Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke

Band: 56 (1965)

Heft: 24

Artikel: Automatisierung der Turbinenanlage im Kraftwerk Gösgen

Autor: Markwalder, R.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-916427

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: 16.07.2025

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

das Jahr 1950 zurück. Neuere Vorschläge der Philips AG möchten entweder die Bildwechselzahl oder die Zeilenzahl des 625-Zeilensystems etwas erhöhen. Weitere Studien und Anregungen betreffen die geeignete Wahl des Chrominanzhilfsträgers des 625-Zeilensystems [10].

Auch der Gedanke des «dual-standard receivers» ist wieder aktuell geworden — das heisst: es könnte ein Empfängertyp entwickelt werden, der für beide Normvarianten brauchbar wäre.

Natürlich könnte man unter der erwähnten Koordination auch ein gänzliches Verschwinden der einen oder andern Normvariante verstehen. In diesem Falle müsste gegen die ältere der beiden Normvarianten — das 525-Zeilensystem, mit 60 Halbbildern pro Sekunde — sofort eingewendet werden, dass die um 20 % grössere Bildwechselzahl schliesslich auf Kosten der Bildinformation geht. Wohl zeigt sich das Flimmerproblem zunächst in etwas milderer Form, doch haben Flimmern und Frequenzbandbreite an sich nichts Gemeinsames.

Soweit die augenblickliche Situation. Mit der zunehmenden Bedeutung interkontinentaler Übertragungen über Erdsatelliten sind zunächst weitere Anstrengungen zur Reduktion der Frequenzbandbreite zu erwarten. Das Produkt der beiden Kostenfaktoren: benötigte Bandbreite und Belegungszeit, ist von entscheidender Bedeutung. Anderseits wären zusätzliche Aufwendungen für die Endausrüstungen der Satellitenübertragung weniger wichtig. Bereits zeigen sich erste Ansätze in dieser Richtung [11] und es wäre durchaus denkbar, dass sich hieraus einmal eine Weltnorm ergeben könnte.

Ganz allgemein besteht das Fernziel des weiteren Vorgehens darin, eine *bessere Übereinstimmung der Videotechnik mit den physiologischen Gegebenheiten* zu erreichen. Deshalb sind vorerst weitere Untersuchungen notwendig, bevor irgendwelche Eingriffe zur Schaffung einer eigentlichen Weltnorm zu verantworten wären. In diesem Sinne wird sich denn auch das *Comité Consultatif International des Radiocommunications* (CCIR) weiterhin mit der Aufgabe zu befassen haben.

Literatur

[1] *W. Gerber:* Probleme des Weltfernsehens. Techn. Mitt. PTT 40(1962)11, S. 395...402.

[2] *Comité Consultatif International des Radiocommunications:* CCIR-Document XI/31 de la période 1963...1966.

[3] *H. Zemanek:* Elementare Informationstechnik. Oldenbourg München 1959, S. 63.

[4] *F. Schröter:* Die Bedeutung des Bildausgleichprojektors als Fernsehgeber. Probleme des Fernsehens. Vorträge und Diskussionsberichte an der 1. internationalen Fernsehtagung in Zürich 19. bis 21. September 1938. Schweiz. Arch. angew. Wiss. Techn. Sonderheft 1938, S. 78...82.

[5] *J. Haantjes* and *W. F. de Vrijer:* Flicker in Television Pictures. Wirel. Engr. 28(1951)2, S. 40...42.

[6] *A. Bril, W. L. Wanmaker* and *C. D. J. C. de Laat:* Fluorescent Properties of Red-Emitting Europium-Activated Phosphors with Cathode Ray Excitation. J. Electrochemical Soc. 112(1965)1, S. 111...112.

[7] *H. Zemanek:* Elementare Informationstechnik. Oldenbourg München 1959, S. 64.

[8] *A. V. Lord* and *E. R. Rout:* A Review of Television Standards Conversion. BBC-Monograph No. 55, London 1964.

[9] *T. Nomura:* TV Standard Conversion System: 1. Internationales Fernseh-Symposium in Montreux 17. bis 21. Mai 1961.

[10] *BBC-Research Department:* Techn. Mem. T-1049, Report T-110 (1963/25), Techn. Mem. T-1059/2.

[11] *K. Suzuki:* Advanced Technical Problems in Japan. Report of the NHK Technical Research Laboratories, 8th April 1965, Tokyo.

Adresse des Autors:
Dr. *W. Gerber,* Elfenauweg 64, 3000 Bern.

Automatisierung der Turbinenanlage im Kraftwerk Gösgen

Von *R. Markwalder,* Olten

62–52 : 621.224 : 621.311.21(494.221.1)

Die Automatisierung des Betriebes ist bei Kraftwerken älteren Baudatums von besonderem Interesse, da diese Anlagen auf Grund ihrer ursprünglichen Disposition eine grössere Anzahl von Bedienungspersonal im 3-Schichtenbetrieb erfordern. Der vorliegende Aufsatz befasst sich mit den getroffenen Massnahmen zur Modernisierung und Automatisierung der Turbinenanlage im Kraftwerk Gösgen der Aare-Tessin AG, Olten. Die für jede Maschinengruppe vorgesehene automatische Steuerung umfasst hauptsächlich ein Wahlschaltwerk zur Bestimmung des gewünschten Programms sowie die entsprechenden Schrittschaltwerke für die Ausgabe der Funktionsbefehle. Grundsätzlich arbeitet die Einrichtung als Kaskadensteuerung, wobei die ordnungsgemässe Ausführung eines Befehles jeweils für die Erteilung des nächsten erforderlich ist. Die automatische Turbinenregulierung ist heute bei drei der sieben Drehstrommaschinen des Kraftwerkes Gösgen in Betrieb, bei den übrigen Gruppen in Ausführung. Nach Abschluss dieser Arbeiten ist als nächster Schritt in der Automatisierung der Einbau eines Steuergerätes vorgesehen, das die Maschinen abhängig von der Wasserführung der Aare zu- und abschaltet sowie gemäss den Wirkungsgradkurven auf dem günstigsten Arbeitspunkt betreibt.

L'automatisation de la marche des centrales électriques anciennes offre un intérêt particulier, du fait que ces centrales exigent, en raison de leur conception, un personnel d'exploitation assez important, formant trois équipes en rotation. L'article présent traite des mesures prises pour moderniser et automatiser l'équipement des turbines de la centrale de Gösgen, appartenant à la société ATEL, Olten. La commande automatique prévue pour chaque groupe générateur comprend essentiellement un équipement sélecteur, pour la fixation du programme désiré, et des équipements à couplage progressif, qui émettent les ordres correspondants. Le système fonctionne en cascade, de sorte qu'aucun ordre ne peut être donné sans que l'ordre précédent ait été exécuté. La régulation automatique des turbines est déjà en service pour trois des sept machines à courant triphasé de l'usine de Gösgen et les équipements des autres machines sont en cours d'exécution. La prochaine étape de l'automatisation consistera à installer un dispositif qui mettra les machines en ou hours service selon le débit de l'Aar, en les faisant travailler toujours dans la zone du meilleur rendement.

