

Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke

Band: 20 (1929)

Heft: 12

Artikel: Das selbsttätige Anlassen und Parallelschalten der Generatoren in automatischen Kraftwerken

Autor: Puppikofer, H.

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1060768>

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: 16.02.2026

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

SCHWEIZ. ELEKTROTECHNISCHER VEREIN BULLETIN ASSOCIATION SUISSE DES ÉLECTRICIENS

Generalsekretariat des Schweiz. Elektrotechnischen Vereins und des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätswerke | REDAKTION | Secrétariat général de l'Association Suisse des Electriciens et de l'Union de Centrales Suisses d'électricité

Verlag und Administration | Fachschriften-Verlag & Buchdruckerei A.-G. | Zürich 4, Stauffacherquai 36/38 | Editeur et Administration

Nachdruck von Text oder Figuren ist nur mit Zustimmung der Redaktion und nur mit Quellenangabe gestattet | Reproduction interdite sans l'assentiment de la rédaction et sans indication des sources

XX. Jahrgang
XX^e Année

Bulletin No. 12

Juni II 1929
Juin II

Das selbsttätige Anlassen und Parallelschalten der Generatoren in automatischen Kraftwerken.

Von H. Pupikofer, Dipl.-Ing., Oerlikon.

Der Verfasser geht nach kurzem Erwähnen der verschiedenen Arten von automatischen hydroelektrischen Kraftwerken auf das Problem des Parallelschaltens bei Synchronismus ein, welches die Kernfrage der Automatisierung darstellt. Er erläutert die Arbeitsweise eines neuen Parallelschaltrelais, das den Verhältnissen beim Synchronisieren in bester Weise Rechnung trägt, sowie verschiedene Ausführungs möglichkeiten einer Anlaufmethode, welche die zuzuschaltende Maschine sicher und in kürzester Zeit dem Synchronismus zuführt. Zum Schlusse werden als Anwendungsbeispiel Schema und Betriebsweise eines in Montage begriffenen vollautomatischen hydroelektrischen Niederdruckwerkes erklärt.

Après avoir énuméré brièvement les différents types de centrales hydro-électriques automatiques, l'auteur aborde le problème de la mise en parallèle au synchronisme, qui représente la question centrale de l'automatisme. Il explique le fonctionnement d'un nouveau relais de mise en parallèle, qui tient compte au mieux des conditions lors du synchronisme, et décrit diverses possibilités d'exécution d'une méthode de démarrage, qui amènent sûrement et dans un minimum de temps la machine à enclencher au synchronisme. Pour finir l'auteur présente comme exemple le cinéma et le mode de fonctionnement d'une centrale hydro-électrique à basse pression, actuellement en montage.

In allen Ländern hört man heute von der Rationalisierung der Industrie sprechen. In erster Linie versteht man darunter wohl die Vermeidung aller unproduktiven Arbeit und zweckmässige Ausnutzung aller an der eigentlichen Produktion beteiligten Kräfte. Diese Bestrebungen haben in einer grossen Zahl von Industrien schon bemerkenswerte Erfolge gezeitigt. Auch in der Elektrizität erzeugenden Industrie hat man begonnen zu rationalisieren. Ein grosser Teil des Ueberwachungsdienstes in Kraft- und Unterwerken muss unbedingt zu den unproduktiven Arbeiten gerechnet werden. Diese Arbeit kann nun heute zum grössten Teile der menschlichen Arbeitskraft abgenommen und durch Maschinen und Apparate ausgeführt werden. Es führte dies zum automatischen Betrieb von elektrischen Anlagen. Das Verlangen nach automatischen elektrischen Anlagen ist naturgemäss zuerst bei den Sekundärstationen, bei Unterwerken, Umformer- und Schaltstationen aufgetreten. Der Anstoß hierzu ging von Amerika aus, das von jeher die höchsten Löhne aufwies. Die praktische Lösung des bedienungslosen Betriebes war bei den Sekundärstationen verhältnismässig einfach. Bei den Kraftwerken selbst sind die Schwierigkeiten bedeutend grösser, da es sich dort auch um die Erzeugung der Primärkraft zum Antrieb der Primärmotoren handelt, die ihrerseits wieder die Stromerzeuger antreiben. An einen bedienungslosen Betrieb von thermischen Kraftwerken ist heute noch nicht zu denken, bei den hydroelektrischen Kraftwerken hingegen kann das Problem als gelöst betrachtet werden.

Die Bedienungslosigkeit hat bei hydroelektrischen Anlagen je nach den örtlichen Verhältnissen verschiedene Formen angenommen, die unrichtigerweise alle als automatisch bezeichnet worden sind. Bei den einen handelt es sich um ferngesteuerte Anlagen, worin die sämtlichen Betätigungen in der bisher üblichen Weise vom Wärter mit Hilfe von Fernsteuerungen ausgeführt werden. Gegenüber einem heutigen modernen Kraftwerk bedeutet dies lediglich die Verlegung des Kommandoraumes an einen andern Ort z. B. in ein anderes Kraftwerk. Bei den anderen handelt es sich um Kraftwerke ohne ständige Ueberwachung, bei welchen aber die In- und Ausserbetriebnahme durch einen Wärter erfolgt, der zu diesem Zwecke einmal in durch den Betriebsplan bestimmten Zeitabständen die Anlage aufsucht. Hier muss lediglich das Kraftwerk mit einigen zusätzlichen Organen ausgerüstet werden, die bei Störungen, bei welchen der elektrische Teil abgeschaltet wird, die gleichzeitige Abstellung des hydraulischen Teiles besorgen. Bei den eigentlichen automatischen Kraftwerken erfolgt diese In- und Ausserbetriebnahme, d. h. auch das Anlassen und Parallelenschalten selbsttätig. Damit ist auch der schwierigste Teil der Aufgabe bei der Automatisierung von elektrischen Kraftwerken erwähnt worden. Unter den hiefür angewendeten Lösungen kann man zwei Hauptgruppen unterscheiden. Bei der einen Gruppe von Lösungen erfolgt der Anlauf genau gleich wie bei den bedienten Anlagen, d. h. von der Turbine aus. Der Turbinenschieber wird geöffnet, die Turbine langsam beaufschlagt und auf die der Netzfrequenz entsprechende Drehzahl, sowie der Generator auf die Netzspannung gebracht und dann parallel geschaltet und belastet. Bei der zweiten Gruppe wird der Generator bei geschlossener Turbine wie ein Elektromotor angelassen und auf die synchrone Drehzahl gebracht. Erst dann wird der Turbinenschieber geöffnet und die Turbine beaufschlagt. Diese Lösung eignet sich sehr wohl für kleinere Einheiten. Bei grösseren Einheiten muss man aber des unvermeidlichen Einschalt-Stromstosses wegen stets auf eine zur ersten Gruppe gehörende Lösung greifen.

Zur ersten Gruppe, gekennzeichnet durch das Anlaufen der Maschinen von der Turbine aus, gehören folgende Lösungen, die sich durch die Art der Parallelenschaltung unterscheiden:

1. Zuschaltung über Drosselpulen.
2. Methode der Selbstsynchonisierung („Pull-in“ Methode).
3. Parallelenschaltung bei Synchronismus.

Schaltet man den auf die der Netzfrequenz entsprechende Drehzahl gebrachten und vollerregten Generator zu, ohne Rücksicht auf den Synchronismus, so riskiert man bei starker Winkelabweichung der Spannungsvektoren oder gar Phasenopposition grössere Betriebsstörungen durch Kurzschluss. Schaltet man den Generator aber vorerst nicht direkt, sondern über Drosselpulen zu, so kann man den Kurzschlussstrom begrenzen und die Maschine in Synchronismus hinein reissen lassen. Läuft sie synchron, was am Abfall des Stromes im Polrad resp. am Verschwinden der Wechselstromkomponente ersichtlich ist, so werden die Drosselpulen durch einen weiten Oelschalter automatisch überbrückt.

Bei der in Amerika für Einheiten bis 10 000 kVA angewendeten „Pull-in“ Methode wird der mit Dämpferwicklung versehene Generator durch die Turbine ganz nahe an die Netzdrehzahl herangebracht, unerregt zugeschaltet und dann erregt.

Die Erregung kann entweder plötzlich erfolgen durch Zuschalten der Erregermaschine mit voller Spannung oder langsam durch stufenweises Aufwärtsregulieren ihrer Spannung. M. E. Reagan zeigt in The Electric Journal vom April 1926 Oszillogramme solcher Schaltungen mit einer 4 200 kVA Maschine. Je nach der Differenz zwischen Netz- und Maschinenfrequenz wurde beim Einschalten ein Stromstoss gemessen, der bei vollerregter Erregermaschine sieben- bis achtfachen Normalstrom betrug. Bei nachheriger stufenweiser Hinaufregulierung der Spannung der Erregermaschine reduzierte sich der Stromstoss auf fünffachen Normalstrom, blieb dafür aber einige Sekunden auf beinahe dem doppelten Normalstrom stehen. Bei beiden Schaltungsarten senkte sich die Netzspannung ganz beträchtlich bis zu 73% der Normalspannung.

Diese wenigen Zahlen zeigen deutlich, dass solche Methoden nur in grossen Netzen angewendet werden dürfen, wo starke Kraftwerksleistungen vorhanden und die Uebertragungsleitungen so lang sind, dass die übrigen Netzteile ungestört bleiben. Für europäische Verhältnisse kommt zweifellos in der Regel nur die letzte, weniger gewaltsame Art der Zuschaltung in Betracht, die deshalb etwas eingehender betrachtet werden soll.

