

**Zeitschrift:** Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins  
**Herausgeber:** Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke  
**Band:** 55 (1964)  
**Heft:** 25

**Artikel:** Die elektrischen Einrichtungen der Maschinengruppen des Maschinenhauses Ferrera  
**Autor:** Kisfaludy, P.E.  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-916796>

### **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:** 03.04.2026

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

# Die elektrischen Einrichtungen der Maschinengruppen des Maschinenhauses Ferrera

Von P. E. Kisfaludy, Baden

621.311.21 (494.262.3)

Im Bulletin SEV 1963, Nr. 10, wurde unter einem ähnlichen Titel ein Aufsatz veröffentlicht, in welchem der Aufbau und der Betrieb der Anlage Ferrera im allgemeinen, sowie die Steuerung der Hauptmaschinengruppen im Turbinenbetrieb (Handsteuerung und Automatik) im besonderen, beschrieben ist.

Der vorliegende Aufsatz enthält die Steuerung (Handsteuerung und Automatik) der Hauptmaschinengruppen im Pumpenbetrieb sowie die Steuerung der Zubringerpumpen in beiden Betriebsarten. Die zwei Aufsätze ergeben somit zusammen die komplette Beschreibung der Steuervorgänge sämtlicher Maschinengruppen des Maschinenhauses Ferrera.

## 1. Pumpenbetrieb, Vorbedingungen, Anfahren, Abstellen

Zwecks besserer Übersicht der im Pumpenbetrieb gegenüber dem Turbinenbetrieb zum Teil komplizierteren Steuerung der Gruppen, sind nachstehend die wesentlichen Vorgänge in zeitlicher Reihenfolge aufgeführt, wobei vorausgesetzt werden muss, dass die Kupplung zwischen Pumpe und Motor eingerückt ist, wodurch Turbine, Generator, Motor und Pumpe mechanisch starr miteinander verbunden sind.

- Anfahren der Gruppe auf Nenndrehzahl durch die Turbine;
- Synchronisieren mit dem Netz und Einschalten des Hauptschalters;
- Ausblasen des Wassers aus der Turbine mittels Druckluft (Verringerung der Antriebsleistung);
- Schliessen der Öffnungsbegrenzung, des Leitrades und des Kugelschiebers der Turbine;
- Öffnen des Ringschiebers der Pumpe.

Für das Anfahren der Gruppe müssen, wie im Turbinenbetrieb, bestimmte Vorbedingungen erfüllt sein. Diese Vorbedingungen bestehen bis auf eine Ausnahme aus denselben Bedingungen wie für den Turbinenbetrieb, ergänzt mit den Bedingungen, die für die Aufnahme des Pumpenbetriebes notwendig sind. Zur Meldung an die Relaisautomatik, ob die verlangten Bedingungen erfüllt sind oder nicht, werden auch hier die Stellung oder der Betriebszustand von bestimmten Organen, die zur Pumpanlage gehören, erfasst. Diese Vorbedingungen sind die folgenden:

a) *Vorbedingungen, die im Stillstand betriebsmässig gegeben sind und somit im Normalfall keinen operativen Eingriff benötigen:*

- Eigenbedarfsspannung vorhanden,
- Drosselklappe im Wasserschloss geöffnet,
- Kugelschieber Reserveabschluss geöffnet,
- Steuerdruck für Kugelschieber vorhanden,
- Kugelschieber Hauptabschluss geschlossen,
- Bremse gelüftet,
- Öffnungsbegrenzung geschlossen,
- Spiralenteerung geschlossen,
- Leitapparat geschlossen,
- Deckelentlastung offen,
- Druck im Zuleitungsrohr der Pumpe vorhanden,
- Druck im Druckschacht vorhanden,
- Zulaufdrosselklappe offen,
- Reserveabschluss des Ringschiebers offen,
- Hauptabschluss des Ringschiebers geschlossen.

b) *Vorbedingungen, die vor dem Anfahren durch Einschalten verschiedener Organe erfüllt werden müssen.* Diese Schaltungen werden bei Handsteuerung durch den Schalter in der Maschinentafel bei automatischer Steuerung durch den Anfahrbefehl von der Steuertafel aus selbsttätig erfolgen:

- Regleröl Anfahrpumpe,
- Turbinen Lageröl Anfahrpumpe,
- Turbinen Sperrwasserventil,

- Regleröl Kühlwasserventil,
- Turbinen Lageröl-Kühlwasserschieber,
- Generator-Kühlwasserschieber,
- Pumpen Lageröl-Anfahrpumpe,
- Kupplung eingerückt,
- Pumpen Sperrwasserventil,
- Pumpen Lageröl-Kühlwasserschieber.

Diese Organe bilden (mit Ausnahme der Kupplung) die sog. Hilfsbetriebe.

c) *An Hand der betätigten Hilfsbetriebe werden sich auf hydraulischem Wege noch folgende Vorbedingungen einstellen:*  
Druckregler geschlossen,  
Turbinen Lagerölstand entsprechend,  
Kernbelüftung offen,  
Pumpen Lagerölstand entsprechend.

Die Verriegelung für die Sicherstellung eines ordnungsgemässen Anfahrens in den beiden Betriebsarten erfolgt grundsätzlich nach Fig. 1. Wenn der Kontakt  $k_2$  geschlossen ist, würde nur das Schliessen von Kontakt  $k_1$  die Freigabe des Anfahrbefehls für Turbinenbetrieb zur Folge haben; bei geöffnetem Kontakt  $k_2$  hingegen muss zum Kontakt  $k_1$  auch der Kontakt  $k_3$  geschlossen sein, um die Durchgabe des Anfahrbefehls für Pumpenbetrieb zu ermöglichen. Wenn alle Anfahrbedingungen erfüllt sind, kann dem Kugelschieber der Öffnungsbefehl erteilt werden.

