

Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins
Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke
Band: 23 (1932)
Heft: 3

Artikel: Die Erwärmungsmessung an elektrischen Maschinen, Transformatoren und Hochspannungskabeln während des Betriebes
Autor: Täuber-Gretler, A.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1059312>

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: 04.04.2026

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

bar. Die Micafil A.-G. hat z. B. mit diesem Vorgehen bessere Erfolge erzielt als mit jedem Versuch einer «Normalisierung».

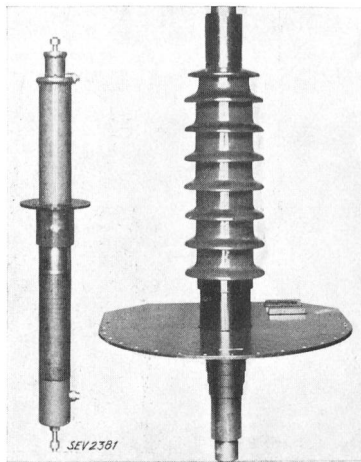


Fig. 31.

Kondensatordurchführungen für Stufenschalter. Sonderausführungen. 64/160 kV für Freiluft (rechts). 87/210 kV ganz in Oel, 2 Leiter, öldicht (links).

Durchführungen anderer Systeme, welche grosse keramische Stücke, besondere Entwicklungsarbeiten usw., erfordern, sind in der Regel für Spezialzwecke zu teuer.

Damit gelten aus der Betrachtung typischer Konstruktionsfälle für die Wahl des Durchführungssystems etwa die Richtlinien: Für normale Anordnungen Kondensatordurchführungen, massive und ölgefüllte Isolatoren, für Spezialzwecke Kondensatordurchführungen.

54. Wahl der Spannungen für eine Typenreihe.

Zuletzt sei noch vom Standpunkte des Fabrikanten aus auf die Wahl einer Reihe eingegangen. Vom Käufer wird zunächst immer von normalen — lies: billigen — Isolatoren gesprochen, ausgeführt werden meist Spezialkonstruktionen. Die «norma-

len» Typen müssen nicht nur den heimischen, sondern auch den Vorschriften von Exportländern genügen. Es ist klar, dass die Erfüllung der Forde-

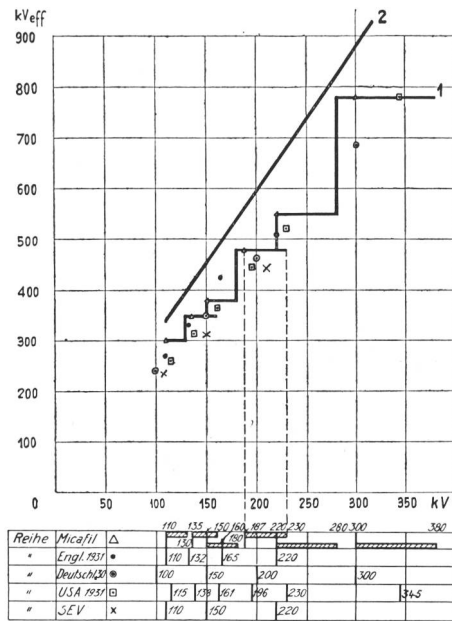


Fig. 32.

Vergleich von Landesvorschriften. Nenn- und Prüfspannungen.

- 1 Verwendungsgrenze einer gegebenen Typenreihe nach Prüfspannung.
- 2 Regen-Überschlagsspannungen dieser Typenreihe.

Schraffierte Flächen: Verwendungsgrenze einer gegebenen Typenreihe nach Betriebsspannung.
 Einzelne Punkte: Prüfspannungen für die verschiedenen Landesnennspannungen.

lung nach Wirtschaftlichkeit für jedes Land nur bedingt erfüllbar ist. Fig. 32 enthält den Vergleich einiger Landesvorschriften. Als Beispiel für den Grad der Anpassung an die verschiedensten Forderungen ist der Verwendungsbereich der ölgefüllten Isolatortype nach Fig. 17 durch den Linienzug 1 umrissen.

Die Erwärmungsmessung an elektrischen Maschinen, Transformatoren und Hochspannungskabeln während des Betriebes.

Vortrag, gehalten an der Diskussionsversammlung des SEV in Bern, am 12. Dezember 1931.

Von Dr.-Ing. A. Täuber-Gretler, Zürich.

576.5:621.313:621.315.2

Der Autor beschreibt die von der Firma Trüb, Täuber & Co., Zürich, entwickelte Methode zur Erwärmungsmessung an unter Spannung stehenden Maschinen und Transformatoren. Es handelt sich um die Anwendung einer Wechselstrombrücke, in deren einem Zweig über einen Isoliertransformator das Messelement (Widerstandselement) liegt. Isoliertransformator und Messelement stellen zusammen die temperaturabhängige Impedanz dar; ein analoger Transformator im zugeordneten Brückenweig, mit sekundärseitig angeschlossenem, dem Messelement äquivalenten Widerstand bildet die Vergleichsimpedanz. Die Brückenspannung als Mass der Erwärmung wird entweder durch ein Induktionsdynamometer gemessen oder dient zum Betrieb eines Relais oder eines Punktschreibers.