Die Parallelschaltung bei Synchronismus.

Diese Art der Zuschaltung ist die korrekteste. Mit ihr können Maschinen jeder Grösse ganz ohne Stromstoss an das Netz angeschlossen werden. Die Maschinen selbst können in normaler bewährter Bauart ohne Dämpferwicklungen oder andere Spezialvorkehrungen ausgeführt werden. Auch die Schalteinrichtung ist die in modernen Kraftwerken übliche für Synchronmaschinen. Neu kommt hinzu ein Apparat, der das Eintreten des Synchronismus feststellt und in diesem Moment das Einschalten des Maschinenschalters verursacht. Auf das gute Arbeiten dieses Parallelschaltrelais ist jede Schaltung für automatische Kraftwerke aufgebaut.

Es existieren heute eine ganze Reihe von Konstruktionen von Parallelschaltrelais, die aber zum grössten Teile nicht zur richtigen Zeit schalten, da ihnen das Gefühl des bedienenden Wärters abgeht.

In Anbetracht der Wichtigkeit der richtigen Funktion dieses Apparates für den automatischen Betrieb seien die Vorgänge bei den Pendelungen um den Synchronismus herum kurz betrachtet. Es erfolgt dies am einfachsten in einem Zeitdiagramm entsprechend Fig. 1. Die Kurven 1 und 2 zeigen den Verlauf der sinusförmigen Spannungen des Netzes und der zuzuschaltenden Maschine. Die stark gezogenen Kurven entsprechen der Summe dieser beiden Spannungen. Die beiden für die Synchronisierung üblichen Kontrollschaftungen, die Dunkelschaltung und die Hellschaltung, haben bekanntlich ihren Namen von der Verwendung von Anzeigelampen erhalten, die bei der ersten Schaltung im Moment des Synchronismus dunkel sein, bei der zweiten hell brennen mussten. Bei der Dunkelschaltung geht die Kurve 3 der Summenspannung im Moment des absoluten Synchronismus durch Null; bei der Hellschaltung hat sie dann ihr Maximum. Es ergeben sich deutliche Schwebungen, die zweckmässigerweise durch die Umhüllungskurve der Summenspannung dargestellt werden. Diese Schwebungskurven (in Fig. 1 mit 4 bezeichnet) geben sofort ein Bild der gegenseitigen Lage der Vektoren der beiden zusammen zu schaltenden Spannungen: während bei der Hellschaltung die Parallelschaltung der zuzuschaltenden Maschine im äusserst flach verlaufenden Maximum zu erfolgen hat, findet sie bei der Dunkelschaltung statt beim Schnitt der Schwebungskurve mit der Zeitsache, der sehr scharf und eindeutig markiert ist.

Ein anderer Vorteil der Anwendung der Dunkelschaltung bei Parallelschaltrelais liegt darin, dass der Apparat völlig unabhängig ist von der absoluten Höhe der

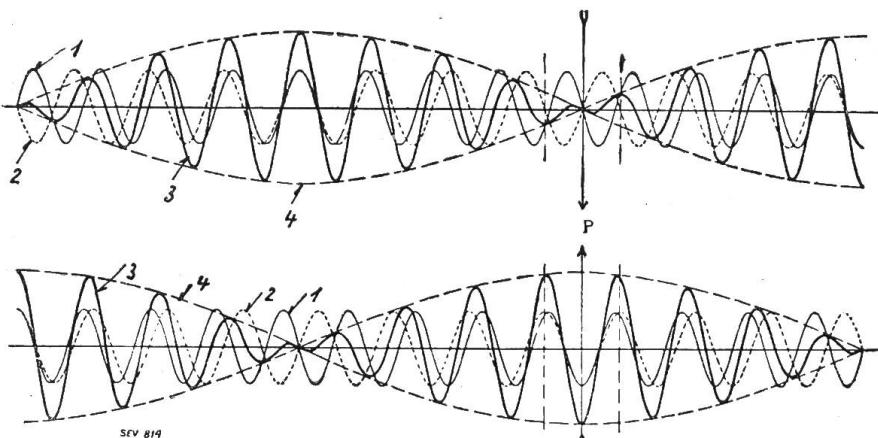


Fig. 1.
Das Parallelschalten bei Dunkelschaltung (oben)
und bei Hellschaltung (unten)

P Augenblick des Parallelschaltens.

1 Spannung des Netzes.

2 Spannung der zuzuschaltenden Maschine.

3 Summenspannung von 1 und 2.

4 Schwebungskurve.

Die stark gezogenen Kurven entsprechen der Summe dieser beiden Spannungen. Die beiden für die Synchronisierung üblichen Kontrollschaftungen, die Dunkelschaltung und die Hellschaltung, haben bekanntlich ihren Namen von der Verwendung von Anzeigelampen erhalten, die bei der ersten Schaltung im Moment des Synchronismus dunkel sein, bei der zweiten hell brennen mussten. Bei der Dunkelschaltung geht die Kurve 3 der Summenspannung im Moment des absoluten Synchronismus durch Null; bei der Hellschaltung hat sie dann ihr Maximum. Es ergeben sich deutliche Schwebungen, die zweckmässigerweise durch die Umhüllungskurve der Summenspannung dargestellt werden. Diese Schwebungskurven (in Fig. 1 mit 4 bezeichnet) geben sofort ein Bild der gegenseitigen Lage der Vektoren der beiden zusammen zu schaltenden Spannungen: während bei der Hellschaltung die Parallelschaltung der zuzuschaltenden Maschine im äusserst flach verlaufenden Maximum zu erfolgen hat, findet sie bei der Dunkelschaltung statt beim Schnitt der Schwebungskurve mit der Zeitsache, der sehr scharf und eindeutig markiert ist.

Ein anderer Vorteil der Anwendung der Dunkelschaltung bei Parallelschaltrelais liegt darin, dass der Apparat völlig unabhängig ist von der absoluten Höhe der

Spannung, bei welcher die Maschine mit dem Netz parallel geschaltet werden soll, so dass keine besondere Einstellung des Spannungsbereiches notwendig ist.

Ein brauchbares Parallelschaltrelais zur automatischen Zuschaltung von Synchronmaschinen muss genau wie bei der Schaltung von Hand feststellen, ob Synchronismus vorhanden ist, und dann, wenn dieser genügend lange anhält, d. h. wenn die Schwebungen genügend langsam vor sich gehen, im geeigneten Moment das Schliessen des Maschinenschalters veranlassen. Zu diesem Zwecke muss das Parallelschaltrelais aus einem den Synchronismus resp. die Phasengleichheit anzeigen Organ und aus einem Zeitorgan bestehen, das vom ersten im richtigen Augenblick freigegeben wird und das nach seinem Ablauf das Schliessen des Maschinenschalters über einen Hüpfen mit Haltespule durch den üblichen Fernantrieb besorgen lässt. Wir nehmen an, die Ablaufzeit sei t_1 und die Zeit, die der Fernantrieb braucht vom Moment der Kontaktgabe durch das Zeitrelais bis zum Schliessen der Hauptkontakte des Maschinenschalters sei t_2 . Gibt nun das Anzeigeorgan das Zeitorgan erst im Synchronismuspunkt S frei, so wird, wie Fig. 2 zeigt, die Parallelschaltung erst im Zeitpunkt B erfolgen, wo sich die Spannungen eventuell schon beträchtlich weit vom genauen Synchronismus entfernt haben. Der erste Gedanke zur Behebung dieses Nachteils führt auf die Lösung, das Anzeigeorgan so unempfindlich einzustellen, dass es schon das Zeitorgan freigibt, wenn die Schwebungskurve noch die Differenzspannung von V_x (Fig. 3.) besitzt. Erfolgt der Schnitt der Schwebungskurve unter steilem Winkel, so wird das Parallelschaltrelais ebenfalls wieder zur Unzeit parallel schalten. Das Parallelschaltrelais muss also so ergänzt sein, dass es die Steilheit der Schwebungskurve im Augenblick des Synchronismus feststellen kann.

Es gibt heute Parallelschaltrelais mit einer Einrichtung, die dem Synchronismus anzeigen Gerät gestattet, die Steilheit der Schwebungskurve beim Schnitt mit der Zeitlinie zu messen, derart, dass die Parallelschaltung nur dann erfolgen kann, wenn diese Steilheit unter ein bestimmtes Mass gesunken ist. Zu diesem Zwecke lässt man das Zeitorgan nur vom Moment des Schnittpunktes der Schwebungskurve mit der Geraden im Abstand V_x laufen, bis zum Moment des genauen Synchronismus (Schnitt mit der Zeitaxe). Folgen sich die Schwebungen rasch aufeinander, d. h. übersteigt die Steilheit der Schwebungskurve, die z. B. durch den Winkel α in Fig. 3 dargestellt werden kann, ein bestimmtes Mass, so kommt der Zeitpunkt A , in welchem die Zeit t_1 des Zeitorgans abgelaufen ist, zeitlich nach dem Zeitpunkt des Synchronismus zu liegen. Dann wird der Ablauf des Zeitrelais schon im Punkte C unterbrochen und es erfolgt keine Kontaktgabe zur Betätigung des Hüpfers des Fernantriebes. Verläuft die Schwebungskurve weniger steil (Fig. 4), als dem Winkel $\alpha_x = \text{arc } \tan \frac{V_x}{t_1}$ entspricht, so läuft das Zeitorgan völlig ab und macht am Ende seiner Bahn Kontakt. Dadurch ist Gewähr gegeben, dass die Parallelschaltung möglichst nahe am absoluten Synchronismus erfolgt. Die ungenaueste Parallelschaltung erfolgt dabei dann, wenn α den Grenzwert α_x gerade erreicht. Dann wird mit einer Differenzspannung $V = \frac{V_x}{t_1} t_2$ zusammengeschaltet, die durch geeignete Wahl der Zeit t_1 und

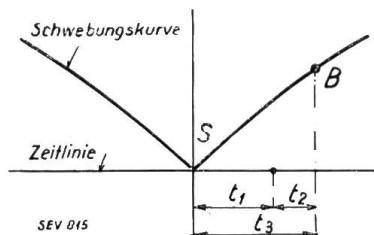


Fig. 2.

