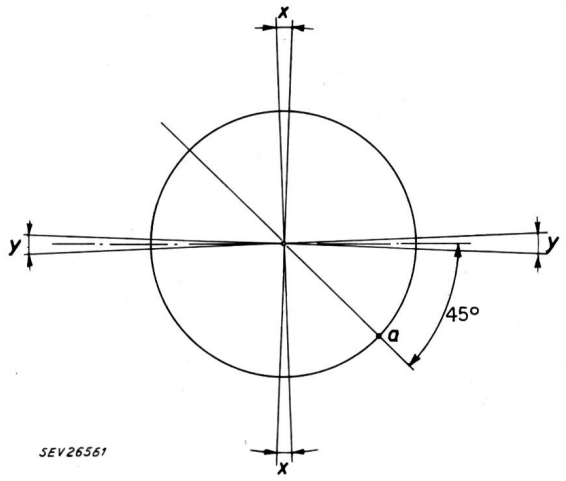


Fig. 19
Polardarstellung der direkten Frequenzgangaufnahme
x Speisedauer der x-Achse des Funktionenschreibers;
y Speisedauer der y-Achse des Funktionenschreibers;
a Umpolarisierpunkt

führt werden. Liessen wir diese Befehle ungehindert über das für langsamere Änderungen bestimmte Dispositiv wirken, dann würde die Maschine zwar etwas gedämpft darauf antworten, aber mit einer Phasenverschiebung von praktisch 180°, d. h. die «Fransen» würden vergrössert.

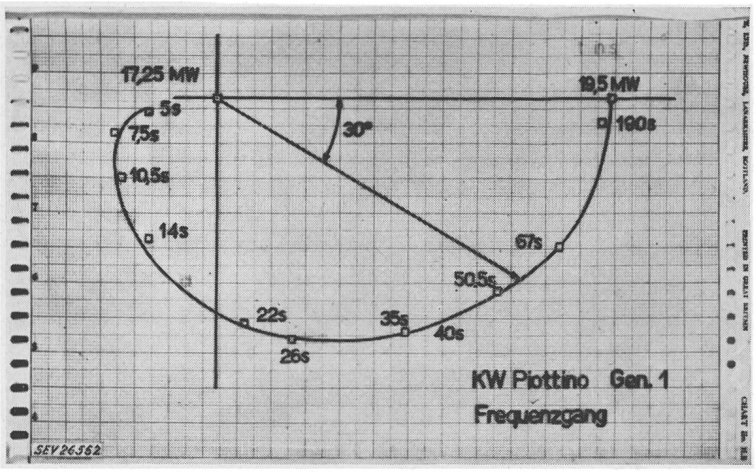


Fig. 20
Direkt aufgenommenes Nyquistdiagramm

Es sei hier anschliessend die Frage der Beiziehung der Laufwerke zur Regelung der Last aufgeworfen. Die Elektrizitätswerke sind ja bekanntlich verpflichtet, das zufliessende Wasser ohne Schwankungen in gleicher Qualität weiterzugeben. Das ist richtig, und es ist auch *unmöglich*, einem Laufwerk Aufgaben zuzumuten, die das Gleichgewicht stören könnten. Sobald jedoch viele Werke oder 100% eines Netzes