Das Anfahren der Gruppe bis zur Nenndrehzahl, das Synchronisieren mit dem Netz und das Einschalten des Hauptschalters erfolgt genau gleich wie beim Turbinenbetrieb (Fig. 2 und 3). Ein Unterschied besteht lediglich in der Stellung der Öffnungsbegrenzung für den Leerlauf, die mit Rücksicht auf den Umstand, dass die Pumpe bis zum Öffnen des Ringschiebers gegen dessen Abschluss arbeiten muss, beträchtlich höher eingestellt wird, als für den Turbinenbetrieb erforderlich ist (ca. 40 anstatt 15 %).

Hier sei der Vorgang der automatischen Synchronisierung etwas näher beschrieben. Wenn die Gruppe die Drehzahl 300 überschritten hat, gibt eine Hilfsschützkombination den Einschaltimpuls für den Hilfs- und den Haupterregerschalter; gleichzeitig wird die Steuerungsart den Spannungsschnellregler von «Hand» auf «Automatisch» umschalten. Die Generatorspannung steigt mit der wachsenden Drehzahl an und wird durch den Spannungsregler auf dem eingestellten Sollwert gehalten. Bei Erreichen des

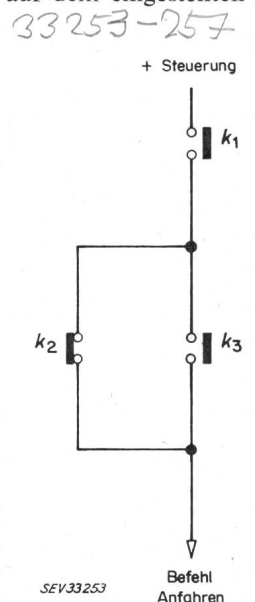


Fig. 1

### Prinzipschaltung der Verriegelungen im Turbinen- bzw. Pumpenbetrieb

$k_1$  Kontakt geschlossen, wenn Anfahrbedingungen für Turbinenbetrieb erfüllt sind;  $k_2$  Kontakt des Kippschützes für die Wahl der Betriebsart für Turbinenbetrieb geschlossen, für Pumpenbetrieb offen;  $k_3$  Kontakt geschlossen, wenn zusätzliche Anfahrbedingungen für Pumpenbetrieb erfüllt sind

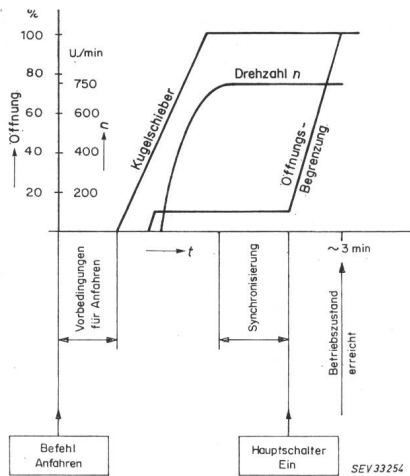


Fig. 2  
Anfahrtdiagramm im Turbinenbetrieb

schalter werden auch die Ölpumpen des Transformators eingeschaltet und das Kühlwasserventil geöffnet.

Im Turbinenbetrieb werden nun die weiteren Befehle (Lastverstellung) entweder lokal von Hand oder über die Fernsteuerung von Sils erfolgen.

Im Pumpbetrieb wird nach dem Einschalten des Hauptschalters die Turbine geschlossen, indem die Öffnungsbegrenzung des Leitrades und der Kugelschieber den Schliessbefehl erhalten. Bei Handsteuerung können diese Befehle mit den Handschaltern von der Maschinentafel aus in der vorgeschriebenen Reihenfolge erteilt werden, während bei automatischer Steuerung der Pumpenanlage dies durch einen Schütz erfolgt, der seinerseits durch den Hauptschalter betätigt wird. Mit Beginn des Schliessvorganges übernimmt der Generator nunmehr als Motor den Antrieb der Maschinen-Gruppe, was einen zunehmenden Leistungsbezug aus dem Netz erfordert. Diese Leistung, die zur Deckung der elektrischen Motorverluste, der Lager- und Ventilationsverluste sowie zur Überwindung des Widerstandes des im Wasser der geschlossenen Turbine und der noch geschlossenen Pumpe drehenden Turbinen- bzw. Pumpenlaufrades benötigt wird, nimmt während des Schliessvorganges bis auf die Leerlaufleistung der Gruppe zu.

Die Verluste des Motors sowie die Lager- und Ventilationsverluste müssen als unumgänglich während des ganzen Betriebes gedeckt werden. Diejenigen Verluste, welche durch das Umwälzen des Wassers im Turbinengehäuse erzeugt werden, können durch Verdrängen des Wassers aus der Turbinenspirale mit Druckluft beseitigt werden. Auf der Pumpenseite geht die Verlustleistung beim Öffnen des Ringschiebers in eine Förderleistung über.

Die für das Verdrängen des Wassers aus der Spirale der Turbine erforderliche Druckluft wird aus einem eigens für diesen Zweck aufgestellten Druckluftkessel bezogen. Für die ständige Betriebsbereitschaft dieses Druckluftkessels sorgt ein automatisch gesteuerter Kompressor, welcher bei Erreichen eines bestimmten Minimaldruckes (45 kg/cm<sup>2</sup>) ein- und bei Erreichen des Betriebsdruckes (60 kg/cm<sup>2</sup>) ausgeschaltet wird. Bei Abfall auf einen Mindestdruck von 41 kg/cm<sup>2</sup> spricht an der Schalttafel ein Warnrelais an.

