

**Zeitschrift:** Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins  
**Herausgeber:** Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke  
**Band:** 54 (1963)  
**Heft:** 1

**Artikel:** Die Leistungs-Frequenz-Regelung der Gougra-Kraftwerke  
**Autor:** Schär, F.  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-916443>

### **Nutzungsbedingungen**

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

### **Conditions d'utilisation**

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

### **Terms of use**

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

**Download PDF:** 14.01.2026

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

# Die Leistungs-Frequenz-Regelung der Gouggra-Kraftwerke

Von F. Schär, Olten

621.316.728 + 621.316.726 : 621.311.21 (494.441.3)

Es wird die Steuerung der Kraftwerke Vissoie und Motec für die Leistungs-Frequenz-Regelung beschrieben. Die Lösung verlangt praktisch keine Änderungen am Turbinenregler. Die grosse Zeitkonstante des Hauptservomotors und der daraus resultierende späte Abgleich wird mit einer kleinen, vorübergehenden, elektrischen Rückführung überwunden. Oszillographische Messergebnisse zeigen das regeltechnisch gute Verhalten.

L'auteur décrit l'équipement pour le réglage fréquence-puissance des usines hydroélectriques de Vissoie et de Motec. La solution ne demande pratiquement aucune modification du régulateur de turbine. La grande constante de temps du servo-moteur principal, et par conséquent, l'équilibre tardif du pont de commande, est surmontée par un asservissement électrique transitoire. Des oscillogrammes démontrent le bon comportement du réglage.

## 1. Einführung

Bis ca. Mitte 1962 hat die Aare-Tessin AG die Übergabeleistungen mit den Kraftwerken Piottino und Lucendro reguliert. Diese werden durch einen digital-elektronischen Netzregler gesteuert, wie dies Fig. 1 schematisch zeigt. Es müssen jedoch immer grössere Lastschwankungen ausgeregelt werden. Nun ist heute allgemein bekannt, dass eine Netz-Regulierung umso besser ihren Zweck erfüllt, je mehr Maschinenleistung von dem betreffenden Netzregler gesteuert werden kann. Für eine bestimmte Laständerung wird dann der prozentuale Regellastanteil pro Maschine entsprechend kleiner, und es genügen kleinere Regelbewegungen. Andererseits stehen bei gegebenen Turbinenregler-Geschwindigkeiten umso mehr MW pro Sekunde zur Verfügung, je grösser die totale Regelmaschinenleistung ist. Aber auch aus rein hydraulischen Gründen ist eine Ansteuerung möglichst vieler Kraftwerke vorteilhaft, denn es sind nicht alle Kraftwerke zu allen Tages- und Jahreszeiten gleich gut in der Lage, variable Laständerungen zu übernehmen. Aus solchen und ähnlichen Überlegungen wurde daher im Einvernehmen mit den andern Partnern der Gouggra-Kraftwerke vorgesehen, auch die 114 MW Maschinenleistung der Kraftwerke Vissoie und Motec, die zur Gouggra-Kraftwerkgruppe gehören, zur Netzregulierung heranzuziehen. Fig. 1 zeigt schematisch den Anschluss der neuen Kraftwerkgruppe an den Stellbefehl des Netzreglers.

Wie diese Figur und die nachfolgenden Ausführungen leicht erkennen lassen, bekommt jede Gruppe unabhängig von der andern einen individuell dosierbaren

Stellbefehl, so dass die Lastverteilung auf die einzelnen Kraftwerke unabhängig von deren Regelgeschwindigkeit bestimmt ist.

## 2. Die Verarbeitung des Regel-Stellbefehls bei den Gouggra-Kraftwerken

### 2.1 Gegebenheiten

Der Betrieb und der Unterhalt der Gouggra-Kraftwerke werden von der Aluminium-Industrie AG in Chippis (AIAG) besorgt. Die Last- und Spannungsregelung der beiden Kraftwerke Vissoie und Motec wurde daher aus hydraulischen und wirtschaftlichen Gründen schon von Anfang an vom zentralen Kommandoraum in Chippis ferngesteuert. Die Adern des betreffenden Telephonfernsteuernkabels werden durchwegs mehrfach ausgenutzt. Die Disposition für die automatische Regelung ab Netzregler Lavorgo hatte sich diesen Gegebenheiten anzupassen.

### 2.2 Allgemeines

Es gibt eine ganze Reihe von möglichen Dispositionen zum Steuern einer Turbine durch einen Netzregler. Einige davon erfordern jedoch einen speziell hierfür gebauten Turbinenregler. Aus wirtschaftlichen Gründen wurde jener Lösung der Vorzug gegeben, bei welcher am Turbinenregler praktisch keine Änderungen vorzunehmen waren, d. h. jener Lösung, die mit dem vorhandenen Drehzahlverstellmotor auskommt. Damit ist zwar eine zur Regelabweichung proportionale Verstellgeschwindigkeit der Vorsteuerung nicht möglich. Dies hat aber nicht so viel zu bedeuten, wie es im ersten Moment scheinen mag, denn die Verstellgeschwindigkeit des Hauptservomotors ist ohnehin meistens — und so auch hier — durch die hydraulischen Verhältnisse begrenzt. Für die Regelung genügt daher in vielen Fällen der schon vorhandene Drehzahlverstellmotor durchaus.