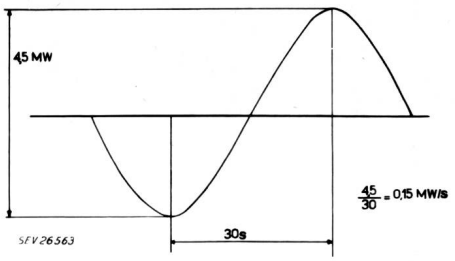


Fig. 21
Darstellung der mittleren Leistungsänderung pro Sekunde

an der Regelung teilnehmen, dürfte der Anteil, den das einzelne Werk zu übernehmen hat, so gering sein, dass von einer nennenswerten Störung des Wasserdurchflusses nicht mehr gesprochen werden kann, ganz abgesehen davon, dass auch heute schon die Flusskraftwerke an der Regelung teilnehmen, ob man sie dazu aufgefordert hat oder nicht (Fig. 22). Sinkt oder steigt aus irgend einem Grunde die Frequenz, dann arbeiten die Turbinenregler der Laufwerke, auch wenn deren Regelkennlinie bei einem Proportionalbereich von 5% nur kleine Leistungsänderungen zulässt, eben doch. Für eine Frequenzschwankung von 0,05 Hz oder 1‰ sind dies in einem Flusskraftwerk mit einer Nennleistung von 50 MW doch 1250 kW. Nun wird zwar da und dort mit dem Lastbegrenzer gearbeitet, so dass eine Turbine zwar nicht mehr öffnen aber immer noch schliessen kann. Davon machen die Maschinen, deren Regler richtig unterhalten sind, Gebrauch. Beobachtet man das Personal im Kommandoraum eines Kraftwerkes, dann sieht man es in relativ kurzen Zeitabständen immer wieder den Drehzahlverstellmotor bald der einen, bald der andern Maschine betätigen. Die Leute kompensieren den Mehr- oder Minderkonsum an Wasser, der durch die unvermeidlichen kleinen Frequenzänderungen bedingt ist. Sie heben quasi den Frequenzeinfluss auf den Turbinenregler auf. Der manuelle Regelbefehl, ausgelöst durch den Schaltwärter, kommt aber immer mehr oder weniger zu spät. Die Einflüsse der Frequenzänderung auf den Wasserabfluss sind also schon da, und man spürt diese regelmässigen kleinen Schwankungen nicht, d. h. sie fallen nicht ins Gewicht. Man kann sich daher fragen, ob es nicht zweckmässiger wäre, diese manuell ausgelösten Regelbefehle zu automatisieren und damit den Wasserabfluss wirklich konstant zu gestalten. Viel vorteilhafter aber ist, die Laufwerke in bescheidenem Masse an der Regulierung teilnehmen zu lassen. Die Auswirkungen der befürchteten Wasserschwankungen wären bei weiser Handhabung

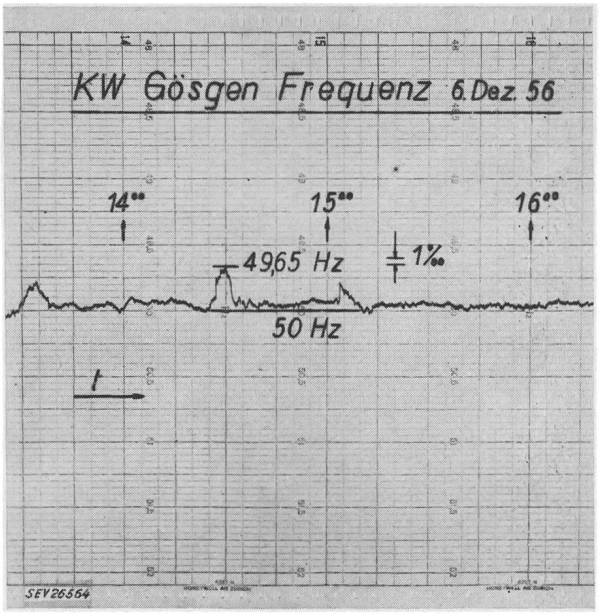


Fig. 22
Diagramm eines Präzisionsfrequenzmessers mit registrierten Abweichungen von der Soll-Frequenz

vermutlich unbedeutend. In hervorragendem Masse würden sich die Laufwerke dazu eignen, die «Fransen» kleinerer Frequenz zu kompensieren, denn hier bestehen praktisch *keine Druckstossprobleme*, welche Schwierigkeiten bereiten. Die Francis- bzw. Kaplanturbinen reagieren relativ rasch. Nötigenfalls

könnte neben der unbedingt erforderlichen Rückführung des Drehzahlverstellmotors mit einem vorgeschalteten voreilenden elektronischen Regelglied die Phase des Frequenzganges im gefragten Bereich soweit verbessert werden, als dies notwendig ist. Das Steuerdispositiv wäre ferner so zu gestalten, dass die langsameren, mehr stationären Änderungen keinen Einfluss darauf hätten, wodurch der mittlere Wasserabfluss nicht angetastet würde, obschon dies in ganz geringem Masse zulässig sein sollte, ohne nachteilige Folgen zu zeitigen. Natürlich hätte die Regelung der «Fransen» auch Wasserschwankungen zur Folge, aber mit einer so kurzen «Wellenlänge» und von so kleiner Amplitude, dass ein Ausgleich im Unterwasserkanal schon nach einigen hundert Metern stattgefunden hätte. Bedingung ist allerdings, dass die Regelbefehle, welche ein grosses Netz steuern, exakt sind und von Einrichtungen kommen, die möglichst trägheitslos arbeiten. Um die grossen Anforderungen an die Regulierung zu erfüllen, welche uns die Netzkuppelpunkte stellen, sollte man also *möglichst viele* Maschinen für Regelzwecke zur Verfügung haben. Damit kommt man zu den gleichen Schlussfolgerungen, die von *S. B. Morehouse* [12] genannt wurden:

1. *Genügende* Regelmarge [MW]
2. *Genügende* Regelgeschwindigkeit [MW/s]
3. *Genügende* Regelbeschleunigung [MW/s²]

Morehouse berichtete in diesem Zusammenhang von einem Netz, in welchem 100 % der Maschinenleistung gesteuert wird und ein Leistungszuwachs von 360 MW/min ohne Pendeln und Überschiessen erzielt werden konnte. Dadurch war es möglich, Leistungsschwankungen auch grösster Industriebetriebe in kürzester Zeit zu regeln. *F. Cahen* von der Electricité de France erwähnt [8], dass auch in Frankreich ähnliche Verhältnisse bestehen.

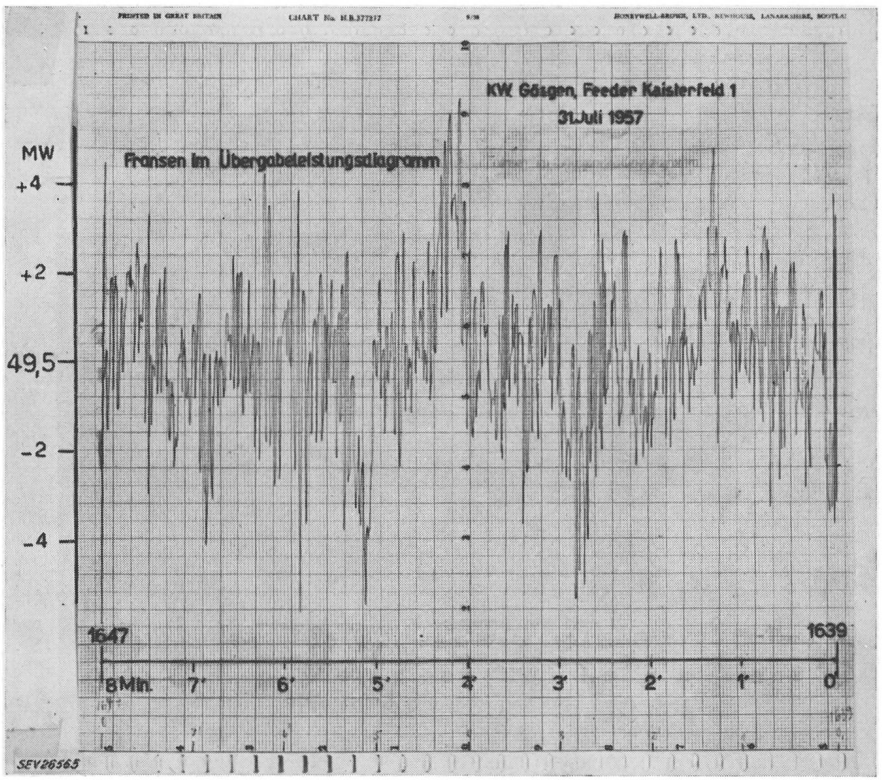


Fig. 23
«Fransen» im Übergabeleistungsdiagramm
Der Nullpunkt ist unterdrückt. Aufnahme mit Funktionenschreiber

11. Bedürfnis nach einem elektronischen Netzregler

Die Atel hat aus verschiedenen Erwägungen heraus die Entwicklung eines elektronischen Netzreglers angeregt, der jetzt nach dem sehr zweckentsprechenden digitalen Prinzip gebaut wird. Wie bekannt ist, arbeiten sehr viele Regelkanäle nach dem Frequenz-Variations-Prinzip. Eine grössere oder kleinere Frequenz entspricht einer grösseren oder kleineren Leistung. Im Netzregler kommt noch der Frequenzeinfluss dazu. Wenn man nun diese Aufgaben elektronisch lösen will, dann ist es naheliegend, die Perioden des Fernregelkanals und die Perioden der Netzfrequenz zu zählen und die gewünschte Mischung zum Stellbefehl weiter verarbeitet auf die Regelmaschinen zu geben. Dies hat den grossen Vorteil, dass vom Fernmesskanal her die Leistung, vor allem aber die Frequenz genau gemessen wird, und darauf kommt es an. Bei Regelleistungskonstanten von ≈ 300 MW/Hz ist es nicht gleichgültig, ob man eine Frequenzänderung mit 1 ‰ oder 2 ‰ Genauigkeit misst und dementsprechend eine Minder- oder Mehrleistung von den Regelmaschinen fordert.

