

**Zeitschrift:** Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins  
**Herausgeber:** Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke  
**Band:** 38 (1947)  
**Heft:** 11  
  
**Rubrik:** CIGRE : Conférence Internationale des Grands Réseaux Electriques à haute tension : 11. Session, Paris 1946 [Fortsetzung]

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. 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. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

### **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. [Voir Informations légales.](#)

### **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. [See Legal notice.](#)

**Download PDF:** 03.04.2025

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

die Beobachtung aller Lichtbögen während des Betriebes gestatten.

Die Anlage ist in allen Teilen so geplant, dass sie auch als Betriebsanlage Verwendung finden kann. Die Brauchbarkeit der Sechs-Teilstrecken-Ventile für die gewaltigen Beanspruchungen mit einer Sperrspannung von mehr als 300 kV bei einer Betriebsstromstärke von 500 A muss allerdings durch die Versuchsanlage erst noch erwiesen werden. Jedenfalls werden die mit dieser Anlage zu gewinnenden Ergebnisse für die Uebertragung sehr grosser Mengen elektrischer Energie über weiteste Entfernungen wohl sicher von sehr grosser Bedeutung sein.

Es sei zum Schluss nochmals darauf hingewiesen, dass die Frage zur Zeit noch keineswegs entschieden ist, ob Marx-Ventile oder Quecksilberdampf-Ventile für die Zwecke der Gleichstrom-Hochspannungsübertragung besser geeignet sind. Quecksilberdampf-Ventile sind schon seit langen Jahren im praktischen Betriebe eingesetzt, und sie haben sich sehr gut bewährt. Sie sind jedoch bisher noch bei weitem nicht für die hohen Spannungen gebaut worden, die hier erforderlich sind. Man muss bei dem heutigen Entwicklungsstand mit der Reihenschaltung vieler Ventile rechnen, wenn man die für die Gleichstrom-

Hochspannungsübertragung benötigten Spannungen und Leistungen mit Quecksilberdampf-Ventilen beherrschen will. Welche Schwierigkeiten sich daraus ergeben werden, ist zur Zeit noch unbekannt. Die Marx-Ventile haben dagegen den Vorzug, dass die volle Sperrspannung mit einem einzigen Gefäss beherrscht werden kann. Nachteilig ist andererseits, dass die Ventile mit ihren Hilfseinrichtungen noch nicht im praktischen Dauerbetrieb erprobt sind, und dass die Gesamtverluste bei diesen Ventilen infolge des höheren Spannungsabfalles und infolge des Leistungsbedarfes der Gebläse nicht unerheblich grösser werden als bei Quecksilberdampf-Ventilen. Wenn es, wie zu erwarten, gelingt, durch die bereits ange-deuteten Neuentwicklungen (synchron angetriebene Elektrodenbewegung) die Verluste der Marx-Ventile erheblich herabzusetzen, dann würde dadurch der einzige wesentliche Nachteil der Marx-Ventile wegfallen. Bei der ausserordentlich grossen Wichtigkeit des geschilderten Problems wird es bei dieser Sachlage nötig sein, Versuche mit beiden Ventilarten intensiv fortzusetzen, um bald zum Ziele zu kommen. Ein gegenseitiger Erfahrungsaustausch dürfte dabei natürlich sehr im allgemeinen Interesse liegen.

Adresse des Autors:

Dr.-Ing. Adil Erk, z. Z. Sonneggstrasse 80, Zürich 8.

## CIGRE

### Conférence Internationale des Grands Réseaux Electriques à haute tension

#### II. Session, Paris 1946

(Fortsetzung von Seite 282)

061.3:621.3

#### I. Sektion

621.313.32

##### Gruppe 11: Wechselstromgeneratoren

621.313.32.013.8

A. Erregungssystem der Wechselstromgeneratoren. Referat von Roland David. Das Referat, Nr. 101 (Frankreich), umfasst 16 Seiten Text mit 14 Figuren im Text.

In der Untersuchung der Stabilität der Netze spielt die Zeit eine Rolle, welche bis zur Rückkehr des Ankerflusses der Wechselstromgeneratoren nach einer Störung verstreicht. Der Verfasser untersucht die Rolle des Erregungssystems und unterstreicht die Wichtigkeit des Verhältnisses zwischen dem Endstrom, den die übererregte Erregermaschine im Rotor fliessen lässt, und dem Anfangsstrom, der sich im Rotor im Augenblick eines Belastungsschosses entwickelt. Um eine nützliche Wirkung vor Behebung der Störung zu erzielen, ist ein sehr hohes Verhältnis (5...6) der erreichbaren Höchstspannung der Erregermaschine zur Normalspannung nötig. Daher muss man zu grossen Erregermaschinen greifen, wenn sie auf die Welle des Wechselstromgenerators montiert sind, oder zu separaten Erregermaschinen. Die erste Lösung ist mit den gegenwärtigen konstruktiven Tendenzen vereinbar, welche die Beschränkung der Höhe der Maschinensätze zu erreichen suchen und darauf abzielen, den Durchmesser der Erregermaschine zu erhöhen, um die Leitererregmaschine im Inneren der Maschine unterzubringen. Die zweite Lösung ist, obwohl sie die Zeitkonstante der Erregermaschine herabsetzt, umstritten, denn sie setzt die Betriebssicherheit zugunsten der Abtrennung des Erregeraggregats herab.