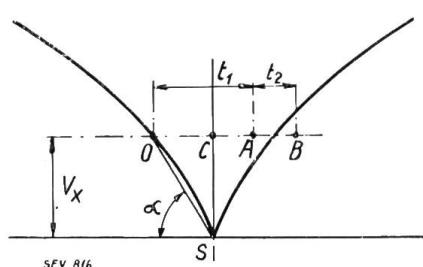


Fig. 3.

der Geraden im Abstand V_x laufen, bis zum Moment des genauen Synchronismus (Schnitt mit der Zeitaxe). Folgen sich die Schwebungen rasch aufeinander, d. h. übersteigt die Steilheit der Schwebungskurve, die z. B. durch den Winkel α in Fig. 3 dargestellt werden kann, ein bestimmtes Mass, so kommt der Zeitpunkt A , in welchem die Zeit t_1 des Zeitorgans abgelaufen ist, zeitlich nach dem Zeitpunkt des Synchronismus zu liegen. Dann wird der Ablauf des Zeitrelais schon im Punkte C unterbrochen und es erfolgt keine Kontaktgabe zur Betätigung des Hüpfers des Fernantriebes. Verläuft die Schwebungskurve weniger steil (Fig. 4), als dem Winkel

$\alpha_x = \text{arc } \tan \frac{V_x}{t_1}$ entspricht, so läuft das Zeitorgan völlig ab und macht am Ende seiner Bahn Kontakt. Dadurch ist Gewähr gegeben, dass die Parallelschaltung möglichst nahe am absoluten Synchronismus erfolgt. Die ungenaueste Parallelschaltung erfolgt dabei dann, wenn α den Grenzwert α_x gerade erreicht. Dann wird mit einer Differenzspannung $V = \frac{V_x}{t_1} t_2$ zusammengeschaltet, die durch geeignete Wahl der Zeit t_1 und

Einstellung auf tiefe Spannung V_x beliebig klein gemacht werden kann. Da die Parallelschaltung nur bei länger werdenden Schwebungen, d. h. bei abnehmendem Winkel α freigegeben wird, erfolgt sie stets unter dem Grenzwert α_x , d. h. unter den denkbar günstigsten Bedingungen.

Kurz sei noch das Prinzip der konstruktiven Ausführung eines solchen Apparates erläutert:

Sowohl das Anzeigeorgan als auch das Zeitorgan sind nach dem Ferrarisprinzip gebaut. Für letzteres wurden zwei Triebmagnete gewählt, die in Dunkelschaltung an

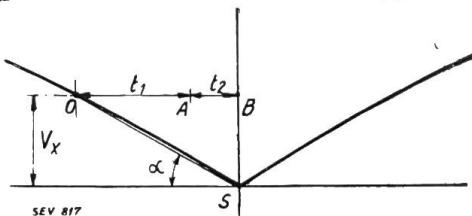


Fig. 4.

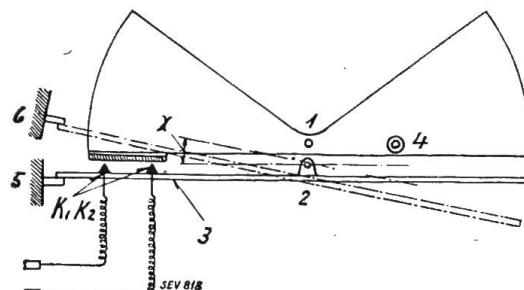


Fig. 5.
Schematische Darstellung des Anzeigeorganes
des Oerlikon-Parallelschaltrelais.

zwei verschiedene Phasen in üblicher Weise angeschlossen werden. Durch das Anschliessen dieser Magnete an zwei verschiedene Phasen wird auf einfachste Art die fehlerhafte Parallelschaltung verhindert, wenn nach einer Reparatur, Revision oder dergleichen zwei Phasen des einen Drehstromsystems vertauscht worden sind. Diese Triebmagnete wirken auf zwei zusammenhängende um ihre Welle 1 drehbare Aluminiumsektoren (Fig. 5). Im Moment des Synchronismus fallen die Sektoren infolge des Gewichtes in die Nullage und schliessen dort mit den beiden Kontakten K_1 und K_2 den Stromkreis des Zeitorgans. Die beiden Kontakte K_1 und K_2 sind nicht fest angeordnet, sondern liegen auf einem Hebel 3, der um einen Punkt 2 nahe an 1 mit leichter Reibung drehbar ist. Stehen die beiden zusammenzuschaltenden Wechselspannungen in Opposition, dann entsteht das maximale Drehmoment an den beiden Sektoren und dreht sie in unserm Bilde nach rechts. Bei dieser Drehung öffnen sich die Kontakte K_1 und K_2 und am Ende ihres Weges stoßen die Sektoren mit Hilfe des Mitnehmers 4 den Hebel 3 aus der horizontalen Lage vom Anschlag 5 weg bis zum einstellbaren Anschlag 6. Dadurch werden die Kontakte K_1 und K_2 den Sektoren wieder entgegengedreht, um den Winkel entsprechend der Differenzspannung V_x in Fig. 4. Beim nächsten Abnehmen der Schwebung kehren die Sektoren nach links zurück, und die Kontakte K_1 und K_2 werden schon bei V_x geschlossen und bleiben es bis zum Synchronismuspunkt S, da die Sektoren den Hebel 3 mitnehmen bis zum Anschlag 5. Sofort beim Wiederansteigen der Schwebung lösen sich die Kontakte K_1 und K_2 ,

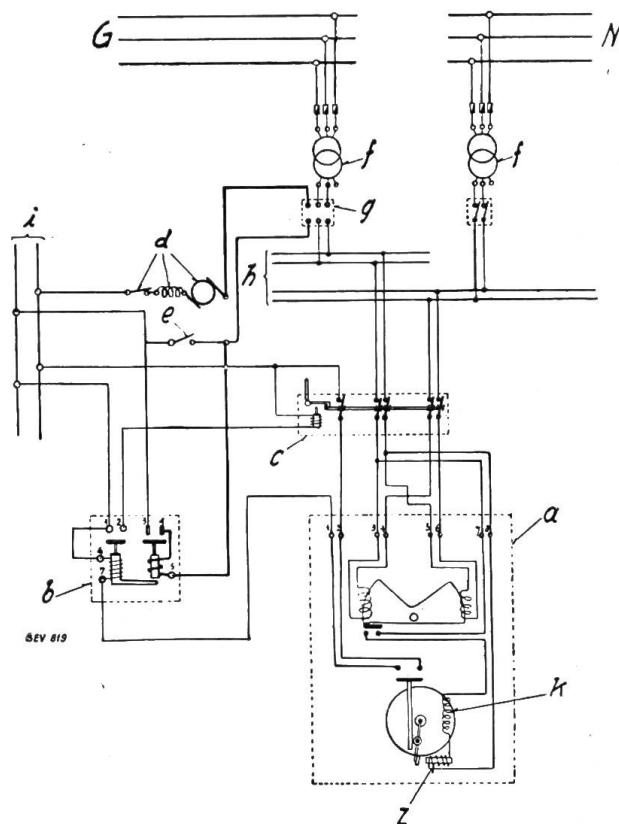


Fig. 6.
Schema einer Parallelschalteinrichtung.

a	Parallelschaltrelais
b	Hüper
c	Schalter mit Auslösespule
d	Oelschalter-Fernsteuerung
e	Druckknopf zur Handbefähigung des Oelschalters
f	Spannungswandler
g	Synchronisierstecker
h	Synchronisiersammelschienen
i	Hilfsstromsammelschienen
k	Spule des Triebwerkes
l	Spule des Kupplungsmagneten
G	Generator
N	Netz

da der Hebel 3 infolge der leichten Reibung in seiner Endlage verbleibt; das Spiel wiederholt sich, bis die Zeit zwischen O und S im Zeitdiagramm Fig. 4 grösser ist als t_1 .

Eine weitere Bedingung zur Verhütung von Fehlschaltungen ist die, dass das bewegliche Schaltstück des Zeitorgans sofort in seine Nullage zurückkehrt, sobald

sich die Kontakte K_1 und K_2 öffnen, d. h. sobald der Triebmagnet k im Schema Fig. 6 stromlos ist. Nun besteht aber die Gefahr, dass dieses Schaltstück infolge der dem Triebwerk innenwohnenden kinetischen Energie trotz der Unterbrechung des Stromkreises weiterläuft.