Auf die Notwendigkeit einer sehr genauen Frequenzmessung haben belgische Fachleute schon früher hingewiesen.

Der elektronische digitale Regler hat auch den grossen Vorteil, dass zwei Netzregler dieser Art absolut synchron arbeiten können und dass nicht aus dem Integrieren von Abweichungen ungünstigere Lastverteilungen entstehen, wie dies der Fall sein könnte, wenn in der sog. Gabelschaltung zwei miteinander auf denselben Übergabepunkt arbeitende Werke, jedes von einem anderen Netzregler gesteuert, ohne querverbindenden Synchronisierungskanal parallel arbeiten würden (Fig. 23).

12. Schlussbemerkungen

Zusammenfassend darf man feststellen, dass heute die Leistungsfrequenzregelung *neue* Anforderungen stellt:

1. Exponentielle Antwortkurven bei Be- und Entlastungsstössen;
2. Individuell einstellbare Zeitkonstanten;
3. Dem Zweck angepasster Frequenzgang der Turbinenregler;
4. Steuerung von mehr Regelmaschinen als bisher;
5. Einbeziehen der Flusskraftwerke in die Regelung;
6. Statischer und dynamischer Gleichlauf der Regelbewegungen.

Die moderne Servotechnik ist auch bei Turbinenregelkreisen zu beachten. Dazu müssen die massgebenden Einflussgrössen bestimmt werden. Der *ganze* Regelkreis ist nach den geforderten Übertragungsfunktionen zu dimensionieren, eventuell mit Hilfe der modernen Digital- oder Analog-Rechenautomaten, wie dies z. B. in der Flugservotechnik schon lange üblich ist, wo *trotz Masse und Geschwindigkeit* eine hohe Präzision erreicht werden musste.

Der Weg ist vorgezeichnet, die Mittel sind vorhanden.

Literatur

[1] *Chestnut, H.* und *R. W. Mayer:* Servomechanism and Regulating System Design. New York: Wiley, London: Chapman & Hall, Bd. 1, 1951; Bd. 2, 1955.

[2] *Nichols, C.:* Techniques in Handling Load-Regulating Problems on Interconnected Power Systems. Trans. AIEE Bd. 72(1953), Part 3, Juni, S. 447...460.

[3] *Servoanalyzer;* Bulletin Honeywell Bd. -(1954), Nr. 1170, Sept., S. 1...11.

[4] *Stein, T.:* Wasserturbinen-Regler mit identischer Integral- und Differential-Wirkung. Schweiz. Bauztg. Bd. 72(1954), Nr. 12, S. 151...154.

[5] *Cahen, F.* und *A. Chevallier:* Le réglage automatique de la fréquence dans les grands réseaux: Le réglage intégral. Conférence Internationale des Grands Réseaux Electriques (CIGRE), Paris 1954, Bd. 3, rapp. 339, 24 S.

[6] *Hauser, W.:* Leistungsregulierung in Mettlen. Bull. SEV Bd. 45(1954), Nr. 12, S. 483...488.

[7] *Travers, R. H.:* Load Control and Telemetering-Ohio Edison System. Trans. AIEE Bd. 73(1954), Part 3, Nr. 12, S. 516...522.

[8] *Cahen, F.:* Load-Phase Control-Method of Automatic Frequency Control of a Multiple Generating-Plant System. Trans. AIEE Bd. 73(1954), Part 3, Nr. 12, S. 571...577.

[9] *Duff, C. K.:* Effect of Cyclic Loads on an Interconnected System. Trans. AIEE Bd. 73(1954), Part 3, Nr. 12, S. 550...559.

[10] *Hauser, W.:* Energieaustausch zwischen den grossen Elektrizitätswerken. Bull. SEV Bd. 46(1955), Nr. 2, S. 67...78.

[11] *Cuénod, M.* und *F. Schär:* Die Lastverteilung auf die Regelgruppen bei der Leistungs-Frequenz-Regelung. Bull. SEV Bd. 46(1955), Nr. 21, S. 1019...1025.