### 2.3 Prinzipielle Disposition

Die prinzipielle Disposition geht aus Fig. 2 hervor. Im zentralen Kommando-Raum Chippis wird der Stellbefehl vom Fernreglempfänger 1 übernommen und über einen Isolierübertrager 2 und einen Regelwiderstand 3 an einen Verstärker 4 abgegeben. Dieser speist am Ausgang einen Servomotor 5, der über ein Schneckengetriebe sieben Potentiometer 6 antreibt, wovon eines 6a für die Rückführung des Servoverstärkers 4 benötigt wird. Die übrigen sechs (in Fig. 2 sind nur zwei eingezeichnet) bilden je einen Teil einer Wechselstromsteuerbrücke 7. Jeder Maschine ist eine solche Steuerbrücke zugeordnet. Das Brückengleichgewicht wird je von einem transistorisierten Nullverstärker 8 überwacht, der über ein schon vorhandenes Aderpaar 9 des gleichen Telephon-Steuerkabels den betreffenden

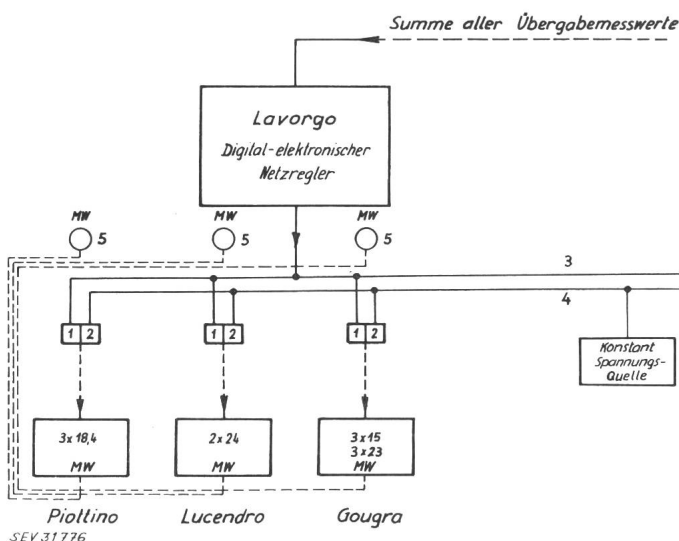


Fig. 1

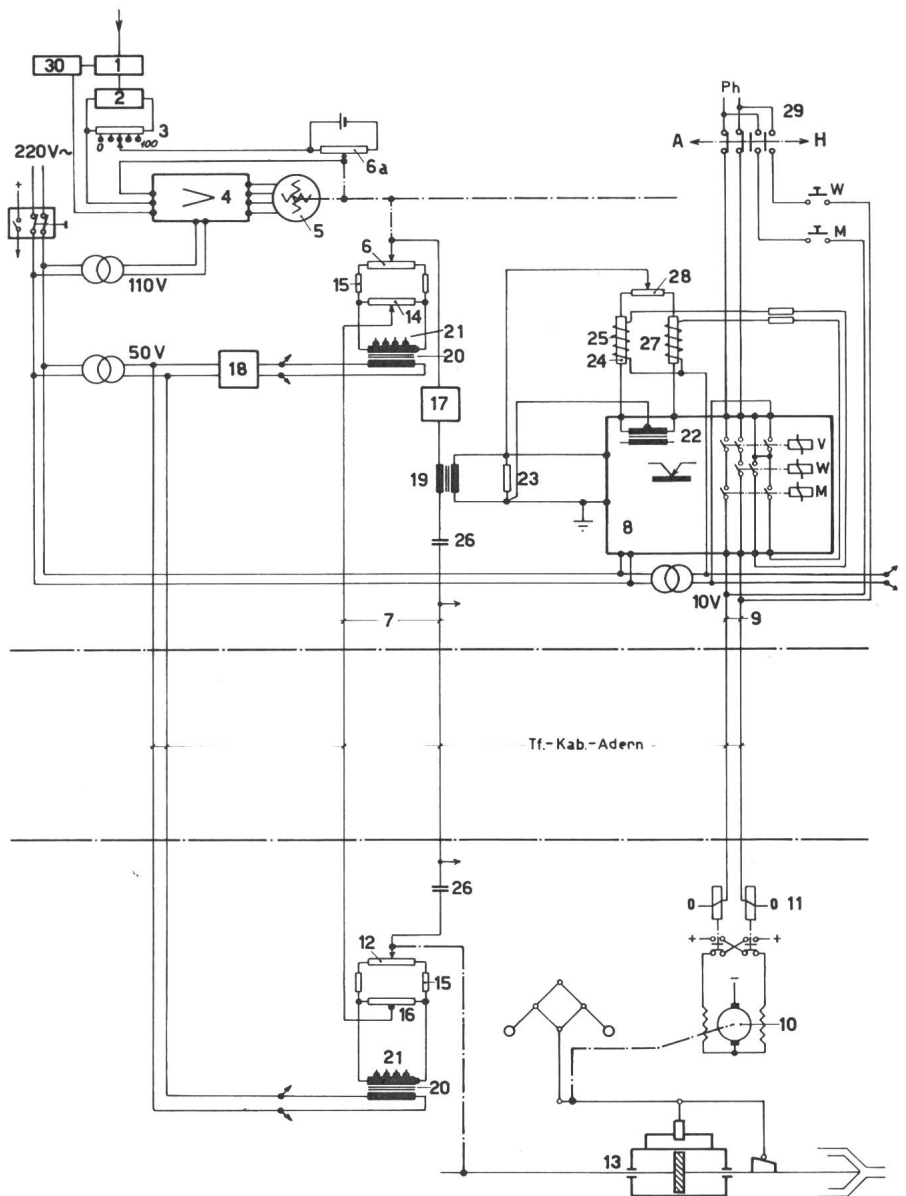
Blockschema für die Stellbefehlsverteilung ab digital-elektronischem Netzregler in Lavorgo

1 Potentiometer für Regellasteinstellung; 2 Potentiometer für Grundlasteinstellung; 3 Stellbefehlschiene für Regellast; 4 Stellbefehlschiene für Grundlast, gespeist von einer Konstantspannungsquelle; 5 Instrument für Anzeige der erzeugten Leistung

