Zeitschrift: Bulletin de l'Association suisse des électriciens

Herausgeber: Association suisse des électriciens

Band: 46 (1955)

Heft: 20

Rubrik: Communications ASE

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: 12.12.2025

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

[5] *John, S.*: Fortschritte auf dem Gebiete der Fernmesstechnik. Siemens Z. Bd. 25(1951), Nr. 1, S. 3...11.
[6] *Franke, D.*: Hochfrequenz-Zwölffachübertragung auf Hochspannungsleitungen. ETZ Bd. 70(1949), Nr. 10/11, S. 321...328.
[7] *Goldstein, A.*: Mehrfachausnützung von Hochfrequenzverbindungen über Hochspannungsleitungen. Brown Boveri Mitt. Bd. 35(1948), Nr. 3/4, S. 120...124.
[8] *Quervain, A. de*: Das Fernmessverfahren nach dem Frequenzvariations-System. Technica Bd. 4(1955), Nr. 4, S. 137...140.
[9] *Mazur, D. G.*: A 227 Mc Pulse Position Modulation Telemetering Unit. Convention Record of the IRE Bd. 2(1954), Part. 5, S. 105...112.

Adresse des Autors:
Dr. *A. Goldstein*, A.-G. Brown, Boveri & Cie., Baden (AG).

Technische Mitteilungen — Communications de nature technique

Hochglanzvernicklung von Kleinteilen

621.357.7 : 669.248.6

[Nach *W. Roggendorf*: Die Hochglanzvernicklung von Kleinteilen. Metalloberfläche-B. Bd. 7(1955), Nr. 3, S. 40]

Seit einiger Zeit sind Hochleistungs-Glanznickelbäder für Kleinteile entwickelt worden, die einen hellen und silberglänzenden Niederschlag ergeben. Die Vernicklung erfolgt in den üblichen Glocken- oder Trommelapparaten, wobei die Behälter aus Kunststoff, Lärchen- oder Pitchpineholz, oder aus Stahlblech mit Hartgummiauskleidung gebaut sein müssen. Die Temperatur des Elektrolyten kann zwischen 20...50 °C gehalten werden. Die Baddichte von 15...20 Bé entspricht den bis jetzt gebräuchlichen Glocken/Trommelbädern. Es ist möglich, mit Stromdichten bis zu 10 A/dm² zu arbeiten, wie dies für die Hochglanz-Nickelbäder von grossflächigen Waren schon länger angewandt wird.

Der Neuansatz eines Bades ist intensiv zu filtrieren und einem Vorratsbehälter zuzuführen, wo er nach Zugabe des flüssigen Glanzzusatzes für die Vernicklung zur Verfügung steht.

Nachdem die entfetteten Kleinteile aus Eisen, Stahl, Messing usw. in heissen, ca. 50 °C warmen Entfettungslaugen (z. B. Grisiron, P 3, Siliron) bei gleichzeitiger Scheuerbewegung während 15...30 min behandelt wurden, folgt das Beizen der Eisenteile in 15%iger Salzsäure mit Sparbeizezusatz und sofortiges Glanzvernickeln. Die Messingteile sind nach dem Entfetten in 5%iger Schwefelsäure zu dekapieren und sofort zu vernickeln. Die einzelnen Zwischenspülungen müssen gründlich und unter fliessendem Wasser erfolgen. Nachher wird in Glockenapparaten je nach Art und Menge der Ware bei 6...12 V und 20...100 A bzw. in Trommelapparaten bei 8...12 V und 50...200 A glanzvernickelt. Als Anoden sind möglichst grossflächige Reinnickelwalzanoden (99,95 %) zu verwenden.

Unmittelbar nach dem Hochglanzvernickeln kann die Ware nach gründlicher Zwischenspülung glanzverchromt werden.

Die fleckenfreie Trocknung wird in der Zentrifuge oder im heissen Wasser (80...100 °C) mit etwas Netzmittelzusatz erreicht. Die Griffestigkeit der Hochglanzvernicklung ist gut und der Korrosionsschutz ausreichend. Die Tiefenstreuung ist ausgezeichnet. Die Stromausbeute beträgt z. B. bei der Glockenarbeit 94...95 %.

Wartung und Konstanthaltung des Elektrolytes. Es ist zweckmässig, das Bad jeweils nach Betriebsschluss in den eingangs erwähnten Vorratsbehälter zurückzugiessen, wo die notwendigen Korrekturen und Zusätze erfolgen. Das Optimum des Säurewertes ist 5,2 pH. Der Verbrauch an Glanzzusatz beträgt für 1000 Ah etwa 100 cm³ oder auf 1000 kg Eisen- oder Messingteile berechnet etwa 800 cm³. Um das Bad auf Höchstleistung zu halten, ist tägliche Filtration empfehlenswert, ebenso die tägliche Zugabe des Glanzzusatzes. Das notwendige Quantum kann aus den Betriebsstunden (Ampèrestundenzähler) oder aus dem Durchsatz in kg Ware errechnet werden.

A. Lang

Über die Gründe der Zerstörung zweier 100-MW-Turbogeneratoren

621.322.1.004.7

[Nach: Report on Investigation into the Failure of Two 100 MW Turbo-generators. Electr. J. Bd. 7(1955), Nr. 7, S. 541]

Im April 1954 explodierten in der Richard-L.-Hearn-Station in Toronto kurz nacheinander zwei 100-MW-Turbogeneratoren [1]). *C. Gibb* berichtete im Februar 1955 vor der Institution of Mechanical Engineers über die eingehenden Versuche, welche zur Feststellung der Ursachen dieser Unfälle durchgeführt wurden. Die Versuche zeigten besonders die Gefährdung der Rotor-Endkappen durch innere Spannungen.