Dieses Ueberlaufen ist nun aber sicher verhindert dadurch, dass zwischen dem Triebad und der bewegten Kontakteinrichtung eine elektrische Kupplung eingefügt ist. Im selben Moment, in dem der Triebmagnet des Zeitorgans eingeschaltet wird, kommt auch der in Serie zu ihm liegende Kupplungsmagnet unter Strom und fügt eine Zahnradkupplung zwischen Triebad und Kontakt ein. Wird der Stromkreis des Zeitrelais durch die Sektoren unterbrochen, so ist es damit auch der Kupplungsmagnet, der sofort die Kupplung löst, so dass die Kontakteeinrichtung unter dem Einfluss des Gewichtes ganz hinunter fällt. Also auch bei sehr rasch aufeinander folgenden Schwebungen bleibt stets die ganze Zeit des Zeitorgans der Parallelschaltung vorgeschaltet. Um auch bei Verschwinden der Spannung, Durchgehen einer Sicherung usw., jede Fehlschaltung des Parallelschaltrelais zu verhüten, ist der Triebmagnet des Zeitorgans an die Spannung des zuzuschaltenden Generators angeschlossen. Fig. 7 zeigt die Ausführung des beschriebenen Parallelschaltrelais.

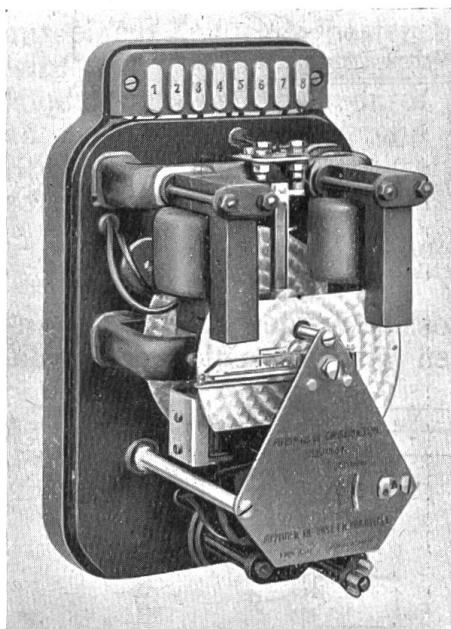


Fig. 7.
Parallelschaltrelais.

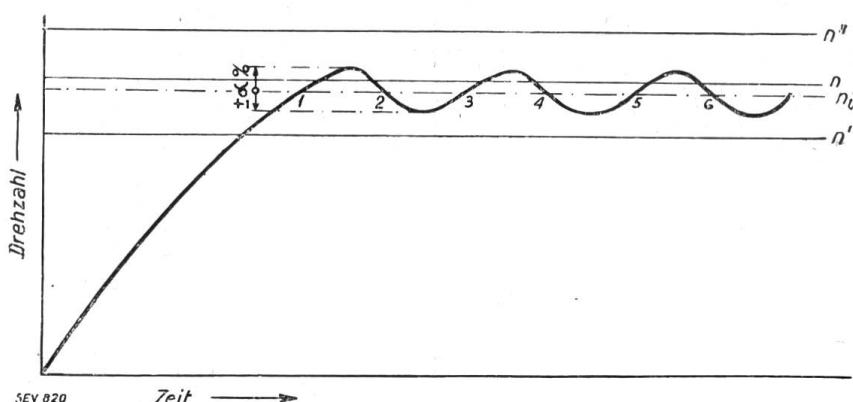


Fig. 8.
Verlauf der Drehzahl der zuzuschaltenden Maschine beim Anlassen und Parallelschalten mittels Pendelungen.

der Gruppen und das Regulieren auf die Netzdrehzahl vorgesehen werden.

Das erste in Europa bekannt gewordene System ging davon aus, dass der Synchronismus nur dann eintritt, wenn bei Drehzahlgleichheit die Spannungen in Phase sind und dass es daher am zweckmässigsten ist, die Bedingungen für sein Zustandekommen durch mehrmaliges Hindurchführen der Maschinendrehzahl durch die Netzdrehzahl zu schaffen.

Der Anlauf der automatisch betriebenen Einheiten wurde daher so gesteuert, dass die Drehzahl der zuzuschaltenden Maschine möglichst rasch die Drehzahl des

Das Anlassen.

Da das Parallelschaltrelais den Synchronismus nur anzeigt, nicht aber herbeiführen kann, müssen für das Anlassen besondere Einrichtungen

Netzes erreichte und sogar übertraf. Dann wurde zuerst durch ein Pendelrelais, das an eine mit der Maschine gekuppelten Tachometerdynamo angeschlossen war, später durch einfache Umschaltkontakte am Pendel des Drehzahlerregers selbst die Drehzahl der zuzuschaltenden Maschine zu regelmässigen Pendelungen von wenigen Prozenten um die Netzdrehzahl veranlasst, so dass an den Punkten, die in Fig. 8 mit 1, 2, 3, 4 usw. bezeichnet sind, d. h. da, wo die Kurve der Maschinendrehzahl die Gerade der Netzdrehzahl schneidet, dem Parallelschaltrelais Gelegenheit zum eventuellen Ansprechen gegeben wurde. Diese Lösung, die an sich sehr geschickt war, leidet an zwei grossen Nachteilen. Erstens war die Aenderungsgeschwindigkeit der Maschinen-drehzahl gerade in diesen Punkten am grössten, so dass die Schwebungen sehr kurz und steil verliefen. Es musste also entweder das Parallelschaltrelais grob eingestellt werden, oder dann verging eine geraume Zeit, bis die Parallelschaltung stattfinden konnte. Diese Pendelungen von $\pm a\%$ fanden aber in Wirklichkeit nicht um die wirkliche Netzdrehzahl n statt, sondern um eine ideale, am Drehzahlregler der Turbine eingestellte Drehzahl n_i , die vielleicht der mittleren Netzdrehzahl entsprach. Wies das betreffende Netz etwas grosse Frequenzschwankungen auf, so kam es sogar vor, dass die automatische Gruppe überhaupt nicht mehr zur Parallelschaltung kam, da, wie z. B. in Fig. 8 durch die Geraden n' oder n'' angedeutet ist, die Pendelungen im Anlaufdiagramm die Netzfrequenz nicht mehr schneiden konnten. Dieser gewichtigste Nachteil kann bei grossen Differenzen in der Netzdrehzahl nicht einmal mehr durch die Vergrösserung der Amplituden der Drehzahlpendelungen behoben werden.

Die technisch richtigste Lösung des Problems des Anlassens der automatischen Gruppen kann man aber sehr leicht erhalten, sobald man die Drehzahl der Primärmaschine, d. h. hier der Wasserturbine, in Abhängigkeit der Differenz zwischen ihr und der Netzdrehzahl hinaufreguliert, d. h. die Oeffnungs-geschwindigkeit der Turbine proportional dieser Differenz macht. Der Anlauf erfolgt dann nach einer der Fig. 9 ähnlichen Kurve.

Die Drehzahl nimmt zuerst von Null an sehr rasch zu, dann immer langsamer, um nach einem leichten Uebersteigen der Netzdrehzahl langsam in sie hineinzulaufen.

Der Anlauf in Funktion der Drehzahldifferenz kann konstruktiv auf verschiedene Weise erreicht werden.

Die Bildung der Drehzahldifferenz auf mechanischem Wege ergibt die einfachste Lösung. Man verwendet hiezu ein kleines Differentialgetriebe, dessen eine Welle direkt oder indirekt vom zuzuschaltenden Generator, die andere von einem am Netz angeschlossenen Synchronmotor S angetrieben wird (Fig. 10). Die von den beiden Planetenräddchen abgenommene Differenzdrehzahl wird über das Stirnradgetriebe 5-5' auf die Welle 6 übertragen, die direkt den Drehzahlregler der Turbine beeinflusst. Letzteres geschieht am zweckmässigsten an der Rückführung des Reglers, so dass seine übrige Einstellung davon nicht berührt wird. Den gefälligen Zusammenbau des Differentialgetriebes mit den beiden Tachometermotoren zeigt Fig. 11.

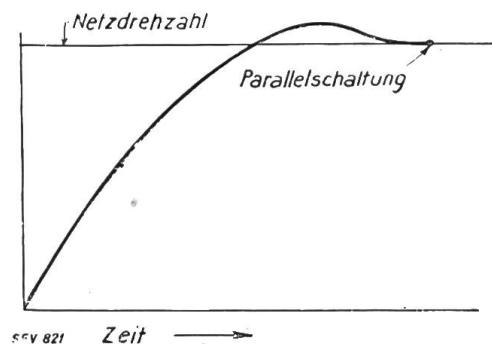


Fig. 9.
Verlauf der Drehzahl der zuzuschaltenden Maschine beim Anlassen und Parallelschalten in Funktion der Drehzahl- (Frequenz-) Differenz.

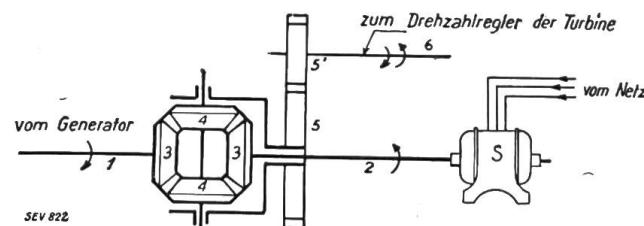


Fig. 10.
Bildung der Drehzahldifferenz mittels Differentialgetriebe.