Fig. 2

# Prinzipschema für die Ansteuerung der Turbinen in den Kraftwerken Vissoie und Motec

1 Fernregelpfänger; 2 Isolierübertrager; 3 Stufenschalter für Regellastanteil; 4 elektronischer Servo-Verstärker; 5 Zweiphasen-Servomotor; 6 Potentiometer für automatische Regelung, angetrieben durch Motor 5; 6a Rückführpotentiometer für Servoverstärker 4; 7 Steuerbrücke; 8 transistorisierter Null- oder Schaltverstärker; 9 Steuerkabeladern für «Mehr» oder «Weniger»; 10 Drehzahlverstellmotor am Turbinenregler; 11 Steuerrelais «Mehr» bzw. «Weniger» für Drehzahlverstellmotor; 12 Rückführpotentiometer, angetrieben durch den Hauptservomotor 13 des Turbinenreglers; 14 Potentiometer für Handeinstellung der mittleren Maschinenleistung; 15 Abgleichwiderstände; 16 Mittelpunktswiderstand; 17 komplexer Widerstand zum Abgleich der Steuerbrücke; 18 komplexer Widerstand zum Abgleich der Speisespannung auf gleiche Grösse und Phase; 19 Übertrager 30:1; 20 Kleintransformator für Speisung der Steuerbrücke; 21 Anzapfungen am Transformator 20; 22 Separatwicklung auf Netztransformator im Nullverstärker; 23 Shuntwiderstand 50  $\Omega$ ; 24 Widerstand mit stark negativem Temperaturkoeffizient (NTC); 25 Heizwicklung; 26 Kondensator für Sperrung der Gleichspannung von regelfremden Signalen; 27 Brücke für vorübergehende Rückführung; 28 Potentiometer für Nullpunkt-korrekturen; 29 Umschalter «Hand-Automatisch»; 30 Überwacher für Eingangssignal



SEV 31777

Drehzahlverstellmotor 10 über zwei Telephonzwischenrelais 11 vor- oder rückwärts steuert. Das Rückführpotentiometer 12 der Brücke ist mit dem Hauptservomotor 13 der Düsenverstellung gekoppelt, so dass sich die Steuerbrücke jeweils nach dem Erreichen der neuen Turbinenleistung wieder im Gleichgewicht befindet.

Die Steuerbrücke 7 besitzt ferner ein Handpotentiometer 14, mit welchem die mittlere Maschinenleistung während der automatischen Regelung von Hand eingestellt werden kann. Die Widerstände 15 der Steuerbrücke sind so dimensioniert, dass mit dem Handpotentiometer 14 auch dann noch Vollast eingestellt werden kann, wenn der automatische Stellbefehl 0 befiehlt und umgekehrt. Damit ist es möglich, dem Wasser-Zufluss und dem Pegel in den Ausgleichsbecken, d. h. allgemein den hydraulischen Verhältnissen Rechnung zu tragen. Mit Rücksicht auf die Symmetrie der Steuerbrücke wurde der Mittelpunkt 16 in genau gleicher Weise angeschlossen.

Die Speisung der Brücke 7 erfolgt mit Wechselstrom 50 Hz. Für den Nullverstärker 8 konnte daher ein robuster Wechselstromverstärker verwendet werden. Er wurde natürlich aus Symmetriegründen in der elektrischen Mitte der Brücke angeschlossen. Daher wurde diese mit elektrischen Nachbildungselementen 17 komplex abgeglichen. In gleicher Weise wie die Brücke selbst ist auch die Speisung der Brückentransformatoren durch komplexe Widerstände 18 abgeglichen, so dass die Speisung in der elektrischen Mitte erfolgt. Der Eingang des Nullverstärkers erscheint von der Steuerbrücke aus gesehen dank dem Übertrager 19 im Ver-

gleich zu den übrigen Brückengliedern hochohmig, so dass die Differenzspannungen richtig am Verstärker liegen.

Sollte ausnahmsweise einmal die Speisung der Brücke ausfallen, dann hat das weiter keine allzugrossen Folgen. Dank dem Null-Abgleich bleibt dann die Maschinenleistung ohne besondere Vorkehren einfach auf dem zuletzt inne gehaltenen Wert stehen. Aus dem gleichen Grunde haben die temperaturbedingten Widerstandsänderungen des Steuerkabels ebenfalls keinen Einfluss.

## 2.4 Beseitigung allfälliger Störspannungen

Da jede Steuer-Brücke zum Teil aus einem Aderpaar eines 10 bzw. 18 km langen Tf-Steuerkabelvierers gebildet wird, war mit kleineren Störspannungen zu rechnen. Sie wurden daher am schon verlegten und in Betrieb stehenden Kabel gemessen und festgestellt, dass sie die Ansprechempfindlichkeit der Nullverstärker übersteigen. Es wurde daher auch aus diesem Grunde ein Übertrager 19 mit einer Untersetzung von 1 : 30 zwischen die Brücke und den Nullverstärker geschaltet. Mit dieser Untersetzung vermochten die an sich kleinen Störspannungen den Nullverstärker nicht mehr anzuregen. Andererseits wurde die Arbeitsspannung der

Brücken mit den Anzapfungen 21 an den Brückentransformator 20 so gewählt, dass sich eine genügend hohe Empfindlichkeit für alle Reguliermöglichkeiten ergab. Diese Arbeitsspannung beträgt ca. 8 V. Da die grösste Ansprechempfindlichkeit des Nullverstärkers unter 5 mV liegt, kann trotz unterdrückter Störspannung sehr empfindlich reguliert werden. Die Empfindlichkeit ist in 5 Stufen einstellbar. Damit kann sie den Forderungen des Betriebes angepasst werden.

### 2.5 Einstellung des Regellastanteiles

Die Einstellung des Regellastanteiles geschieht nach Fig. 2 mit Hilfe des Stufenschalters 3. Auf Stufe 0 ist der Stellbefehl wirkungslos, auf Stufe 10 wirkt er 100-prozentig, 100 % heisst bei einem Stellbefehl von 6 mA Vollast. Bei einer Änderung des Fernregelsignals von 0 bis 6 mA werden daher die Maschinen von 0 bis Vollast gesteuert. Bei 50 % Regellast bestreichen sie nur den halben Regelbereich usw. Da die hydraulischen Verhältnisse meist eine minimale Wassermenge vorsehen und eine höchste Wassermenge zulassen, wird der Regellastanteil selten 100 % betragen können.