Eine der grundlegenden Fragen des Turbogeneratorbaues liegt in der Wahl des Materials der Rotor-Endkappen. Aus mechanischen Gründen würde der Konstrukteur niedrig legierten Stahl vorziehen, der heiss geschmiedet werden kann und nach einer einfachen Wärmebehandlung die gewünschte Festigkeit hat. Dieses Material ist aber magnetisch gut leitend, was zu Schwierigkeiten in Rotor und Stator führt (u. a. Vergrösserung der Streuflüsse und Erwärmung durch induzierte Wirbelströme). Es sind also unmagnetische Endkappen erforderlich. Bei den Toronto-Generatoren wurde (wie meist üblich) austenitischer Stahl verwendet, der nur in kaltem Zustand bearbeitet und nicht thermisch nachbehandelt werden kann. Dies bewirkt aber unvermeidliche innere Spannungen in den fertigen Stücken, welche je nach der Bearbeitungstechnik und der Schmiedearbeit von Ring zu Ring beträchtlich variieren. Auf Grund seiner Erfahrungen und seiner Ausrüstung sucht der Fabrikant durch spezielle Schmiede- oder Walzmethoden die Qualität des Endproduktes zu verbessern. Die untersuchten Ringe wurden unter einer 4000-t-Presse geschmiedet. Da dieser Druck nicht zur gleichzeitigen Bearbeitung der ganzen Länge ausreichte, wurde die Pressung durch Schrägstellen des Dornes jeweils auf einen Drittel der Länge beschränkt.

Jedem Hersteller grosser Turbogeneratoren ist die Gefahr der Beschädigung der Rotorspulen bekannt, indem nach längeren Betriebsperioden die untersten Lagen der Rotorspulen schrumpfen und dabei Wicklungs- oder Erdschlüsse verursachen können. Ein Läufer ist besonders gefährdet, wenn er oft und rasch be- und entlastet wird. Diese Störung kann durch eine Reduktion des Temperaturanstieges im Rotor bekämpft werden. Ein wirksames Mittel dazu liegt im Bohren von Ventilationslöchern durch die Endkappen. Diese Löcher erhöhen aber anderseits die Beanspruchungen und gefährden speziell ein Material, das durch die Kaltbearbeitung bereits an Zähigkeit verlor und die zu hohe Spannung nicht durch plastisches Fliessen abbauen kann.

Bei der Konstruktion der Toronto-Generatoren war bekannt, dass diese die Lastspitzen in einem hauptsächlich durch Wasserkraft versorgten Netz zu übernehmen hatten und jede Nacht abgestellt werden sollten. In Hinsicht auf die sehr ungünstige Betriebsweise wurde der Begrenzung der Rotortemperaturen besondere Beachtung geschenkt. Man beschloss, Ventilationslöcher vorzusehen, denn ähnliche Maschinen kleinerer Leistung aber gleicher Beanspruchung standen schon mehrere Jahre im Dienst. Zur Verminderung örtlicher Spannungsüberhöhungen wurden in der Konstruktion und Bearbeitung spezielle Massnahmen getroffen (z. B. Verwendung sorgfältig geschärfter Bohrer und peinliche Abrundung der Löcher auf beiden Seiten).

Aus den nach den Unfällen durchgeführten Versuchen ergab sich, dass die Anordnung der Löcher einen wesentlichen Einfluss auf die Festigkeit der Kappen hat. An drei bis zur Zerstörung geprüften Erreger-Endkappen von 940 mm Durchmesser verlief die Bruchstelle durch drei ähnlich angeordnete Löcher und alle Risse wurden in schräg verlaufenden Lochreihen gefunden. Es ist wohl möglich, dass sich die Kappen des Toronto-Typs im Betrieb anders als die geprüften Erregerkappen verhalten, einfach weil die Löcher anders angeordnet sind. Jedenfalls zeigten die Versuche, wie veränderlich und unvorhersehbar die inneren Spannungen in nichtmagnetischen Endkappen sind. Dies gilt auch für den Einfluss eventuell vorhandener Ventilationslöcher.

E. Elmiger

[1]) siehe Bull. SEV Bd. 45(1954), Nr. 11, S. 436 und Nr. 17, S. 718.

Gleisbildstellwerk bei den Dänischen Staatsbahnen

621.398.2 : 656.257

[Nach *W. Wessel-Hansen:* All-Relay Interlocking Plant for the Danish State Railways, Ericsson Rev. Bd. —(1954), Nr. 3, S. 89...94]

Bei den Dänischen Staatsbahnen wurden im Jahre 1948 Versuche mit Relais-Stellwerken unternommen, deren weitere Entwicklung derart befriedigte, dass die Bahnverwaltung heute nur noch diesen Typ baut.

Die grösste derartige Stellwerkanlage wurde in Odense erstellt und bietet die Möglichkeit für den späteren Anschluss an ein CTS-System [1]), das sich von Frederica bis Nyborg erstrecken wird.

Sie umfasst folgende Aussenteile:

27 Zwergsinale für Rangierbewegungen, sowie Ausfahrsignale auf den Bahnsteigen;
17 Geschwindigkeits-, Ziffern- und Buchstabensignale;
76 elektrisch fernbediente Weichen;
76 Schienenstromkreise für die isolierten Gleis- und Weichenabschnitte;
35 Stellvorrichtungen für die örtliche Bedienung der Weichen.