Zur Bildung der Drehzahldifferenz auf elektrischem Wege (Fig. 12) benötigt man zwei Tachometerdynamos, die gleich wie die beiden Hauptwellen des Differentialgetriebes angetrieben werden.

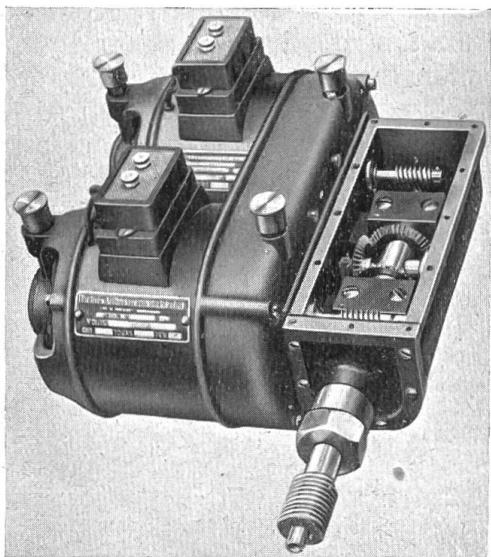


Fig. 11.
Drehzahlreguliereinrichtung.

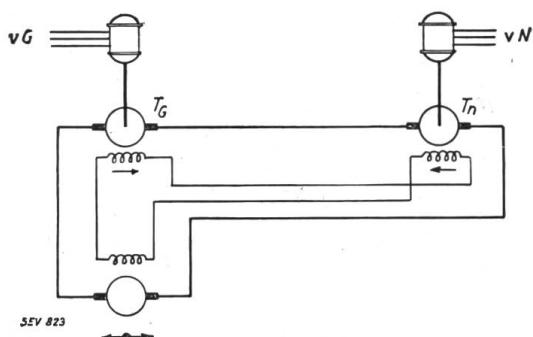


Fig. 12.
Bildung der Drehzahldifferenz mittels
Tachometerdynamos.

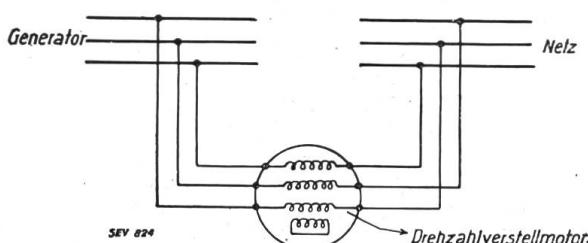


Fig. 13.
Bildung der Drehzahldifferenz von Dreh-
stromnetzen mittels Drehstrommotor.

Die Tachometerdynamos sind so bemessen, dass in dem in Frage kommenden Bereich nicht nur ihre Drehzahlen, sondern auch ihre Spannungen genau proportional einerseits der Drehzahl des Netzes und anderseits der Drehzahl der zuzuschaltenden Maschine sind. Die Anker der Tachometerdynamos sind nun gegeneinander und in Serie mit dem Anker des üblichen Drehzahlverstellmotors geschaltet. Die Magnetwicklungen werden alle an die Tachometerdynamo T_n oder an eine Fremdstromquelle (Batterie) angeschlossen. Es ist nun ohne weiteres klar, dass sich der Drehzahlverstellmotor sofort drehen wird, sobald die Drehzahlen der beiden Tachometerdynamos verschieden sind, und zwar um so rascher, je grösser diese Drehzahldifferenz ist. Aendert die Drehzahldifferenz ihr Vorzeichen, so kehrt auch die Drehrichtung des Drehzahlverstellmotors um. Dieser beeinflusst in gleicher Weise die Beaufschlagung der Turbine über die Rückführung des Drehzahlreglers. Es wird also auch hier wie beim Differentialgetriebe die zuzuschaltende Maschine mit ihrer Drehzahl der Frequenz des Netzes folgen und so in den synchronen Lauf hineingezogen.

Die Drehzahldifferenz kann endlich noch bei Drehstromanlagen auf elektromagnetischem Wege gebildet werden durch Verwendung eines ähnlich wie ein Synchronoskop mit umlaufendem Zeiger geschalteten Drehstrommotors als Drehzahlverstellmotor (Fig. 13).

Die eine Phase der offenen Statorwicklung wird zwischen gleiche Pole von Generator und Netz, die beiden andern übers Kreuz zwischen ungleiche Pole geschaltet. Der Anker des Motors wird mit einer kurzgeschlossenen oder mit Gleichstrom gespeisten einphasigen Wicklung versehen. Es entsteht im Motor ein pulsierendes Wechselfeld, das sich mit einer der halben Differenzdrehzahl entsprechenden Geschwindigkeit im Raume dreht und den Rotor mit sich reisst.

Diese letztere Methode der Bildung der Drehzahldifferenz ist nur bei Drehstromanlagen anwendbar, während die beiden ersterwähnten den Vorzug der allgemeinen Verwendbarkeit aufweisen.

Sowohl in Amerika wie in Europa sind Anlasssysteme entwickelt worden, die zum Unterschiede mit den drei oben erwähnten Methoden die Drehzahldifferenz nicht direkt zur Regulierung verwenden, sondern als Zwischenglied einen Regulierapparat

gebrauchen. Bei einem bekannt gewordenen System wird die Drehzahldifferenz ebenfalls mit einem Differentialgetriebe gebildet; die Differenzwelle wirkt aber über eine Rutschkupplung auf einen Umschaltehebel und steuert so die Turbine indirekt über eine elektrische Drehzahlverstellvorrichtung.

Bei einem andern System (Fig. 14) werden zwei gleich starke Motoren, wovon der eine an die Spannung des Netzes, der andere an die Spannung der Sammelschienen angeschlossen ist, starr zusammengekuppelt. Der rascher laufende Motor wird nun den andern als Generator antreiben und über die Kupplung elektrische Energie aus seiner Stromquelle in die andere hinüberschieben. Mit einem Wattmeter, d. h. einem Leistungsregler *LR* wird die Richtung des Energieflusses festgestellt und die Beaufschlagung der Turbine entsprechend reguliert durch Umschaltung des Drehzahlverstellmotors. Abgesehen von der Regulierung ohne eigentliche Rückführung, die zu Pendelungen Anlass gibt, sind die indirekten Anlaufmethoden teurer und komplizierter als die direkten.

Die für den automatisch regulierten Anlauf und für das Parallelschalten auch der grössten Generatoren notwendigen Einrichtungen sind heute so einfach und betriebssicher, dass man wahrscheinlich schon in naher Zukunft dazu kommen wird, sie auch in bedienten Anlagen zur Entlastung des Personals und zur Verhütung von Fehlschaltungen anzuwenden. Für die Möglichkeit überhaupt des Baues von vollautomatischen Zentralen ist das sichere Funktionieren der Anlauf- und Parallelschalteinrichtung von fundamentaler Bedeutung.

Um deutlich darzulegen, wie überaus einfach sich nun die ganze Ausrüstung einer automatischen Anlage gestaltet, sei noch die Beschreibung eines Niederdruckwerkes beigelegt, das mit zwei Generatoren von 750 kVA ausgerüstet wird und zur Zeit in Montage ist.

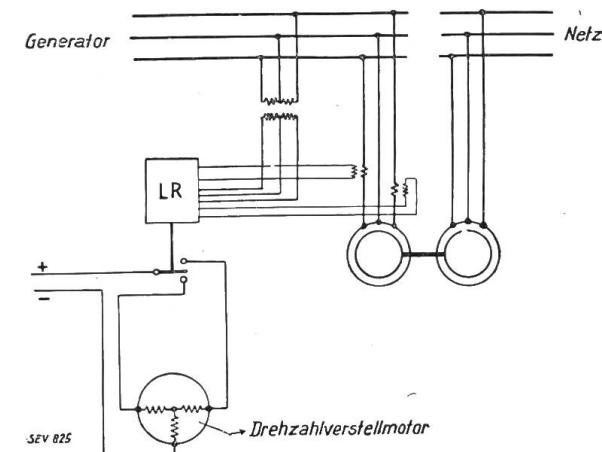


Fig. 14.
Bildung der Drehzahldifferenz mittels gekuppelter Motoren und Leistungsregler *LR*.

einer automatischen Anlage gestaltet, sei noch die Beschreibung eines Niederdruckwerkes beigelegt, das mit zwei Generatoren von 750 kVA ausgerüstet wird und zur Zeit in Montage ist.

Beschreibung der Arbeitsweise eines automatischen Niederdruckwerkes.

Die Arbeitsweise dieser Zentrale ist gegeben durch folgende Betriebsbedingungen:

1. Ausrüstung mit Synchrongeneratoren;
2. Inbetriebnahme ohne Steuerleitungen durch blosses Unterspannungssetzen der Hochspannungsleitung, die vom bedienten Kraftwerk zum automatischen Kraftwerk führt;
3. Anlauf von der Turbine aus;
4. Leistungsregelung in Abhängigkeit des Oberwasserstandes.

Das automatische Kraftwerk ist für völlig bedienungslosen Betrieb vorgesehen. Die In- und Ausserbetriebnahme kann selbsttätig erfolgen in Abhängigkeit der Zeit oder des Oberwasserstandes oder auf Veranlassung der Betriebsleitung durch blosses Schliessen oder Oeffnen der Hochspannungsleitung, die die bedienungslose Anlage mit dem Hauptwerk verbindet.