### 2.6 Überwachung des ankommenden Signals

Der Überwachung des ankommenden Signals dient ein Überwacher 30, welcher bei einer Störung den Zwischenservomotor auf der zuletzt innegehabten Stellung blockiert.

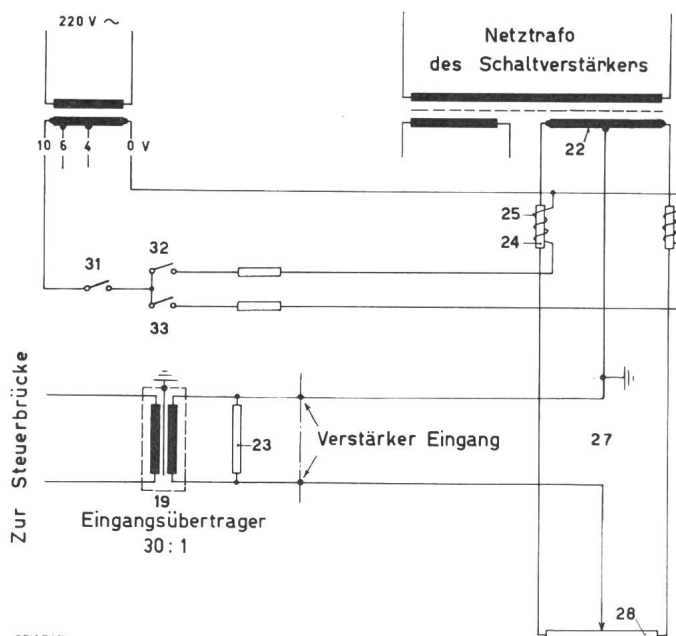
### 2.7 Die Mehrfachausnützung der Kabeladern

Wie bereits erwähnt, werden die Kabeladern des Steuerkabels mehrfach ausgenützt. Auf einem Aderpaar wird z. B. gleichzeitig der 12-Sekunden-Impuls einer Mutteruhr, auf einem andern werden Pegelwerte übertragen usw. Die Adern sind daher mit Kondensatoren 26 an beiden Enden gesperrt, so dass keine Gleichströme in die Brückentransformatoren abfliessen können. Damit andererseits die Impulse dieser diversen Signale keinen unnötigen Regelbefehl auslösen können, besitzen die Nullverstärker elektronische Verzögerungselemente für 2,5 s.

Die Regelbefehle werden natürlich um diese Zeiten verzögert, was aber praktisch bedeutungslos ist. Dafür sind die Nullverstärker auf alle Störspannungen unter 2,5 s Dauer ebenfalls unempfindlich.

### 2.8 Die vorübergehende elektrische Rückführung

Würde man den «Mehr»- oder «Weniger»-Befehl solange auf den Drehzahlverstellmotor des Turbinenreglers wirken lassen, bis vom Potentiometer 12 am Hauptservomotor die Steuer-Brücke 7 abgeglichen ist, dann wäre in den meisten Fällen der Drehzahlverstellmotor und mit ihm die Vorsteuerung schon in eine Endstellung gelaufen — Vollast oder Leerlauf — noch bevor der Hauptservomotor die vorbestimmte Stellungsänderung erreicht hätte. Es muss daher dafür gesorgt werden, dass dem Nullverstärker zeitlich schon wesentlich früher ein Abgleich vorgetäuscht wird. Dies geschieht in einfacher Weise mit einer vorübergehenden elektrischen Rückführung, die nur eine geraume Zeit wirksam ist und die dem Hauptservomotor zeitlich Gelegenheit bietet, in die vorbestimmte neue Position zu laufen. Der kleinste Materialaufwand für eine solche Rückführung ergibt sich dann, wenn diese am Eingang des Nullverstärkers 8 wirken kann. Sie arbeitet nach dem Prinzipschema in Fig. 3.



SEV 31778

Fig. 3

#### Prinzipschema für vorübergehende Rückführung

19 Übertrager 30:1; 22 Separatwicklung auf Netztransformator des Schaltverstärkers 8; 23 Shuntwiderstand 50  $\Omega$ ; 24 NTC-Widerstand; 25 Heizwicklung auf NTC-Widerstand; 27 Brücke für vorübergehende Rückführung; 28 Potentiometer für Nullabgleich; 31, 32 und 33 Schaltkontakte auf den «Mehr»- bzw. «Weniger»-Relais des Nullverstärkers

Aus einer Separatwicklung 22 des Null- oder Schaltverstärker-Netztransformators wird über zwei Brückenarme der Parallelwiderstand 23 am Verstärkereingang gespeist. In jedem Brückenarm liegt ein NTC (Negativ-Temperatur-Koeffizient)-Widerstand 24 von 470  $\Omega$ . Sobald der Schaltverstärker einen Befehl «Mehr» oder «Weniger» abgibt, wird die entsprechende Heizwicklung des NTC-Widerstandes über die Kontakte 31, 32 und 33 eingeschaltet. Dadurch kommt die kleine Brücke 27 aus dem Gleichgewicht und der Shuntwiderstand 23 von 50  $\Omega$  erhält eine zeitlich ansteigende gegenphasige Wechselspannung, die diejenige vom Eingangsübertrager mehr und mehr und schliesslich ganz kompensiert. Der Schaltverstärkereingang wird spannungslos, und das Schaltrelais «Mehr» bzw. «Weniger» fällt ab. Der Drehzahlverstellmotor steht still. Der Hauptservomotor 13 (Fig. 2) des Reglers läuft jedoch weiter, bis die von der Vorsteuerung inzwischen schon erreichte neue Stellung auch von der Düsennadel erreicht ist. In der Zwischenzeit kühlen sich die NTC-Widerstände 24 wieder ab. Stimmt die neue Position der Düsennadel mit der befohlenen neuen Leistung überein, dann ist die Steuerbrücke abgestimmt und der Schaltverstärker bleibt in Ruhe. Ist die Brücke nicht genau abgestimmt, so gibt der Nullverstärker nochmals einen kurzen Befehl an den Drehzahlverstellmotor ab. Das Spiel wiederholt sich, bis Stellbefehl und Leistung übereinstimmen. Die kleine Brücke 27 weist ebenfalls ein Potentiometer 28 auf, mit welchem die Ohmsche Komponente der Steuerbrücke zusätzlich leicht abgeglichen werden kann. Im Hinblick auf die Maschinenleistung entspricht dies praktisch einer Nullpunktkorrektur bei der Mittelstellung der Hand-Potentiometer 14 für die Handeinstellung der mittleren Leistung.