Zum Schluss wird auf die Erwärmungsmessung von Hochspannungskabeln mittels «Thermischer Abbilder» eingegangen.

L'auteur décrit la méthode développée par la maison Trüb, Täuber & Cie à Zurich pour mesurer l'échauffement de machines et transformateurs sous tension. Il s'agit d'un pont à courant alternatif, dont une des branches est reliée à l'élément de mesure (résistance ohmique) par l'intermédiaire d'un transformateur d'isolement. Ce dernier et l'élément de mesure forment ensemble l'impédance dont la valeur dépend de la température; un transformateur analogue intercalé dans la branche opposée du pont forme, avec une résistance équivalente à l'élément de mesure dans son circuit secondaire, l'impédance de comparaison. La tension du pont, mesure de l'échauffement, est appliquée soit à un dynamomètre à induction, soit à un relais, soit encore à un appareil enregistreur.

Pour terminer, l'auteur explique comment on peut mesurer l'échauffement de câbles à haute tension à l'aide de «représentations thermiques».

I. Erwärmungsmessung an Maschinen und Transformatoren.

Die elektrische Messtechnik sah sich vor ca. 12 Jahren vor die Aufgabe gestellt, Erwärmungsmessapparate auszubilden, welche die Ueberwachung des thermischen Verhaltens von elektrischen Maschinen und Transformatoren ermöglichten. Das wesentlich Neue dabei war die Bedingung, auch die Erwärmung von unter Hochspannung stehenden Teilen, in erster Linie diejenige der Wicklungen, während des Betriebes messen zu können. Lager-, Eisen- und Oeltemperaturen liessen sich ja schon längst mit dem Widerstandsthermometer praktisch einwandfrei messen. Dagegen war es ausgeschlossen, ein Widerstandselement direkt in die unter Spannung stehende Wicklung einzulegen, ohne die ganze Messapparatur unter die betreffende Spannung zu setzen.

Die Tatsache, dass die Wicklungsisolations bei Ueberlastungen wegen der geringen Wärmekapazität des Kupfers unmittelbar gefährdet ist und dass es nicht möglich ist, aus dem Temperaturanstieg im Statorisen der Maschinen oder im Oel der Transformatoren auf die jeweilige Wicklungstemperatur zu schliessen, liess die direkte Messung der letztern nicht umgehen. Selbst der Einbau des Messelementes in einer Statornut zwischen Isolation und Eisen verflacht die zeitliche Temperaturkurve wegen der geringen Wärmeleitfähigkeit des Isoliermaterials wesentlich. Auch für einen stationären Betriebszustand liess sich das Temperaturgefälle in der Isolation allgemein nicht rechnerisch erfassen oder dessen Wirkung mit einzeichnen. Nach Versuchen von P. Janet, ausgeführt im Auftrag der Union des Syndicats d'Electricité¹⁾ wurde die Wärmeleitfähigkeit von Nutzenisolationmaterial verschiedener Zusammensetzung und Dicke zu $1,3 \cdot 10^{-3}$ bis $3,05 \cdot 10^{-3}$ W · cm/cm² bestimmt, wovon hervorgeht, dass dieser Koeffizient von Fall zu Fall ermittelt werden müsste.

Eine Umgehung der bestehenden Schwierigkeit ist für Transformatoren in Amerika dadurch erfolgt, dass ein thermisch sich gleich verhaltender Körper konstruiert wurde, der eine an die Sekundärwicklung eines Stromwandlers angeschlossene Heizspule enthält, welche durch einen dem Belastungsstrom des Transformators proportionalen Strom erwärmt wird und so mit einem Widerstandselement die jeweilige mittlere Wicklungstemperatur zu messen gestattet. Diese Methode setzt die Möglichkeit einer Abstimmung des thermischen Abbildes auf die jeweilige Transformatortype voraus.

Naheliegender war die Speisung der Widerstandsthermometer mit Wechselstrom unter Verwendung eines Isolier- oder Schutzwandlers zwischen Messelement und übriger Messapparatur. Die Firma Trüb, Täuber & Co., Zürich (TTC), hat nach

diesem Prinzip eine Erwärmungsmesseinrichtung gebaut, welche zunächst erläutert werden soll.