Der Verfasser prüft hierauf die verschiedenen Erregungssysteme hinsichtlich der Raschheit ihres Eingreifens bei einer Störung. Diese Systeme können in zwei Kategorien eingeteilt werden, nämlich in

1. die Systeme mit gesteuertem Impuls, in welchen die Uebererregung der Erregermaschine vom Eingreifen eines Gerätes (Impulskontaktschalter oder Impulsregler) abhängt, das

die Zusammensetzung der Erregerstromkreise der Erregermaschine ändert und durch die Spannung beeinflusst wird; diese Systeme sind mit unvermeidlichen Verzögerungen behaftet;

2. die Systeme mit spontaner Reaktion, in denen die anfängliche Uebererregung der Erregermaschine durch die unter der Wirkung der Störung von selbst eintretende Stromänderung in den Rotorwicklungen hervorgerufen wird, wobei die Rolle der Regler sich darauf beschränkt, die von selbst eingeleitete Korrektur zu verstärken.

In der ersten Kategorie betrifft eines der am meisten verwendeten Systeme eine Haupterregmaschine mit zwei getrennten Erregerwicklungen, wovon die eine zur normalen Regulierung, die andere, sogenannte «Impulswicklung», mit von einem Kontaktschalter oder Regler betätigter Inbetriebsetzung, sobald im Stromkreis des Wechselstromgenerators eine starke Spannungsänderung auftritt, zur zusätzlichen Regulierung dient. Dieses System enthält oft eine äussere Gegeninduktionsspule, welche die Gegeninduktivität zwischen den Wicklungen auf Null herabsetzen soll, um von der Impulswicklung das Höchstmass an Raschheit des Eingreifens zu erreichen; diese Wicklung kann jedoch weggelassen werden, wenn man, wie bei den langsam laufenden Grossleistungs-Wechselstromgeneratoren, deren elektromagnetische Trägheit sehr hoch ist, nicht sehr hohe Spannungsgradienten an den Erregermaschinen, sondern nur die Konstanz des Flusses im Wechselstromgenerator zu erhalten sucht. Für solche Maschinen kann eine Herabsetzung der Ansprechzeit nur durch eine Erhöhung der erreichbaren Höchstspannung der Erregermaschine erzielt werden.

Die Vorrichtungen der zweiten Kategorie, mit sehr geringer Trägheit, benützen entweder die Aenderung des Rotorstroms einer Hauptschlusserregermaschine bei einem Belastungsschoss, um die unmittelbare Aenderung des Induktionsflusses der Maschine zu erzeugen, oder einen von dieser Aenderung induzierten Strom; man unterscheidet daher zwei Erregungssysteme: die Serieerregung von G. Darrieus, und die indirekt induzierte Erregung.

Die reine Serieerregung erlaubt nicht, im Augenblick eines Belastungsschosses die Verstärkung des Induktionsflusses über den Wert hinaus zu erhalten, der sich von selbst zu entwickeln strebt; es ist daher nötig, ihr Ergänzungsvorrichtungen beizugeben, z. B. die an den Wechselstromgeneratoren des Kraftwerkes «Aigle» verwendeten<sup>1)</sup>, oder zu einem Transformator mit Luftspalt zu greifen, der sehr bedeutende Abmessungen erreichen kann. Um diesen Nachteil zu vermeiden, kam der Verfasser auf den Gedanken, den Luftspalttransformator auf eine kleine als Spannungsregulier-Zusatzmaschine in den Erregerstromkreis oder in einen der Erregerstromkreise der Haupterregemaschine eingeschaltete Zwischenmaschine, die selbst eine Serieerregemaschine sein kann, wirken zu lassen.

Diese verschiedenen Erregungssysteme können mit einer Spezial-Leitererregemaschine mit grossem Verstärkungskoeffizienten, also geringer Regulierleistung, kombiniert werden, die von einem elektronischen Regler abhängig ist. Diese Erregemaschine kann ein Typ mit einer einzigen Stufe und Selbsterregung (Rototrol), oder ein zweistufiger Typ (Amplidyne) sein.

