

**Zeitschrift:** Bulletin de l'Association suisse des électriciens  
**Herausgeber:** Association suisse des électriciens  
**Band:** 49 (1958)  
**Heft:** 25

**Artikel:** Messumformer nach dem Prinzip des Drehmoment-Kompensators  
**Autor:** Blamberg, E. / Luder, W.  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-1058552>

#### 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:** 22.02.2026

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

ein beliebiger, ebenfalls ungeeichter Belastungswiderstand für die Durchführung der Messung genügen. Für sehr rasche Messungen empfiehlt sich in diesem Falle die Voltmeter-Skala nach  $\Delta V/V$  einzuteilen oder sich einer Hilfsskala nach Fig. 7 zu bedienen.

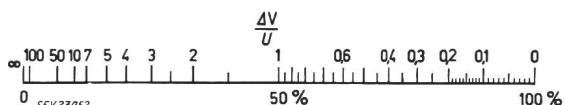


Fig. 7

Skalenbeispiel für Messungen mit beliebigem Voltmeter

$$\Delta V = U_x - U; \quad U \text{ Spannung an } Z$$

$$\frac{\Delta V}{U} = a; \quad \frac{\Delta V_1}{U_1} = a_1 \text{ usw.}$$

bedienen. In diesem Fall kann die Berührungsspannung aus 3 Ablesungen  $a_1, a_2, a_3$  rasch bestimmt werden.

$$U_{Z0} = \frac{U}{a_1} \left\{ \sqrt{a_2 a_1 - a_3 (a_1 + a_2 - a_3)} + a_1 - a_3 \right\}$$

Wenn z. B. die Ablesungen am Messinstrument sind:

$$a_1 = 0,9$$

$$a_2 = 0,6$$

$$a_3 = 0,5$$

und  $U = 100 \text{ V}$

dann wird

$$U_{Z0} = \frac{100}{0,9} \left\{ \sqrt{(0,54 - 0,5) + 0,4} \right\} = 66,6 \text{ V}$$

Die Hilfsskala  $\Delta V/V$  umfasst von 0...1 alle Werte von

$$Z_N + Z_0 \leq Z_m$$

Im Grenzfall  $Z_N + Z_0 = Z_m$  ist der Spannungsabfall 50%. Auf der Skala eines Voltmeters von 0...100% können alle Werte  $\Delta V/V$  von 0...∞ untergebracht werden. Diese können aber auch berechnet oder durch ein Nomogramm ermittelt werden.

#### Adresse des Autors:

G. Induni, Vizedirektor, Trüb, Täuber & Co. A.-G., Ampèrestrasse 3, Zürich 37.

621.314.22.08

Après un exposé de la construction et du fonctionnement de convertisseurs de mesure selon le principe du compensateur automatique de couple, les auteurs indiquent quelles sont les opérations numériques qui peuvent être effectuées avec de tels appareils, puis ils décrivent comment il est possible de résoudre, avec ceux-ci, les problèmes de sommes et de différences qui se posent dans des installations de répartition des charges.

## Messumformer nach dem Prinzip des Drehmoment-Kompensators

Von E. Blamberg und W. Luder, Wohlen

Zunächst werden Bau- und Wirkungsweise von Messumformern nach dem Prinzip des automatischen Drehmoment-Kompensators erläutert. Sodann wird gezeigt, welche Rechenoperationen man mit solchen Geräten ausführen kann. Schliesslich wird beschrieben, wie man mit ihrer Hilfe die in Lastverteiler-Anlagen anfallenden Aufgaben beliebiger Summen- und Differenzbildung lösen kann.

### 1. Allgemeines

Messumformer spielen im Rahmen der Fernmessung, Regelung und Automatisierung eine grosse Rolle. Sie formen eine zu messende beliebige physikalische Grösse in eine andere um, deren Messung oder Weiterverarbeitung technische oder wirtschaftliche Vorteile bietet.

Grosse praktische Bedeutung haben beispielsweise Messumformer auf pneumatischer Basis erlangt. Sie formen Druck, Temperatur, Bewegung oder Winkelstellung in proportionalen Luftdruck um, mit dem dann Messungen, Steuerungen und Regelungen ausgeführt werden können. Eine andere Art Umformer beruht auf thermischem Prinzip. Er formt Hochfrequenzströme in Gleichspannung um. Weiter sei der «Hallgenerator» erwähnt, der in den letzten Jahren eine stürmische Entwicklung erfahren hat. Man kann mit ihm elektrische und magnetische Grössen in Gleichspannung umformen. Dass man Wechselströme für Messzwecke mit Hilfe von Gleichrichtern in Gleichströme umformt, ist allgemein bekannt.

Winkelstellungen kann man mit Hilfe induktiver Geber in Wechselspannungen und diese nach Gleichrichtung und gegebenenfalls Verstärkung in Gleichströme umformen. Auf diese Weise lassen sich beispielsweise  $\cos\varphi$ -Messumformer herstellen.