Fig. 1 zeigt das Prinzipschema. Danach sind zwei der vier Zweige, welche zusammen eine Wechselstrombrücke bilden, dargestellt durch die beiden sekundären Wicklungshälften B_1 und B_2 eines kleinen Transformators B (des sogenannten Brückentransformators), dessen Primärwicklung durch eine Wechselspannung von beispielsweise 110 V, 50 Per./s gespeist werde. Die beiden andern Zweige sind gebildet durch den Schutztransformator T und einen zweiten, magnetisch und elektrisch genau gleichen Transformator S . An der Sekundärwicklung des Schutztransformators ist das Messelement M , ein induktionsfreier Widerstand, angeschlossen, während die Sekundärwicklung von S mit einem eben-

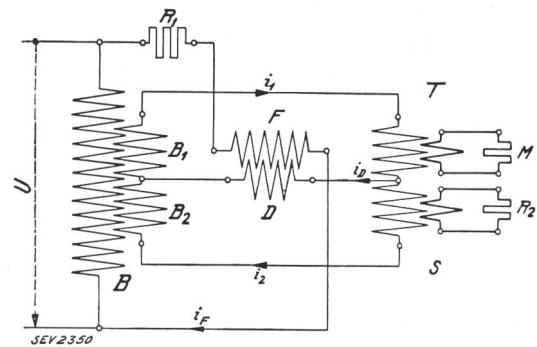


Fig. 1.

Prinzipschema einer mit Wechselstrom gespeisten Temperaturmesseinrichtung mit Schutztransformator.

- B Brückentransformator.
- F Feldwicklung des Anzeigeinstrumentes,
- D dessen Drehspule.
- T Schutztransformator.
- S Vergleichstransformator.
- M Messelement.
- R_1 Vorwiderstand zur Feldspule.
- R_2 Konstanter Belastungswiderstand des Vergleichstransformators.

falls induktionsfreien, aber temperaturunabhängigen Widerstand R_2 aus Konstantan oder Manganin verbunden ist. Als Anzeigeinstrument dient ein Induktionsdynamometer mit eisengeschlossenem Kraftlinienweg. Dasselbe besitzt eine Feldwicklung F , die über einen passenden Vorwiderstand direkt an die Speisespannung von 110 V angeschlossen ist. Die Enden der Drehspule D liegen an den Diagonalknoten der Brücke. Das Instrument besitzt keine Spiralfedern; im stromlosen Zustand hat das bewegliche System daher keine bestimmte Ruhelage, denn die äusserst schwachen Stromzuführungsbändchen haben eine kleinere Richtkraft als die Reibungswiderstände der Axenspitzen in den Lagersteinen. Während des Betriebes wird die jeweilige Gleichgewichtslage bestimmt durch das Zusammenwirken der in der Brücke auftretenden Potentialdifferenz, die in der Drehspule einen bestimmten Strom zur Folge hat und durch die in der Drehspule selbst von den Feldkraftlinien der festen Spule F erzeugten EMK, deren Grösse proportional ist mit dem Winkel, welchen die Resultierende der Feldkraftlinien mit der Drehspuleebene bildet. Unter dem Einfluss der in der Brücke bestehenden Potentialdifferenz wird die Drehspule aus der

¹⁾ Recherches sur la conductibilité calorifique des gaines isolantes employées dans la construction des turbo-alternateurs. RGE, 19 mars 1921, p. 393.

Mittellage zunächst nach der einen oder andern Seite abgelenkt. Gleichzeitig wächst die induzierte EMK und damit der durch letztere bedingte Induktionsstrom in der Drehspule so lange, bis die Resultierende aus Brückenstrom und induziertem Strom entweder 0 oder zeitlich um 90° gegen die Resultierende des Feldkraftflusses verschoben ist. Damit hört die weitere Ablenkung des beweglichen Systems auf. Die von ihm eingenommene Gleichgewichtslage ist stabil.

Der Zustand in der Brücke wird nun mittelbar durch die Widerstandsänderung des Messelementes M beeinflusst, indem mit jeder Aenderung desselben sich auch die resultierende Impedanz des Schutztransformators T ändert. Die resultierende Impedanz des Transformators S , den man in diesem Fall als Vergleichstransformator bezeichnen kann, bleibt dagegen konstant. Die Angaben des Instrumentes sind daher bestimmt durch eine mit der Temperatur eindeutig sich ändernde Impedanz. Trotz der Zwischenschaltung eines Schutztransformators, dessen Eigenverbrauch die Aenderung seiner Impedanz prozentual erheblich vermindert, wird, vermöge der hohen Messempfindlichkeit des Anzeigeelementes, bei einem Messbereich von 0 bis 150°C ein genügendes Drehmoment erzeugt, um eine zuverlässige Messung verbürgen zu können. Der Verbrauch im Messelement beträgt im Mittel ca. 0,1 W. Schutztransformator und Vergleichstransformator werden stets in gemeinsamem Kessel eingebaut. Man erreicht damit die notwendige Unabhängigkeit der Angaben von der Umgebungstemperatur, in welcher sich der Schutzwandler befindet. Es ist klar, dass Spannungs- und Frequenzänderungen den Zustand der Brücke beeinflussen, da die induktiven Zweige Eisen enthalten. Bei geeigneter Wahl des Verhältnisses von induktivem Widerstand zu Wirkwiderstand sowie passender Induktion im Eisen und im übrigen völlig symmetrischem Aufbau der Brücke erreicht man eine von betriebsmässigen Schwankungen der Speisespannung und deren Frequenz genügend unabhängige Messeinrichtung.