621.315

**B. Die Energieübertragung auf sehr weite Entfernung und die künstliche Stabilisierung der Wechselstromnetze.** Referat von G. Darrieus. Das Referat, Nr. 110 (Frankreich), umfasst 17 Seiten Text mit 5 Figuren im Text.

In der Einleitung deutet der Verfasser an, dass die Untersuchungen des Energietransports bei hochgespanntem Gleichstrom zeigen, dass diese Lösung gegenwärtig nur in Ländern, wo die Versorgung mit elektrischer Energie erst im Anfang steht, und für sehr weite Entfernungen in Betracht kommt. Dort würde man die Nachteile der Erzeugung der Blindenergie leichter hinnehmen, welche an Ort und Stelle von den durch die Uebertragung belieferten Wechselstrom-Verteilnetzen benötigt wird und auch wegen der Mutatoren erforderlich ist, die am Ende der Leitung die Umformung des Gleichstroms in Wechselstrom besorgen (1400 MVar für 1000 MW). Dagegen behält in grossen Ländern mit starker Bevölkerungs- und Verteildichte die Energieübertragung mit Wechselstrom, trotz der Grenzen, die der Koronaeffekt der Spannungserhöhung setzt, wegen ihrer Anpassungs-, Erweiterungs- und Anschlussmöglichkeit an die Verteilnetze ihre Ueberlegenheit. In dieser Hinsicht hat sich die Entwicklung der Netze stets so vollzogen, dass man einem an der Leistungsgrenze angelangten Netz neue Leitungen mit höherer Spannung überlagerte. Diese, später durch Querleitungen vervollständigt, bilden ein vermaschtes Netz, das wieder einer Erweiterung fähig ist, die eine Vermaschung höherer Ordnung entstehen lässt, und so fort, wobei Spannungen und Uebertragungsentfernungen vom einen Knoten einer Masche zum andern im Verhältnis der Vielfachen von 2 wachsen.

Wenn man sich an die normale Frequenz von 50 Hz hält, wird bekanntlich die Uebertragung der Energie auf einer einfachen Leitung im Normalbetrieb, d. h. ohne Phasenverschiebung, für am Anfang und Ende gegebene Spannungen instabil, wenn die Länge dieser Leitung 1500 km überschreitet; 1500 km entspricht einem Viertel der Wellenlänge, für den die übertragene Leistung theoretisch maximal ist, da die Phasenverschiebung zwischen den Spannungen dann gleich 90° beträgt. Diese Entfernung ist immer noch erheblich grösser als die gegenwärtig erzielten Uebertragungsentfernungen (500 km); jedoch kann wegen der Induktivität der Synchronmaschinen die Phasenverschiebung höhere Werte erreichen als die durch die Leitung allein verursachte. In der Praxis genügt der Spannungsregler zur Sicherung der statischen Betriebsstabilität.

Das Erregungssystem, das ein Mindestmass an Tätigkeit des Reglers erfordert, ist die Serieerregemaschine, von der der Verfasser verschiedene Ausführungsformen, kombiniert mit geeigneten elektrischen Reglern, berechnet hat.

Dadurch, dass eine solche Serieerregemaschine selbsttätig einen entweder in den Feldmagneten konstanten oder mit der Belastung wachsenden resultierenden Fluss, oder, was auf dasselbe herauskommt, eine konstante Spannung in einem vom Wechselstromgenerator mehr oder weniger entfernten Punkt der Uebertragung (Klemmen des Wechsel-

stromgenerators, des Transformators usw.) aufrechterhält, wird der Regler für andere Aufgaben frei. Diese umfassen ausser der Beschleunigung und Vollendung der Regulierung auf den neuen Betriebszustand jede rasche Einwirkung auf den Induktionsfluss oder die Spannung, welche die Eigenschaften der Serieerregemaschine mit Hilfe einer Zusatzwicklung ohne Rücksicht auf die Reaktionen, die sich diesem Eingreifen allenfalls zu widersetzen suchen, auszunützen gestatten. Diese Unabhängigkeit verbürgt nicht nur eine grosse Schnelligkeit der Wirkung, sondern vereinfacht auch die Analyse und die Berechnung der Regulierungsergebnisse, was zur Verbesserung der Stabilität des Betriebes beiträgt.