In allen Fällen werden sämtliche Betätigungen genau so ausgeführt wie bei einem Kraftwerk mit Bedienung. Die ordnungsgemäße Abwicklung wird dadurch gewahrt, dass jede abgelaufene Betätigung die nächstfolgende auslöst. Dadurch ist eine Verriegelung geschaffen, die jede Fehlschaltung ausschliesst, besser noch als es bei einer bedienten Anlage möglich ist.

Um das Werk automatisch zu betreiben, sind gegenüber der Ausrüstung eines modernen Werkes nur wenige zusätzliche Relais und einige Ergänzungen am hydrau-

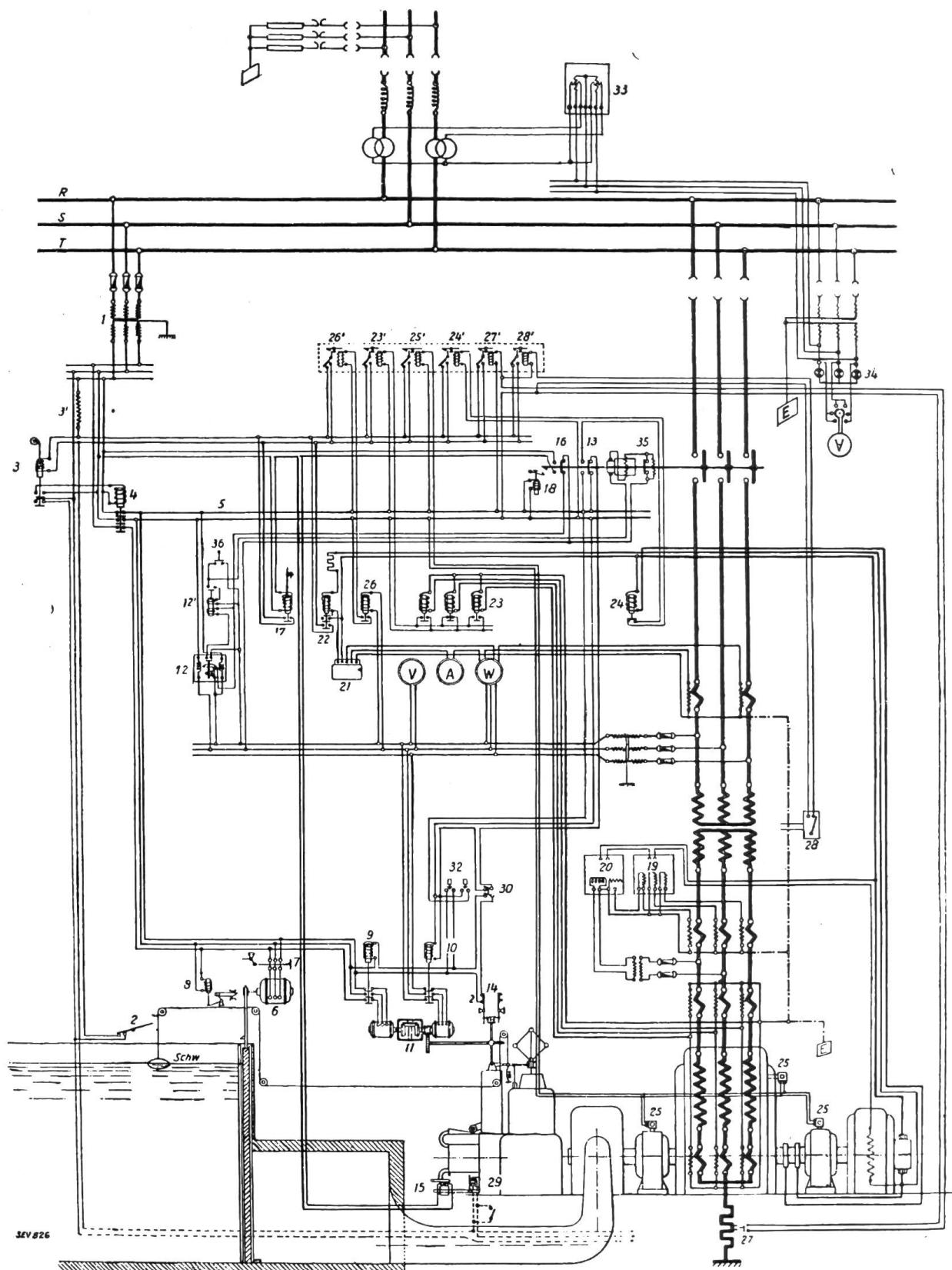


Fig. 15.
Schema eines automatischen Wasserkraftwerkes.
Betriebsweise:

- Inbetriebnahme durch Unterspannungsetzen der Hochspannungsleitung;
 - Anlauf von der Turbine aus;
 - Leistungsregelung in Abhängigkeit vom Oberwasserstand (Schwimmerregulierung).
- (Fortsetzung von Legende 15 siehe Seite 371.)

lischen Teil notwendig. Im vorliegenden Falle handelt es sich um ein Niederdruck-Laufwerk, dessen Leistung sich nach der zufließenden Wassermenge zu richten hat. Es wurde daher eine Leistungsregelung nach dem *Oberwasserstande* angenommen. Hat man bei einer Anlage eine gewisse Akkumuliermöglichkeit, die man ausnützen will, so wird die Anlage entweder als Grundbelastungswerk mit konstanter Beaufschlagung oder als Spitzenwerk mit frei laufenden, auf Drehzahl regulierten Turbinen betrieben. In beiden Fällen tritt an Stelle der Regulierung auf Oberwasserstand die Leistungsbegrenzung resp. In- und Ausserbetriebnahme in Abhängigkeit des Wasserstandes hinzu.

Für die Wasserstandsregulierung der einzelnen Turbinen wurden einfache Schwimmer mit mechanischer Uebertragung des Oberwasserstandes auf die Turbinenregler angenommen. Die Zu- oder Abschaltung der einzelnen Turbinen erfolgt je nach dem Belastungsgrad der bereits im Betriebe befindlichen Gruppe. Der Drehzahlregler ist mit einer durch Riemen angetriebenen Druckölpumpe nebst der üblichen Drehzahlverstelleinrichtung mit Elektromotor versehen, mit welcher der Leitapparat ganz geöffnet oder geschlossen werden kann.

Da es sich um eine Niederdruckanlage handelt, muss für den Antrieb des Turbinenabsperrorgans an Stelle des bei Hochdruckanlagen üblichen hydraulischen Servomotors ein Elektromotor treten. Das Schliessen hat durch das Eigengewicht der Klappe, eventuell unterstützt durch Fallgewichte oder Federn zu erfolgen.

Im elektrischen Teil kommen nur wenige Relais dazu. Wie jedes moderne Werk ist das automatische Werk mit Spannungsregler und eventuell mit Ueberstromschutzregler, mit Selektivschutz für den Generator und seinem eventuellen Transformator (Differentialrelais), mit Fernsteuerung des Generatorschalters und mit Synchroniseinrichtung versehen.

Inbetriebnahme.

Soll das automatische Werk in Betrieb genommen werden, so wird in der Hauptzentrale der Oelschalter der Hochspannungsleitung, die die Energie der bedienunglosen Anlage zum Hauptwerk führt, geschlossen. Die Sammelschienen des automatischen Werkes und damit auch der Stationstransformator 1 (Fig. 15) kommen dadurch unter Spannung.

Solange die Anlage im wasserbaulichen Teil in Ordnung ist, d. h. solange die Schützen und speziell die Leerlaufschützen dicht halten, nimmt der Oberwasserspiegel seine normale Lage ein, und der Schwimmer 2 schliesst den Stromkreis des Einschaltzeitrelais 3. Dieses zieht seinen Anker an und gibt nach Ablauf einer eingestellten Zeit über das Einschaltrelais 4 Spannung auf die Hilfssammelschienen 5, an denen alle Relais und Einschalt- und Auslösspulen angeschlossen sind.

Der Hubmotor 6 des Schiebers der ersten Turbine fängt sofort an zu laufen, da er direkt von den Hilfssammelschienen gespeist und sein Endschalter 7 geschlossen ist. Der Turbinenschieber wird nun langsam hochgezogen, bis er in der obersten Stellung einklinkt und durch den Schützensperrmagneten 8 festgehalten wird. Sobald

Fortsetzung von Legende 15.