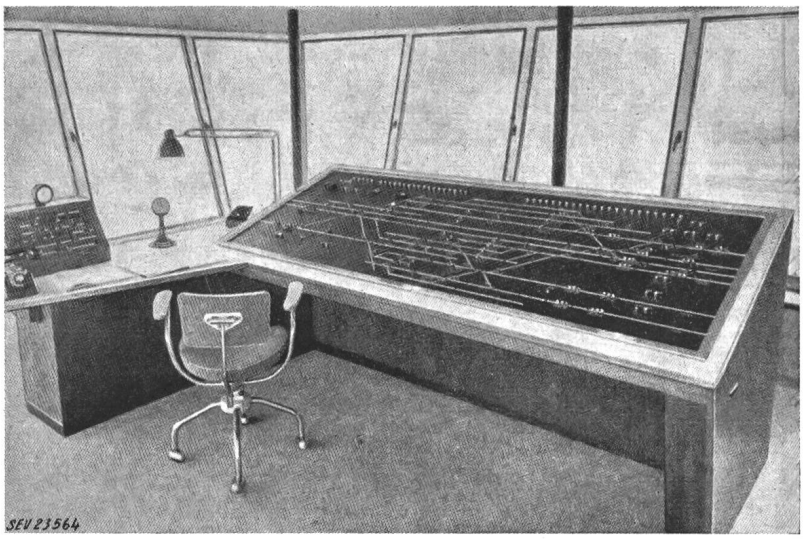

Fig. 1
Gleisbildstelltisch der Station Odense
links: Telephoneinrichtungen und Mikrophon für den Lautsprecher

Das neuartige Stellwerkgebäude besitzt schräggestellte Fenster mit Spezialverglasung, damit die lästige Spiegelung vermieden und die Wärmeleitfähigkeit reduziert wird. Der Gleisbildstelltisch enthält die Bedienungstasten für Weichen, Fahrstrassen und Signale auf einer schematischen Darstellung der gesamten Gleisanlage, sowie die Meldelampen für die isolierten Gleis- und Weichenabschnitte.

Der Stelltisch ist 2,5 m lang und 20° geneigt und besteht aus einer schwarzen Tafel mit Einzelabschnitten von je 200 Anschlüssen. Darauf sind die Drucktasten, die nur je einen Umschaltkontakt besitzen, sowie die Meldelampen montiert. Von diesem Stelltisch aus können 71 Zugfahrstrassen und 5 Rangierfahrstrassen eingestellt werden.

Die zur Anlage gehörenden Relais (ungefähr 1000) und die Energielieferungsanlage sind in einem darunter liegenden Raum untergebracht, wo auch die Kabel der Aussenanlage enden.

Für die Umlegung einer Weiche muss die betreffende Weichentaste gleichzeitig mit einer Gruppentaste gedrückt werden. Zur Einstellung einer Zugfahrstrasse sind zuerst die in Frage kommenden Weichen in die richtige Stellung zu bringen, worauf durch Drücken der Signal- und Gleistasten die Fahrstrasse verschlossen wird und das zugehörige Signal auf «Fahrt» geht. Die Auflösung der Fahrstrassen erfolgt automatisch beim Befahren der Isolierabschnitte, bei Einfahrten ist zusätzlich noch eine besondere Taste zu drücken.

Für die Ausführung von Rangierbewegungen können am Stelltisch besondere Rangierfahrstrassen eingestellt oder die Weichen für örtliche Bedienung freigegeben werden.

Die Anlage steht seit Mai 1954 im Betrieb. Die Einzelteile wurden hauptsächlich von den Dänischen Staatsbahnen entwickelt.

H. Marthaler

Elektromagnetische Messung der Strömungsgeschwindigkeit flüssiger Medien

621.317.49 : 523.574.6

[Nach *G. Réméniéras* und *C. Hermant:* Mesure électromagnétique des vitesses dans les liquides. Houille Blanche, Bd. 9(1954), Nr. B, S. 732...746]

I. Prinzip

In jedem Leiter, der innerhalb eines Magnetfeldes bewegt wird, entsteht ein elektrisches Feld, welches eine Funktion des Magnetfeldes und der Geschwindigkeit ist, mit welcher die Bewegung erfolgt. Die Messung des elektrischen Feldes, das in einer leitenden Flüssigkeit entsteht, wenn diese sich in einem bekannten Magnetfeld bewegt, muss demnach die Bestimmung der Bewegungen erlauben.

Wenn magnetische Feldlinien, Flüssigkeits-Stromfaden und die Verbindungslinie der zwei betrachteten Flüssigkeitspunkte A und A' aufeinander senkrecht stehen, so ist die Spannung:

$$U_{AA'} = \mu\, H\, v\, l$$

worin

H magnetische Feldstärke;
v Strömungsgeschwindigkeit;
l Distanz zwischen den zwei betrachteten Punkten A und A';
μ magnetische Permeabilität.

Beträgt z. B. die Strömungsgeschwindigkeit 10 cm/s, die Stärke des dazu senkrecht gerichteten Magnetfeldes 1000 Gs (Gauss), die Distanz zwischen den Elektroden 2 cm, so ergibt sich eine Spannung von 200 μV.

Nachfolgend wird auf vier verschiedene, auf dem geschilderten Prinzip beruhende Konstruktionen hingewiesen.