Die Verwendung der Serieerregemaschine gestattet die Sicherung der Stabilität für die normale Leistung einer Leitung von irgendwelcher Länge, und zwar ohne Beeinträchtigung ihrer natürlichen Konstanten. Ein Beispiel zeigt die Faktoren, die in die Regulierung eingreifen müssen. Die Stabilitätsbedingungen, die aus der Anwendung des Hurwitzschen Kriteriums auf die Lösung der die Entwicklung des Winkelunterschiedes angehenden Gleichung abgeleitet werden, sind unabhängig vom Trägheitsmoment des Generators, obgleich die Rückkehr zum Zustand des Dauerbetriebs nach einer Störung natürlich davon abhängt. Diese Erwägungen erweisen die Nutzlosigkeit gewisser Lieferbedingungen, die darauf abzielen, für das Schwungmoment ( $Gd^2$ ) besonders hohe Werte vorzuschreiben, um etwas zu erreichen, was rationeller und wirtschaftlicher mit Reglern erzielbar ist.

621.3.015.33; 621.3.048

**C. Die Beanspruchung der Maschinenwicklungen durch Stoßspannungen, und die Frage der Koordination der Isolationen rotierender Maschinen.** Referat von M. Wellauer. Das Referat, Nr. 117 (Schweiz), umfasst 29 Seiten Text mit 17 Figuren und 3 Tabellen im Text.

Der Verfasser untersucht das Verhalten der von Stoßspannungen beanspruchten Maschinenwicklungen im Zusammenhang mit der Frage der Koordination der Isolationen rotierender Maschinen. Dadurch, dass man die Wicklung einer Leitung mit konstantem Wellenwiderstand gleichsetzt, ist es möglich, die Spannungen gegen Erde, die sich infolge einer Beanspruchung durch eine Stoßspannung am Eintritt der Wicklung und am Nullpunkt herausbilden, in befriedigender Weise zu bestimmen. Die Spannung gegen Erde erreicht ihren Höchstwert am Nullpunkt, wo sie jedoch den doppelten Wert der anfänglichen Stoßspannung nicht überschreitet.

Um die Spannungsverteilung in der Wicklung sowie die Beanspruchung der Windungen und der Lagen zu bestimmen, wird die Wicklung als ein Kettenleiter betrachtet. Für eine Wicklung mit einer einzigen Lage pro Nute kann die Rechnung mit Genauigkeit durchgeführt werden. Hingegen ist es nötig, zu Modellversuchen überzugehen, sobald es sich darum handelt, die Gegenkapazitäten und die Kapazitäten gegen Erde von Wicklungen mit mehreren Lagen pro Nute zu bestimmen. Wenn diese Kennwerte bekannt sind, kann man die Verteilung der Spannung sowie die maximalen Windungsspannungen bei Beanspruchung mit einer Stoßspannung von rechteckiger Form berechnen. Die Messungen bei Stoßspannungen mit sehr steiler Front und flachem Rücken stimmen mit den berechneten Werten gut überein.

Der Berechnung der Windungsspannungen bei einer Stoßspannung von bestimmter Frontdauer kommt grosse praktische Bedeutung zu; die gleichwertige Vierpolkette besitzt nämlich eine kritische Frequenz, welche das Verhalten der von einer Stoßspannung beanspruchten Wicklung kennzeichnet. Die Stoßspannungen, deren Frontdauer höher als die kritische Halbperiode ist, rufen in der Wicklung eine lineare Spannungsverteilung und gleichförmige Windungsspannung hervor, während die Stoßspannungen mit kürzerer Frontdauer zu höheren Windungsspannungen Anlass geben, die exponentiell vom Eintritt in die Wicklung an immer schwächer werden.

Der Verfasser untersucht hierauf das Problem der Koordination der Isolationen auf Grund der Stoßspannungen, die sich im Betrieb einstellen können. Die bis jetzt für die Isolation gegen Erde vorgesehene Durchschlagfestigkeit genügt für Maschinen, die von den Freileitungen durch Transformatoren getrennt sind. Abgesehen von Ausnahmen sind hier Schutzvorrichtungen überflüssig.

<sup>1)</sup> Besnard, L.: Le barrage et l'usine génératrice de l'Aigle. Rev. gén. Electr. Bd. 55(1946), Nr. 5, S. 173...192.



Die direkt an Freileitungen angeschlossenen Maschinen sollten imstande sein, eine Stoßspannung von  $3,3 U_n \sqrt{2}$  auszuhalten, und müssen gegen Ueberspannungen durch sorgfältig bestimmte Vorrichtungen geschützt sein. Der Nullpunkt ist durch Ueberspannungsableiter oder Widerstände besonders zu schützen. Die am Wicklungseintritt und am Nullpunkt angeschlossenen Ueberspannungsableiter sind derart einzustellen, dass Ansprechspannung und Restspannung den Wert  $2,7 U_n \sqrt{2}$  nicht überschreiten.