Das Ausblasen der Turbine ist nur im Pumpenbetrieb möglich und der entsprechende Befehlsimpuls, der bei Hand-

steuerung durch einen eigenen Impulsschalter erfolgen kann, wird bei automatischer Steuerung nach Erreichen der geschlossenen Stellung des Kugelschiebers unmittelbar durch einen Endschalter gegeben. Die Steuerung ist so ausgelegt, dass das Ausblasen in der ersten Phase ziemlich rasch vor sich geht; nach Absinken des Wassers auf ein bestimmtes Niveau wird die direkte Druckluftleitung zum Turbinengehäuse geschlossen, so dass die Zufuhr der Druckluft für das Ausblasen in der zweiten Phase nur noch gedrosselt über einen Bypass erfolgen kann. Der ganze Vorgang wird somit verlangsamt, und nach Erreichen eines Tiefniveaus die Zufuhr der Druckluft ganz abgestellt. Diese Abstufung des Ausblasevorganges wird durch eine interne Automatik in Abhängigkeit von 3 Schwimmerschaltern gesteuert, die in einem mit dem Saugdruckrohr kommunizierenden Kessel eingebaut sind. Sollte der Wasserspiegel während des Betriebes infolge Undichtheit wieder ansteigen, so wird durch den Bypass automatisch eine Nachblasung erfolgen.

Nach beendetem Ausblasevorgang wird die Öffnungsbegrenzung auf ca. 10 % eingestellt, wodurch sich das Leitrad entsprechend öffnet. Somit wird es nun möglich, auch das bis dahin in der Turbinenspirale und im Einlauf zurückbehaltene Wasser ausblasen zu können. Der Abfluss dieses Wassers erfolgt über einen speziellen Schieber im unteren Teil der Turbinenspirale in das Saugrohr. Der Wasserspiegel wird dabei durch die erwähnte Schwimmsteuerung mit dem eingblasenen Luftkissen niedergehalten. Die Betätigung des Entleerungsschiebers erfolgt bei Handsteuerung durch den zugehörigen Schwenkschalter in der Schalttafel, bei automatischer Steuerung durch ein Kippschütz, das nach erfolgtem Ausblasevorgang der Turbine betätigt wird. Dieser Entleerungsschieber bleibt über die ganze Zeit des Pumpenbetriebes offen, damit sich das durchsickernde Spaltwasser sowie das evtl. Leckwasser des Kugelschiebers nicht ansammeln und den Lauf des Turbinenrades beeinträchtigen kann. Da der Spalt zwischen drehendem und festem Teil der Turbine nach wie vor besonderer Aufmerksamkeit bedarf, damit bei den sehr kleinen Abmessungen an dieser Stelle keine unzulässigen Erwärmungen entstehen, wird in jedem Fall ohne jeglichen Handgriff, also vollautomatisch, bereits am Ende der ersten, raschen Phase des Ausblasevorganges in der Tur-

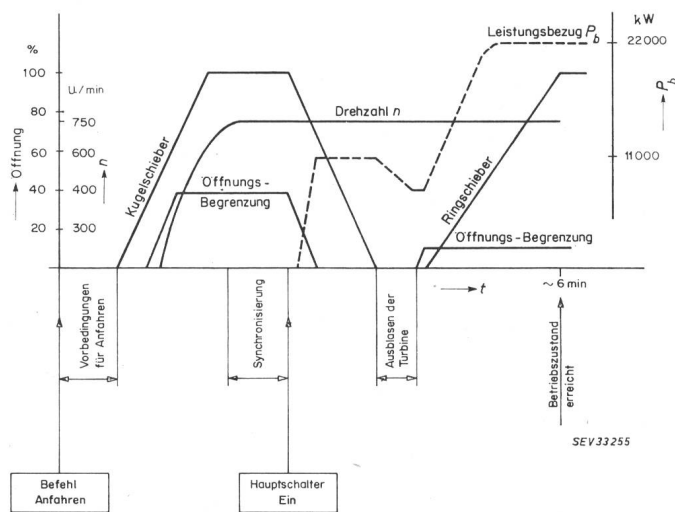


Fig. 3  
Anfahrtdiagramm im Pumpenbetrieb

bine die Zufuhr von Druckwasser (das sog. Labyrinth-Spaltwasser) für die Kühlung des Spaltes freigegeben.

Als letzter Schritt wird der Ringschieber-Hauptabschluss geöffnet. Zur Durchgabe des Öffnungsbefehls an den Ringschieber müssten grundsätzlich alle Anfahrbedingungen der Gruppe erfüllt sein. Da aber einige unter ihnen in dieser Phase des Anfahrprozesses bereits überholt sind, so z. B. Öffnungsbegrenzung geschlossen, Deckelentlastung offen, Kernbelüftung offen usw., sind nun die entsprechenden Verriegelungskontakte bei der Befehlsgebung zum Öffnen des Ringschiebers überbrückt.

Mit dem Öffnen des Ringschiebers beginnt das Pumpen des Wassers in den Stausee und der Motor wird belastet.

Entsprechend der grösseren Anzahl von Schaltbefehlen für den Pumpenbetrieb, sind im Schalttafeld für die Pumpensteuerung 20 Schalter untergebracht, gegenüber nur deren 10 für die Turbinensteuerung.

Beim Abstellen der Gruppe wird der Schliessbefehl zuerst dem Ringschieber erteilt; der Motor wird aber erst nach Erreichen des sog. Drosselhubes vom Netz getrennt. Im Falle einer früheren Abschaltung würde der Druck der Wassersäule infolge des langsamen Schliessvorganges des Ringschiebers einen Rücklauf der Gruppe bewirken.