Die folgenden Betrachtungen lassen alle diese Umformer ausser acht. Sie beziehen sich ausschliesslich auf das Gebiet der Umformung der für die Elektrizitätswirtschaft besonders interessanten Messgrössen, also in erster Linie der Wirk- und Blindleistung, daneben auch der Frequenz, und zwar nach dem Prinzip der Drehmoment-Kompensation. Immer ist dabei die Aufgabe gestellt, die Messgrösse in einen proportionalen Gleichstrom (nicht Gleichspannung) umzuformen.

### 2. Warum überhaupt Messumformer?

Die Messgrösse durch Gleichstrom darzustellen, empfiehlt sich immer, wenn man auf eine Entfernung von 100 m bis 100 km mehrere Anzeigegeräte oder Schreibgeräte an verschiedenen Orten gleichzeitig betätigen will, wenn man Summen oder Differenzen von Leistungen zu bilden hat, oder wenn eine Regelaufgabe vorliegt. Besonders vorteilhaft ist die Verwendung von Messumformern dann, wenn alle drei Forderungen gleichzeitig vorliegen, wie das z. B. bei Lastverteiler-Anlagen der Fall ist.

Der grosse Vorteil des Gleichstromes besteht darin, dass man ihn einmal über dünne Drähte fernleiten und zum andern mit Leichtigkeit zur Bildung von Summen und Differenzen verwenden kann. Wollte man dagegen die Leistung eines Dreiphasen-

Anzeigers fernübertragen, so müsste man mindestens 4 Stromleiter für 5 A und 3 Spannungsleiter verlegen. Summieren könnte man nur mit Hilfe komplizierter Wandlerschaltungen und nur bei synchronen Netzen.

Unentbehrlich sind Messumformer in umfangreichen und ausgedehnten Schaltanlagen. Hier ordnet man sie in unmittelbarer Nähe der Wandler an und führt zu den Schalttafeln nur 2 dünne Drähte.

Auch im Zuge der Verkleinerung von Schaltpulten kommt man wegen der beschränkten Unterbringungsmöglichkeit der Leiter nicht ohne Messumformer aus. Außerdem kann man Drehspul-Messwerke bauen, die kleiner sind als etwa dynamometrische Doppel-Messwerke.

### 3. Die Bemessung der Gleichstrom-Ausgleichsleistung

Die Stärke des Ausgangs-Gleichstromes wird man nach wirtschaftlichen Erwägungen wählen. Als Empfangs-Instrumente dienen solche mit Drehspul-Messwerken. Bei diesen ergeben Ströme von einigen mA optimale Konstruktionsbedingungen. Auch für die Fernleitung ist diese Stromstärke günstig. In der Praxis sind 3...5 mA für Endausschlag eingeführt und haben sich gut bewährt. Dieser Strom wird einer Spannungsquelle entnommen, die bei Vollast etwa 25 V abgibt. Das entspricht einem äusseren Widerstand im Gleichstromkreis von 5000  $\Omega$ . Ein Drehspul-Anzeigegerät für 5 mA hat einen Eigenwiderstand zwischen 5 und 50  $\Omega$ , ein Drehspul-Linienschreiber von etwa 500  $\Omega$ . Alle Empfangsgeräte werden in Serie geschaltet. Hat man beispielsweise an den verschiedenen Stellen der Fernleitung 5 Anzeiger und 2 Schreiber, so ergibt ihr Eigenwiderstand 1250  $\Omega$ . Für die Fernleitung bleiben somit 3750  $\Omega$  übrig. Bei einem Leiterdurchmesser von 0,8 mm entspricht dieser Widerstand etwa 53 km Entfernung; bei Verwendung von Draht mit 1,5 mm<sup>2</sup> Querschnitt kann man etwa 150 km überbrücken.

Gelegentlich wird für den Eingang in Regelapparaturen eine grössere Stromstärke gefordert. Das kann man dann am Ort des Reglers durch Zwischenschaltung eines Gleichstrom-Verstärkers nach dem Prinzip des automatischen Lindeck-Rothe-Kompensators leicht verwirklichen. Es bestehen Konstruktionen für die Abgabe von 20 und 1000 mA.

### 4. Prinzip des Drehmoment-Kompensators

Wie schon gesagt, soll der Messumformer die Messgrösse in proportionalen Gleichstrom umformen. Es ist sehr schwierig, aus Messgrössen, die, wie z. B. Wirk- und Blindleistung, selbst ein Produkt enthalten, etwa auf elektronischem Wege einen Gleichstrom herzustellen. Für solche Zwecke hat sich praktisch am besten das Prinzip des Drehmoment-Kompensators bewährt. Anhand des Beispiels eines Messumformers für Wirkleistung sollen das Prinzip und die Wirkungsweise eines solchen Gerätes beschrieben werden.

Stellen wir uns ein normales Wattmeter-Messwerk vor, z. B. ein eisengeschlossenes Dynamometer, des-

sen Feldwicklung vom Strom durchflossen wird und dessen Drehspule an der Spannung liegt. (Selbstverständlich können bei Dreiphasen-Systemen auch 2 oder 3 Messwerke auf der gleichen Achse angeordnet werden.) Ein solches Messwerk erzeugt bekanntlich mit seiner Drehspule ein Drehmoment, welches  $UI\cos\varphi$ , also der Wirkleistung proportional ist. Bei dem normalen Anzeigegerät kommt die Zeigereinstellung dadurch zustande, dass dieses Drehmoment von dem mechanischen Gegendrehmoment einer Spiralfeder kompensiert, d. h. im Gleichgewicht gehalten wird.