Die Durchschlagfestigkeit der Windungen der Maschinenwicklungen muss derart gewählt werden, dass die Spulen der Wicklung imstande sind, eine Stoßspannung von  $2 U_n \sqrt{2}$  auszuhalten, wenn es sich um an Transformatoren angeschlossene Maschinen handelt, und eine Stoßspannung von  $3,3 U_n \sqrt{2}$ , wenn es sich um direkt an Freileitungen angeschlossene Maschinen handelt.

Die Wahl dieser Werte der Stoßspannungsfestigkeit sichert eine befriedigende Koordination der Isolationen der umlaufenden Maschinen, und stellt wirtschaftlich keine unzulässige Forderung dar.

621.313.32

**D. Die Entwicklung der Konstruktion der Grossleistungen.** Referat von G. Belfils. Das Referat, Nr. 143 (Frankreich), umfasst 15 Seiten Text.

Die Entwicklung der Grossgeneratoreinheiten ist durch die Wahl immer grösserer Leistungen sowohl der thermals auch der hydroelektrischen Maschinensätze gekennzeichnet. Im ersten Fall wurde diese Entwicklung durch die Verwendung der Wasserstoffkühlung begünstigt, eines Verfahrens, das erlaubte, die Leistungsgrenze von 60 000 kW bei 3000 U./min zu überschreiten. So baut man gegenwärtig in Frankreich einen Wechselstromturbogeneratorsatz für 137 000 kVA, der diese Kühlart benützt, deren Vorteile namentlich in der Herabsetzung der Reibungsverluste und der von den Ventilatoren verbrauchten Leistung bestehen.

Der Verfasser glaubt, dass man bei Wechselstromgeneratoren für Wasserkraftwerke mit einer Drehzahl von 500 U./min eine Leistung von 140 000 kVA erreichen könnte. Begrenzt wird die Grösse der Maschine durch die mechanische Beanspruchung des Rotors bei Durchgangsdrehzahl. Bei Durchmessern über 4 m wird der Rotor mehrteilig ( $n < 300$  U./min), bei Durchmessern unter 4 m aus einem Stück ausgeführt ( $n > 300$  U./min). Im zweiten Fall kann man die Beanspruchung durch die Wahl von Feldwicklungen aus Aluminium herabsetzen, was eine Erhöhung der Umfangsgeschwindigkeit auf 200 m/s ermöglicht. Die so erhaltene Leistung beträgt 180 000 kVA. Ueber diese Geschwindigkeit hinaus müsste der Durchmesser herabgesetzt werden, was auf die Ausführung glatter Rotoren hinausläuft.

Bezüglich der Maschinengruppen mit senkrechter Welle macht sich ein deutliches Streben nach einer Verminderung der Gesamthöhe bemerkbar, was eine Reduktion der Maschinenhaushöhe ermöglicht.

Unter den Kennparametern der Synchronmaschinen ist das Kurzschlussverhältnis derjenige, der Abmessungen, Wirkungsgrad und Preis der Maschine bedingt. Bei den Wechselstromturbogeneratoren strebt man danach, dieses Verhältnis auf die Grössenordnung von 0,45 herabzusetzen, ohne dass sich daraus unangenehme Folgen für die Stabilität ergeben. Bei den Wechselstromgeneratoren für Wasserturbinen legt das durch die Regulierbedingungen vorgeschriebene Trägheitsmoment das Volumen des Rotors, seine Masse und seinen Durchmesser fest. Wirtschaftlicher ist, die nötige Masse durch Eisen statt durch Kupfer zu bilden, was zur Erhöhung des induzierenden Flusses und zur Wahl eines verhältnismässig hohen Wertes des Kurzschlussverhältnisses führt; die entsprechenden Amperewindungen finden beim grossen Durchmesser der Maschine leicht Platz. Dieses Verhältnis erreicht 1,2...1,5, was als günstiger Wert für das Funktionieren der Maschine unter den Bedingungen, denen sie im allgemeinen genügen muss, gelten kann. Die für den Leerlauf bei einem Leistungsfaktor von nahezu 1 benötigte bedeutende Blindleistung wird dabei von den Fernleitungen geliefert.

Der in England benützte Höchstwert der Betriebsspannung der Wechselstromgeneratoren von 33 kV ist bis jetzt nicht überschritten worden, aber es scheint, dass man trotz grosser Schwierigkeiten an die Ausführung von Wechselstromturbogeneratoren mit höheren Spannungen denken kann, wenn

man als Isolierstoff Oel oder komprimierten Wasserstoff wählt.