II. Elektromagnetischer Flüssigkeitsmesser

Der elektromagnetische Flüssigkeitsmesser (Fig. 1) besteht im wesentlichen aus einem Elektromagneten (480 Gs), der durch Wechselstrom von 50 Hz erregt wird (zur Vermeidung der Polarisation der Elektroden) und einem isolierten Rohr (50 mm Durchmesser), in welchem die Flüssigkeit strömt; das Rohr trägt zwei Elektroden, deren Verbindungslinie zur Richtung des Magnetfeldes senkrecht angeordnet ist. Ein an die Elektroden angeschlossener Apparat verstärkt auf elektronischem Wege die Spannung und ermöglicht gleichzeitig deren Messung. Untersuchungen, zu welchen auch

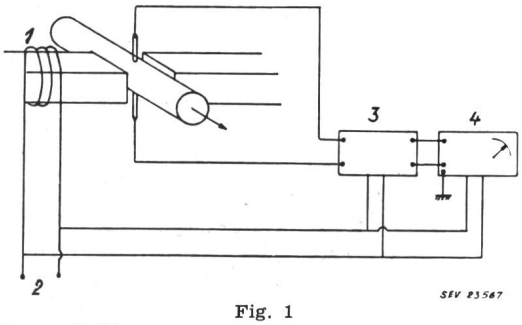

Fig. 1
Elektromagnetischer Flüssigkeitsmesser
1 Erregerspule; *2* 50-Hz-Netz; *3* Kompensator; *4* Mikrovoltmeter

[1]) Centralized traffic control-system.

Thürlemann[1]) beigetragen hat, zeigen, dass hier die gemessene Spannung einzig Funktion der mittleren Geschwindigkeit im Rohrquerschnitt, also auch der Durchflussmenge ist.

Die Eichung der Apparatur ergibt in der Tat eine lineare Beziehung, mit Ausnahme der Geschwindigkeiten unterhalb 0,5 cm/s, wo sich parasitäre Spannungen bemerkbar machen.

1. Anlässlich der Eichung im Eichkanal für hydrometrische Flügel von Beauvert konnten die beim Schleppen der Flügel im ruhenden Wasser entstehenden Strömungen gemessen werden.

2. Im Freilaufstollen von Chevril, welcher zum Staubecken von Tignes führt, waren Wasserverluste aufgetreten; die

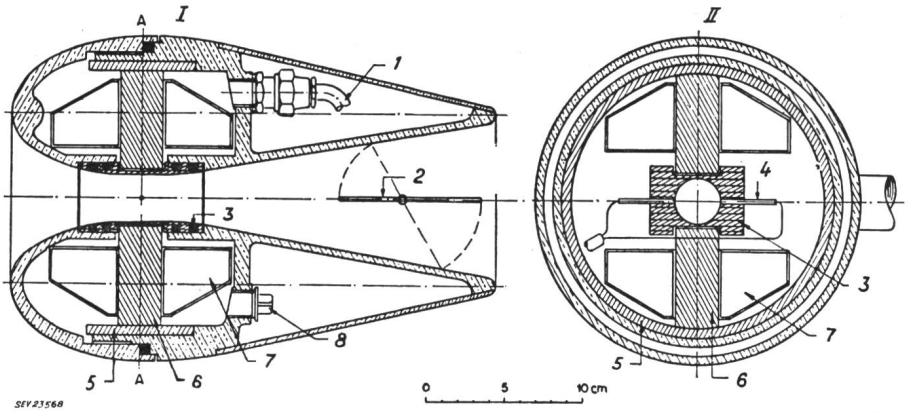

Fig. 2
Schnitt durch eine elektrische Strömungs-Messdüse
I Längsschnitt;
II Querschnitt nach A-A
1 Anschlusskabel; *2* ferngesteuerte Verschlussklappe; *3* Elektrodenträger; *4* Elektrode; *5* ferromagnetische Hülse; *6* Polkern; *7* Induktionswicklung; *8* Einfüllverschluss

Es können zeitlich rasch veränderliche Durchflussmengen gemessen werden, wenigstens innerhalb der durch die Erregerfrequenz und durch den Verstärker gesetzten Grenzen. In Amerika sollen auf diese Weise Durchfluss-Änderungen von 0,001 s Dauer gemessen worden sein, wobei die Erreger-Frequenz 5000 Hz betrug.

III. Elektrische Strömungs-Messdüse

Die elektrische Strömungs-Messdüse (Fig. 2 und 3) besitzt die Form eines Rotationskörpers, der durch Drehung eines Fischbauchprofils um eine ausserhalb liegende und dazu parallele Rotationsachse entsteht. In das Innere dieses mit Öl gefüllten Körpers ist der unter Abschnitt II beschriebene Flüssigkeitsmesser eingebaut, mit Ausnahme von Verstärker und Mikrovoltmeter, welche in Kastenform an geeigneter Stelle aufgestellt und mit der Messdüse durch Kabel verbunden sind. Das Gerät kann ganz ähnlich wie ein hydrometischer Flügel geeicht werden. Fig. 4 zeigt das Resultat solcher Eichungen. Die mittlere quadratische Abweichung einer Eichfahrt von der ausgleichenden Kurve beträgt 2 %; es besteht Aussicht, diese Streuung noch reduzieren zu können.