Stellen wir uns weiter ein normales Drehspulmesswerk bekannter Bauart vor. Bei diesem erzeugt die Drehspule ein Drehmoment, welches dem durchfliessenden Strom  $i$  proportional ist.

Jetzt sollen das Wattmeter und das Drehspul-Instrument mechanisch so übereinander angeordnet werden, dass die Drehachsen genau in einer Linie liegen. Man kuppelt dann die beiden Drehsysteme miteinander durch einen Mitnehmer, so dass aus den 2 Drehsystemen praktisch eines wird. Natürlich kann man die beiden Mittellager weglassen und die Drehspulen des Dynamometers und des Drehspulmesswerkes auf einer einzigen Achse anbringen. Eine solche Anordnung enthält bereits die Hauptbauelemente eines Drehmoment-Kompensators

Eines jedoch muss noch geändert werden: Wir nehmen sowohl beim Wattmeter als auch beim Drehspulgerät die Spiralfedern heraus und ersetzen die Stromzuführung zu den Drehspulen durch dünne, im Messgerätebau übliche und praktisch richtkraftlose Goldbändchen.

Jetzt schliessen wir das Wattmeter normal an, so dass es nach rechts ausschlägt, während wir durch das Drehspulgerät einen Strom schicken, der einen Linksausschlag hervorruft. Diesen Drehspulstrom

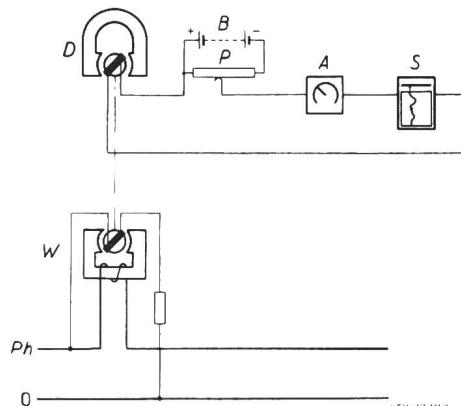


Fig. 1

Prinzip eines Drehmoment-Kompensators

W Wattmeter (Elektrodynamometer); D Drehspulmesswerk; Ph Phasenleiter; 0 Nulleiter; P Batterie; P Potentiometer; A Anzeigegerät; S Schreibgerät

entnehmen wir aus einer beliebig starken Gleichstromquelle und regeln ihn mit Hilfe eines Potentiometer-Widerstandes nach Wunsch zwischen 0...5 mA (Fig. 1).

Beschicken wir das Wattmeter-Messwerk allein, so setzt die geringste Leistung, die wir ihm zufüh-

ren, das Drehsystem in Bewegung bis zum Endanschlag, da ja kein Gegendrehmoment die Drehung auffängt. Schicken wir aber gleichzeitig einen Gleichstrom durch die Drehspule, so können wir diesen so einregeln, dass das gesamte Drehsystem keine Bewegung mehr ausführt. Dann ist dieser Gleichstrom ein genaues Mass für das Drehmoment des Wattmeters und damit für die zu messende Leistung, es ist also, abgesehen von Konstanten,  $i = UI\cos\varphi$ .

Natürlich kann man in der Praxis den Drehspulstrom nicht von Hand einregeln, sondern man muss dafür sorgen, dass dies automatisch geschieht. Das erreicht man, indem man den Drehspulstrom von der Drehung des beweglichen Organs aus elektronisch steuert. Entweder ändert man durch Drehen eines Spiegels oder einer Blende die Beleuchtung einer Photozelle, die ihrerseits den Drehspulstrom direkt oder durch Zwischenschaltung einer Verstärkerröhre oder eines Transistors steuert (Fig. 2), oder man beeinflusst mit Hilfe einer kleinen Blechfahne, die man am Drehsystem anbringt, die Kopplung eines Schwingungskreises, der dann nach Gleichrichtung den Drehspulstrom liefert.

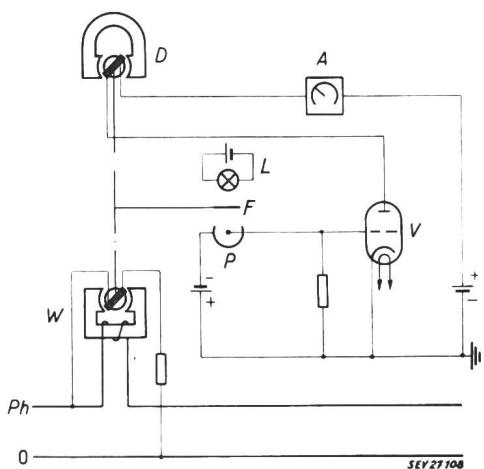


Fig. 2  
Automatischer Drehmoment-Kompensator für  
Leistungsmessung

L Lampe; F Fahne; P Photozelle; V Verstärkerröhre;  
A Anzeigegerät  
Weitere Bezeichnungen siehe Fig. 1