1. Allgemeines über das Kraftwerk Gösgen

Das Kraftwerk Gösgen der Aare-Tessin AG wurde in den Kriegsjahren 1914—1917 gebaut und war damals mit über 40 MW installierter Leistung eine der grössten Anlagen seiner Art. Von den 8 vorgesehenen Maschinensätzen waren bei der Inbetriebnahme im November 1917 deren 6 eingebaut. Eine siebente Gruppe konnte anfangs der 20er Jahre in Dienst gestellt werden. Es handelt sich bei den Turbinen

um Niederdruck-Francis-Maschinen, die mit einem Gefälle von 13,5...17 m und einem Schluckvermögen von 50...55 m³/s eine maximale Einheitsleistung von 7360 kW (10 000 PS) abgeben. Die Drehzahl beträgt für die Maschinen *1* und *2* 93,6, für die Gruppen *3...7* 83,3 U./min. Die vertikalachsigen Turbinen sind mit Drehstrom-Generatoren (rund 7000 kVA Dauerleistung) starr gekuppelt. An Stelle der vorgesehenen achten gleichartigen Gruppe wurde in den Jahren 1950/51 eine Kaplan-Turbine mit Einphasen-Bahnstrom-Generator installiert, wobei die bestehende bauliche Disposition in Bezug auf Zulauforgane und Saugrohr den geforderten Verhältnissen anzupassen war.

Die Drehstrommaschinen stehen heute, nach mehr als 40jähriger Betriebszeit, ungeschmälert im täglichen Einsatz. Dank regelmässigem, sorgfältigem Unterhalt ist ihr Zustand gut und garantiert noch für viele Jahre einen reibungslosen Betrieb. Die Bedienung der Anlage erfordert aber, auf Grund der damaligen Disposition, den Einsatz von mehreren Maschinisten. Dabei arbeitet dieses Personal betriebsbedingt im 3-Schichteneinsatz, wozu noch die notwendigen Ablöse- und Reserveleute kommen. Der Umstand, dass bei Einsparung eines einzigen Schichtpostens 4...6 qualifizierte Berufsleute für andere wichtige Arbeiten frei werden, stellte hier das Problem der Automatisierung in ein ganz besonderes Licht.

Bestrebungen in dieser Richtung setzten denn auch schon vor bald 10 Jahren ein und führten in der Folge zu beträchtlichen technischen Veränderungen, speziell bei der Regulierung und bei den Hilfsbetrieben der Gruppen. Durch die bis heute getroffenen Massnahmen zur technischen Verbesserung, verbunden mit der teilweisen Verwirklichung der vollautomatischen Maschinensteuerung, konnte der Bestand an Schichtpersonal auf $^1/_4$ reduziert werden.

2. Ursprüngliche Disposition

Wie die Schnittdarstellung (Fig. 1) zeigt, ist die Anlage, der damaligen Bauweise entsprechend, mit Tafelschützen in den Zulauforganen zu den Maschinen ausgerüstet. Die Laufräder liegen ziemlich hoch über dem maximalen Unterwasserspiegel, was für die Betriebsführung besondere Probleme stellt, auf die noch näher eingegangen werden soll. Die Hilfsbetriebe der einzelnen Maschinen, wie die Zahnradpumpen des Regulier- und Traglageröles, die Pumpen für die Halslagerschmierung und der Turbinenregulator, wurden über ein Winkelgetriebe mit Vorgelegewelle durch Riemen angetrieben. Die Ausrüstung der Gruppen mit Öldruck-Spurlagern erforderte vom Wartungspersonal eine besondere ständige Überwachung der Antriebe, da bei Abfallen oder Reissen eines Riemens ein Lagerdefekt unvermeidlich war, falls der Maschinist nicht sehr bald eingreifen konnte.

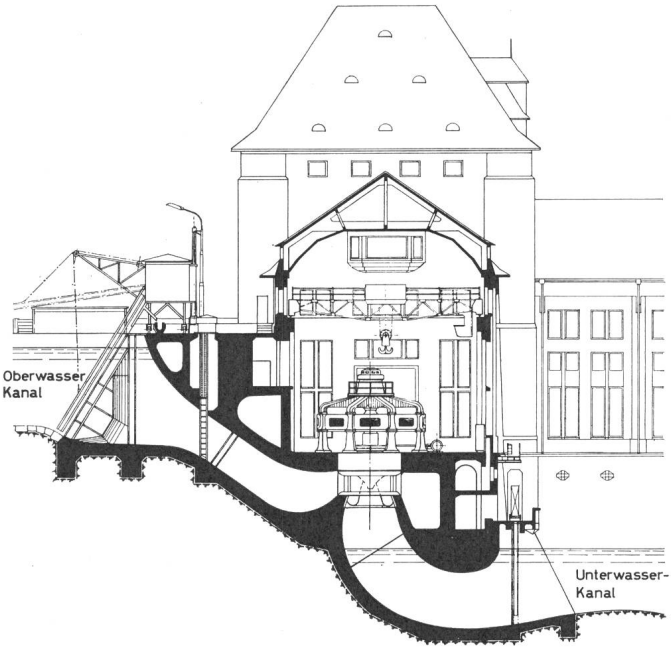

Fig. 1
Schnitt durch das Kraftwerk Gösgen
Aus der Figur ist die Disposition der Wasserführung mit den Einlaufschützen sowie der hochliegenden Turbinenräder ersichtlich

Alle diese Einrichtungen wiesen einen überholten technischen Stand auf, wodurch sich vorerst das Problem einer umfassenden Modernisierung und Umdisposition stellte. Erst nach Abschluss dieser Arbeiten konnte an die eigentliche Automatisierung der Maschinenbedienung herangetreten werden.

3. Modernisierung der Maschinenanlage

An Stelle der alten Öldruck-Lager erhielten sämtliche Gruppen Segment-Spurlager, die nicht mehr auf eine äussere, dauernde Druckölversorgung angewiesen sind. Die alten Windkessel für das Regulieröl wurden durch neue Behälter mit vergrössertem Volumen ersetzt, die mit den Ölbassins kombiniert eine Einheit bilden. An Stelle der riemengetriebenen Zahnradpumpen kamen pro Gruppe zwei Schraubenpumpen mit Elektromotorantrieb zum Einbau. Der Antrieb dieser Pumpen durch Elektromotoren, gegenüber dem direkten mechanischen Antrieb durch die einzelnen Turbinen, konnte gewählt werden, nachdem die Eigenbedarfs-Energieversorgung des Kraftwerkes durch die Installation einer leistungsfähigen Notstrom-Dieselgruppe sichergestellt war. Zudem bieten die vergrösserten Windkessel Gewähr für das Aufrechterhalten des Betriebes während der Umschaltzeit, auch für den Fall, dass diese mehrere Minuten beträgt. An Stelle des Riemenantriebes für das Pendel des Turbinenreglers trat eine elektrische Übertragung mittels Pendelgenerator und Motor. Auch die Schmierung der Führungslager wurde umdisponiert.