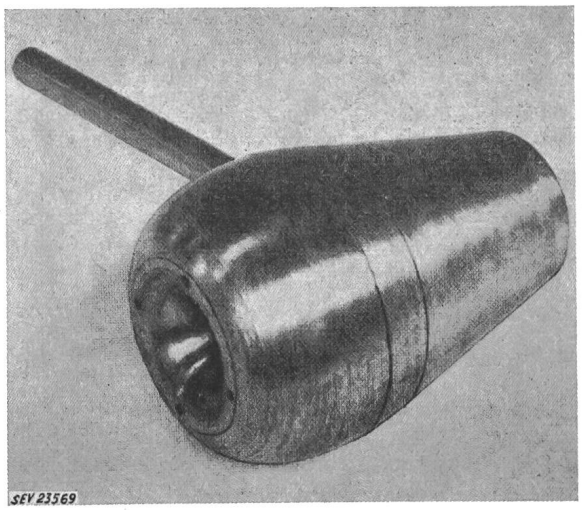

Fig. 3
Elektrische Strömungs-Messdüse

Dank seiner hohen Empfindlichkeit und Trägheitslosigkeit konnte das Gerät in folgenden Fällen mit Erfolg verwendet werden:

Austrittsstellen waren zu bestimmen. Dies erfolgte einerseits nach der gebräuchlichen Methode und anderseits mittels der Strömungs-Messdüse, wobei deren Verwendung für zukünftige Fälle beträchtliche Einsparungen verspricht.

Die erste Methode besteht darin, dass der Stollen bei ruhendem Wasser durch Querwände in einzelne Längsabschnitte unterteilt wird. In den Querwänden sind Öffnungen

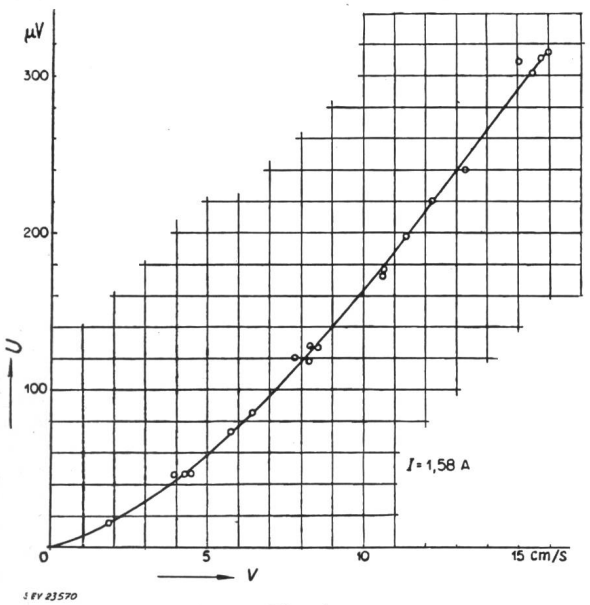

Fig. 4
Eichkurve einer elektrischen Strömungs-Messdüse
U Ablesung am Mikrovoltmeter; *v* relative Strömungsgeschwindigkeit

vorhanden, deren Fläche etwa 1/50 des Stollenquerschnittes betragen. Tritt in einem der Stollenabschnitte ein Wasserverlust auf, so strömt das Wasser aus den zwei benachbarten Abschnitten nach, wobei die Strömungsgeschwindigkeit in den genannten Öffnungen derart vergrössert wird — sie beträgt das 50fache der Geschwindigkeit im normalen Stollenprofil —, dass sie mit dem hydrometrischen Flügel gemessen werden kann.

Bei der Anwendung der elektrischen Strömungs-Messdüse zeigte sich, dass sogar die schwachen Strömungen im gewöhnlichen Stollenprofil zur Anzeige kamen, so dass künftig auf den Einbau der Querwände verzichtet werden kann. So wurden Strömungsgeschwindigkeiten von 2 mm/s, entsprechend einem Wasserverlust des Stollens von 10 l/s, festgestellt.

[1]) siehe auch *Thürlemann, B.:* Methode zur elektrischen Geschwindigkeitsmessung von Flüssigkeiten. Helv. Phys. Acta Bd. 14(1941), Nr. 5/6, S. 383...419.

3. Im weiteren ist die Anwendung des Gerätes für die Überwachung von Druckleitungen vorgesehen. Zwei Messdüsen, je eine an beiden Enden eines Leitungsabschnittes montiert, erlauben die Kontrolle, ob die Durchflussmenge an beiden Stellen gleich gross ist. Sobald ein Wasseraustritt zwischen den zwei Kontrollstellen stattfindet, gelangt eine Spannungsdifferenz zwischen den zwei Messdüsen zur Anzeige, welche über Relaisanlagen die automatische Schliessung der Absperr-Organe auslöst.

IV. Elektromagnetischer Strommesser

Der elektromagnetische Strommesser erlaubt das Messen von Geschwindigkeit und Richtung von Strömungen in einem zweidimensionalen System. Es wird ein Magnetfeld senkrecht zur Strömungsebene erzeugt, und zwei senkrecht zueinander angeordnete Elektrodenpaare ergeben zwei Komponenten, welche die Strömung nach Richtung und Grösse charakterisieren. Die Genauigkeit beträgt ± 2 cm/s, sofern die Tauchtiefe einen Meter, die horizontale Distanz vom Steilufer oder einer vertikalen Wand 2,5 m übersteigt und die Neigung des Gerätes gegenüber der Wasseroberfläche nicht grösser ist als 15°.

Angewandt wurde dieses Gerät in Süd-Afrika für die Messung von Meeresströmungen.