### 2.9 Reine Handregelung

Soll aus irgend einem Grund mit einer oder mehreren Maschinen auf Handregelung übergegangen wer-



den, so kann dies durch Betätigen des Schalters 29 (Fig. 2) geschehen. Die Regelung erfolgt dann mit den ursprünglich verwendeten konventionellen Drucktasten «Mehr» oder «Weniger».

## 2.10 Signale und Regelknöpfe auf dem Steuerpult im Kommando-Raum von Chippis

Bleibt aus irgend einem Grunde das HF-Signal aus oder übersteigt es seinen Maximalwert, dann wird dies durch eine kleine Signallampe angezeigt, ebenso wenn ein Sicherungsautomat ausgelöst oder wenn die Potentiometerwelle des Zwischenservomotors in einer Endlage einmal anstehen sollte. Fig. 4 zeigt den kleinen Platzbedarf der Steuerapparatur.

## 2.11 Disposition der Verstärker

Der Zwischenservomotor und die Nullverstärker sind in steckbaren, leicht auswechselbaren Lixkasten untergebracht. Für jeden Verstärkertyp ist eine Reserve vorhanden, so dass im Falle einer Störung an einem solchen nur ein ganz kurzer Unterbruch entsteht. Besondere Vorkehrungen müssen während einer Auswechslung keine getroffen werden, da der Nullabgleich, «die Brückenschaltung», von Haus aus dafür sorgt, dass bei Ausfall eines Nullverstärkers keine zusätzlichen Befehle ausgelöst werden. Fig. 5 zeigt die Anordnung der ganzen Zusatzapparatur für alle 6 Maschinen.

Alle Dispositionen wurden im Einvernehmen mit der elektrischen Abteilung der Aluminium-Industrie AG, Chippis, getroffen, die auch die Installationen ausgeführt hat.

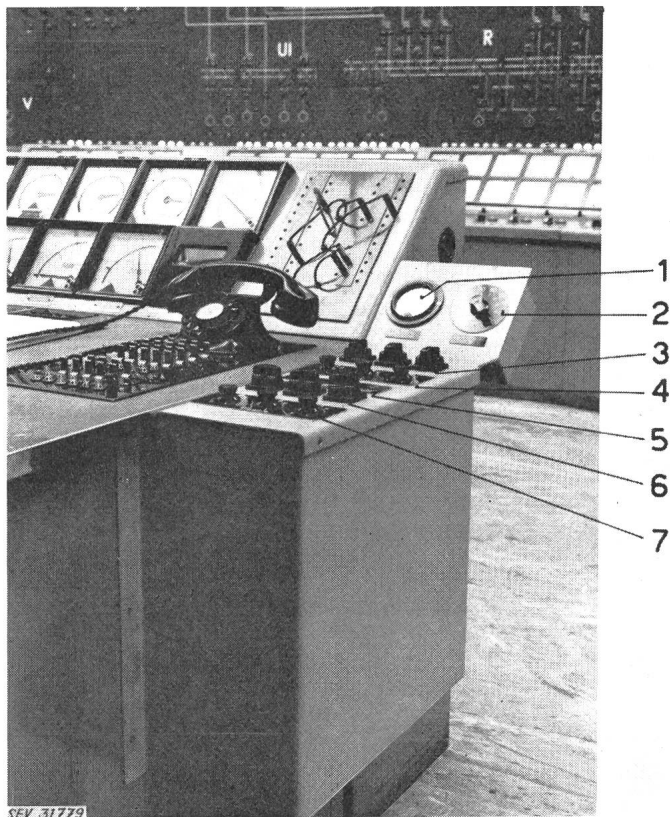
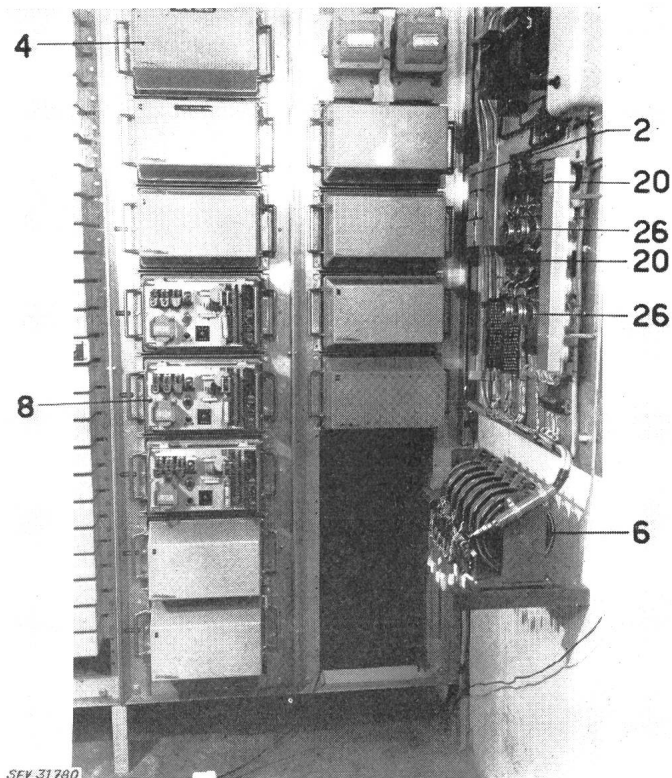