An Stelle der für das obere und untere Lager separat vorhandenen Umwälzpumpen mit Riemenantrieb übernimmt nun eine einzige Pumpengruppe die Versorgung beider Lager. Das Drucköl wird den Schmierpunkten dosiert zugeführt und zirkuliert im übrigen dauernd zwischen Pumpe und Bassin. Bei stillstehender Turbine sorgt eine temperaturabhängig gesteuerte elektrische Heizung für die Einhaltung einer minimalen Betriebstemperatur des Öles von ca. 15 °C. Für den Fall eines Versagens der Schmierpumpe tritt eine fest installierte Reservegruppe in Betrieb. Diese erhält den Einschaltbefehl von der Drucküberwachung des Schmierkreises. Die Rückführung des Lecköles des Servomotors für den Leitapparat in das Hauptölbassin besorgt eine schwimmergesteuerte Pumpe. Da die Turbinenkammer bei stillstehender Gruppe und geschlossenen Einlaufschützen zu entleeren ist, wurde der dortige Abschlußschieber mit einem hydraulischen Antrieb ausgerüstet, der vom Regulieröl der Turbine aus versorgt und durch Druckknopfsteuerung betätigt wird. Die Drehzahl-Verstelleinrichtung sowie die Lastbegrenzung am Turbinensteuerwerk war von Hand oder über Gleichstrommotoren und Gewindespindeln zu bedie-

nen. Diese Installationen gaben wiederholt Anlass zu Störungen und wurden in der Folge durch eine hydraulische Betätigung mittels doppelt wirkender Positionier-Zylinder ersetzt. Die Betätigung erfolgt über 4-Weg-Solenoid-Ventile; die Versorgung mit Drucköl geschieht ebenfalls direkt vom Windkessel über ein Reduzierventil. Für die Steuerung sind Schwenkschalter sowohl bei der Maschinengruppe als auch beim Bedienungspult in der Kommandostelle vorhanden. Die Antriebe gestatten eine sehr feine Positionierung und gewähren eine zuverlässige Fixierung auch über eine lange Betriebszeit. Zudem erlauben sie eine beschleunigte Verstellung im Bedarfsfall.

Mit der Installation dieser Einrichtungen wurden ebenfalls die Turbinen-Einlaufschützen von Grund auf überholt und die Windwerke mit neuen Antrieben ausgerüstet. Zu diesen Antrieben kamen gekapselte, witterungsunabhängige Endschalter sowie eine verbesserte Stellungsfernanzeige. Dazu wurde für jede Schütze eine Überlastsicherung eingebaut, die drehmomentabhängig den Schliessvorgang unterbricht und ein Alarmsignal auslöst bei eventuellem Einklemmen von Geschwemmsel auf der Sohle. Diese Massnahme drängte sich auf, da bei der grossen Übersetzung und dem ansehnlichen Schwungmoment der drehenden Teile bei plötzlichem Blockieren eine Getriebebeschädigung zu erwarten war.

Als weitere bemerkenswerte Modernisierung wurde für die gesamte Maschinenanlage eine Zentralschmiereinrichtung eingebaut. Bei der ursprünglichen Disposition waren die fettgeschmierten Stellen, wie die Lager der Leitschaufeln und der Lenkhebel — es sind im gesamten über 1000 Stück —, mit Stauffer-Büchsen ausgerüstet. Diese mussten in relativ kurzen Intervallen von Hand bedient und nachgefüllt werden. Die Zentralschmiereinrichtung, die in zwei unabhängige Schmierkreise aufgeteilt ist, versorgt diese Stellen nun einmal täglich automatisch mit dem richtigen Fettquantum. Durch eine entsprechende Steuerung erfolgt die Schmierung der Maschinen jedoch nur dann, wenn sie in Betrieb stehen.

4. Automatisierung der Steuerung

4.1 Aufgaben der automatischen Steuerung

Obschon durch die beschriebenen Modernisierungseinrichtungen die betrieblichen Verhältnisse erheblich verbessert werden konnten, war es offensichtlich, dass eine automatische Steuerung für den Anlauf und das Abstellen der Gruppen auf Grund der Gesamtdisposition der Anlage eine bedeutende Anzahl von Funktionen zu erfüllen hat. In diesem Zusammenhang ist es angezeigt, die notwendigen Manipulationen, die der Maschinist für das Anlassen bzw. Abstellen einer Gruppe von Hand ausführt, vorerst darzustellen.

4.1.1 Anlassen der Maschine

Bei Erhalt des Anlassbefehles durch den Schichtführer sind in der angegebenen Reihenfolge folgende Betätigungen auszulösen:

a) Inbetriebsetzung der Schmierölpumpen für die Führungslager durch Einschalten des entsprechenden Schützes.

b) Inbetriebsetzen der Turbinenregulierölpumpen durch Einschalten des entsprechenden Schützes.

c) Betätigung der Zentralschmiereinrichtung der betreffenden Maschine. Vor jedem Anlauf sind jeweils sämtliche Lagerstellen vorzuschmieren, was durch Druckknopfbetätigung in den Steuerungen der beiden Schmierkreise zu erfolgen hatte.

d) Einschalten der Kühlwasserzirkulation für das Traglager durch Öffnen des betreffenden Kugelventiles.

e) Öffnen der mechanischen Verriegelung des Servomotors. Die Betätigung erfolgt durch den Rücklauf der Blockierspindel in die Öffnungsstellung. Antrieb durch Elektromotor mit Schützensteuerung.

f) Schliessen des Entleerungsschiebers für die Turbinenkammer durch Betätigen des 4-Weg-Ventiles der hydraulischen Steuerung.

g) Füllen der Turbinenspirale. Diese Funktion hat durch subtiles Hochziehen der Einlaufschützen zu erfolgen, da bei zu schneller Füllung sehr empfindliche Wasserschläge in der Kammer auftreten. Durch die Betriebserfahrung hatte sich ein Anheben der Schützen um 10 cm eingeführt. Der Füllungsgrad der Kammer wird dann durch ein Manometer angezeigt.

h) Nach erfolgter Füllung sind die Schützen bis auf eine Öffnung von 1 m anzuheben. Diese Teilweiseöffnung erwies sich als notwendig, damit bei einem allfälligen Fehlanlauf die Schützen innert nützlicher Zeit wieder geschlossen werden konnten. Die Steuerung der Windwerkmotoren erfolgt durch Schütze mittels Druckknopf.