## 2. Kontrolle der Automatik

Die Überwachung der gesamten automatischen Steuerung ist im Prinzip so ausgeführt, dass der Anlaufvorgang vom Anfahrbefehl an in zeitlich ungefähr gleich lange Abschnitte aufgeteilt und der Ablauf dieser einzelnen Abschnitte durch je ein Zeitrelais (eines für Turbinen- und eines für Pumpenbetrieb) überwacht wird. Im Falle einer Störung wird die vorgesehene Zeit überschritten und ein Alarm ausgelöst, wenn erforderlich, auch die Notabstellung eingeleitet.

Die Anfahrvorgänge im Turbinen- bzw. im Pumpenbetrieb sind in Fig. 2 und 3 dargestellt; daraus ist zu ersehen, dass die Anfahrzeit im Pumpenbetrieb wesentlich länger ist (ca. 6 min) als im Turbinenbetrieb (ca. 3 min).

Die Kontrollabschnitte des Anfahrvorganges bei Turbinenbetrieb sind: Anfahrbefehl — Kugelschieber 30 % geöffnet — Erreichen der Nennzahl — Hauptschalter eingeschaltet. Bei Pumpenbetrieb: Anfahrbefehl — Leitapparat verlässt Leerlaufstellung — Hauptschalter ein — Öffnungsbefehl — Ringschieber — Ringschieber offen.

Die Zeiten der Kontrollabschnitte können nicht auf die Sekunde genau vorbestimmt werden, da bei den Anfahrbedingungen durch verschiedene äussere Einflüsse sowie auch beim Einschalten des Hauptschalters (bei diesem infolge der Synchronisierung) nicht exakt zu erfassende Verzögerungen entstehen können. Die eingestellten Zeiten sind vielmehr als obere Toleranzgrenze der durch sie erfassten Ablaufzeiten zu betrachten.

## 3. Die Zubringerpumpen

Der Aufbau der Zubringerpumpengruppen ist wesentlich einfacher, als der der Hauptmaschinengruppen. Der asynchrone Motor-Generator ist mit der Pumpe festgekuppelt. Die Pumpe wird in der Gegendrehrichtung als Turbine eingesetzt. Die ganze Gruppe bildet somit eine Einheit, die je nach Betriebsart in der einen oder anderen Drehrichtung arbeitet.

Für die Schmierung der Lager werden keine Ölpumpen benötigt; Turbinenregler, Spannungsregler und Kupplung entfallen; es wurde auch keine Bremse angebracht. Die bei den Hauptgruppen umfangreichen Hilfsbetriebe beschränken sich bei den Zubringerpumpen auf das Kühlwasserventil zu den zwei Kühlwassersystemen, je eines für das Spurlager und für den Luftkühler.

Der Aufbau der Steuerung der Zubringerpumpen weicht ebenfalls von demjenigen der Hauptgruppen ab. Diese Abweichung rührt davon her, dass die Zubringerpumpen während ihres Einsatzes in Abhängigkeit des Wasserspiegels im Ausgleichbecken Ferrera gesteuert, wogegen die Hauptgruppen nur vom Kommandoraum oder von Sils aus ein- und ausgeschaltet werden.

### 3.1 Betriebsarten, Steuerungsarten, Anspeisung

Im Pumpenbetrieb fahren die Gruppen bei entsprechend niedrigem Wasserstand des Ausgleichbeckens an, und pumpen das Wasser aus dem Stausee Sufers in das Ausgleichbecken Ferrera. Im Turbinenbetrieb hingegen fahren die Gruppen bei Erreichen eines entsprechend hohen Wasserstandes an und verarbeiten das Wasser aus dem Ausgleichbecken Ferrera, das dann dem Stausee Sufers zufließt.

Die Betriebsarten, Pumpen bzw. Turbinenbetrieb, werden für beide Gruppen gemeinsam durch einen Wahlschalter auf der Steuertafel Ferrera, bei Fernbedienung auch von der Steuertafel in Sils aus gewählt. Diese Umschaltung der Betriebsart ist die einzige Möglichkeit eines Eingriffes in die Steuerung der Zubringerpumpen vom Kraftwerk Sils aus.

Zum besseren Verständnis der Ausführungen der Steuerungsarten diene das Prinzipschema Fig. 4.

Die Steuerungsarten, «Hand» bzw. «Automatisch», werden pro Gruppe durch je einen Steuerschalter in der Steuertafel der Kommandostelle gewählt. Diese Steuerschalter haben drei Stellungen:

0 — Hand — Automatik

In der Stellung «0» können die Trenner, die Gruppenschalter zu den Zubringerpumpen, die Drosselklappe und

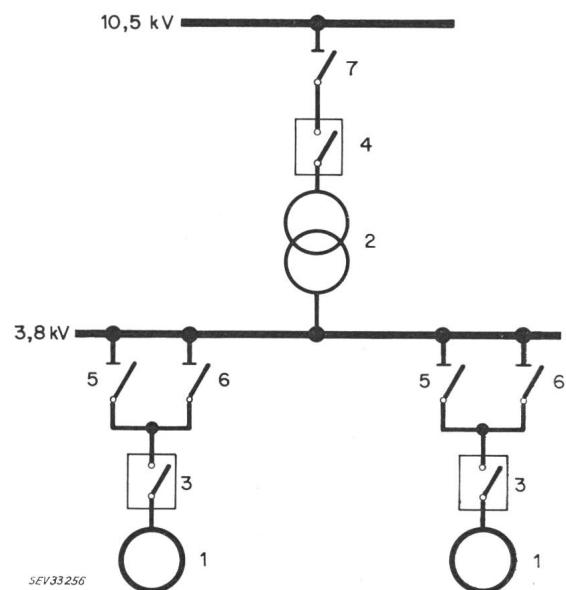


Fig. 4

#### Prinzipschema der Schaltung der Zubringerpumpen

1 Motor-Generator; 2 Transformator; 3 Gruppenschalter; 4 Transformatorschalter; 5 Trenner für Drehrichtung im Pumpenbetrieb; 6 Trenner für Drehrichtung im Turbinenbetrieb; 7 Transformatortrenner

die Kühlwasserventile unmittelbar einzeln von Hand betätigt werden, jedoch mit folgenden Beschränkungen:

a) Die Trenner können von der Steuertafel aus betätigt werden, aber nur bei geöffnetem Gruppenschalter der betreffenden Gruppe. Ausserdem kann ein Trenner nur eingeschaltet werden, wenn er für die Gegendrehrichtung ausgeschaltet ist.