Fig. 4

### Anzeigeelement, Steuerknöpfe und Signale

1 Instrument für Stellbefehl von Lavorgo; 2 Stufenschalter für Regellasteinstellung; 3 Umschalter «Hand—Automatisch» für Maschinen in Motec; 4 Handpotentiometer für mittlere Leistung für das Kraftwerk Motec; 5 Signale; 6 Umschalter «Hand—Automatisch» für Maschine in Vissoie; 7 Handpotentiometer für mittlere Leistung für das Kraftwerk Vissoie



SEV 31780

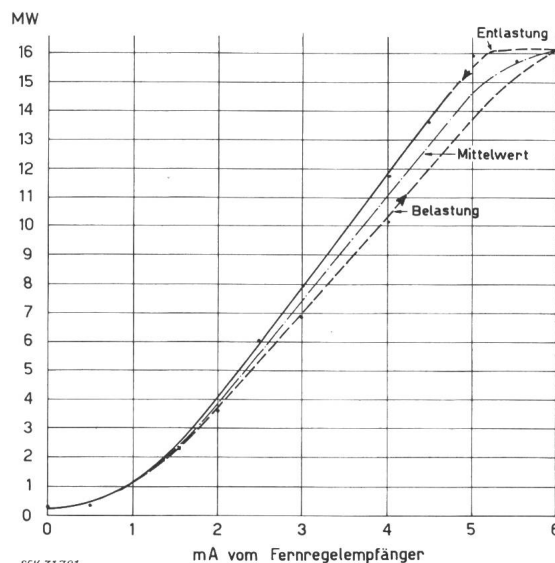
Fig. 5

Gestell mit Schaltverstärkern (8) und Zwischenservoverstärkern (4). An drei Schaltverstärkern ist der Verschaltungsdeckel entfernt. Rechts die sieben Steuerpotentiometer 6 und darüber an der Wand die Brückentransformatoren 20, Sperrkondensatoren 26, Isolierübertrager 2 usw.

## 3. Versuchsergebnisse

### 3.1 Statisches Verhalten

Fig. 6 stellt die Kennlinie für das statische Verhalten von Nullverstärker und Turbinenregler dar, bei sehr langsamem Auf- und Zuregeln mit entsprechenden Pausen aufgenommen. Differenzen zwischen den Auf- und Zu-Befehlen sind auf die unvermeidlichen mechanischen Reibungswiderstände und Spiele zurückzuführen.



SEV 31781

Fig. 6

### Statische Regelkennlinie für die Gruppe Vissoie 1 (Schaltverstärker auf Empfindlichkeitsstufe 3)

Die «Hysteresis»-Schleife ist durch die Reibungswiderstände und Spiele des Reglers selbst bedingt

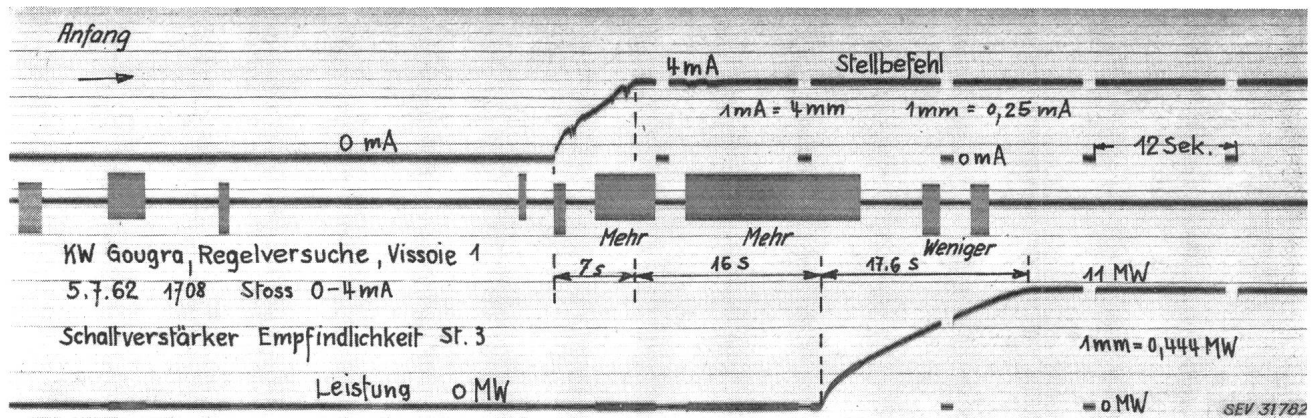


Fig. 7

Oszillogramm, aufgenommen bei stossförmiger Veränderung des Stellbefehls von 0 auf 4 mA (2/3 Last), ausgehend von geschlossener Düse

obere Kurve: Stellbefehl ab Versuchseinrichtung an Isolierübertrager; mittlere Kurve: Schaltbefehl ab Nullverstärker; untere Kurve: Maschinenleistung ab Generatorklemmen

### 3.2 Dynamisches Verhalten

Durch stossartiges Verändern des Stellbefehls wurde das dynamische Verhalten untersucht. Es wurden oszillographiert:

1. Stellbefehl;
2. Schaltbefehl ab Nullverstärker an den Drehzahlverstellmotor;
3. Generatorleistung.

Da der Schaltbefehl ab Nullverstärker für den Drehzahlverstellmotor mit Wechselstrom erfolgt und im Oszillogramm «Mehr»- und «Weniger»-Befehle voneinander unterschieden werden sollen, wurde dem «Mehr»-Befehl eine Plus-Gleichspannung und dem «Weniger»-Befehl eine Minus-Gleichspannung überlagert. Ein «Mehr»-Befehl erscheint somit auf dem Oszillogramm unsymmetrisch oberhalb der Nulllinie und ein «Weniger»-Befehl unsymmetrisch unterhalb der Nulllinie. Mit dem 12-Sekundenimpuls der Mutteruhr wurden die Oszillographenschleifen für den Stellbefehl und die Leistung kurzzeitig unterbrochen. Damit ergaben sich gleichzeitig die Zeitmarkierung und die Nulllinie für diese beiden Grössen. Die Steuerkabeladern nach den Kraftwerken sind, wie erwähnt, mehrfach ausgenutzt. Auf der für Maschine Vissoie 1 benützten Kabelader sind z. B. noch die bereits erwähnten 12-Sekunden-Zeitimpulse unterlagert. Für die Dauer derselben wird daher jeweils der Regelbefehl an den Drehzahlverstellmotor je nach Polarität kurzzeitig unterbrochen. Dies ist für die Regelung aber nicht von Bedeutung, da der Drehzahlverstellmotor zeitlich gegenüber dem Hauptservomotor ohnehin «im Vorsprung» ist.

Fig. 7 zeigt eine oszillographische Aufnahme bei annähernd stossförmiger Veränderung des Stellbefehls von 0 auf 4 mA von geschlossener Düse ausgehend. Diese versuchsmässige Veränderung des Stellbefehls wurde von Hand vorgenommen. Sie dauert daher rund 7 s. Schon nach ca. 3,6 s wird durch den Nullverstärker ein «Mehr»-Befehl ausgelöst, der nach 8,4 s durch einen Uhrenimpuls kurzzeitig unterbrochen wird, um hernach wieder zu erscheinen. 23 s nach Beginn der Stellbefehlsänderung beginnt die Maschinenleistung rasch anzusteigen. Sie erreicht bereits nach weiteren 17,6 s ohne Überschossen oder Pendeln den neuen Wert. Der Drehzahlverstellmotor hatte die Vorsteuerung zur Beschleunigung des Regelvorganges etwas höher eingestellt und korrigiert kurz vor Erreichen des neuen Leistungswertes durch zwei kurze «Weniger»-Befehle auf den richtigen endgültigen Wert.

Die Totzeit von 23 s zwischen Stossbeginn und Beginn der Leistungsänderung ist zum grossen Teil dadurch bedingt, dass der Drehzahlverstellmotor nicht nur Leerlaufleistung, sondern auch «Düse zu» befehlen können muss. Die Totzeit hängt davon ab, wo zwischen «Düse zu» und Leerlauf sich der Hauptservomotor und die Vorsteuerung zu Beginn befinden. Bei Belastungsänderungen, ausgehend von irgend einer Last zwischen Leerlauf und Vollast, ist die Totzeit entsprechend geringer, wie dies das Oszillogramm in Fig. 8 gut erkennen lässt. Ca. 15 s nach Beginn der Stellbefehlsänderung ist die neue Last bereits erreicht.

Das Oszillogramm in Fig. 9 zeigt einen Ausschnitt aus dem Verhalten von Stellbefehl, Schaltbefehl und

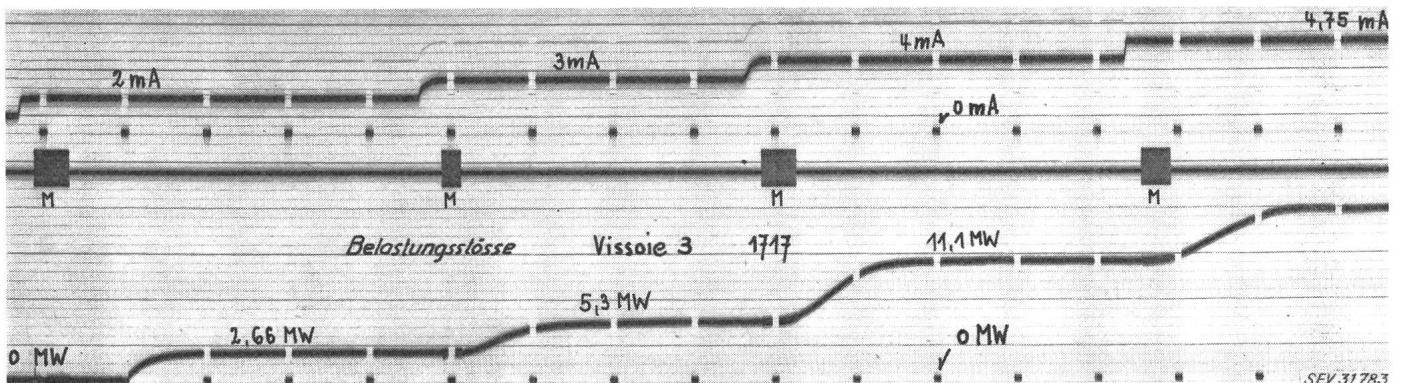


Fig. 8

Oszillogramm für stossförmige Veränderungen des Stellbefehls von vorbelasteter Maschine ausgehend