i) Lösen der pneumatischen Generatorbremse durch Umstellen des Handsteuerventils.

k) Einstellen der Leerlaufposition im Turbinensteuerwerk durch Druckknopfbetätigung für die entsprechenden Solenoid-Ventile.

l) Einstellen der Leerlastposition im Turbinensteuerwerk in gleicher Weise.

m) Erteilen des Anlassbefehls an die Turbine durch Anziehen des Anlasshebels. Die Einregulierung auf die Nenndrehzahl erfordert ein spezielles Vorgehen. Da wie bereits erwähnt die Turbinenräder ziemlich hoch über dem Unterwasserspiegel liegen, ergeben sich für die Füllung des Saugrohres einige Komplikationen. Es wäre möglich, diese durch Evakuirung der Luft mit entsprechend dimensionierten Vakuumpumpen zu vermeiden. Wegen der Grösse des zu entleerenden Raumes und der dadurch bedingten umfangreichen Installationen wurde eine solche Lösung jedoch nie in Erwägung gezogen. Im praktischen Betrieb ist es daher nötig, die Luft durch das durchfliessende Wasser aus dem Saugrohr zu verdrängen und zu diesem Zweck die Maschine beim Anlassvorgang auf eine Überdrehzahl von rund 25 % zu bringen. Nach ca. 60 s intensiver Durchspülung füllt sich das Rohr mit Wasser, worauf der Turbinenregler seine Funktion übernehmen kann und die Maschine auf die Nenndrehzahl zurückführt.

n) Erstattung der Meldung «Maschine zum Parallelschalten bereit» an den Schichtenführer.

4.1.2 Abstellen der Maschine

Gegenüber dem Anlassen verlangte der Abstellvorgang eine geringere Anzahl von Funktionen. Nachdem die Maschine vom Netz elektrisch getrennt und die Erregung abgeschaltet ist, hat der Maschinist die nachfolgenden Manipulationen auszuführen:

a) Schliessen der Turbinen-Einlaufschützen.

b) Rückstellung von Lastverstell- und Lastbegrenzungs-Einrichtung auf Null.

c) Schliessen der mechanischen Verriegelung.

d) Öffnen des Kammerentleerungsschiebers.

e) Betätigen der Maschinenbremse bei Erreichen von 40 % der Nenndrehzahl.

f) Schliessen des Kühlwasserschiebers für das Traglager.

g) Ausschalten der Halslager-Schmierpumpe.

h) Ausschalten der Regulierölpumpen.

i) Erstattung der Meldung «Maschine abgestellt» an den Schichtenführer.

4.1.3 Beobachtungen während des Betriebes

Eine weitere wichtige Aufgabe des Maschinisten bildet, auch nach der erwähnten Modernisierung der Anlage, die Überwachung der Maschinen während des Betriebes, wobei er gegebenenfalls sofort eingreift. Vor allem hat er die Temperaturen an Trag- und Führungslagern zu überwachen, die Anzeigen über Öldruck bei Lagern und Regulierung laufend zu kontrollieren sowie den Ölstand im Windkessel zu regulieren. Bei Auftreten irgendwelcher Unregelmässigkeit hat er zu entscheiden, ob ein sofortiges oder eventuell gelegentliches Abstellen der Gruppe erforderlich ist.

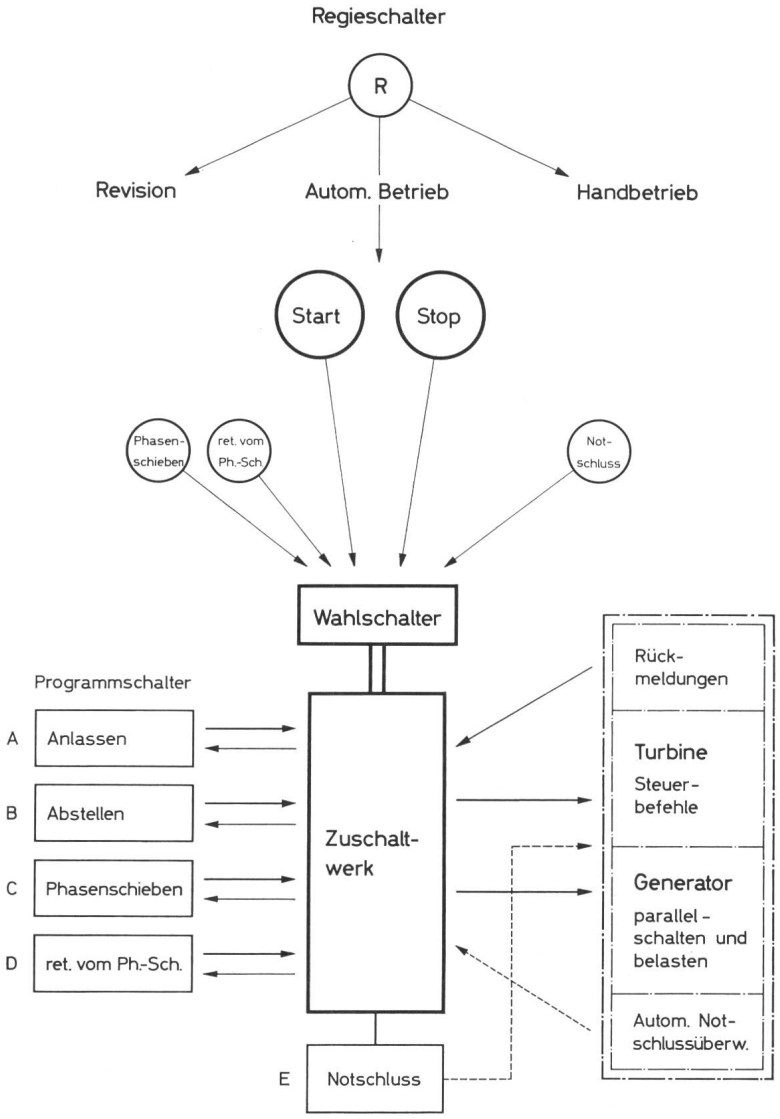

Fig. 2

Blockschema der automatischen Turbinensteuerung

Der übergeordnete Regieschalter gestattet die Wahl der Steuerungsart «automatisch», «Hand» (die ursprüngliche Handsteuerung ist in vollem Umfang beibehalten) sowie auf einer dritten Position «Revision» die Blockierung aller Steuerbefehle. Im automatischen Betrieb sind die durch Kreise angedeuteten Befehle möglich, nämlich Start und Stop für Normalbetrieb, Übergang von Normalbetrieb auf Phasenschieben und umgekehrt sowie die Hand-Notschlussauslösung. Der Ablauf der automatischen Vorgänge ist im untern Teil der Figur veranschaulicht

4.1.4 Phasenschieberbetrieb

Die Gruppen werden auch ab und zu für die Erzeugung von Blindleistung benötigt. Die Schaltung auf diese Betriebsart, wie auch die Rückschaltung auf Normalbetrieb, verlangt eine bestimmte Anzahl von Manipulationen des Maschinisten. Es handelt sich dabei um das Schliessen bzw. Öffnen der Einlaufschützen, das Entleeren oder Füllen der Turbinenspirale sowie die notwendigen Einstellungen am Turbinensteuerwerk.