1	Stationstransformator	21	Maximalstrom-Relais
2	Wasserminimalkontakt	22	Erregerspannungs-Relais
3	Einschalt-Zeitrelais	23	Differential-Relais
3'	Vorschaltwiderstand	23'	Differential-Fallklappenrelais
4	Einschalt-Hüpfer	24	Minimal-Erregerstromrelais
5	Hilfssammelschienen	24'	Erregerstrom-Fallklappenrelais
6	Hubmotor	25	Thermokontakte
7	Endschalter des Hubmotors	25'	Temperatur-Fallklappenrelais
8	Schützenblockiermagnet	26	Maximalspannungs-Relais
9	Verstellmotor-Relais	26'	Maximalspannungs-Fallklappenrelais
10	Verstellmotor-Relais	27	Thermokontakt
11	Drehzahlverstelleinrichtung	27'	Temperatur-Fallklappenrelais
12	Parallelschaltapparat	28	Buchholzschutzapparat
12'	Hüpfer zum Parallelschaltapparat	28'	Buchholzschutz-Fallklappenrelais
13	Umschaltkontakt am Generatorschalter	29	Maximalbelastungsschalter
14	Endabstellkontakt	30	Schalter für Handbetätigung
15	Minimalbelastungsschalter	31	Druckknöpfe für Handsteuerung der Drehzahl
16	Hilfsumschalter am Oelschalter	32	Druckknopfschalter für Schaltersteuerung
17	Abschalt-Zeitrelais	33	Zähler
18	Nullspannungsspule am Oelschalter	34	Isolationsprüfeinrichtung
19	Stromregler	35	Fernantrieb am Oelschalter
20	Spannungsregler	36	Druckknopfschalter für Schaltersteuerung

also dieser Magnet spannungslos wird, löst er die Verklinkung und der Schieber schliesst sich. Während des langsamem Oeffnens des Schiebers fängt die Turbine, die von der letzten Abstellung her noch offen ist, an zu laufen. Die riemengetriebene Druckölspülung des Drehzahlreglers läuft mit, so dass sie schon vor Erreichen der halben Normaldrehzahl genügend Druck hat, um dem Drehzahlregler das Arbeiten zu ermöglichen. Mit dem Unterspannungsetzen der Hilfssammelschienen 5 haben auch die beiden Verstellmotorrelais 9 und 10 ihre Anker angezogen und die Drehzahlverstelleinrichtung 11 so geschaltet, dass ihre Drehzahl stets proportional der Differenz zwischen der Frequenz des Netzes und der Frequenz der anlaufenden Gruppe bleibt. Sie wird also sehr rasch anfangen zu drehen und schliesst über die Rückführung des Drehzahlreglers und mit Hilfe seines Servomotors die Turbine, sobald ihre Drehzahlkurve die der Frequenz des Netzes entsprechende Gerade schneidet. Nach einer leichten, durch die Öffnungsgeschwindigkeit des Turbinenabsperrschiebers regulierbaren Erhöhung der Drehzahl über die definitive läuft sie asymptotisch in die Netzdrehzahl hinein. Die zuzuschaltende Gruppe folgt nun mit ihrer Drehzahl dauernd der Frequenz des Netzes und wird so in den Synchronismus hineingezogen. Die Spannung des Generators wird durch einen automatischen Spannungsregler 20 eingestellt, so dass nur noch das Eintreten der Phasengleichheit abzuwarten ist. Der Parallelschaltapparat 12 stellt nun den Moment des Synchronismus fest, und sobald die Schwebungen langsam genug sind, schaltet er die Maschinen parallel aufs Netz.

Diese Schaltung ergibt ein sicheres Anlaufen und glattes, stossloses Parallelschalten der Gruppen, das von der jeweiligen absoluten Grösse der Netzfrequenz völlig unabhängig ist.

Die Gruppe läuft nun parallel am Netz und muss nur noch belastet werden. Es erfolgt dies dadurch, dass der Umschaltkontakt 13 auf der Welle des Generatorschalters das Verstellmotorrelais 10 abschaltet. Durch das Abfallen des Relais 10 wird die Drehzahlverstelleinrichtung umgeschaltet und öffnet jetzt mit konstanter Geschwindigkeit die Turbine, bis bei voller Beaufschlagung der Endabstellkontakt 14 das erste Relais 9 ebenfalls abschaltet. Von nun an erfolgt die Regelung der Belastung der Gruppe durch den Schwimmer in Abhängigkeit der zufließenden Wassermenge, d. h. auf konstanten Oberwasserspiegel. Es muss lediglich durch die Schwimmerregulierung auch der Endkontakt 14 so mitgenommen werden, dass er geöffnet wird, sobald die Beaufschlagung der zufließenden Wassermenge entspricht.

Ausserbetriebsnahme.

Diese kann beabsichtigt betriebsmäßig und automatisch bei Störungen erfolgen.

a) *Die beabsichtigte betriebsmässige Ausserbetriebsnahme* wird im Hauptwerk eingeleitet durch Ausschalten des Oelschalters der Leitung, die zum automatischen Kraftwerk führt. Dadurch wird die Turbine entlastet; der Drehzahlregler wird sie demnach schliessen bis zur Beaufschlagung, die zur Deckung der Leerlaufverluste der Gruppe nötig ist. In dieser Lage ist dann der Minimalbelastungsschalter 15 geschlossen, und da der Hilfsschalter 16 am Oelschalter ebenfalls Kontakt macht, beginnt das Abschalt-Zeitrelais 17 abzulaufen. Dieses Zeitrelais verhindert die völlige Abstellung des automatischen Kraftwerkes bei Belastungsschwankungen usw. und wird auf so lange Zeit eingestellt, dass es bei der Inbetriebnahme von der Parallelschaltung bis zur Belastung nicht abzulaufen vermag. Kommt 17 bei der Ausserbetriebsnahme zum Ablauf, so überbrückt es das Einschaltzeitrelais 3, so dass dieses seinen Anker fallen lässt. Dadurch werden die Hilfssammelschienen 5 spannunglos. Der Schützensperrmagnet 8 löst die Verklinkung des Turbinenschiebers; dieser fällt herunter und schliesst die Turbine ab. Da die Nullspannungsspule 18 des Oelschalters nun ohne Spannung ist, löst sie den Oelschalter aus. Der Endschalter 7 des Schieberhubmotors schliesst sich, der Motor selbst aber bleibt stromlos, bis das Relais 3, resp. 4, sich wieder schliesst. Nun ist die Gruppe vollständig stillgestellt, jedoch bereit, wieder in Betrieb zu gehen, sobald die Leitung zum Hauptwerk erneut unter Spannung gesetzt wird.

b) Die automatische Ausserbetriebnahme bei Störungen erfolgt in genau gleicher Weise wie oben beschrieben, mit dem Unterschied, dass das Kurzschliessen des Einschaltrelais 3 nicht durch den Minimalbelastungsschalter 15, resp. das Zeitrelais 17, besorgt wird, sondern von demjenigen Schutzrelais, welches die Störung festgestellt hat.

Man kann zweierlei Störungen unterscheiden, bei denen das automatische Kraftwerk stillgesetzt werden muss:

1. *Aeussere Störungen*. Diese sind vorübergehender Natur und können bestehen aus: Wassermangel, Kurzschlüssen und starken Spannungsschwankungen im Netz.

Bei unzulässigem Sinken des Wasserspiegels durch Undichtigkeit oder Oeffnen der Leerlaufschütze usw. öffnet der Schwimmer seinen Kontakt 2 und unterbricht so den Stromkreis des Einschaltrelais 3 so lange, bis wieder genügend Wasser da ist.

Bei Kurzschlüssen im Netze wird zuerst der Ueberstromschutzregler 19 in Tätigkeit treten und den vom automatischen Werk abgegebenen Kurzschlusstrom auf eine bestimmte Grösse, z. B. 1,5 mal Normalstrom, heruntersetzen. Dauert der Kurzschluss länger als die am Maximalstromrelais 21 eingestellte Zeit (beispielsweise acht Sekunden), so spricht dieses an und überbrückt das Einschaltrelais 3 mit Hilfe eines an die Spannung der Erregermaschine angeschlossenen Relais 22. Dieses Relais hat eine sehr tiefe Abfallspannung und wird also beim Auslaufen der abgestellten Gruppe seinen Anker verhältnismässig lange halten. Dadurch wird eine gewisse Zeit zwischen der Abstellung durch das Maximalstromrelais und der eventuellen Wiederinbetriebnahme bei Wiedererscheinen der Netzspannung gelegt, so dass intermittierende Kurzschlüsse keine Pendelungen des automatischen Werkes hervorrufen werden. Obwohl das Relais 22 kein Zeitwerk besitzt, funktioniert es also wie ein Zeitrelais.

Bei starken Spannungssenkungen im Netze werden dieselben Erscheinungen wie bei Kurschlüssen hervorgerufen.

Bei allen äusseren Störungen muss die Ausserbetriebnahme des automatischen Werkes derart erfolgen, dass sie sofort nach Verschwinden der Störung selbsttätig wieder in Betrieb gehen kann.

2. *Innere Störungen*. Diese können elektrischer oder mechanischer Natur sein: Kurz-, Windungs- oder Erdgeschlüsse im Generator oder in seinem zugehörigen Transformatorm; Defekt im Erreger, so dass der Generator keine Eigenerregung mehr hätte, Defekte in den Lagern der Turbine oder des Generators, Defekte im Drehzahlregulator, die ein eventuelles Durchbrennen der Gruppe zur Folge haben könnten usw. Alle diese Störungen haben bleibenden Charakter, und es muss daher die selbsttätige Wiederinbetriebnahme der Zentrale unbedingt verhindert werden, bis eine Revision stattgefunden hat und der Fehler behoben wurde.

Es erfolgt daher die Abstellung, d. h. das Kurzschliessen des Einschaltzeitrelais 3, nicht direkt durch die betreffenden Schutzrelais, sondern über Klappenrelais, die neben der Lokalisierung der Fehler auch die Sperrung des Anlaufens besorgen.