Beide Methoden haben ihre Vor- und Nachteile. Die Steuerung des Gleichstromes darf auf das Wattmeter-Messwerk keine Rückwirkung ausüben. Jede solche Rückwirkung bedeutet einen Fehler. Auf die Fahne, die die Kopplung des Schwingungskreises ändert, werden gewisse, wenn auch kleine Kräfte ausgeübt. Die Steuerung einer Photozelle ist zwar rückwirkungsfrei, sie erfordert jedoch eine Lichtquelle. Normale Glühlampen haben eine Lebensdauer von einigen 1000 Brennstunden. Man darf also hiefür keine solchen verwenden, sondern muss Speziallampen wählen, die mit niedrigerer, als ihre Nennspannung brennen und deren Leuchtfäden mit dem Träger verschweisst sind. Ebenso wird man keine üblichen Elektronenröhren, sondern solehe der technischen Serien benützen. Für Speziallam-

pen und -röhren können 10 000 Brennstunden, also ein ununterbrochener Betrieb für die Dauer eines Jahres garantiert werden.

Elektronenröhren werden künftig zweifellos immer mehr durch Transistoren ersetzt werden, jedoch ist zurzeit die Temperaturempfindlichkeit bei den handelsüblichen Germanium-Transistoren oft ein Hindernis für die allgemeine Einführung.

### 5. Genauigkeit und Einstellgeschwindigkeit

Grundsätzlich soll man die Genauigkeit eines Messumformers möglichst hoch treiben. Zu bedenken ist, dass der Messumformer ein zusätzliches Glied in der Messkette darstellt und zusätzliche Fehler in die Messung hineinbringt. Während man bei normalen Schalttafel- und Betriebs-Messinstrumenten im allgemeinen mit der Klasse und Toleranzgrenze  $\pm 1,5$  zufrieden ist, sollte man bei Messumformern mindestens eine Toleranz von  $\pm 0,5$ , wenn nicht eine solche von  $\pm 0,2$  anstreben.

Die Toleranz bei Messgeräten bezieht sich bekanntlich stets auf den Skalenendwert. Bei Differenz-Bildungen wirken sich die Toleranzen besonders unangenehm aus. Nehmen wir beispielsweise an:

Ein Lastverteiler beziehe von A 90 MW. Er soll nach B 100 MW abgeben, so dass ihm C zusätzlich 10 MW liefern muss. Wird mit einer Toleranz von  $\pm 1,5\%$  gemessen, können statt 100 entweder 98,5 oder 101,5 MW und statt 90 entweder 88,65 oder 91,35 MW angezeigt werden. Die Differenz kann also im ungünstigsten Falle einmal mit 12,35 und einmal mit 7,15 MW erscheinen, während es in Wirklichkeit 10 MW sind.

Bei der Klasse 0,2 sind die entsprechenden Werte 10,38 und 9,62 MW. Wenn auch der wahrscheinliche Fehler kleiner ist, so ist doch die Forderung, die Messumformer so genau wie möglich zu machen, namentlich bei Differenzbildungen, berechtigt.

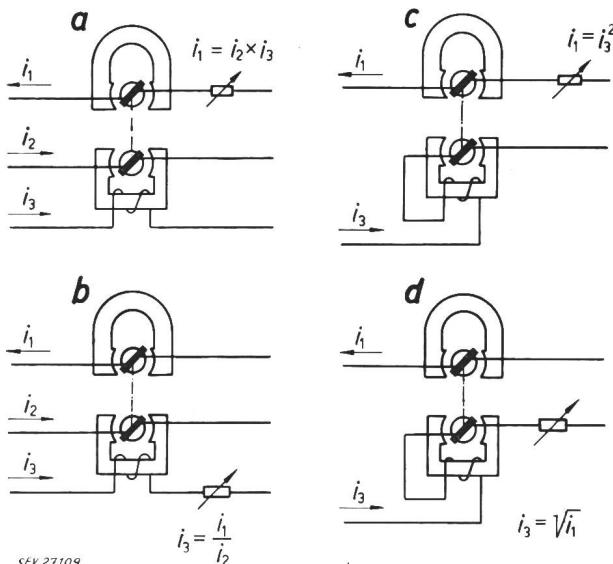
Eine solche Genauigkeit kann man natürlich nur erreichen, wenn man ein entsprechend genaues Wattmeter-System verwendet. Praktisch kommt dafür wohl nur ein eisengeschlossenes Elektrodynamometer in Frage, das man entsprechend dimensionieren kann. Bei Ferraris-Geräten dürfte die Einhaltung solcher niedriger Toleranzgrenzen trotz der gewaltigen Verbesserungen, die diese Geräte in den letzten 20 Jahren erfahren haben, kaum möglich sein.