V. Strömungs-Sonde

Es ist im Laboratorium auch versucht worden, das in Abschnitt I geschilderte Prinzip für die quasi punktförmige Messung von Momentangeschwindigkeiten in Flüssigkeiten anzuwenden. Dabei wurde das Magnetfeld bei kleinen Abmessungen der Gerinne durch Magneten erzeugt, die auf der Aussenseite der Kanalwandungen angebracht waren. Für die Messung der Strömungsgeschwindigkeit «quasi in einem Punkt» wurde eine Sonde verwendet, die im wesentlichen aus einem dünnen isolierten Röhrchen bestand, welches am Ende, im Abstand von 1...2 mm voneinander, zwei feine Elektroden trug. Diese nahmen an der Stelle, an die sie verbracht wurden, die vom Magnetfeld erzeugte elektromotorische Kraft auf. Durch Kabel war die Sonde am Verstärker und Anzeigegerät angeschlossen. *E. Walser*

Untersuchungen über die Spannungsprüfung luftraumisolierter Koaxialkabel

621.315.212.029.6 : 621.317.333.6

[Nach *L. Krügel:* Untersuchungen über die Spannungsprüfungen luftraumisolierter Koaxialkabel. ETZ-A Bd. 76(1955), Nr. 7, S. 260...265]

Koaxiale Hochfrequenzkabel, insbesondere solche für grössere Energien, werden meist mit Luftraumisolierung ausgeführt. Dabei werden an sie hinsichtlich der Spannungsfestigkeit oft hohe Anforderungen gestellt. Die Prüfung erfolgt entweder mit Gleich- oder mit Wechselspannung, wobei eine zerstörungsfreie Methode einfacher mit Gleichspannung zu realisieren ist. Mit der in der Prinzipschaltung angegebenen Prüfanordnung (Fig. 1) konnte festgestellt werden, dass

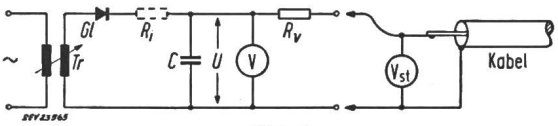

Fig. 1

Prinzipschaltung eines Hochspannungsprüfgerätes

Gl Gleichrichter; *Tr* Transformator; R_i Innenwiderstand; R_v Vorwiderstand; *C* Kondensator; *U* Spannung; *V* Voltmeter; V_{st} statisches Voltmeter

in erster Linie die Oberflächenstruktur des Innenleiters und feine Metallfilter zwischen Innenleiter und Aussenleiter eines koaxialen Kabels die Ursache für eine gegenüber den theoretischen Werten niedrigere Durchschlagspannung sind. Die Zusammenhänge zwischen den Prüfanordnungselementen und der Überschlagspannung wurden an dem Modellversuch des Überschlages Spitze—ebene Platte untersucht. Je höher der Stromfluss im einzelnen Überschlag ist, um so schneller ist die Spitzenwirkung der Nadel abgeschwächt. Es ergeben sich deutlich Unterschiede bei verschiedener Polarität, womit sich für die Praxis eine Möglichkeit ergibt, im Kabel festzustellen, ob die Spitzen an der Oberfläche des Innenleiters oder des Aussenleiters liegen.

Obwohl bei der Fabrikation luftraumisolierter Kabel alles zu unternehmen ist, um diese Oberflächen in hochwertigem Zustand zu verarbeiten und jede Verunreinigung zu vermeiden, lassen sich restliche, störende Spitzen oder Partikel im fertigen Kabel mit Erfolg «abbrennen», womit sich eine deutliche Erhöhung der Durchschlagspannung ergibt (Fig. 2).

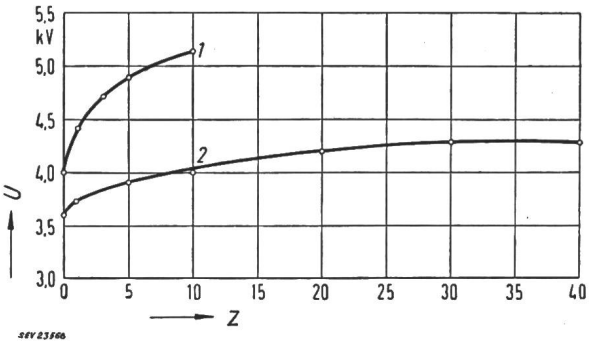

Fig. 2

Erhöhung der Spannungsfestigkeit von Koaxialkabeln durch Abbrennen von Flitter

1 Durchschlagspannung steigt beim Prüfling 1 bereits nach 6 Überschlägen um 1 kV

2 Durchschlagspannung steigt beim Prüfling 2 erst nach etwa 30 Überschlägen um ≈ 800 V

Z Zahl der Überschläge; *U* Überschlagspannung

Anm.: Die beiden Kurven sollen zeigen, dass das «Abbrennen» *verschieden* wirkt.

Im weiteren wurden die Folgen von Überschlägen an Stützscheiben (aus Polystyrol) in Abhängigkeit von Vorwiderstand und Ladekapazität der Messanordnung untersucht. Es konnte festgestellt werden, dass im allgemeinen mit der durch die Beschädigung der Scheiben herabgesetzten Durchschlagspannung auch der Isolationswiderstand des Kabels sinkt. Dadurch lässt sich bei dem Versuch des Abbrennens von Spitzen und Flitter gut kontrollieren, ob eine Beschädigung an den Scheiben eingetreten ist. Versuche mit einer Wechselstromanordnung scheiterten wegen ungenügender Strombegrenzung.

Es wurde ferner der Einfluss der Kabelkapazität bei Spannungsprüfungen und «Abbrenn»-Versuchen untersucht und dabei festgestellt, dass diese unbedingt zu beachten ist, insbesondere bei grösseren Kabellängen (Maximum ca. 500 m).