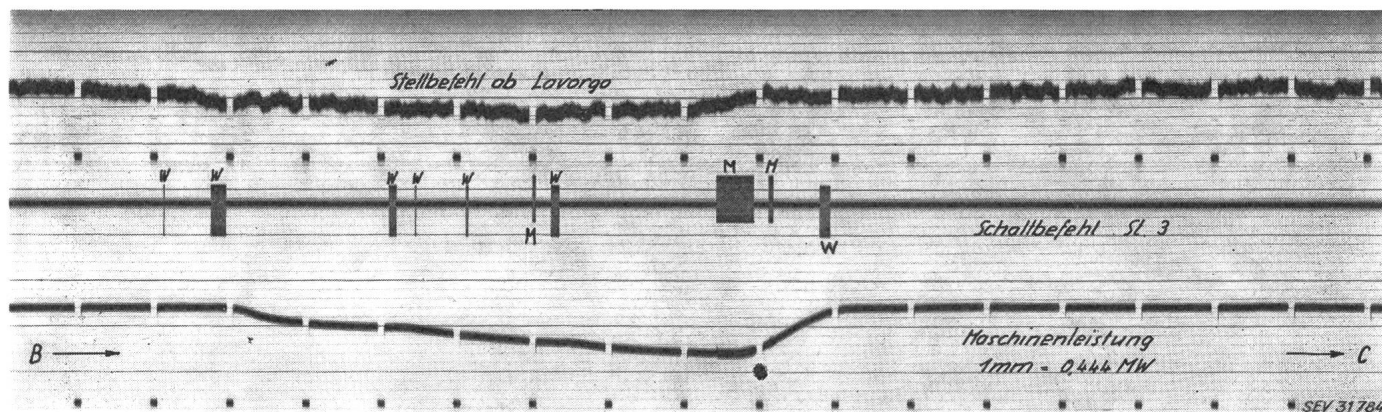


Fig. 9

Oszillogramm, aufgenommen im regulären Betrieb während der Ausregelung einer Laständerung  
Man erkennt deutlich, wie empfindlich die Regelung arbeitet ohne zu pendeln oder zu überschossen

Maschinenleistung im normalen Betrieb bei rund 50 % Regellastanteil während einer Leistungsänderung. Wie die Aufnahme erkennen lässt, folgt die Maschinen-Leistung dem Stellbefehl genau.

Bei allen oszillographischen Aufnahmen war am Nullverstärker die mittlere Empfindlichkeitsstufe 3

eingestellt. Je nach den vorliegenden Betriebsbedingungen kann natürlich auch eine grössere oder kleinere Empfindlichkeit gewählt werden.

Adresse des Autors:  
F. Schär, Aare-Tessin Aktiengesellschaft für Elektrizität,  
Olten (SO).

## Anwendungsmöglichkeiten eines Teilchenbeschleunigers in der Materialprüfung und Materialbehandlung

621.384.6 : 620.1

### 1. Vorwort

Die Commission Electrotechnique Internationale (CEI) besitzt in der Groupe de Travail (GT) 8 des Comité d'Etudes (CE) 15 seit längerer Zeit ein Organ, das sich mit der Wirkung von ionisierenden Strahlen insbesondere auf Isolierstoffe befasst. Vor etwa 2 Jahren beschloss das Fachkollegium (FK) 15 des Schweiz. Elektrotechnischen Komitees (CES), selber auch eine Unterkommission (UK) 8 zu bilden, die in Zusammenarbeit mit der GT 8 die gleichen Probleme auf nationaler Ebene in Angriff nimmt.

Bereits an der ersten Sitzung der UK 8 vom 27. Mai 1960 wurde die Frage nach einer geeigneten Bestrahlungsquelle besprochen. An der zweiten Sitzung vom 21. Oktober 1960 kam die UK 8 zur Überzeugung, dass die Aufwendungen für eine solche Strahlenquelle derart seien, dass ihre Anwendungsmöglichkeiten über den Rahmen der Zielsetzungen der UK 8 hinaus auf breiter Basis geprüft werden müssten, wenn eine Aussicht auf Verwirklichung überhaupt bestehen solle. Es wurden daher 3 Mitglieder der UK 8 mit dem Studium dieser Fragen beauftragt. Die Ergebnisse sollen hier dargelegt werden und die Unterlage bilden, um einen weiteren Kreis von Interessenten mit den Problemen vertraut zu machen und ihr Interesse für eine Mitarbeit zu wecken.

Im folgenden werden die Beiträge der 3 Beauftragten unverändert wiedergegeben. Es hat dies zwar den Nachteil, dass die gleichen Fragen z. T. mehrfach angeschnitten werden; umgekehrt kommen aber dadurch verschiedene Betrachtungsweisen zu ihrer Geltung. Für einige Spezialfragen wurden Fachleute konsultiert, deren Stellungnahmen ebenfalls in diese Studie auf-

genommen wurden. Zum Schluss wird versucht, die Ergebnisse zusammenzufassen.

### 2. Die Anwendungsmöglichkeiten einer starken Strahlenquelle

#### 2.1 Materialuntersuchung<sup>1)</sup>

Die Behandlung von Materialien mit ionisierenden Strahlen hat oft die erwünschte oder unerwünschte Veränderung der physikalischen, chemischen oder biologischen Eigenschaften des bestrahlten Gutes zur Folge. Es ergeben sich daraus folgende Fragen:

1. Welche Eigenschaften können an einem vorgegebenen Material durch Bestrahlung mit der einen oder andern Strahlenart verändert werden?

2. Wie kommen diese Veränderungen zustande?

3. In welchem Mass können die Eigenschaften eines Materials durch Bestrahlung beeinflusst werden, und wie ist der Zusammenhang zwischen verabfolgter Dosis und Veränderung der Eigenschaften?

Während die Problemstellungen 1. und 2. als solche der Grundlagenforschung zu betrachten sind, und soweit als beantwortet gelten können, dass die speziellere Fragestellung 3. in höchstem Masse sinnvoll wird, stellen sich in ihrem Rahmen so viele Einzelfragen, dass sie den Aufgabenkreis der Grundlagenforschung weit überschreiten.

Oft tritt bei der Problemstellung 3. als Sonderfall auch bloss die Frage auf: Welche meist sehr hohe Dosis einer bestimmten Strahlenart erträgt ein Material, ohne seine Eigenschaften so stark zu verschlechtern,

<sup>1)</sup> Verfasser dieses Abschnittes ist Dr. phil. nat. H. Schindler, Sekretär der SBK, Zürich.