Die Einstellzeit des Messumformers, d. h. also die Zeit, die der Gleichstrom braucht, um beispielsweise von 0 aus seinen Sollwert zu erreichen, ist für die reine Messung weniger von Bedeutung als etwa für eine angeschlossene Regelung. In diesem Fall muss sich der Ausgangs-Gleichstrom möglichst schnell und völlig schwingungsfrei einstellen. Gute Konstruktionen arbeiten mit Einstellzeiten von 50...100 ms. Erfolgt die Einstellung nicht schwingungsfrei, können in der nachgeschalteten Regelung die unliebsamsten Störungen auftreten. Für eine solche schnelle Einstellung ist ein dynamometrisches Messwerk, welches man mit geringem Trägheitsmoment bauen kann, angebracht.

## 6. Andere Anwendungsmöglichkeiten des Drehmoment-Kompensators

Der beschriebene Messumformer für Wirkleistung ist bei entsprechender Schaltung des Messwerks natürlich ohne weiteres als Blindleistungs-Messumformer zu verwenden.

Aber das Gerät ist noch wesentlich vielseitiger: Die Kombination Elektro-Dynamometer gegen Drehspulmesswerk hat ja grundsätzlich 3 Stromkreise, die in Wechselwirkung miteinander treten. Bezeichnen wir den Strom im Drehspulmesswerk mit  $i_1$ , denjenigen in der beweglichen Spule des Dynamometers mit  $i_2$  und jenen in der festen Wicklung des Dynamometers mit  $i_3$ , so besteht, von Konstanten abgesehen, die Beziehung  $i_1 = i_2 \cdot i_3$ . Es kommt nun ganz darauf an, welchen dieser 3 Ströme man mit Hilfe von Drehmoment-Kompensatoren automatisch regelt (Fig. 3).



Der Drehmoment-Kompensator als Rechengerät  
 a Bildung eines Produktes; b Bildung eines Quotienten;  
 c Bildung eines Quadrates; d Bildung einer Wurzel

Regelt man  $i_1$ , also den Drehspulstrom, so ist dieser dem Produkt  $i_2 \cdot i_3$  proportional (s. Fig. 3a). Regelt man dagegen  $i_3$ , den Feldspulstrom des Dynamometers, so ist dieser dem Quotienten  $i_1 : i_2$  proportional (s. Fig. 3b). Schickt man denselben Strom  $i_3$  hintereinander sowohl durch die Feldspule als auch durch die Drehspule des Dynamometers und regelt man  $i_1$ , dann ist dieser proportional  $i_3^2$  (s. Fig. 3c). Regelt man dagegen in der letzten Anordnung  $i_3$ , so ist dieser proportional  $\sqrt{i_1}$  (s. Fig. 3d).

Man kann also mit einer solchen Anordnung Produkte, Quotienten, Quadrate und Wurzeln bilden.

Eine bekannte Frequenzmeßschaltung bringt mit Hilfe eines Kreuzspulmesswerkes den Quotienten von 2 Strömen, die aus verschiedenen abgestimmten Resonanzkreisen stammen, nach Gleichrichtung zur Anzeige (s. Fig. 4). Der eine Resonanzkreis sei beispielweise auf 53 Hz abgestimmt, der andere auf 47 Hz. Bei 50 Hz sind die beiden Ströme gleich. Mit steigender Frequenz wird der eine grösser, der an-

dere kleiner und umgekehrt. Der Quotient  $i_1/i_2$  ist Funktion der Frequenz und unabhängig von der Spannung.

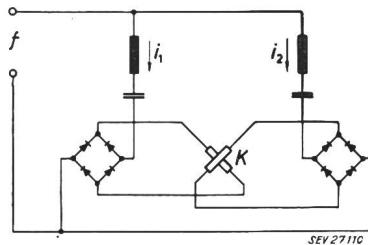


Fig. 4  
 Prinzipschaltung eines Frequenzmessers mit zwei verschiedenen abgestimmten Schwingungskreisen  
 K Kreuzspulmesswerk;  $i_1$ ,  $i_2$  Ströme in den beiden Schwingungskreisen; f zu messende Frequenz

Man erhält einen Messumformer für die Frequenz, indem man den Strom  $i_1$  dem Drehspulmesswerk zuführt und den Strom  $i_2$  durch die Drehspule des Dynamometers schickt. Wenn man nun mehr  $i_3$ , den Strom durch die feste Spule des Dynamometers, zur automatischen Drehmoment-Kompensation verwendet, dann ist, abgesehen von Konstanten,  $i_3 = i_1 / i_2$  und gibt dementsprechend die Frequenz an. Fig. 5 zeigt die Schaltung eines solchen Frequenz-Messumformers.