Bei Schlüssen in Generatoren oder Transformatoren spricht der Selektivschutz (Differentialschutz 23) an. Bei Fehlern im Erreger spricht das Minimalerregerstromrelais 24 an und leitet das Abstellen ein. Bei länger dauerndem Erdchluss spricht der Temperaturkontakt 27 des Erdungswiderstandes an und stellt ab über Klappe 27'.

Bei Defekten in den Lagern, die sich durch Temperaturerhöhungen bemerkbar machen, sprechen die Thermokontakte 25 an. Alle Thermokontakte haben ein gemeinsames Klappenrelais 25'. Die nähere Lokalisierung des Fehlers findet an den Thermokontakten selbst statt, die alle mit einer Kontaktverriegelung und mit einer Fallklappe versehen sind.

Thermokontakte können auch im Oel des Transformators, im Eisen oder in den Luftkanälen des Generators angebracht werden. Will man die Temperatur der Wicklungen unmittelbar messen und überwachen, so muss eine Wechselstrombrückenschaltung mit Isoliertransformatoren angewendet werden.

Tritt ein Defekt im Drehzahlregler der Turbine beim Anlassen auf, so erfolgt bei den meisten Reglerkonstruktionen ein Schliessen der Turbine. Ist dies nicht der

Fall, oder versagt die hydraulische Schutzeinrichtung, dann kommt die Gruppe zum Durchbrennen. Dies ergibt ein rasches und starkes Ansteigen der Spannung des Generators, das durch den Spannungsregler nicht mehr bewältigt werden kann. Dann spricht das von der wachsenden Periodenzahl unabhängige Maximalspannungsrelais 26 an, stellt ab und sperrt das Werk.

Im Hauptwerk wird das Ausfallen des automatischen Werkes an den Wattmetern ersichtlich. Daraufhin muss eine Revision veranlasst werden. An den Klappen auf dem Störungstableau erkennt der revidierende Beamte sofort, wo der Fehler, der zur Abstellung geführt hat, liegt, was eine wertvolle Zeitersparnis ergibt. Nach Behebung des Fehlers und Heraufstellen der Klappe läuft das Werk wieder selbsttätig an, sofern der Linienschalter in dem Werk geschlossen ist.

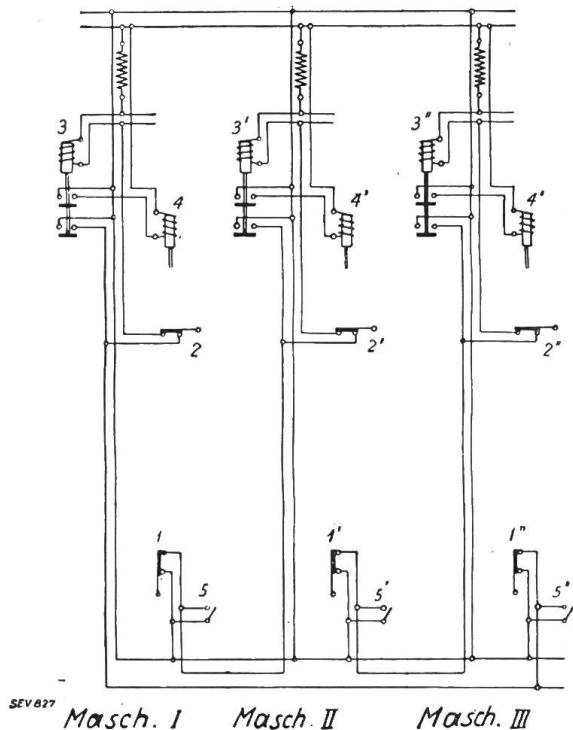


Fig. 16.

Schema der Einschaltleitungen eines automatischen Kraftwerkes mit mehreren Maschineneinheiten.

29 der vorangegangenen Turbine so lange überbrückt, bis die Belastung der im Betrieb stehenden Gruppen unter $\frac{1}{n}$ Vollast der einzelnen Gruppen beträgt. Die Schaltung jeder Gruppe ist dieselbe wie oben beschrieben, so dass die In- und Ausserbetriebsnahme im übrigen in gleicher Weise erfolgt.

Der Minimalbelastungskontakt der ersten Turbine muss auf Leerlauf gestellt werden, der Kontakt der zweiten Turbine auf $\frac{1}{2}$ Vollast, der der dritten Turbine auf $\frac{1}{3}$, der der n^{ten} Turbine auf $\frac{1}{n}$ Vollast.

In Fig. 16 ist das Beispiel eines Schemas für die aufeinander folgende Einschaltung der verschiedenen Gruppen eines automatischen Kraftwerkes dargestellt. 1 ist der Maximalbelastungskontakt, 2 ein Sperrkontakt, der nur bei Störungen in der Erzeugeranlage des Betriebsmittels (z. B. unzulässige Senkung des Druckes, hier Wasserstandskontrolle durch Schwimmer) sich öffnet, sonst aber geschlossen bleibt, 3 ist das vorgeschaltete Zeitorgan, 4 das die Inbetriebsnahme steuernde Einschaltrelais.

Ist nun die Gruppe I infolge reichlichen Zuflusses des Betriebsmittels vollbelastet, so schliesst sich der Kontakt 1. Dadurch wird über Kontakt 2' der Stromkreis des Zeitorgans 3' geschlossen. Dieses Relais zieht an, hält sich mit dem untern Kontakt fest, während es mit dem obern das Einschaltrelais 4' einschaltet. Nun wird die Gruppe 2 automatisch in Betrieb gehen und sich entsprechend dem Betriebsmittelzufluss belasten.

Damit die erste Gruppe überhaupt in Betrieb gehen kann, muss der Maximalbelastungskontakt der letzten Gruppe stets geschlossen sein, auch wenn diese Gruppe nicht im Betriebe ist. Es lässt sich dies durch einen von Hand zu bedienenden Ueberbrückungsschalter 5 erreichen. Damit die einmal festgelegte Reihenfolge des Anlaufens der verschiedenen Gruppen beliebig gewählt werden kann, wird zweckmässigerweise jede Gruppe mit dem Schalter 5 ausgerüstet.

Die Reihenfolge der Zu- und Abschaltungen wird für eine bestimmte Betriebsperiode festgelegt, kann aber jederzeit in beliebiger Weise abgeändert werden durch die Einstellung der Minimalbelastungskontakte und durch Schliessen des Schalters 5.

Die Wirkungsweise der Drehzahlreguliereinrichtung und das rasche Ansprechen des Parallelschaltrelais ist am besten aus dem beigefügten Tachogramm (Fig. 17) ersichtlich, das an einem automatischen Kraftwerk aufgenommen wurde, welches an der Weltausstellung 1929 in Barcelona zur Aufstellung gelangt.¹⁾

Betrieb mit Bedienung.

Die automatische Zentrale kann ohne weiteres und beliebig weitgehend mit Bedienung betrieben werden. Schaltet man den Schalter 30 für Handbetrieb aus, so kann man von Hand die Drehzahl einregulieren und mit Hilfe des Synchroskopos die Parallelschaltung vornehmen, wobei der Oelschalter auch durch den Druckknopf 36 mittels seines Fernantriebes 35 eingeschaltet werden kann.

Die Elektrizitätsindustrie an der XIII. Schweizer Mustermesse in Basel.

Vom Generalsekretariat des S.E.V. und V.S.E.
(Ing. M. Baumann).

(09) 621.3

Die diesjährige dreizehnte Mustermesse, welche vom 13. bis 23. April in Basel stattfand, zeigte gegenüber dem Vorjahr eine kleine Abnahme der Ausstellerzahl (1083 : 1106). Von den unter der Gruppe „Elektrizitätsindustrie“ zusammengefassten Firmen waren dieses Jahr 23 nicht mehr vertreten, welche im Jahre 1928 ihre Produkte an der Messe ausstellten. An ihre Stelle sind 16 andere Firmen getreten, welche im Vorjahr nicht, wohl aber zum Teil schon in früheren Messen zu den Ausstellern zu rechnen waren. Bemerkenswert ist, dass zu diesen Firmen auch die der Grosselektromaschinenindustrie angehörende Firma Brown, Boveri & Cie. zu zählen war, womit diese Industrie mit der S.A. des Ateliers de Sécheron zusammen zwei Vertreter an der diesjährigen Mustermesse aufwies.

Im folgenden versuchen wir, einige Eindrücke wiederzugeben, die uns ein Besuch der Gruppe „Elektrizitätsindustrie“ an der diesjährigen Mustermesse hinterlassen

¹⁾ Siehe Bulletin S.E.V. 1929, No. 12, Seite 401.

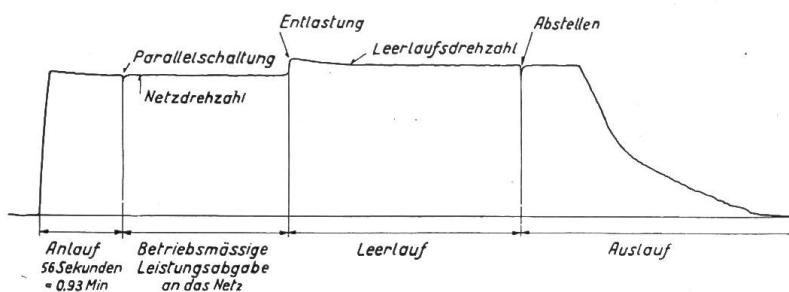


Fig. 17.
Tachogramm der Inbetrieb- und Ausserbetriebnahme eines automatischen Wasserkraftwerkes.