Diese etwas weit ausholenden Erläuterungen waren wohl erforderlich, um die Aufgaben, welche eine automatische Steuerung zu bewältigen hat, aufzuzeigen.

4.2 Disposition der automatischen Turbinensteuerung

Zur Übernahme der Funktionen für das Anlaufen und Abstellen sowie für Betrieb als Phasenkompensator wurde eine Einrichtung geschaffen, die grundsätzlich als Schützensteuerung ausgelegt ist und in Kaskaden-Schaltung arbeitet. Für die Ausgabe eines neuen Befehles ist jeweils eine Rückmeldung für die ordnungsgemässe Ausführung der vorausgegangenen erforderlich. Die einzelnen Funktionen sind in Befehlsgruppen zusammengefasst, die über Programmschalter gesteuert werden. Fig. 2 zeigt im Blockschema den Aufbau der Gesamtanlage.

Sämtliche Befehle und Rückmeldungen aller Funktionen münden auf Umschaltkontakten, deren Stellungen von einem Wahlschalter gesteuert werden. Diese Einrichtung ermöglicht die rasche Umschaltung auf das gewünschte Steuerprogramm. Wie aus Fig. 2 ersichtlich ist, wird neben den Programmen für «Anlassen», «Abstellen», «Normalbetrieb-Phasenschieben» und «Phasenschieben-Normalbetrieb» noch eine fünfte Befehlsgruppe, nämlich «Notschluss», aufgeführt. Auf diese Einrichtung soll noch näher eingegangen werden, da hier, in Verbindung mit den entsprechenden Kontrollapparaten, die wichtige Aufgabe der Betriebsüberwachung zufällt.

In der Folge soll auf die Ausführung der einzelnen Programmsteuerungen näher eingegangen werden, wobei der Anlassvorgang stellvertretend für alle Funktionen im Detail erläutert wird.

4.2.1 Anlassen der Maschine

Voraussetzung für die Möglichkeit, den Startbefehl durch Druckknopfbetätigung in der Kommandostelle überhaupt zu geben, ist die richtige Ausgangsstellung der gesamten Anlage. Sie wird dem Schichtenführer durch ein Leuchttransparent «Zum Anlassen bereit» kenntlich gemacht, wobei diese Anzeige in der Regel nach ordnungsgemässer Abstellung der Maschine ohne weiteres auftritt. Voraussetzung dafür ist im besondern:

a) Stellung des Regieschalters *R* auf «Autom. Betrieb».
b) Zuschaltung der Befehle und Rückmeldungen über die Verteilkontakt-Geräte auf den Anlass-Stufenschalter; Wahlschalter auf Stufe *A*.
c) Stellung des Anlass-Stufenschalters auf Stufe *1* bzw. des Abstellschalters auf Stufe *6*.

Der Ablauf des Anlassvorganges ist in Fig. 3 dargestellt.

Der Anlass-Stufenschalter weist 6 Stellungen auf, wobei die Stufe *1* als Neutral- oder Nullstellung zu bezeichnen ist. Bei Erfüllung der erwähnten Bedingungen bringt der Startbefehl den Programmschalter auf die Stufe *2*. Dabei werden, wie in den Kreisen dargestellt, folgende Befehle ausgegeben:

a) Halslagerschmierölpumpen «Ein».
b) Regulierölpumpen «Ein».
c) Kühlwasser-Traglager «Ein».
d) Kammer-Entleerungsschieber «Zu».
e) Maschinen-Schmierung «Ein».
f) Mechanische Maschinen-Verriegelung «Auf».
g) Spirale füllen: Anheben der Turbineneinlaufschützen um 10 cm (Rückmeldung durch Druckschalter, welcher die statische Wasserhöhe im Spiralgehäuse misst) «Ein».

Gleichzeitig mit dem Erteilen des Startbefehles wird ein Zeitschalter aufgezogen, der mit einer Verzögerungszeit, umfassend die normale Anlaufzeit der Maschine plus eine Sicherheitsspanne von *n* Sekunden, wieder abfällt und so den ordnungsgemässen Ablauf des Vorganges überwacht.

Bei Eintreffen aller Rückmeldungen, deren Kontakte in Serie geschaltet sind und welche die korrekte Ausführung der gegebenen Befehle bestätigen, wird der Programmschalter auf die Stufe *3* gebracht. Hier werden zwei neue Befehle gegeben, nämlich:

h) Turbineneinlaufschützen auf 1 m «öffnen».
i) Leerlauf-Drehzahl am Turbinenregler «vorwählen».

Nach Eintreffen der bestätigenden Rückmeldungen dieser neuen Funktionen, die zu den in den Kreisen wiederholten Befehlen aus der zweiten Stufe hinzukommen, wird der Programmschalter auf Stufe *4* weitergestellt. Auf dieser Stufe werden:

k) die Maschinenbremse gelöst,
l) der eigentliche Anlassbefehl ausgegeben und gleichzeitig
m) die Turbineneinlaufschützen weiter geöffnet. Als doppelte Sicherung ist dabei die Ausgabe des Anlassbefehls von der ordnungsgemässen Lösung der Maschinenbremse abhängig gemacht.

Zum Weiterschreiten des Programmschalters auf Stufe *5* ist für die erwähnte Füllung des Saugrohres eine Turbinendrehzahl von ca. 25 % über dem Nennwert notwendig. Bei diesem Punkt wird der Anlassbefehl unterbrochen; der Leitapparat schliesst auf Minimalöffnung und nach ca. 60 s wird die Betriebsdrehzahl der Maschine erreicht. Das Öffnen der Einlaufschützen geht dann bis zur max. Stellung weiter.