Wesentlich bei der Installation der ganzen Messanlage ist die streng bifilare Führung sämtlicher Messleitungen, damit jegliche Induktionswirkung durch benachbarte Fremdfelder in den Meßstromkreisen vermieden wird. Besteht Fremdinduktion, so überlagert sich dem Meßstrom der durch die Fremdfelder induzierte Strom und verursacht je nach seiner Grösse und Phasenlage mehr oder weniger störende zusätzliche Messfehler. Dieselben werden deutlich erkennbar und können eliminiert werden, wenn die Messeinrichtung durch eine zur Maschinen- oder Transformatorspannung asynchronen Fremdspannung gespeist wird. Es tritt dann am Messinstrument eine Zeigerpendelung auf, deren Amplitude proportional ist der Grösse der durch das Fremdfeld induzierten EMK und deren Zeitabstand zwischen je zwei Umkehrpunkten des Zeigers gleich ist der Differenzperiodenzahl zwischen Generatoren- bzw. Transformatoren- und

Speisespannung. Der Mittelwert aus den beiden Ableesungen, welche den Umkehrpunkten entsprechen, ist der richtige Temperaturwert.

Da, wo induktive Ueberlagerungen nicht vermieden werden können, benützt man als Speisestromquelle zweckmässigerweise einen von einer vorhandenen Gleichstrombatterie angetriebenen Einanker-Umformer, welcher auf eine etwa um 20 % höhere oder tiefere Frequenz eingestellt wird. Bei einer Differenzperiodenzahl von 10 Per. s wird auch die an und für sich etwas unbequeme Zeigerpendelung vollständig verschwinden.

Der Aufbau der Schutztransformatoren ist aus Fig. 2 ersichtlich. Der eigentliche Schutztransformator ist oben, der Vergleichstransformator unten angeordnet. Durch passende Bemessung kann der erstere für jede vorkommende Prüfspannung, welche stets mindestens gleich der für die betreffende Maschine oder den betreffenden Transformator geltenden Prüfspannung sein muss, ausgeführt werden.

Die Messelemente können infolge des geringen Effektverbrauches von 0,1 W in ihren Abmessungen sehr klein gehalten werden, so dass deren Einbau

auch in schmale Nuten, bzw. in sehr niedrige Transformatorenspulen möglich ist. Fig. 3 zeigt eine der üblichen Ausführungen eines Messelementes. Um eine Beschädigung der Elemente vor und während des Einbaues zu verhüten, ist das Element von einer Schutzhülle aus Konstantanblech umgeben, welche mit einem Ende des Widerstandes durch Verlötung leitend verbunden ist. Wird das Element auf den nackten Kupferleiter gelegt, welche Montageart immer zu empfehlen ist (also unter Vermeidung jeglicher isolierender Zwischenschichten), so verbürgt die leitende Verbindung zwischen dem Widerstandsband und der Schutzhülle gleiches Potential zwischen Messelement und Kupferleiter. Bei einer allfälligen Isolationsprobe

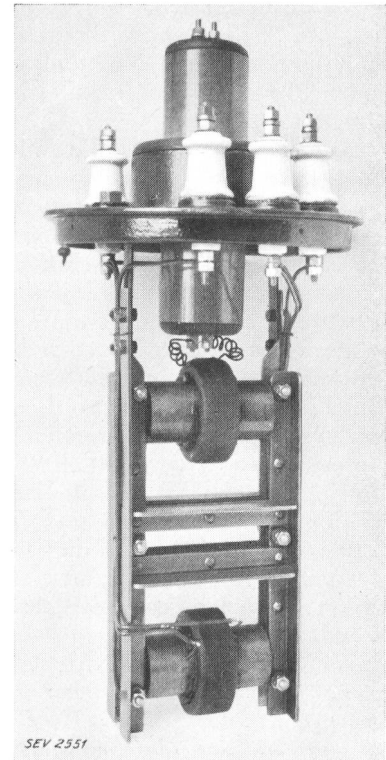


Fig. 2.
Schutztransformator, isoliert für eine Prüfspannung von 25 kV, bestimmt zur Montage im Kessel des zu messenden Leistungstransformators. Eigentlicher Schutztransformator oben, Vergleichstransformator unten angeordnet. Gewicht ca. 5 kg.

wird damit eine Gefährdung des Elementes infolge Durchschlages vermieden. Die Dicke des Messelementes inklusive Schutzhülle beträgt ca. 1,5 mm. Seine effektive Länge ist 100 bis 110 mm.

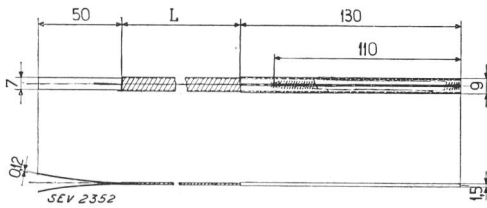


Fig. 3.

Widerstandsmesselement mit induktionsfreier Platinbandwicklung auf Glimmerträger und Schutzhülle aus Konstantanblech. Widerstand 20 Ohm bei 20° C. Bestimmt zum direkten Einbau in Nuten oder Transformatorenspulen.