b) Die Gruppenschalter der Zubringerpumpen können mittels Steuerquittungsschalter von der Steuertafel aus eingeschaltet werden, aber nur bei geöffnetem Zustand beider zugehöriger Trenner. Das Ausschalten des Gruppenschalters einer Zubringerpumpe ist nur bei geschlossener Drosselklappe möglich.

c) Die Drosselklappe kann vom Steuerkasten aus, aber nur bei geschlossener Revisionsdrosselklappe, betätigt werden.

d) Das Kühlwasserventil kann ohne jede Beschränkung betätigt werden.

In der Stellung «Hand» wird die Niveausteuering (=Anfahren bzw. Abstellen durch das Niveau-Zusatzgerät) von der Schalttafel aus mittels eines Impulsschalters freigegeben oder abgeschaltet. Somit ist es bei dieser Steuerungsart möglich, die Gruppe jederzeit abzustellen oder anzufahren, dieses jedoch nur, wenn das erforderliche Niveau im Ausgleichbecken vorhanden ist. Nach Abstellung, sei sie von Hand, oder durch das Niveau-Zusatzgerät erfolgt, muss aber der Anfahrbefehl jeweils von neuem gegeben werden. Somit kann die Gruppe durch die Niveausteuering wohl automatisch abgestellt, aber nicht automatisch angefahren werden.

In der Stellung «Automatik» bedarf es keines Eingriffes von Hand, die Niveausteuering arbeitet frei, die zum Anfahren notwendigen Schaltungen werden selbsttätig vollzogen. Bei dieser Steuerungsart kann von der Maschinentafel aus in keiner Weise mehr in die Steuerung der Gruppe eingegriffen werden.

Beim Umschalten auf Fernbedienung werden die Gruppen ohne weiteren Eingriff auf «automatische» Steuerung geschaltet.

Die Anspeisung für Steuerung und Antrieb der Apparate erfolgt im allgemeinen von der Schalttafel aus, für die Drosselklappen und für den Düsenschieber von den Steuerkästen aus. Die Schalttafel hat drei Felder

Feld 1: Gruppe «A»

Feld 2: Schutzmotor-Generator Gruppen «A» und «B»

Feld 3: Gruppe «B»

Die Schalttafel und der Düsenschieber-Steuerkasten werden direkt aus der Eigenbedarfstafel angespeist, während die Anspeisung der Drosselklappen-Steuerkästen vom Schalttafeld der zugehörigen Gruppe aus erfolgt. Der Düsenschieber-Steuerkasten bezieht die Spannung unmittelbar von der Eigenbedarfstafel, da sie als für beide Gruppen gemeinsames Organ unabhängig von den Gruppen gespeist werden muss.

Infolge der gegenüber der Hauptmaschinen kleineren Anzahl der Hilfsorgane konnte deren Anspeisung direkt von der Schalttafel aus erfolgen, so dass ein besonderer Verteilkasten wie er bei den Hauptmaschinengruppen zweckmässig war, hier vermieden werden konnte.

### 3.2 Betriebsvorbedingungen

Zum Einschalten der Gruppenschalter der Zubringerpumpen müssen jeweils bestimmte Vorbedingungen erfüllt sein; diese werden ähnlich den Hauptgruppen wie folgt aufgeteilt:

a) Vorbedingungen, die keinen Eingriff erfordern.

α) Eigenbedarfsspannung und Hilfsspannungen vorhanden.

β) Erforderlicher Zulaufdruck vorhanden.

γ) Erforderlicher Wasserstand im Ausgleichbecken vorhanden (Niveausteuering).

b) Vorbedingungen, die für die Gruppen gemeinsam von Hand eingestellt werden müssen.

α) Pumpstollenschütze offen.

β) Überleitungsschütze offen.

γ) Pumpendrosselklappe von 1000 mm Durchmesser geschlossen.

δ) Revisionsdrosselklappe  $\phi$  1500 offen.

ε) Düsenschieber geschlossen (nur im Pumpenbetrieb, im Turbinenbetrieb hat der Düsenschieber seine eigene Aufgabe) (siehe 3.6).

ζ) Wahlschalter in der der Betriebsart entsprechenden Stellung.

c) Vorbedingungen, welche einzeln pro Gruppe durch Betätigung verschiedener Organe erfüllt werden müssen.

α) Verlassen der Schließstellung der eigenen Drosselklappe um  $6^\circ$ .

β) Voll offene Stellung der Drosselklappe der erstanlaufenden Gruppe (gilt für die der eingestellten Schaltfolge entsprechend zweitanlaufende Gruppe).

γ) Strömung des Kühlwassers für das Spurlager und für den Luftkühler.