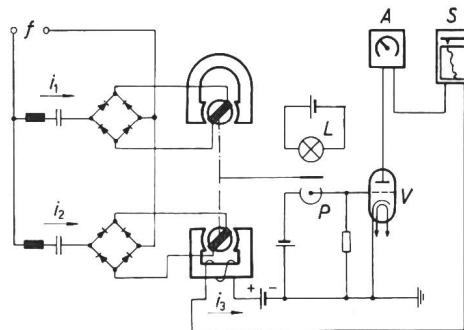


Fig. 5  
 Frequenzmessumformer nach dem Prinzip des Drehmoment-Kompensators  
 $i_1$ ,  $i_2$  Ströme in den beiden Schwingungskreisen;  $i_3$  Strom in der Feldspule des Elektrodynamometers; S Schreibgerät; f zu messende Frequenz  
 Weitere Bezeichnungen siehe Fig. 2

## 7. Bildung von Summen und Differenzen mit Hilfe von Messumformern

Jeder Messumformer erzwingt in seinem Ausgangskreis, ganz gleich, welche Geräte in diesem liegen und was sonst noch mit diesen passiert, einen Strom, der seiner Messgrösse proportional ist. Schickt man den Strom eines Messumformers beispielsweise durch ein Drehspulinstrument, und legt man an die Klemmen des Drehspulinstruments gleichzeitig noch den Ausgang eines zweiten Messumformers, so drücken beide Messumformer dem Drehspul-Instrument ihre Ströme auf. Dieses zeigt, je nachdem, welche Polarität die beiden an kommenden Ströme haben, entweder deren Summe oder Differenz.

Nach diesem Prinzip kann man mit einem oder mehreren Anzeige- und Schreibgeräten ein und

dieselbe Summen- oder Differenzbildung von beliebig vielen Messumformern vornehmen. Schwieriger wird die Aufgabe, wenn es — wie bei Lastverteilern — gilt, für viele Eingänge und Ausgänge beliebige Summen- oder Differenzbildungen darzustellen. Fig. 6 zeigt das Beispiel eines Schemas, wie eine solche Aufgabe zu lösen ist:

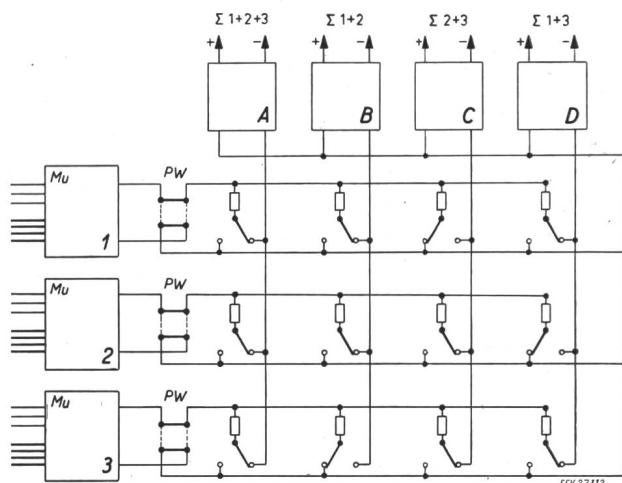


Fig. 6

## Schalschema eines Lastverteilers

*Mu* Messumformer mit Eingängen 1, 2, 3; *A*, *B*, *C*, *D* Abgänge über automatische Kompensatoren in Saugschaltung; *PW* Polwender

Angenommen, es seien 3 Eingänge und 4 Abgänge vorhanden. Die Eingänge laufen über die Leistungs-Messumformer 1, 2 und 3. Als erstes hat man dafür zu sorgen, dass bei sämtlichen zu summierenden Umformer-Strömen das gleiche Verhältnis zwischen Ausgangs-Gleichstrom und Wechselstrom-Leistung besteht. Wenn der Umformer 1 beispielsweise für 100 MW ausgelegt ist und beim Endwert 5 mA abgibt, muss ein zweiter, der für 50 MW ausgelegt ist, 2,5 mA für den Endwert abgeben, ein dritter, der für 20 MW ausgelegt ist, 1 mA usw. Sodann hat man den Ausgangsstrom jedes Messumformers in so viel gleiche Teile zu teilen, wie Abgänge vorhanden sind. Das geschieht in der Weise, dass man Parallel-Strom-

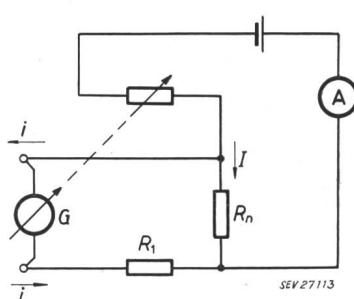


Fig. 7

## Kompensator in Saugschaltung

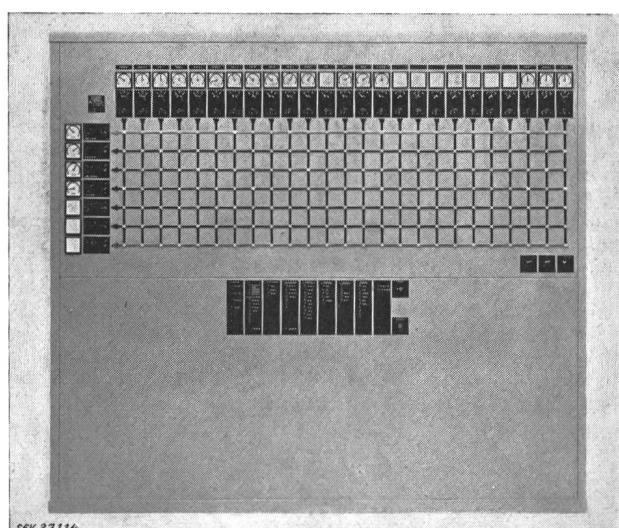
*i* Eingangsstrom; *I* Ausgangsstrom; *G* Nullgalvanometer; *A* mA-Meter

kreise mit gleichen Widerständen schafft. Alle Teilströme laufen zunächst über einpolige Umschalter in der Ruhestellung, ohne irgendwie angezeigt zu werden, zum Umformer zurück. Will man einen Teilstrom beispielsweise aus dem Umformer 1 im