Bei Behandlung der Frage der Erregungs- und Regulierverfahren ist der Verfasser der Meinung, es sei wichtiger, Fehler in der dynamischen Stabilität zu beheben, als eine Erhöhung der erreichbaren Höchstspannung der Erregermaschine und ihrer Ansprechgeschwindigkeit anzustreben.

Es sind Erregungsvorrichtungen mit augenblicklichem Ansprechen im Fall scharfer Aenderung des Betriebszustandes erdacht worden; einige, welche Quecksilberdampfmutatoren oder Elektronenröhren heranziehen, haben befriedigende Resultate ergeben, allerdings auf Wechselstromgeneratoren geringer Leistung.

Für Maschinen grosser Leistung, über 20 000 kVA, greift man zu Amplidynen, die die Erreichung eines Verstärkungsfaktors von 30 000 mit einer Verzögerung in der Grössenordnung von 0,02 s gestatten. Eine solche Maschine, die man im allgemeinen in den von der Leiterregermaschine bei fester Spannung gespeisten Erregerstromkreis der Haupterregermaschine einschaltet, kann Hilfswicklungen enthalten, die, entsprechend gespeist, erlauben, der Regler-Verstärkervorrichtung jeden gewünschten Dämpfungsgrad zu geben oder zugleich die zu regulierende Grösse und eine ihrer Ableitungen nach der Zeit wirken zu lassen.

Es zeigt sich eine gewisse Tendenz nach der Verwendung von Erreger-Umformersätzen, besonders für die Generatoren mit höherer Leistung als 40 000 kW. Diese besitzen oft einen ans Wellenende montierten, die Hilfsbetriebe speisenden Wechselstromgenerator, der den Erreger-Umformersatz speist. Für Drehzahlen unter 250/min und Leistungen in der Grössenordnung von 50 000 kW wird die Erregermaschine am Wellenende sehr kostspielig; man benützt deshalb eine auf die Hauptwelle des Satzes montierte normale Dynamo mit Nebenschluss-erregung, die den Erregerstromkreis des Wechselstromgenerators mit einer Spannungsregulier-Zusatzmaschine speist, die durch einen von der Dynamo gespeisten Gleichstrommotor angetrieben wird.

Der letzte Teil des Referates ist der Untersuchung der Dämpfung der Synchronmaschinen mit ausgeprägten Polen gewidmet. Die heutige Praxis versieht die Polflächen der Feldmagneten dieser Maschinen mit vollständigen Dämpfungskäfigen, welche eine Längs- und Querdämpfung bewirken. Ein solcher Käfig verzögert allerdings die rasche Zunahme des Flusses, den die Erregermaschine unter der Wirkung der Ueberregulierungsvorrichtungen erzeugen soll. Seine Vorteile überwiegen jedoch die Nachteile.

Man hat neuestens vorgeschlagen, die Pole mit einem einzig in der Querrichtung wirkenden Dämpfungskäfig zu versehen; dieser bestände dann aus einem oder mehreren in der Polachse nahe der Polfläche montierten und unter sich durch Kurzschlussringe verbundenen Stäben. Eine solche Vorrichtung wäre frei von den Nachteilen der vollständigen Käfige.

621.313.322.1.044.3

**E. Die Kontraktion der Rotorspulen der Wechselstromturbogeneratoren.** Referat von W.-D. Horsley und R.-H. Coates. Das Referat, Nr. 118 (Grossbritannien), umfasst 42 Seiten Text mit 18 Figuren und 1 Tabelle im Text.

Das Referat ist in zwei Teile geteilt: der eine, von W.-D. Horsley stammend, untersucht die verschiedenen Seiten der Kontraktion und der Deformation der Spulen, was Struktur und Konstruktion betrifft; der zweite Teil, ausgearbeitet von R.-H. Coates, ist den im Betrieb gemachten Beobachtungen über die Kontraktion der Spulen gewidmet.

Die Erscheinung der Kontraktion der Rotoren von Wechselstromturbogeneratoren ist nur an langen Rotoren von ziemlich grossem Durchmesser feststellbar, und erst seit 1932 ist diese Erscheinung untersucht worden.

Man hat festgestellt, dass die Zusammenziehung in den inneren an die Pole anstossenden Spulen geringer, in den äusseren dagegen grösser ist. Die Temperaturbedingungen sind für die inneren Spulen infolge des grösseren Wärmeabflusses gegen die benachbarten Pole hin, welcher den Temperaturgradienten auf dem Grund der Nute herabsetzt, weniger scharf. Im allgemeinen erleiden die oberen Windungen keine Zusammenziehung, und die maximale, an einer allein betrachteten Spule festgestellte Kontraktion tritt gegen den Grund der Nute zu auf, wo die Temperatur ihren Höchstwert erreicht. Die Zusammenziehung der getrennt betrachte-

ten Windungen kann unregelmässig sein, und es können ausgesprochene Verkürzungen an einer beliebigen Stelle der Spule entstehen. Diese Unregelmässigkeiten können, zusammen mit den Unterschieden in der mittleren Zusammenziehung der Spulen, Kurzschlüsse in den Rotorwicklungen hervorrufen, wenn diese ungenügend verkeilt sind. Wenn die Ungleichheit in einer Spule bedeutend ist, läuft man Gefahr, dass die teilweise von den oberen Windungen getragenen unteren Spulen durch die Fliehkraft in radialer Richtung verschoben werden.