[12] *Morehouse, S. B.:* Recent Development and Trends in Automatic Control of Large Interconnected Power Systems. Conférence Internationale des Grands Réseaux Electriques (CIGRE), Paris 1956, Bd. 3, rapp. 313, 22 S.

[13] *Stein, T.:* Physikalische Erklärung der Regelvorgänge. Schweiz. Bauztg. Bd. 74(1956), Nr. 40, S. 610...616.

[14] *Cohn, N.:* Some Aspects of Tie-Line Bias Control on Interconnected Power Systems. Trans. AIEE Bd. 75(1956), Part 3, Nr. 28, S. 1415...1436.

Adresse des Autors:

F. Schär, Aare-Tessin A.-G. für Elektrizität, Olten (SO).

Automatische Fehlerkorrektur in der Fernschreib-Übertragungstechnik

Vortrag, gehalten an der 16. Schweiz. Tagung für Elektrische Nachrichtentechnik am 17. Oktober 1957 in Fribourg,

von *F. Ott*, Gümligen

621.396 : 621.394.324

Die direkte Übertragung von Fernschreibzeichen über Funkverbindungen ohne besondere Massnahmen führten zu keinem Erfolg. Verbesserungen wurden auf der Übertragungsseite vorgenommen, genügten aber für einen Teilnehmerfernschreibverkehr (Telex) nicht. Erst durch die Einführung der auf dem 7-Einheiten-Code beruhenden Fehlerkorrekturapparatur nach van Duuren wurde ein reibungsloser, drahtloser Fernschreibverkehr möglich. Die Funktionsweise und die Einsatzmöglichkeiten dieser Apparatur werden erläutert.

Les essais de transmission sans fil de signes en typotélégraphie, sans précautions spéciales, ayant échoué, des améliorations furent apportées à la transmission, mais elles s'avérèrent insuffisantes pour un service de téléscription (Télex). Ce n'est que grâce à l'introduction de l'appareil de correction des erreurs, selon van Duuren, basé sur le code à 7 unités, que l'on est parvenu à réaliser une téléscription sans fil, exempte de perturbations. L'auteur décrit le fonctionnement et les possibilités d'utilisation de cet appareillage.

1. Einleitung

Der interkontinentale Telegraphenverkehr wird wegen der beschränkten Anzahl Seekabel zum grössten Teil über Funkverbindungen abgewickelt. Die Übertragung wurde früher hauptsächlich mittels Morsezeichen und mit Tonregistriergeräten oder mit Hörempfang durchgeführt. Die Auswertung gestörter Zeichen erforderte geschultes Personal. Umtelegraphieren und Rückfragen führten zu unvermeidbaren Verzögerungen der Übermittlung. Die ersten Versuche, die Zeichen des Fernschreibers direkt über Funkwege zu übertragen, gehen in die 30er Jahre zurück, brachten aber den auftretenden Störungen wegen keinen Erfolg.

2. Verbesserungen der Übertragungstechnik

Durch gerichtete Strahlung und gerichteten Empfang wird das Verhältnis von Signal- zu Störfeldstärke vergrössert. Zur Verbesserung des Empfanges hat man die Tatsache ausgewertet, dass sich der zeitliche Verlauf der Schwunderscheinungen mit dem Standort der Antenne und mit der Übertragungsfrequenz ändern. Bei gleichzeitigem Empfang einer Nachricht über verschiedene Antennen und Auswahl des stärksten Signals sprechen wir von Raum-Diversity-Empfang. Entsprechend bei Übertragung auf verschiedenen Frequenzen von Frequenz-Diversity-Empfang. Eine weitere Erhöhung der Sicherheit erhält man durch Anwendung geeigneter Modulationsmethoden. Bei der A_1-Tastung, d. h. Ein—Aus des Senders, machen sich die Störungen hauptsächlich in den Trennschritten (Space) bei Langwellen bemerkbar. Bei Kurzwellen tritt durch den Schwund auch die Störung des Zeichenschrittes (Mark) auf. Die Anwendung der Frequenzumtastung, bei welcher der Träger im Rhythmus der Zeichen (Mark-Space) zwischen zwei Frequenzen f_1 und f_2 umgeschaltet wird, brachte eine namhafte Verbesserung. Da die Auswertung nach Frequenzen erfolgt, machen sich die Pegeländerungen, die allgemein langsamer als die Umtastzeiten erfol-