Abgang *A* zur Anzeige bringen, so muss man den zugeordneten Schalter umlegen, so dass der Teilstrom von 1 nunmehr das im Abgang *A* liegende Gerät durchfliesst. Legt man gleichzeitig die Schalter der Umformer 2 und 3 um, so summieren sich die 3 Teilströme im Gerät *A*. Das tun sie aber nur einwandfrei, was leicht einzusehen ist, wenn dieses Gerät *A* den Widerstand 0 hat. Diese Forderung kann man mit einem automatischen Kompensator in Saugschaltung exakt erfüllen. Fig. 7 zeigt das Schaltschema eines solchen Gerätes. Man schickt den Strom *i* durch das Gerät und regelt *I*, bis das Galvanometer *G* stromlos ist. Dann haben die beiden Eingangsklemmen das gleiche Potential, für den Strom *i* hat das Gerät also den Widerstand 0. Zwischen *I* und *i* besteht die Beziehung

$$I = i \frac{R_1 + R_n}{R_n}$$

Beträgt *i* beispielsweise 1 mA und *Rn* = 1 Ω, so muss man *R<sub>1</sub>* = 4 Ω wählen, um den Ausgangsstrom *I* auf 5 mA zu bringen.

Fig. 8  
Ausgeführt Lastverteiler-Anlage

Nach diesen Erklärungen dürfte das Schalschema in Fig. 6 ohne weiteres verständlich sein. Wünscht man beispielsweise, dass der Ausgang des Umformers 2 als Subtrahend eingeht, dann muss man einen Polwender betätigen, der nichts anderes tut, als die Plusleitung mit der Minusleitung zu vertauschen.

Die Schaltung nach Fig. 6 kann im Bedarfsfall nach verschiedenen Richtungen abgewandelt werden. So lassen sich ohne viel Aufwand Messbereichumschaltungen der Messumformer durchführen; weiter kann jeder einzelne Eingang in jedem einzelnen Abgang wahlweise als Summand oder Subtrahend erfasst werden. Fig. 8 zeigt die praktische Ausführung einer solchen Verteiler-Anlage. Nach diesem Prinzip werden gegenwärtig mehrere Lastverteiler-Anlagen in der Schweiz ausgeführt.

## Adresse der Autoren:

Dr.-Ing. E. Blamberg, Camille Bauer Messinstrumente A.-G., Wohlen (AG), und W. Luder, Camille Bauer Messinstrumente A.-G., Wohlen (AG).

## Revision des ordonnances sur les installations électriques

Un avis sur la décision du Département fédéral des postes et des chemins de fer concernant une révision complète des ordonnances sur les installations électriques du 7 juillet 1933 a été publié dans le Bulletin n° 16 (1958), p. 717. Les milieux intéressés y sont invités à exprimer leurs désirs éventuels de modifications, selon l'ordonnance en question, jusqu'au 31 octobre 1958, aux organismes suivants: Association Suisse des Electriciens, Office fédéral des transports, ou Direction générale des PTT.

Par la présente communication ce délai est prolongé jusqu'au 31 décembre 1958.

Département fédéral des postes et des chemins de fer  
Division du contentieux et secrétariat

## Technische Mitteilungen — Communications de nature technique

### Fortschritte bei der Isolation grosser Transformatoren

621.314.21.048-181.2

Jahrzehntlang bestand die Isolation der Hochspannungswicklung von Grosstransformatoren aus ineinander gesteckten Zylindern und Winkelringen, welche aus mit Harz getränktem Papier mit Hilfe von Stahlformen erzeugt worden waren. Mit der Zeit erwiesen sich diese Barrieren infolge zunehmender elektrischer Beanspruchung als ungenügend. Die Imprägnierung und Verklebung der einzelnen Lagen mit Harz war unvollständig, Luftfeinschlüsse im Innern führten zu Durchschlägen längs der Schichten. Ihre Dielektrizitätskonstante war bedeutend höher als diejenige des Öls, wodurch dieses ohnehin schwächere Glied der gesamten Isolation zu früh durchbrochen wurde. Bei den meist geringen Stückzahlen, welche im Transformatorenbau üblich sind, stellten sich zudem die massiven Stahlformen relativ teuer.

Vor bald zwanzig Jahren begann man nun die Spulen mit einem hochwertigen Papier zu umwickeln und ersetzte damit die Zylinder. An beiden Enden wurde jede einzelne Papierlage in schmale Streifen zerteilt und alsdann auf die Enden der Wicklung umgelegt, wodurch auch die Winkelringe überflüssig wurden. Diese Technik brachte kleinere Abmessungen und besonders Vorteile bei nur einer einzigen Hochspannungswicklung und bei der sog. Lagen-Bauweise. Die Kühlung des Kupfers erfolgte vorzugsweise im Innern der Wicklungen. Der Zusammenbau dauerte aber länger, und eine nachträgliche Demontage war kaum mehr möglich, ohne dass dabei die dicke, vielschichtige Papierisolation geopfert wurde. Bei deren Trocknung war außerdem besondere Sorgfalt nötig. In Lehrbüchern ist die erste Bauweise oft als klassische Isolation, die zweite als Spreizflansch- oder feste Isolation bezeichnet worden.