Wenn die aufgeführten Vorbedingungen erfüllt sind, kann der Gruppenschalter der Zubringerpumpen eingeschaltet und somit die Gruppe angefahren werden. Bei einmal eingestellter Niveausteuering würde ohne weitere Massnahme immer die eine Gruppe zuerst und nur im Falle gesteigerten Zubzw. Abflusses im Ausgleichbecken auch die andere Gruppe eingeschaltet. Es wäre daher unumgänglich, dass die eine Gruppe innert einer gewissen Zeitspanne eine viel grössere Betriebsstundenzahl aufweisen würde als die andere. Durch einen in der Steuertafel eingebauten Wahlschalter für die Umkehrung der Einschaltreihenfolge ist es möglich, den Betrieb der beiden Gruppen so zu führen, dass die Laufzeiten ausgeglichen werden.

Durch Verriegelung des Anfahrbefehls für die zweite Gruppe über einen Endkontakt der Drosselklappe der zuerst angefahrenen Gruppe wird vermieden, dass beide Gruppen gleichzeitig an das Netz geschaltet werden, dies auch dann nicht, wenn zufällig die Niveausteuering der Gruppen gleich eingestellt wären. Es wird somit verhindert, dass das Netz durch den gleichzeitigen Start zweier Gruppen belastet wird.

### 3.3 Anfahren und Abstellen der Gruppen

3.3.1 *Handsteuerung.* Erst wird das Kühlwasserventil geöffnet, hernach wird, wie bereits erwähnt, die Niveausteuering durch den Anfahrbefehl von Hand freigegeben. Ist das der Betriebsart entsprechende Minimal- bzw. Maximalniveau bereits erreicht, wird der Anfahrbefehl sofort durchgeführt, andernfalls erst, nachdem das erforderliche Niveau erreicht ist. Das Niveau kann in der Kommandostelle am Anzeigerät abgelesen werden.

Der Startbefehl veranlasst, dass zuerst die Drosselklappe geöffnet wird. Bei  $6^\circ$  Öffnung derselben erteilt ein Endschalter dem Gruppenschalter der Zubringerpumpe den «Ein»-Befehl. Nach dem Anfahrbefehl für eine der Gruppen wird auch dem Transformatorenschalter der Einschaltbefehl gegeben. Beim Anfahrvorgang im Pumpenbetrieb wird bei 30% Öffnung der Drosselklappe die Ölpumpe derselben durch ein Zeitrelais ausgeschaltet und die Öffnung für 4...5 min in dieser Stellung gehalten, dies, um die durch die Saugwirkung der Pumpe hervorgerufenen Druckschwankungen im Überleitungsstollen von Sufers her abklingen zu lassen. Nachher wird wieder weiter geöffnet; mit Erreichen der Vollöffnung ist der Anlaufvorgang beendet.

Erreicht die Drosselklappe innert einer vorgeschriebenen Zeit die Vollöffnung nicht, dann muss die Revisionsdrosselklappe geschlossen werden. Diese vorgeschriebene Zeit ist, infolge der bereits beschriebenen Verzögerung des Öffnungsvorganges im Pumpenbetrieb, für die beiden Betriebsarten verschieden. Die zwei erforderlichen Zeitwerte werden durch zwei Zeitrelais erfasst, welche die Revisionsdrosselklappe selbsttätig schliessen, falls die eingestellte Öffnungszeit der Drosselklappen überschritten wird. Ausserdem wird die Stockung der Drosselklappen signalisiert.

Beim Abstellen wird durch die Impuls-gabe zuerst der Magnet des Steuerventils der Drosselklappe abfallen. Das Schliessen der Drosselklappe beginnt, gleichzeitig wird der Stromkreis der Ölpumpe geöffnet, so dass die Ölpumpe nicht mehr anfahren kann. Der Schliessvorgang der Drosselklappen wird durch ein Ventil zwecks Vermeidung von Druckwellen verzögert. Ein Endschalter der Drosselklappe gibt bei geschlossener Stellung derselben dem Gruppenschalter den «Aus»-Befehl. Das Kühlwasserventil wird durch das Öffnen des Gruppenschalters geschlossen. Nach dem Abstellbefehl für beide Gruppen wird auch der Transformatorschalter selbsttätig abgeschaltet. Wenn beide Gruppenschalter ausgeschaltet sind, kann der Transformatorschalter von Hand mittels seines Steuerquittungsschalters in der Steuertafel ein- bzw. ausgeschaltet werden.

3.3.2 *Automatische Steuerung.* Die oben beschriebenen Vorgänge werden sich bei automatischer Steuerung ohne jeden Handeingriff abspielen.

Die bereits beschriebene Art der Abstellung ist die sog. Normalabstellung, bei welcher also die Gruppe bis zur erfolgten Schliessung der Drosselklappe am Netz angeschlossen bleibt. Es können aber Betriebsstörungen auftreten, bei welchen der Gruppenschalter sofort abgeschaltet werden muss. In diesen Fällen wird eine Notabstellung eingeleitet. Bei dieser wird der Gruppenschalter unmittelbar durch den Notauslöseschutz abgeschaltet und die Drosselklappe über den durch den Notauslöseschutz betätigten Abstellkippschutz geschlossen.

### 3.4 Steuerung der Gruppen durch das Niveau im Ausgleichbecken Innerferrera

Der Wasserstand des Ausgleichbeckens wird auf ein besonderes Zusatzgerät des Niveaumanzeigeinstrumentes übertragen. Dieses Gerät enthält je nach Betriebsart und Gruppe ein Kontaktpaar, d. h. insgesamt vier Kontaktpaare (Fig. 5, Skalen b, c, d, e). Je einem Kontakt der Kontaktpaare ist ein höheres, dem anderen ein tieferes Niveau zugeordnet. Jeder der erwähnten Niveaunkontakte kann unabhängig von den anderen eingestellt werden, mit der Beschränkung, dass die zu einem Kontaktpaar gehörenden Kontakte nicht unter eine, durch die Konstruktion bedingte Niveaudifferenz eingestellt werden können. Jedes Kontaktpaar betätigt je einen Steuerungsschutz, dessen Kontakte die Steuerbefehle auf die Drosselklappe und auf die Gruppenschalter übertragen.