Für den Weiterlauf des Programmschalters von Stufe *5* auf Stufe *6* sind nun die Rückmeldungen aus der max. Öffnung der Einlaufschützen sowie das Erreichen der angenäherten Nenndrehzahl notwendig. Auf der Stufe *6* wird der Ablauf des eingangs erwähnten Zeitüberwachungsgliedes abgewartet und sodann die Maschine für die Erregung und automatische Parallelschaltung freigegeben. Diese Funktionen besorgt eine für alle Maschinensätze einzeln wirksame Parallelschalteinrichtung. Sie übernimmt die Maschinen nach Ablauf des Anlassvorganges automatisch und gibt diese nach erfolgter Zuschaltung zum Netz für den Normalbetrieb frei. Für den Fall, dass mehrere Maschinen kurzzeitig nacheinander für die Parallelschaltung anstehen (z. B. nach elektrischer Trennung des Kraftwerkes wegen Störung), erfolgt die Zuschaltung in der Reihenfolge, in der sich die einzelnen Gruppen bereitmelden. Nach der Parallelschaltung läuft der Schalter für den Abstellvorgang auf die Stufe *1* «Betriebsstellung für die Maschine». Gleichzeitig wird durch den Wahlschalter die Umsteuerkontakteinrichtung auf dieses Programm gebracht. Die Maschinenbelastung kann in der Kommandostelle auf einer Drehskala vorgewählt werden und stellt sich nach dem Parallelschalten sofort ein, wobei die Steuerung auf diese Leistung blockiert wird.

Läuft die Zeitüberwachung vor Beendigung des Anlassprogrammes ab, so muss mit einer Störung gerechnet werden, und die Maschine wird auf Notschluss umgestellt.

4.2.2 Abstellen der Maschine, Phasenschieben

Der Aufbau der Steuerung für den Abstellvorgang ist analog ausgeführt. Ein 6-stufiger Programmschalter erteilt die einzelnen Befehle, wobei wiederum die Rückmeldungen das Weiterschreiten auf die nächste Stufe bewirken. Die auszuführenden Funktionen sind hauptsächlich Löschungen der Befehle aus dem Anlassvorgang in umgekehrter Reihenfolge. Dazu kommt das Betätigen der Maschinenbremse bei Absinken der Drehzahl auf ca. 40 %. Die Bremsung bleibt nach Stillstand der Gruppe aufrecht erhalten und die Bremse wird erst wieder anlässlich des nächsten Anlassmanövers gelöst.

Zur Überwachung des Vorganges ist auch dem Abstellen ein Zeitelement überlagert, das nach Ablauf den ordnungsgemässen Stillstand der Maschine meldet oder im Störungsfall auf Notschluss schaltet (Fig. 4).

Für den Betrieb des Generators als Phasenkompensator sowie für das Rückstellen von Phasenschieben auf Normalbetrieb sind zwei weitere Programmschalter eingebaut, die in gleicher Weise ihre Befehle an die Maschine abgeben. Diese zusätzliche Einrichtung ist jedoch nur für zwei der sieben Gruppen vorgesehen.

4.2.3 Die Maschine im Betrieb

Während des Laufes der Maschine ist deren Betriebszustand dauernd unter Kontrolle zu halten. Vor allem sind stets die Drücke von Schmier- und Regulieröl, die verschiedenen Lagertemperaturen, die Kühlwasserzirkulation, die Spannung und der

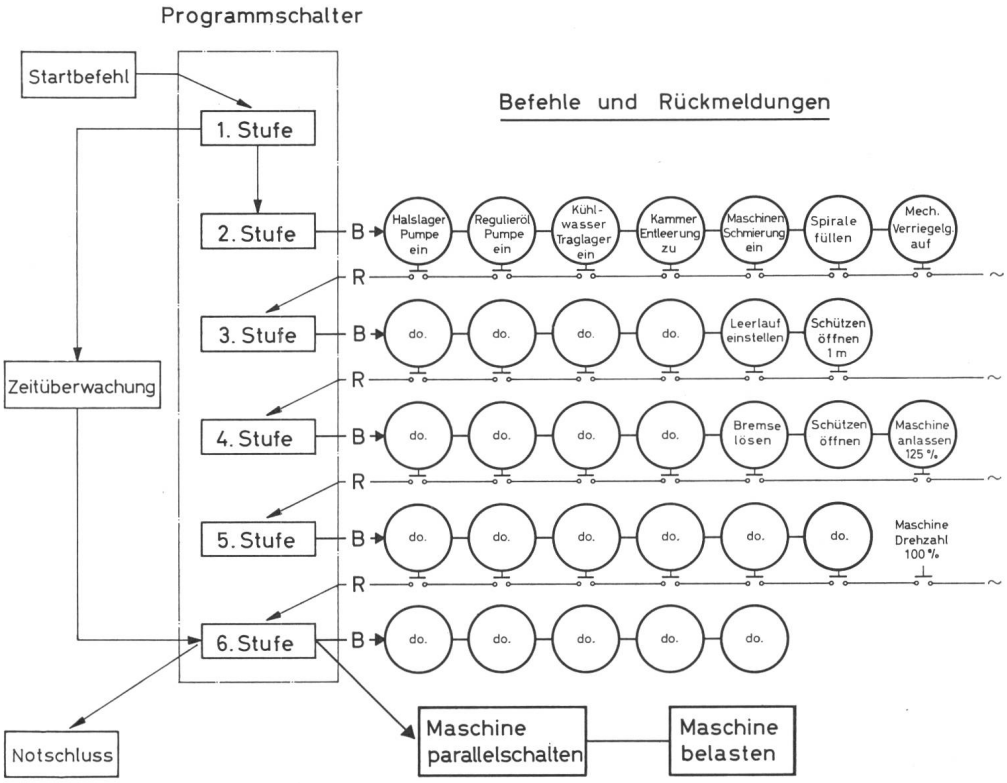

Fig. 3
Prinzipschema des Anlassvorganges
Der Startbefehl bringt den Programmschalter von der neutralen Stufe *1* auf Stufe *2*. Die einzelnen Anlassfunktionen sind als Kreise dargestellt. Die in Serie geschalteten Rückmeldungen bringen den Schrittschalter jeweils auf die nächste Position. Auf Stufe *6* überwacht ein Zeitelement den ordnungsgemässen Anlauf. Ist dies der Fall, wird die Maschine zum Parallelschalten und Belasten freigegeben. Andernfalls tritt der Notschluss in Aktion

Strom am Generator sowie die Maschinendrehzahl zu überwachen. Bei aussergewöhnlichen Abweichungen sind entweder Alarmsignale zu geben oder direkt der Abstellbefehl zu erteilen. Zu diesem Zweck wurde eine separate Notschlusseinrichtung geschaffen, die — wie bereits erwähnt — bei Unregelmässigkeiten beim Anlassen oder Abstellen, vor allem aber bei Störungen während des Betriebes, einen gekürzten Abstellvorgang auslöst. Dabei wird über ein pneumatisch betätigtes Ventil der Regulieröldruck vor dem Hauptsteuerventil des Turbinenreglers abgelassen, was ein kurzfristiges Schliessen des Leitapparates zur Folge hat. Gleichzeitig werden die mechanischen Verriegelung betätigt und die Einlaufschützen abgesenkt. Diese Notschlusseinrichtung tritt bei allen Störungserscheinungen, die ein unmittelbares Abstellen der Maschine notwendig machen, in Funktion. Die übrigen Meldungen über Unregelmässigkeiten gehen auf Warnrelais und werden optisch und akustisch signalisiert.