Es ist häufig erwünscht, mit derselben Messeinrichtung neben der Kupfertemperatur auch diejenige der Lager und des Eisens von Generatoren, oder des Oels und des Kerns der Transformatoren zu messen. Für solche Meßstellen treten an Stelle der Schutzwandler Ersatztransformatoren kleinster Abmessungen, wodurch ohne besondere Vorkehrung der gleiche Messbereich erzielt werden kann. Die Ersatztransformatoren werden in Kästen von den Abmessungen gewöhnlicher Vorwiderstandskasten eingebaut. Für die Umschaltung der einzelnen Meßstellen auf das Anzeigeinstrument eignen sich nur Schalter mit unveränderlichem Kontaktübergangswiderstand. Eine Aenderung des letzteren würde einen störenden Messfehler verursachen. Jede Messeinrichtung erhält eine besondere sogenannte Kontrollstelle, welche mit einem festen auf einen gewissen Temperaturwert abgestimmten Widerstand verbunden ist. Diese Kontrollstelle hat den Zweck, sich über das normale Funktionieren der Messeinrichtung zu vergewissern. Auch lässt sie das Ausbleiben der Speisespannung sofort erkennen. Um die Widerstände der meistens ziemlich langen Messleitungen an Ort und Stelle kompensieren zu können, wird im Zuge jeder Leitung ein Ausgleichswiderstand von 5 Ohm eingeschaltet, welcher vor Inbetriebnahme der Anlage um den Widerstand der Leitung verkleinert wird. Dies geschieht mit einem besondern Abstimmwiderstand, welcher der Reihe nach an Stelle jedes Messelementes angeschlossen wird.

In Fig. 4 ist das Schema einer Temperaturmess-einrichtung für vier Meßstellen, wovon zwei mit Schutzwandlern, dargestellt.

Da, wo die selbsttätige Warnung bei Erreichung einer bestimmten, maximal zulässigen Temperatur vorgesehen werden soll, in erster Linie bei Spurlagern grosser Maschineneinheiten, kann eine solche Meßstelle dauernd an ein Relais angeschlossen werden. Letzteres wird gleich ausgeführt wie das Anzeigeinstrument und besitzt einen auf bestimmte Temperaturwerte einstellbaren Kontakt, welcher bei Berührung mit dem Systemkontakthebel eine Fallklappe betätigt, die ihrerseits den Alarmstromkreis schliesst.

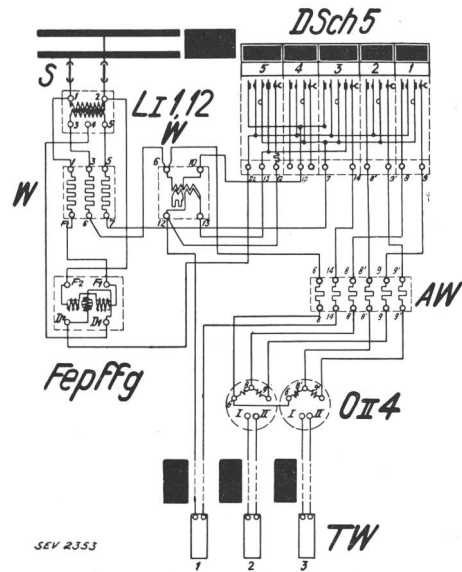


Fig. 4.

Schaltungsschema einer Temperaturmess-einrichtung.

- Fepffg Anzeigeinstrument.
- W Vorwiderstände und Ersatztransformatoren für die Schutztransformatoren zum Messelement TW.
- LI1,12 Brückentransformator.
- DSch5 Druckknopfschalter.
- AW Ausgleichswiderstände für die Leitungen.
- OI4 Schutztransformatoren.
- TW Widerstandselemente.

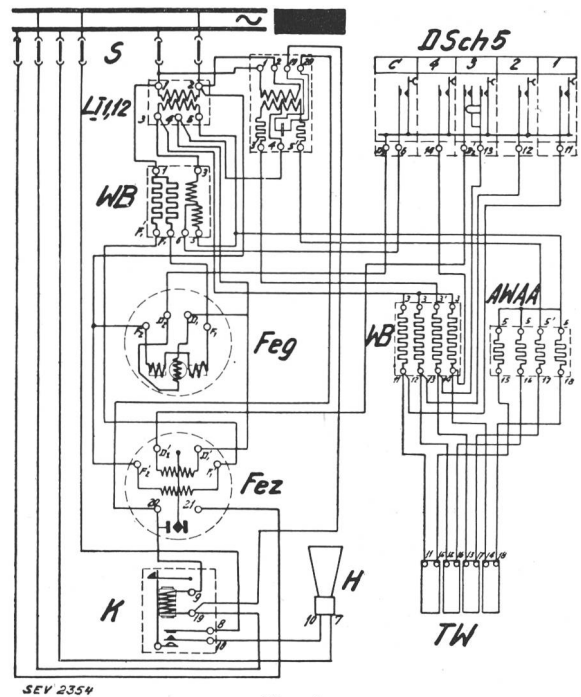


Fig. 5.