Die Steuerung durch das Niveau-Zusatzgerät kann im Handbetrieb zwecks Versuche oder für den Fall einer gelegentlichen Störung mit Hilfe eines Schalters gleichzeitig für beide Gruppen aufgehoben werden. Solange die automatische Niveausteu-erung aufgehoben ist, wird dies an der Steuertafel durch eine Signallampe angezeigt.

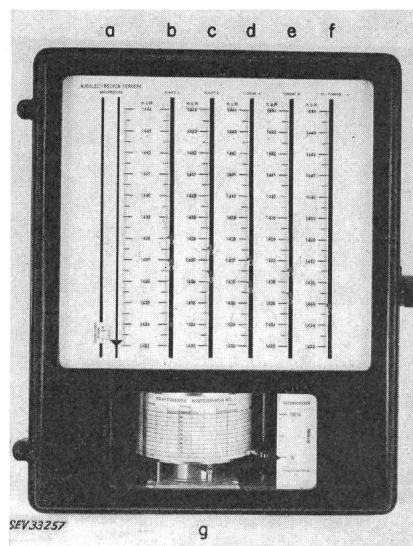


Fig. 5

#### Zusatzgerät des Niveaumessgerätes für das Ausgleichbecken Innerferrera

An den Skalen können die Grenzwerte eingestellt werden: a für die Höhe des 40-cm-Regulierbereiches für Düsenschieber und Wasserstand; b für die Pumpe 1; c für die Pumpe 2; d für die Turbine 1; e für die Turbine 2; f für die Abschaltung der Speicher-pumpen (Hauptmaschinengruppe); g für die Registrierung der Düsenschieberöffnung

Im Pumpenbetrieb fährt die Gruppe bei Sinken des Wassers auf das eingestellte Minimalniveau an. Angenommen, dass der Wasserstand zu steigen anfängt, muss die Pumpe nach Erreichen des eingestellten höheren Niveaus wieder abgestellt werden, das Wiederanfahren erfolgt nach abermaligem Sinken auf das Minimalniveau. Die Niveaunkontakte sind zu diesem Zweck so geschaltet, dass sie beim Überschreiten des Einstellwertes öffnen und beim Unterschreiten desselben schliessen (Öffnungskontakte).

Sollte nach Anfahren der ersten Gruppe das Niveau noch weiter sinken, dann wird nach Erreichen des tiefer eingestellten Niveaus auch die zweite Gruppe anfahren.

Im Turbinenbetrieb stehen die Verhältnisse umgekehrt wie beim Pumpenbetrieb. Beim Erreichen des eingestellten oberen Niveaus fährt die Turbine an und nach Sinken des Wassers auf das untere Niveau wird sie wieder abgestellt, das Wiederanfahren erfolgt sinngemäss nach abermaligem Erreichen des oberen Niveaus. Die Niveaunkontakte müssen sich beim Überschreiten des Einstellwertes schliessen und beim Unterschreiten desselben öffnen (Schliesskontakte).

Die Niveaunkontakte der beiden Gruppen sind gegeneinander so zu verschieben, dass die eine Gruppe jeweils früher angelassen und ebenfalls früher abgestellt wird als die andere. Das für den Turbinenbetrieb erforderliche Höchst- bzw. für den Pumpenbetrieb erforderliche Mindestniveau gilt sowohl für automatischen als auch für Hand-Betrieb. In 0-Stellung des Wahlschalters für die Steuerungsart können sowohl der Gruppenschalter als auch die Drosselklappe vom Niveau unabhängig betätigt werden. Bei einem einstellbaren Tiefstniveau (Fig. 5, Skala f) werden die im Betrieb stehenden Speicher-pumpen abgestellt.

### 3.5 Wechsel der Betriebsart (Betriebswechsel)

Die Drehrichtung im Pumpenbetrieb ist derjenigen im Turbinenbetrieb entgegengesetzt; demzufolge muss bei Betriebswechsel die Phasenfolge des Motorgenerators auch ent-

sprechend gewechselt werden. Der dazu erforderliche Phasenwechsel wird mittels der Trenner erstellt. Bei Betriebswechsel muss die Gruppe abgestellt werden, und der Motor-generator darf nur wieder auf das Netz geschaltet werden, wenn die Gegendrehzahl unter 60 U./min gefallen ist, dies um Beschädigungen durch zu grosse Stromaufnahme oder mechanische Überbeanspruchung zu vermeiden.

Die einzelnen Vorgänge des Betriebswechsels, beispielsweise von Pumpen- auf Turbinenbetrieb spielen sich in der nachstehend aufgeführten Reihenfolge ab:

- a) Drosselklappe erhält Schliessbefehl,
- b) Drosselklappe Schliessvorgang beendet,
- c) Gruppenschalter öffnet,
- d) Trenner öffnet,
- e) Trenner für Gegendrehrichtung schliesst,
- f) Drosselklappe erhält Öffnungsbefehl nachdem die Drehzahl auf 60 U./min gefallen ist,
- g) Gruppenschalter schaltet ein.

### 3.6 Düsenschieber

Wenn das Niveau des Ausgleichbeckens infolge reichlichen Wasserzuflusses einen Höchstwert überschreitet, muss das Wasser, um nicht verlorenzugehen, in den Stausee Sufers übergeleitet werden. Diese Funktion wird durch den Düsenschieber versehen, und zwar nur im Turbinenbetrieb.