Nebst dieser Überwachungseinrichtung bei Störungen sind für den Normalbetrieb weitere Funktionen notwendig.

Die periodische Maschinenschmierung wird, wie erwähnt, alle 24 h durch die vorhandene Zentralschmieranlage betätigt. Überdies ist das Ölniveau im Windkessel zu regulieren. Bisher hatte der Maschinist ca. alle 6 h einmal das Luftkissen durch Einströmenlassen von Druckluft ergänzt. Mit der Automatisierung wurde auch hier eine selbsttätig wirkende Steuerung eingebaut, die das Ölniveau in Abhängigkeit des Behälterdruckes zwischen dem zulässigen Minimal- und Maximalstand reguliert. Die Einrichtung besteht in der Hauptsache aus einer Kombination von Schwimmer- und Druckschaltern, die ihre Befehle auf ein 3-Weg-Solenoid-Ventil geben. Bei Über- bzw. Unterschreiten der zulässigen Druckgrenzen wird zudem ein Alarmsignal ausgelöst.

4.2.4 Steuer- und Rückmeldeapparate

Grundsätzlich war die Überlegung massgebend, dass die Rückmelde-Einrichtungen die ausgeführten Befehle unabhängig von den Steuerapparaten überwachen und signalisieren. So wird beispielsweise bei der Traglagerkühlung nicht die Auf- oder Zustellung des zugehörigen Steuerventils überwacht, sondern die Rückmeldung erfolgt durch eine Drucküberwachung im Kühlsystem. Dadurch wird mit grösstmöglicher Wahrscheinlichkeit erreicht, dass keine unrichtigen Signalisierungen auftreten.

Als Steuerelemente werden bei Wasser-, Öl- oder Druckluft-Kreisläufen durchwegs Längsschieber mit pneumatischer Vorsteuerung verwendet. Der Druck beträgt hiebei ca. 6 kg/cm². Diese Schieber bieten, nebst der elektrischen Solenoid-Betätigung, auch die Möglichkeit einer Bedienung von Hand mittels Drucktasten im pneumatischen Steuerkreis. Im automatischen Betrieb hat die Solenoid-Betätigung den Vorrang, so dass die Handsteuerung bei allfälligem unbefugtem Eingriff wirkungslos bleibt.

Ein besonderes Problem stellen die Befehle, die drehzahlabhängig auszugeben sind. Beim Anlassvorgang muss nach Erreichen von 125 % der Nenndrehzahl die Rückstellung des Startbefehls, bei nachher absinkender Drehzahl auf 103 % die Freigabe zur Parallelschaltung erfolgen. Zudem ist während des Parallelschaltens eine Drehzahlabweichung über die Grenzen 103 bzw. 98 % zu signalisieren. Beim Abstellvorgang muss bei sinkender Drehzahl und Erreichen von 40 % der Bremsbefehl ausgegeben werden. Ferner ist als Sicherung gegen Durchbrennen der Maschine ein Notschlussbefehl bei 140 % erwünscht. Die Erfassung dieser Funktionen besorgt ein elektronisches Gerät, das als Kombination einer Anzahl logischer Bausteine ausgelegt ist. Der Apparat zählt einerseits die Netzfrequenz und erhält zum Vergleich Impulse, die von der Maschinendrehzahl abhängig sind. Bei Auftreten der den verlangten Schaltpunkten entsprechenden Impuls-Kombinationen wird dann das gewünschte Signal erteilt. Für Befehle, die nur bei sinkender Drehzahl aufzutreten haben, sorgen Speicherelemente für die sinngemässe Ausgabe.

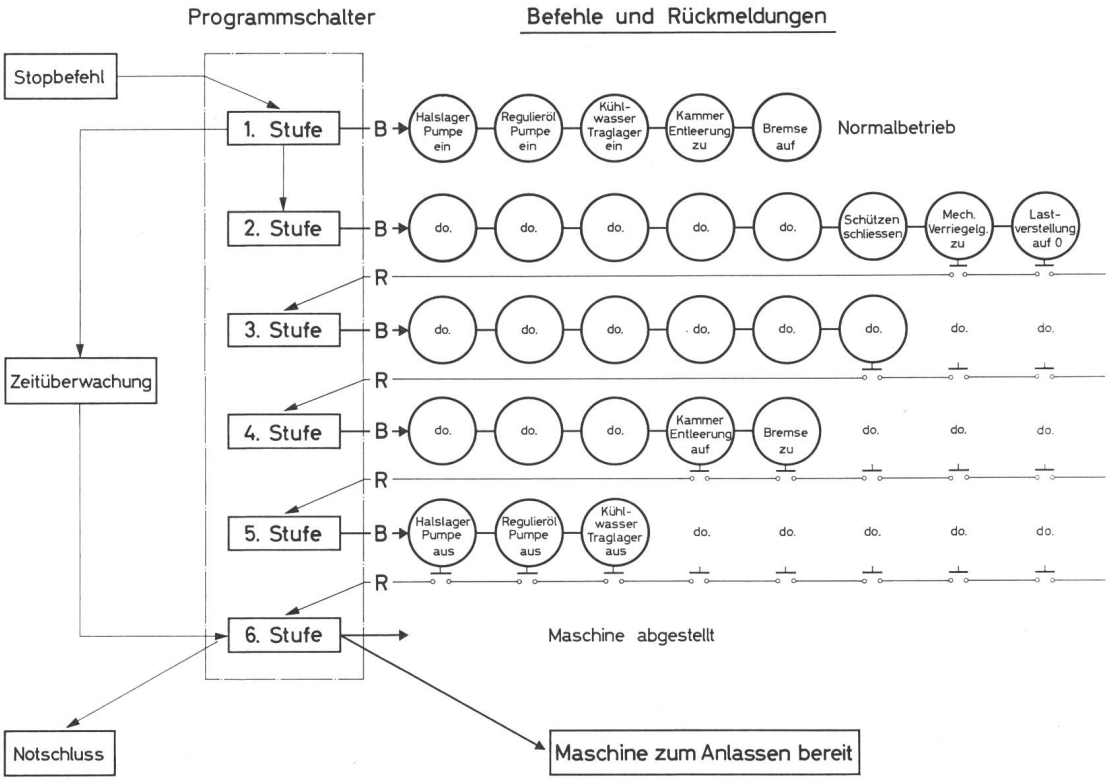

Fig. 4
Prinzipschema des Abstellvorganges
Die Darstellung entspricht derjenigen von Fig. 3. Der Ablauf des Vorganges wird ebenfalls mit einem Zeitglied überwacht, das bei Auftreten einer Unregelmässigkeit Alarm gibt und den Notschluss einleitet