Schaltungsschema einer Temperaturmess-einrichtung mit 4 Meßstellen, wovon eine dauernd an ein Relais angeschlossen ist und bei Erreichung einer einstellbaren Temperatur einen Signalstromkreis schliesst.

- Feg Anzeigeinstrument.
- Fez Relais.
- K Fallklappe.
- H Akustisches Signalmittel.
- LI1,12 Brückentransformator.
- WB Vorwiderstände.
- AWAA Ausgleichswiderstände für die Leitungen.
- DSch5 Druckknopfschalter.
- TW Widerstandselemente.

Fig. 5 zeigt schematisch eine solche Messeinrichtung mit einer durch ein Relais dauernd überwachten Meßstelle. Für die Messung wird bei Betätigung der betreffenden Taste des Druckknopfschalters die Drehspule des Relais aus, diejenige des Anzeigeinstrumentes eingeschaltet.

Soll der zeitliche Verlauf der Temperaturen festgehalten werden, so werden die Meßstellen an einen Mehrfach-Punktschreiber angeschlossen.

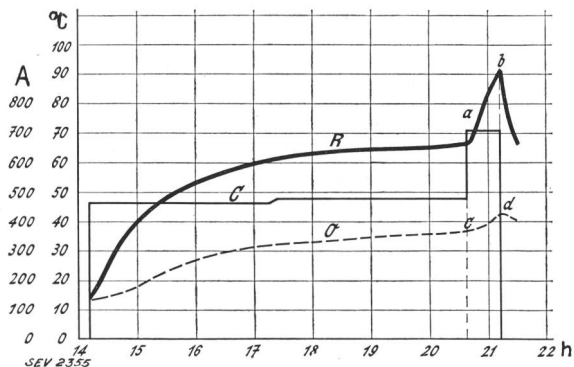


Fig. 6.

Temperaturkurven eines Einphasen-Transformators von 7000 kVA, 15/60 kV, 16% Per./s. für Bahnbetrieb.
 C Belastungsstrom auf der Sekundärseite.
 O Temperaturkurve des Oeles (unter dem Deckel gemessen).
 R Temperaturkurve der Wicklung (in der obersten Spule der Niederspannungswicklung gemessen).
 a-b Temperaturanstieg der Wicklung (bei einer Ueberlastung von 50% während einer halben Stunde).
 c-d Temperaturanstieg im Oel.

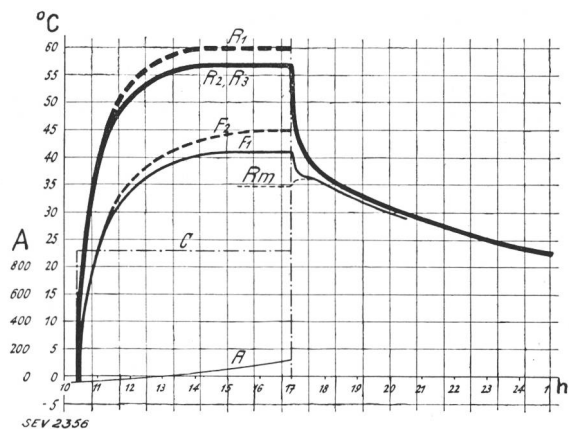


Fig. 7.

Temperaturkurven eines Drehstromgenerators von 16500 kVA, 8,8 kV, 50 Per./s.
 R₁, R₂, R₃ Wicklungstemperaturen.
 F₁, F₂ Eisentemperaturen.
 R_m mittlere Wicklungstemperatur, berechnet aus den Widerständen der Wicklungen.
 C Belastungsstrom.
 A Lufttemperatur.

Fig. 6²⁾ zeigt die Temperaturkurven, aufgenommen an einem Einphasen-Transformator von 7000 kVA Nennleistung. Gemessen wurde die Temperatur einer der obersten Unterspannungsspulen (15 kV) und diejenige der obersten Oelschicht. Der Transformator wurde während 6½ h im Kurzschluss mit der Nennstromstärke von 470 A be-

²⁾ Aus: «Das Kraftwerk Ritom der Schweizerischen Bundesbahnen», von Dipl.-Ing. Habich. SBZ, 4. August 1923.

lastet: daran schloss sich eine halbstündige Ueberlastung von 50 %. Während die Oeltemperatur nur um 6° C weiter stieg, zeigte das Kupfer eine weitere Temperaturerhöhung um 22° C.

Aus Fig. 7³⁾ ist der Temperaturverlauf im Kupfer und im Eisen eines Drehstromgenerators von 16 500 kVA Dauerleistung bei 8800 V Klemmenspannung ersichtlich. In je einer Spule jeder Phase war ein Messelement unmittelbar auf dem Kupfer, mitten in der Nut, angebracht und je ein Element in zwei Zacken des Stator Eisens. Der Generator wurde während 6½ h mit 900 A belastet. Die stationäre Erwärmung war bei einem Strom von ca. 900 A nach 5 h erreicht. Aus den Abkühlungskurven ist zu erkennen, dass die Wärmekapazität der Wicklungen viel geringer ist als diejenige des Eisens.