Die Abführung des überschüssigen Wassers erfolgt in Abhängigkeit des Wasserstandes innerhalb eines Regulierbereiches von 80 cm. Die Öffnung des Düsenschiebers in diesem Bereiche wird in 20 Stufen von je 4 cm Wasserstandsunterschied automatisch geregelt, von geschlossener Stellung bei unterer Bereichsgrenze bis Volloffenstellung bei oberer Bereichsgrenze. Einer Stufe entspricht 21 mm Weg des Düsenschieberhubes, der somit insgesamt 420 mm beträgt.

Der Regulierbereich selber kann mittels des im Abschnitt 3.4 beschriebenen Zusatzgerätes auf jeweils entsprechende Höhe verschoben werden (Fig. 5, Skala a).

Die Sicherungen, der Automat sowie die Schütze der Steuerspannung für die Düsenschiebereinrichtung sind in einem separaten Steuerkasten untergebracht. Der Düsenschieber wird in der Regel automatisch gesteuert. Durch einen Schalter in der Steuertafel kann er auf Handsteuerung eingestellt werden. Die Handsteuerung erfolgt mittels Druckknöpfen am Steuerkasten.

Schliesslich kann die elektrische Steuerung mit Hilfe eines Handschalters am Düsenschieber selbst abgeschaltet und der Düsenschieber mittels eines Handrades eingestellt werden. Diese Möglichkeit des Eingriffes von Hand an Ort und Stelle wird auf der Steuertafel und am Steuerkasten durch je eine Signallampe angezeigt.

### 4. Schlussbemerkungen

Die automatische Steuerung der Hauptmaschinengruppen im Turbinenbetrieb wurde anfangs 1962, im Pumpenbetrieb gegen Ende 1963, dem Betrieb übergeben; unmittelbar danach erfolgte auch die Inbetriebsetzung der Fernbedienungsanlage. Die Wahl der Betriebsart sowie das Anfahren und das Abstellen von Sils aus wurden mit Erfolg durchgeführt.

Anfangs 1964 wurde auch die automatische Steuerung der Zubringerpumpen in Betrieb gesetzt, ebenso die Wahl der Betriebsart durch Fernbedienung von Sils aus erfolgreich durchgeführt.

#### Adresse des Autors:

Peter E. Kisfaludy, «Motor Columbus» AG für elektrische Unternehmungen, 5400 Baden.

## Ein Beitrag zur Berechnung des Übertragungsverhaltens von Stoßspannungsteilern

Von W. Zaengl und K. Feser, München

621.317.727.1.015.33

*Jeder Spannungsteiler für hohe Stoßspannungen setzt sich wegen seiner grossen, räumlichen Ausdehnung aus einem komplizierten Netzwerk von Widerständen, Kondensatoren und Induktivitäten zusammen. Die aus einem hinreichend genauen Ersatzschaltbild berechnete Rechteckstossantwort eines allgemeinen Teilertyps ist auf einfache Weise nicht mehr diskutierbar. Daher wurden Zahlenbeispiele mit Hilfe einer elektronischen Rechenmaschine berechnet, die zu einem guten Einblick in das Übertragungsverhalten der Teiler führen. Berücksichtigt wurde dabei insbesondere der Ohmsche Spannungsteiler.*

*Du fait de son ampleur, un diviseur de tension pour hautes tensions de choc constitue un réseau compliqué de résistances, condensateurs et inductances, de sorte qu'il n'est plus possible d'interpréter simplement la réponse, sous forme de choc à front raide, d'un type général de diviseur de tension, calculée en se basant sur un schéma équivalent suffisamment exact. On a donc calculé des exemples numériques à l'aide d'un calculateur électronique, ce qui donne un bon aperçu du comportement de transmission de ces diviseurs de tension, notamment dans le cas de diviseurs ohmiques.*

### 1. Einleitung

Zur Ermittlung des zeitlichen Verlaufes von Stoßspannungen werden Spannungsteiler verwendet, die die hohen Eingangsspannungen bis zu mehreren Millionen Volt auf eine Ausgangsspannung von einigen Hundert Volt herabsetzen, so dass diese mit den gebräuchlichen Warmstrahl- oder Kalt-Kathodenstrahloszillographen aufgezeichnet werden können. Derartige Stoßspannungsteiler lassen sich unter Verwendung technologisch einwandfreier Baumaterialien und bei guter, hochspannungstechnischer Ausbildung als Ohmsche, kapazitive oder gemischt Ohmsch kapazitive Spannungsteiler ohne weiteres so herstellen, dass der Scheitelwert voller oder im Rücken abgeschnittener Stoßspannungen mit vernachlässigbar kleinen Fehlern wiedergegeben wird. Auch eine Ermittlung der für den Stoßspannungsverlauf charakteristischen Daten

(Stirnzeit, Rückenhalbwert-Zeit, Überschlagzeit) bleibt dabei meist innerhalb der nach VDE 0450 zulässigen Fehlergrenzen.

Recht erhebliche Messfehler können jedoch auftreten, wenn in der Stirn abgeschnittene Stoßspannungen erfasst werden müssen (Fig. 1). Derartige Keilwellen sind Hochspannungsimpulse, die bei Überschlagzeiten von weniger als 1...2  $\mu$ s bedeutende hochfrequente Schwingungsanteile enthalten. Durch eine Zerlegung dieser einmalig verlaufenden, zeitabhängigen Vorgänge mit Hilfe des Fourier-Integrals lässt sich nachweisen, dass aus einer Keilwelle, die z. B. durch das Abschneiden einer VDE-Stoßspannung 1/50 nach 0,5  $\mu$ s entsteht, noch 10-MHz-Schwingungen enthalten sind, deren Amplituden 5% der Grundwellenamplituden betragen.

Die von einem Spannungsteiler für die Messung abgeschnittener Stoßspannungen zu fordernde Eigenschaft besteht