Abschliessend soll auf die Wichtigkeit der Spannungsfestigkeit bei der Prüfung von Koaxialkabeln hingewiesen und insbesondere die Wichtigkeit der Auswahl des Vorwiderstandes in der Messanordnung und seiner Konstruktion (kein Schichtwiderstand!) betont werden. Ebenso ist die Notwendigkeit der Kontrolle der restlichen Welligkeit der Prüfspannung unerlässlich. *C. Schneider*

Wirtschaftliche und technische Aussichten der elektrischen Energieübertragung mit Höchstspannungen

621.315.051.027.82

[Nach *F. Cahen:* Die wirtschaftlichen und technischen Aussichten der elektrischen Energieübertragung mit Höchstspannungen. ETZ-A Bd. 76(1955), Nr. 1, S. 17...25]

Bedeutung der Spannung für die Wirtschaftlichkeit

Um zunächst ein angenähertes Bild über die Kosten einer Energieübertragung in Abhängigkeit von der Spannung zu erhalten, sollen zwei aus mehreren parallelen Leitungssträngen bestehende Systeme *1* und *2* ungleicher Spannungen U_1 und U_2 einander gegenübergestellt werden, welche die gleiche Höchstleistung auf dieselbe Entfernung übertragen, unter gleichen Bedingungen bezüglich Regelung und Stabilität. Werden mit K_1 und K_2 die in den betreffenden Systemen investierten Kapitalkosten sowie mit p_1 und p_2 die entsprechenden gesamten Stromwärmeverluste bezeichnet, so ergeben sich die folgenden von der jeweiligen Anzahl der parallelen Stränge unabhängigen Beziehungen:

$$\frac{K_2}{K_1} = \frac{U_1}{U_2} \text{ und } \frac{p_2}{p_1} = \frac{U_1}{U_2}$$

Demnach sind die für die Energieübertragung massgebenden Kosten der Spannung umgekehrt proportional.

Gemäss diesen Zusammenhängen erscheint die Wahl einer hohen Übertragungsspannung zweckmässig zu sein. Tatsächlich wird der erhoffte Vorteil nur erzielt, wenn die je Leitung zu übertragende Leistung genügend gross ist. Von den verschiedenartigen in der Praxis vorkommenden Fällen seien zur Veranschaulichung zwei Grenzfälle betrachtet.

Handelt es sich um eine Leistungsübertragung mit räumlich begrenzten Verhältnissen der Erzeugung und des Verbrauchs, etwa um den Anschluss eines Wasserkraftwerkes an einen weit entfernten Verbraucher, so kann die wirtschaftlich günstigste Spannung rechnerisch ermittelt werden, unter Berücksichtigung des etappenweisen Ausbaues des Kraftwerkes. Aus Sicherheitsgründen sollten sogleich oder möglichst bald zwei Leitungen für die Übertragung zur Verfügung stehen.

Bei einer Leistungsübertragung mit zahlreichen Erzeugerschwerpunkten und verteiltem Verbrauch hat das Netz die doppelte Aufgabe der Übertragung und Verteilung der Energie. Charakteristisch sind die grosse Verschiedenheit der einzelnen Leitungslängen, die tägliche, wöchentliche und jährliche Schwankung und das Anwachsen des Verbrauchs. Zur Bewältigung dieser Aufgabe muss das Netz im allgemeinen mit mehreren Spannungsstufen ausgeführt sein, deren Spannungen je nach dem Leistungsbedarf zu erhöhen sind.

Die Erfahrungen zeigen, dass es in der Praxis angezeigt ist, der anfänglichen Vermehrung des Leistungsbedarfes durch Erhöhung der Zahl der Stromkreise zu begegnen, da mit der Vermaschung des Netzes seine Betriebssicherheit und Leistungsfähigkeit erhöht wird.

Wirtschaftlicher Vergleich der Spannungen von 225 kV und 380 kV

Für die Spannungen 225 kV und 380 kV sollen 2 Energieübertragungen verglichen werden, bei welchen die Zahl der parallelen Leiterstränge beliebig erhöht werden können.

Wenn zunächst von der Begrenzung der Leistung aus technischen Gründen abgesehen wird, so gibt es eine bestimmte Leistung, für welche die auf die Leistungseinheit der übertragenen Höchstleistung bezogenen Übertragungskosten minimal sind. Diese Leistung beträgt z. B. 175 MW für die Spannung 225 kV, die Leitungslänge 400 km und der Querschnitt 800 mm² (Stahlaluminium-Leiter). Von den technischen Gründen, welche die Begrenzung der Leistung auf einen kleineren Wert verursachen, ist in erster Linie auf die dynamische Stabilität hinzuweisen (Grenze für Ausser-Tritt-Fallen bei einer Störung). Da der wirtschaftliche Querschnitt einer Leitung etwa proportional der höchsten übertragbaren Leistung ist, muss in diesem Fall ein kleinerer Querschnitt gewählt werden.