II. Erwärmungsmessung an Hochspannungskabeln.

Die Messung der Erwärmung von Hochspannungskabeln während des Betriebes bildet ein Kapitel für sich. Der in Kabeln beschränkte Raum erlaubt es nicht, ein Messelement zwischen Kupfer und Isolation unterzubringen; auch würde die Homogenität der letzteren derart gestört, dass wohl keine Kabelfabrik ihre Garantien hinsichtlich der elektrischen Festigkeit aufrecht erhalten würde. Nach einem Vorschlag von Obering. A. Kleiner, Innertkirchen, hat die Firma TTC die Möglichkeit der Verwendung eines thermischen Abbildes untersucht und ist dabei zu einem brauchbaren Resultat gekommen.

Ein thermisches Abbild muss gleiche Erwärmungs- und Abkühlungskurven haben wie das Kabel, vorausgesetzt, dass es im gleichen Medium liegt wie dieses selbst. Dabei darf trotzdem nicht erwartet werden, dass unter allen Umständen die Temperaturen in Abbild und Kabel miteinander ansteigen. Das Kabel, dessen Wärmeleitfähigkeit

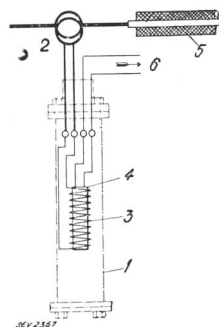


Fig. 8.

Schema eines thermischen Abbildes.

- 1 Gehäuse.
- 2 Stromwandler.
- 3 Heizspule.
- 4 Widerstandselement.
- 5 Hochspannungskabel.
- 6 z. Temperaturanzeigeelement.

achsial, d. h. in der Längsrichtung des Kupferleiters ca. 500mal grösser ist als radial, also durch die Isolation hindurch, kann in Zonen liegen, die sich hinsichtlich Wärmefortleitung merklich voneinander unterscheiden. Sind diese Zonen nicht ausgedehnt genug, so tritt ein Wärmestrom in der Längsaxe auf. Je nach deren Richtung zum Ort, wo die

³⁾ Von der Maschinenfabrik Oerlikon dem Verfasser zur Verfügung gestellt.

Temperatur gemessen wird oder von diesem weg, wird das thermische Abbild eine zu hohe oder zu tiefe Temperatur anzeigen.

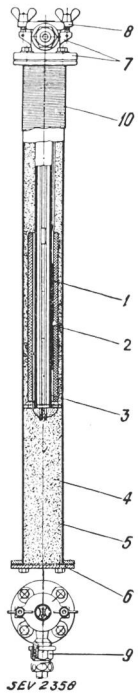


Fig. 9.

Längsschnitt durch ein thermisches Abbild zu einem 50-kV-Einleiterkabel.

Masstab ca. 1:10.

- 1 Heizspule.
- 2 Widerstandselement.
- 3 Heizspulenträger.
- 4 Wärmeisolationmaterial.
- 5 Gehäuse.
- 6 Abschlussdeckel.
- 7 Klemmenkopf.
- 8 Klemmenkopfdeckel.
- 9 Anschlußstützen mit Stopfbüchse.
- 10 Juteumwicklung.

Für die Konstruktion des thermischen Abbildes war massgebend gleicher Effektverbrauch bezogen auf gleiche Länge und gleicher Temperaturgradient in radialer Richtung und schliesslich dieselbe Wärmeübergangszahl.

Fig. 8 zeigt schematisch Aufbau und Schaltung eines Abbildes. Aus Fig. 9 ist der konstruktive Aufbau eines Abbildes ersichtlich, welches auf ein 50-kV-Einleiterkabel abgestimmt war⁴⁾.

Da die Abstimmung etwas umständlich ist und nur durch Vergleich mit einem Kabelstück von genügender Länge erfolgen kann, in welchem an drei Stellen Messelemente eingelegt werden, wobei die Kabelenden entweder gekühlt oder geheizt werden müssen, um eine Wärmeströmung längs des Leiters zu verhindern, wurde neuerdings versucht, das Abbild aus einem ca. 50 cm langen Stück des betreffenden Kabels selbst herzustellen, indem die Drähte herausgezogen und durch entsprechend dünnere, aber isolierte Drähte ersetzt wurden, die in Serie geschaltet, den Heizstrom auf 1 bis 2 A zu vermindern erlaubten. Die Wärmeströmung nach dem Anschlusskopf hin wurde durch eine unmittelbar unter diesen eingesetzten Heizspule kompensiert. Die Abstimmung eines solchen Abbildes erwies sich als bedeutend einfacher. Weitere Untersuchungen mit demselben sind zur Zeit noch im Gange.