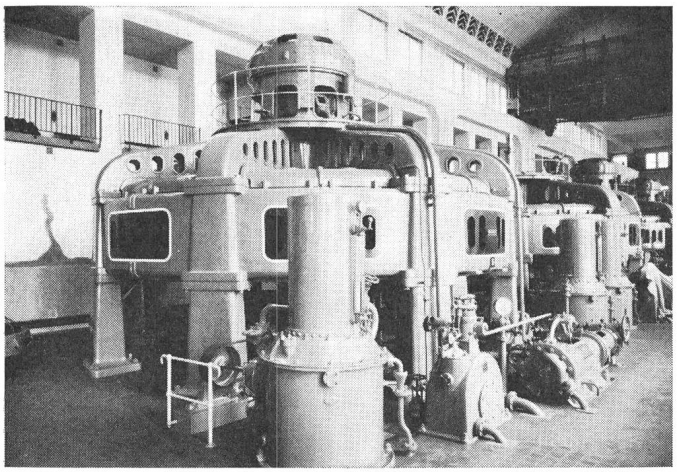

Fig. 5
Blick auf die Maschinenanlage vor dem Umbau

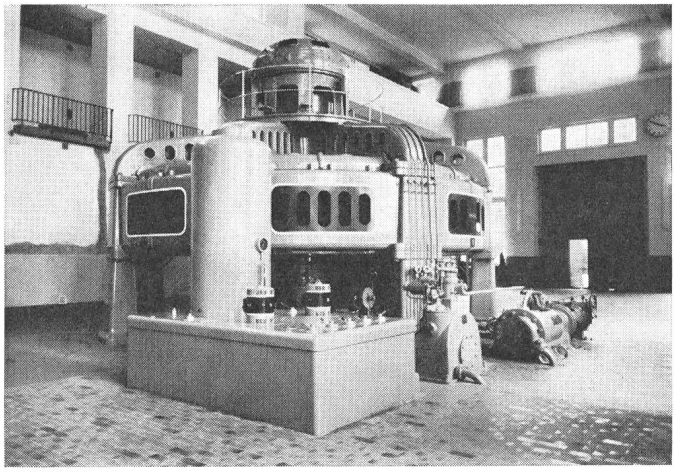

Fig. 6
Maschine *1* nach erfolgter Modernisierung

Die automatische Steuerung ist heute bei drei der sieben Drehstromgruppen im Kraftwerk Gösgen in Betrieb (Fig. 5, 6), bei den übrigen Maschinen in Ausführung. Für die achte Gruppe ist eine entsprechende Anlage geplant. Nach Abschluss dieser Arbeiten ist der Betrieb ohne Bedienung im Maschinensaal verwirklicht. Ein weiterer Schritt in der Automatisierung wird dann darin bestehen, die Zu- und Abschaltung sowie die Belastung der Maschinen abhängig von der jeweiligen Wasserführung und im Bereiche des günstigsten Wirkungsgrades der Gruppen automatisch zu steuern.

Adresse des Autors:
R. Markwalder, Ingenieur, Aare-Tessin AG für Elektrizität, 4600 Olten.

Schutz der Statoren von Grossgeneratoren durch elektrische Relais

Von *A. Kolar,* Zürich

621.316.925 : 621.313.1

Es werden die grundsätzlichen Anforderungen an Schutzeinrichtungen mit elektrischen Relais allgemein, sowie für Generatoren speziell zusammengestellt. Wegen des grossen Kapitalwertes werden für den Schutz von Grossgeneratoren alle einschlägigen, herkömmlichen Schutzeinrichtungen angewendet. Deren Beschreibungen folgen anschliessend. Da Kurzschlüsse die schwersten Fehlerfolgen haben, wird der Differentialschutz eingehender behandelt. Projektierungshinweise ergänzen die einzelnen Abschnitte fallweise.

Exposé des exigences fondamentales posées aux équipements de protection par relais électriques en général et pour les alternateurs en particulier. En raison de l'importance des capitaux investis, tous les équipements de protection usuels nécessaires sont utilisés pour protéger les grands alternateurs. L'auteur passe ensuite en revue ces différents équipements. Etant donné que des courts-circuits peuvent avoir de graves conséquences, la protection différentielle est traitée en détail. Des indications relatives aux projets d'équipements complètent les différents paragraphes.

1. Einleitung

Durch die Erschöpfung wirtschaftlich ausbauwürdiger Wasserkräfte in der Schweiz ist in den letzten Monaten eine lebhafte Diskussion über die Verwendung anderer Energieträger als Wasserkraft — Öl, Atomenergie — zur Gewinnung von elektrischer Energie entstanden. Allen Standpunkten gemeinsam ist die Anerkennung der Tatsache, dass die Versorgung der Schweiz mit elektrischer Energie in Zukunft einstweilen in vermehrtem Masse, aus wirtschaftlichen Gründen durch Energieerzeugung aus Grossgeneratoren erfolgen wird; und zwar handelt es sich sowohl im Falle klassischer Dampfkraftwerke als auch bei Atomkraftwerken um Turbogeneratoren.

Der vorliegende Artikel behandelt den Schutz des Stators von Grossgeneratoren.

2. Aufgabe des Generatorschutzes

Der Generatorschutz hat die Aufgabe, durch innere oder äussere Ursachen hervorgerufene Gefährdungen der Maschine entweder überhaupt zu verhindern oder deren Auswirkungen auf ein erträgliches Mass zu reduzieren. In diesem Sinne umfasst er den Schutz durch Überspannungsableiter, alle Lager- und Kühllufttemperaturüberwachungen, Temperaturfühlermessungen, Vibrationsmessungen, Einbau von Kurzschlussdrosselspulen, Entregungseinrichtungen, Relaisschutz usw. Vorliegender Aufsatz beschränkt sich nur auf den Schutz durch elektrische Relais.

Um seiner Aufgabe zu genügen, muss der Relais-Schutz zuverlässig, rasch, selektiv und empfindlich sein.

Da jeder Schutz die natürliche Versicherung des von ihm geschützten Objektes darstellt, ist die *Zuverlässigkeit* an allererste Stelle zu setzen. Die Zuverlässigkeit umfasst hiebei nicht nur die Zuverlässigkeit der Schutzrelais selbst, sondern die Zuverlässigkeit einer jeden Komponente des Schutzkreises. Dieser ist in Fig. 1 als negativ rückgekoppelter Regelkreis dargestellt. Im Falle eines Ansprechens des Schutzrelais wirkt dieses auf die Bahn des auslösenden Signals ein: durch Betätigen des Leistungsschalters wird dieses Signal auf den Wert Null geregelt. Alle Komponenten des Schutzkreises müssen daher den objektgebundenen elektrischen Anforderungen wie Prüfspannung, Kurzschlussfestigkeit, Alterungsbeständigkeit, Abschaltvermögen auch bei gleich-