Die mechanische Beanspruchung der Spulen infolge der Zusammenziehung ist beträchtlich; sie kann die Deformation oder sogar Zerstörung der Verkeilungen zwischen den Spulen oder zwischen Spulen und Rotorkörper bewirken.

Man erklärt sich den Verformungsvorgang folgendermassen:

Wenn der Rotor eines Wechselstromgenerators sich mit seiner normalen Geschwindigkeit dreht, genügen die Fliehkraft, um bei einem Teil der Wicklung Wärmedehnung zu verhindern. Deshalb wird, sobald der Generator belastet ist, das Kupfer durch Erwärmung in mechanischen Spannungszustand versetzt. Wenn diese Spannung die Elastizitätsgrenze überschreitet, tritt eine plastische Verformung des Kupfers auf. Beim Stillstand der Maschine ziehen sich die Windungen, ohne durch Reibung behindert zu sein, zusammen, da die Fliehkraft nicht mehr besteht, und die Windungen werden leicht verkürzt. Die Verformung nimmt mit der Zahl der Ingangsetzungen und Stilllegungen des Generators zu; auf diese Weise verkürzt sich die Wicklung, so lange das Kupfer nicht im Betrieb genügend gehärtet ist, um seine Elastizitätsgrenze auf den Wert der maximal auftretenden mechanischen Spannung zu bringen. Nachher tritt keine weitere Verformung mehr auf.

Aus der gründlichen Analyse des Problems, die von W.-D. Horsley angegeben wird, ergibt sich, dass der wich-

tigste Faktor für die Zusammenziehung der Temperaturgradient in der Nute des Rotors ist, d. h. der Temperaturunterschied zwischen einer beliebigen Windung der Nute und der darüber befindlichen Windung. Bei einem maximalen Temperaturunterschied zwischen den Windungen von 15 °C ist die Tendenz zur Zusammenziehung der Spulen gering, und es dürfte keine Schwierigkeit bereiten, das von den verschiedenen im Referat angegebenen Methoden gewünschte Ergebnis zu erhalten. Die Gesamttemperatur der Wicklungen muss in angemessenen Grenzen bleiben, weshalb es nicht nötig scheint, die in den britischen Sondervorschriften angegebenen Grenzen zu ändern.

Im zweiten Teil des Referates untersucht R.-H. Coates zunächst mehrere aus der Verkürzung des Kupfers resultierende Betriebsstörungen, Störungen, die doppelte Massenschlüsse in den Rotorstromkreisen bewirkten. Die Beobachtungen ergaben grössere Beanspruchungen, als die Theorie voraussehen liess. Nachdem sich erwies, dass nicht die Betriebstemperaturen schuld an den Vorkommnissen waren, ging man zu Dehnungsmessungen mit Hilfe besonderer im Referat beschriebener Dehnungsmesser über; die Ergebnisse führten zur Aenderung der Deformationstheorie durch Berücksichtigung der Erwärmung des Kupfers und des Eisens. Um einer möglichen Verformung der Rotorwicklungen vorzubeugen, scheint es angezeigt, das Anfahren der Maschine bei einer Temperatur der Wicklungen von 80 °C durchzuführen; es wird eine geeignete Schaltung zur Gleichstromspeisung eines Rotors im Stillstand oder während des Anlaufs beschrieben, ohne dass sich daraus Verbrennungen an den Schleifringen ergeben. Beschädigungen sind unwahrscheinlich, sobald die maximale Betriebstemperatur 100 °C beträgt und die äussersten Windungen solid genug verkeilt sind. Bei höheren Betriebstemperaturen ist eine Kontrolle der Windungen durch Abnahme der Endstücke des Rotors erforderlich.

(Fortsetzung folgt.)