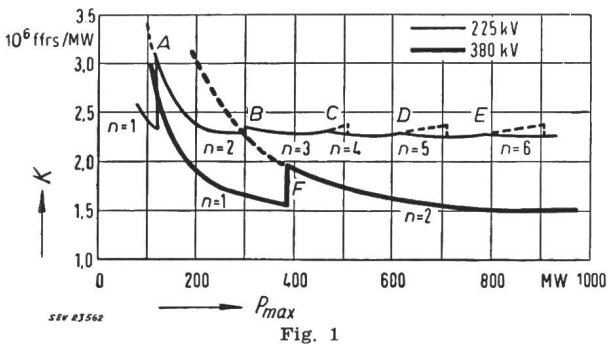

Fig. 1

Jahreskosten der Energieübertragung bei Spannungen von 225 und 380 kV, abhängig von der höchsten übertragenen Leistung und der Zahl der parallelen Stromkreise

K auf höchste übertragene Leistung bezogene jährliche Übertragungskosten; P_{max} höchste übertragene Leistung; *n* Zahl der parallelen Stromkreise

Weitere Erläuterungen im Text

Für die Bestimmung der Kosten wurde in der Mitte der 400 km langen Übertragungsleitung eine Zwischenstation angenommen, wodurch die dynamische Stabilität verbessert werden kann. Im 225-kV-Netz wurden mit Stahlaluminium-Seilen von 600 mm² Querschnitt, im 380-kV-Netz mit Bündeln von je 2 solchen Seilen gerechnet. Zu Grunde gelegt wurde ein Leistungsfaktor des Verbrauchers von 0,86 induktiv und ein Spannungsabfall von 7 %.

Fig. 1 zeigt die derart erhaltenen jährlichen Übertragungskosten pro MW in Funktion der übertragenen Höchstleistung. Im Kurvenzug 225 kV und 380 kV entsprechen die Punkte *A* und *B* bzw. *F* dem Erreichen der dynamischen Stabilitätsgrenze, die übrigen *C*, *D* und *E* demjenigen der wirtschaftlichen Grenze. Von der Leistung 200 MW bei 225 kV an bzw. von 600 MW bei 380 kV sind diese Kosten praktisch unabhängig von der Zahl der Stromkreise, und ihre asymptotisch erreichten Endwerte stehen für 225 und 380 kV etwa im Verhältnis von 3 : 2.

Fig. 2 gibt einen interessanten Einblick in die Verhältnisse, die entstehen, wenn ein 380-kV-Netz sogleich oder parallel zu vorgängig erstellten 225-kV-Leitungen gebaut wird. Die Leistung von 300 MW ist als kritischer Wert zu betrachten; liegt die zu übertragende Leistung erheblich tiefer, so lohnt sich der Bau eines 225-kV-Netzes mit 2 Stromkreisen. Je nach dem Grad, mit welchem die Übertragungsleistung zunimmt, ist es angezeigt, zunächst das 225-kV-Netz auf 3 Stromkreise auszubauen und dann 380-kV-Leitungen zu erstellen, oder bereits ab 300 MW diese Massnahme zu treffen. Die sofortige Verwendung der Spannungsstufe von 380 kV ist am ehesten am Platze, wenn die Leistung von Anfang an 300 MW überschreitet.

Die in Fig. 2 ab 100 MW parallel zur Abszissenachse aufgetragene Funktionsleiter trägt einer gleichmässigen Erhö-

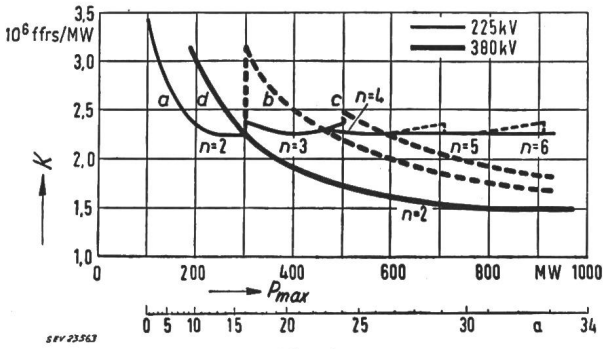

Fig. 2

Jahreskosten der Energieübertragung abhängig von der höchsten übertragenen Leistung und der Zahl der parallelen Stromkreise

Kurve *a* 225-kV-Netz, das von Anbeginn zwei Stromkreise enthielt und dessen Spannung dauernd 225 kV bleibt;

Kurve *b* Auf zwei Stromkreise begrenztes 225-kV-Netz, dem nach Ausnützung der Leitungen ein 380-kV-Netz mit zwei Stromkreisen parallel geschaltet wird;

Kurve *c* Auf drei Stromkreise begrenztes 225-kV-Netz, dem nach Ausnützung der Leitungen ein 380-kV-Netz mit zwei Stromkreisen parallel geschaltet wird;

Kurve *d* 380-kV-Netz mit zwei Stromkreisen, das von Anbeginn für 380 kV angelegt war.

Weitere Erläuterungen siehe im Text

hung der Durchgangsleistung um jährlich 7 % Rechnung und gibt, von diesen Voraussetzungen ausgehend, Aufschluss, nach welcher Zeitdauer die Inbetriebsetzung einer 380-kV-Leitung angezeigt ist.

Die bisherigen Ausführungen gelten für Einfachleitungen und eine Übertragung über eine Distanz von 400 km. Die für die Einfachleitung gezogenen Schlüsse hinsichtlich des Überganges auf höhere Spannungen sind jedoch im wesentlichen auch für Doppelleitungen richtig. Doppelleitungen gestatten, den Betrieb mit nur einem Strang aufzunehmen und den zweiten Strang erst nach Erhöhung der Leistung einzusetzen. Sie können auch so gebaut werden, dass für den Übergang auf 380 kV zwei benachbarte Leiter zu einem Zweierbündel zusammengefasst werden. Dieses in Frankreich verwendete Verfahren gestattet, den Übergang auf die höhere Spannungsstufe mit geringen Kosten und in verhältnismässig kurzer Zeit vorzunehmen. Ausserdem wird damit die Beibehaltung

Fortsetzung des allgemeinen Teils auf Seite 961

Es folgen «Die Seiten des VSE»