Zusammenfassend ist zu sagen, dass die Temperaturmessung, wie wir sie hier beschrieben haben, sich zu einem Sondergebiet der elektrischen Messtechnik entwickelte, welches im Laufe der letzten Jahre in dem Masse, als sich sein Nutzen in der

Praxis erwiesen hat, immer mehr Anwendungs- und Kombinationsmöglichkeiten zeitigte.

Diskussion.

Wellauer, Maschinenfabrik Oerlikon (MFO), erkundigt sich, ob nicht schon untersucht wurde, die dielektrische Verlustmessung für die Betriebskontrolle eines Kabels zu verwenden. Aus der Höhe der dielektrischen Verluste liesse sich ein besserer Rückschluss auf den Zustand eines Kabels ziehen als aus der Messung der Kupfertemperatur.

Kleiner, Kraftwerke Oberhasli A.-G. (KWO), bemerkt, wenn das thermische Verhalten von Maschinen im Betrieb beurteilt werden solle, nicht nur die Kenntnis der Erwärmung der ruhenden Teile, der Statorwicklung, sondern auch diejenige des rotierenden Teils nötig ist. Sind Methoden bekannt, mit deren Hilfe die Erwärmung der Rotorwicklungen während des Betriebes gemessen werden kann?

Der *Referent* glaubt, dass die Messung der dielektrischen Verluste während des Betriebes schwierig ist. Eine Brückenschaltung dürfte infolge ihrer Subtilität und Kurvenabhängigkeit nicht in Frage kommen. Auch wenn es gelänge, die dielektrischen Verluste während des Betriebes laufend zu messen, so dürfte es schwierig sein, aus deren Grösse auf die Erwärmung zu schliessen. — Was die Frage nach Messmethoden für die Rotorwicklungen betrifft, ist zu sagen, dass der Meßstrom auf irgend eine Weise vom rotierenden System auf ein ruhendes System übertragen werden muss. Bei Verwendung von Schleifringen kommen die von unberechenbaren Umständen abhängigen Uebergangswiderstände ins Spiel, deren unerwünschter Einfluss vielleicht durch Messelemente grossen Widerstandes überwunden werden könnte. Es wäre auch induktive Uebertragung mit sehr loser Kopplung denkbar. Z. Zt. ist dem Sprechenden keine ausgeführte Anlage zur Messung der Erwärmung rotierender Teile bekannt.

Sulzberger, Zürich, erkundigt sich über die Genauigkeit des Induktionsdynamometers in der vom Referenten beschriebenen Brückenschaltung, dessen Zeigerlage nur durch elektrodynamische Kräfte bestimmt ist, im Gegensatz zu anderen Zeigerinstrumenten, bei denen zwei entgegengesetzte Drehmomente wirksam sind.

Der *Referent* sieht in dieser Beziehung keinen grundsätzlichen Unterschied zwischen dem Induktionsdynamometer und irgend einem andern Zeigerinstrument. Bei Beachtung der massgebenden Gesichtspunkte, gute Spitzen und Lagersteine, kleines Gewicht des beweglichen Systems, besitzt ein Elektrodynamometer praktisch genügende Genauigkeit. Das Gewicht des beweglichen Systems beträgt 3 bis 7 g, das Instrumenten-Drehmoment bei 90° Ablenkung aus seiner jeweiligen Gleichgewichtslage 0,3 bis 0,5 cmg.

Walter, Siemens EAG, Zürich, teilt zum Votum *Wellauer* mit, dass Prof. *Keinath* eine Einrichtung angegeben habe, welche dauernd die dielektrischen Verluste von im Betrieb befindlichen Generatoren messe und registriere.

Wellauer (MFO), macht darauf aufmerksam, dass die Messung der dielektrischen Verluste bei Generatoren zu falschen Schlüssen führen kann, da die Kenntnis der totalen an einer Maschine gemessenen dielektrischen Verluste nicht viel bezüglich der Gefährdung der Isolation aussagt, denn 90 % der gemessenen Verluste an normalen Maschinen dürften unschädliche Glimm- und Ableitungsverluste darstellen und vielleicht nur 10 % kommen für die Beurteilung der Maschinenisolation innerhalb der Nuten in Betracht. Bei Kabeln liegen die Verhältnisse wesentlich günstiger und gerade für Kabel dürfte die Verwendung der dielektrischen Verlustmessung für die Betriebskontrolle wertvoll sein.

Grediger, Technikum Biel, bittet um Bekanntgabe von Betriebserfahrungen mit dem thermischen Abbild bei Kabeln.

Kleiner (KWO), hatte Gelegenheit, ein derartiges thermisches Abbild in der 50-kV-Kabelanlage Handeck-Guttannen zu beobachten. Da diese Kabelanlage bis heute jedoch nie sehr stark belastet war, kann von eigentlichen Betriebserfahrungen noch nicht gesprochen werden. Immerhin zeigt sich, dass mit den thermischen Verzögerungen zu rechnen ist. Die maximale Temperatur wird erst erreicht, nachdem die Spitzenbelastung bereits vorbei ist, was im Abbild sehr gut zum Ausdruck gebracht wird.

⁴⁾ S. Bull. SEV 1929, Nr. 22, S. 762.