## Wirtschaftliche Mitteilungen — Communications de nature économique

### Die Opposition gegen das Urseren-Kraftwerk

(Aus dem Bundesgericht) 621.311.21(494.13)

Zum Zweck der Durchführung von Vorarbeiten für die Erstellung des sog. *Urseren-Kraftwerkes* wurde im Jahre 1941 unter dem Namen «*Studiensyndikat Grossakkumulierwerk Andermatt*» eine einfache Gesellschaft gebildet, die aus den SBB, den Centralschweizerischen Kraftwerken A.-G. in Luzern, der Schweizerischen Kreditanstalt und der «*Elektrowatt*», Elektrische und Industrielle Unternehmungen A.-G., Zürich, besteht. Mit der Geschäftsleitung wurden die Centralschweizerischen Kraftwerke betraut, die zur Vornahme aller erforderlichen Vorarbeiten, z. B. Propagierung der Idee einer Erstellung dieses Werkes, Begehungen, Planaufnahmen, Aussteckungen, Vermessungen, Bohrungen usw., sich vom eidgenössischen Post- und Eisenbahndepartement eine besondere Bewilligung erteilen liessen (Art. 15 des BG über die Enteignung). Gegen das geplante Werk wurde aber im Urserental, das mit dessen Erstellung vollständig unter Wasser gesetzt würde, eine lebhaftere Opposition entfaltet, die am 19. Februar 1946 zu *tätlichen Ausschreitungen* gegen den mit diesen Vorarbeiten betrauten Ingenieur F. und zu gewaltsamem Eindringen in die Arbeitsräume des Architekten R. in Andermatt führten. Im Hinblick auf diese Vorfälle ersuchten die Centralschweizerischen Kraftwerke den Regierungsrat des Kantons Uri um behördlichen Schutz der Beauftragten und um Aufrechterhaltung von Ruhe und Ordnung. Der Regierungsrat missbilligte die vorgekommenen Ausschreitungen, verlangte Besonnenheit und Zurückhaltung sowohl von Seite der Kraftwerk-Initianten als auch von der Bevölkerung des Urserentales und erliess dann am 25. Februar 1946 die folgende, am 28. Oktober 1946 auch vom Landrat bestätigte *Verfügung*:

«Um die Ordnung aufrecht zu erhalten und Provokationen wie Ausschreitungen unterdrücken zu können, machen wir von Art. 62, lit. f und l, der Kantonsverfassung, sowie von Art. 31, lit. e der Bundesverfassung Gebrauch und verfügen, dass bis zur Abklärung der ganzen Konzessionsfrage alle Ma-

chinationen und Provokationen des Syndikates im Tale Urseren, speziell Landkäufe, einzustellen sind und vorderhand zu unterbleiben haben.»

Gegen diese Verfügung wandten sich die Centralschweizerischen Kraftwerke A.-G. als Leiterin des Studiensyndikates mit einer *staatsrechtlichen Beschwerde* an das Bundesgericht. Sie machten geltend, die Verfügung verstosse gegen Art. 31 der Bundesverfassung und müsse daher aufgehoben werden. Die Erstellung des Urseren-Werkes verfolge ein gewerbliches Ziel und alle darauf gerichteten Massnahmen seien daher gewerblich im Sinne von Art. 31 BV. Mit der erwähnten Verfügung wolle man dem Syndikat offensichtlich die auf die Erreichung dieses Zieles gerichteten Massnahmen untersagen; damit verunmögliche man aber seine gewerbliche Tätigkeit. Die Beschwerdeführerin sei aber in allen Teilen rechtmässig vorgegangen, habe niemand unter Druck gesetzt, sondern ruhig und sachlich für das Projekt geworben. Sie habe Liegenschaften gekauft, um die Ernsthaftigkeit des Kaufwillens und der vollen Entschädigung zu dokumentieren; in allen ihren Vorarbeiten habe sie sich auch durchaus an das sachlich notwendige Mass gehalten.

Für das *Bundesgericht*, dessen staatsrechtliche Kammer sich mit dem Rekurs in ihrer Sitzung vom 9. Mai befasste, war somit zu prüfen, ob das dem Syndikat auferlegte Verbot «*aller Machinationen und Provokationen*» vor dem in Art. 31 BV aufgestellten Grundsatz der Handels- und Gewerbefreiheit haltbar ist. Hierbei war auf Grund der Vernehmlassung des Urner Landrates davon auszugehen, dass unter «*Machinationen und Provokationen*» *alle* der Vorbereitung des Urseren-Werkes dienenden Handlungen verstanden werden, soweit sie nicht mit der Verwaltung der schon erworbenen Liegenschaften unumgänglich notwendig oder zur Ergänzung der Konzessionsunterlagen unbedingt erforderlich sind. Es sollte also namentlich dem Syndikat jegliche *Propagandatätigkeit*, sowie die Vorbereitung der geplanten Umsiedlung durch Fühlungnahme mit der betroffenen Bevölkerung verboten werden.