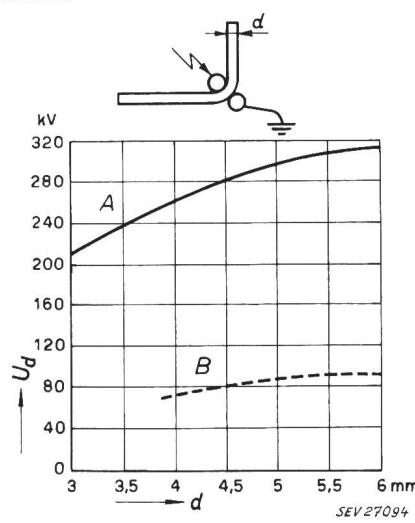


Fig. 1

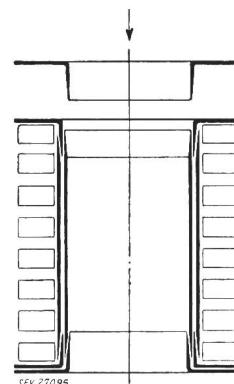
Durchschlagsspannung  $U_d$  von Winkelringen aus Transformerboard unter Öl bei  $20^\circ\text{C}$  in Funktion der Wandstärke  $d$  A bei Stoß von  $1/50 \mu\text{s}$ ; B bei  $50 \text{ Hz}$  Prüfdauer von 1 min

Als nach dem zweiten Weltkrieg in verschiedenen Ländern der Bau grosser Transformatoren wieder aufgenommen wurde, mangelte es in Konstruktionsbüros und Werkstätten an technischem Personal, und es fehlten die alten Zeichnungen und Pressformen. In diesen Jahren wurden neuartige Kombina-

tionen von Zylindern und Winkelringen entwickelt, welche heute in steigendem Umfang neben den erwähnten beiden Methoden Verwendung finden.

Eine Lösung besteht darin, die Dicke der Barrieren und die Ölabstände zu vermindern, wobei Materialien mit höherer Festigkeit längs der Schichten und geringerer Dielektrizitätskonstante als Hartpapier in Frage kommen.

Bei der Prüfung von Winkelringen aus Transformerboard (Fig. 1) liegt nur die innere Kugel oder ringförmige Elektrode mit einer grösseren Fläche am festen Material. Dies führt dazu, dass das Öl um die äussere Elektrode herum zuerst durchbrochen und damit der Durch- oder Überschlag eingeleitet wird. Die Durchschlagsspannung steigt bei Dicken über 5 mm nicht mehr wesentlich an. Deshalb wird in der Praxis, wo ebenfalls selten die gegenüberliegenden Pole vollständig in festes Isoliermaterial eingebettet werden können, immer mehr auf dicke Trennwände verzichtet. Durch Verdoppelung der Barrieren bei ungefährer Halbierung ihrer Wandstärke und der Ölkänele wird die Stärke der gesamten Isolation erheblich reduziert.



Ein grosser Vorteil der Papierisolation gegenüber dem Einbau fertiger Zylinder war die Anpassungsfähigkeit der Papierisolation an gegebene Durchmesser. Oft stimmte das Mass einer zu isolierenden Spule, wie sie aus der Werkstatt kam, mit den Zeichnungen nicht überein. Ein direktes Anlegen der äusseren Zylinder,

Fig. 2  
Hauptisolation aus angeschärften, geschlitzten Zylindern und Winkelringen

d. h. eine feste Isolation, war nicht möglich. Mit Hilfe von Keilen, welche kurz vor der Montage nachgehobelt wurden, versuchte man, die Mass-Differenzen auszugleichen. Beim Bewickeln mit Papier spielten solche Abweichungen keine Rolle.

Mit Hilfe von Zylindern und Winkelringen mit zwei angeschärften überlappten Enden gelingt das erwähnte Anpassen einwandfrei, wenn die Fugen genügend breit sind. Man braucht auch keine Toleranzen mehr zwischen Zylinder und Winkelringen vorzusehen (Fig. 2). Auf einfache Weise können Zylinder aus grossen Tafeln Transformerboard, Pressboard, usw. gebogen werden, ohne dass ihr Durchmesser schon endgültig festgelegt werden muss (Fig. 3). Solche aus feinen Zellulosefasern aufgebauten Platten saugen wie Papier, je nach Raumgewicht, 10...30 % Öl auf. Eine dicht aufeinandergelegte Folge von gebogenen Tafeln und Winkelringen führt schliesslich zu einer neuen Art «fester Isolation».

Da die dielektrische Festigkeit von Transformerboard höher ist als diejenige von Öl und Luft, erfolgt der Längsdurchschlag stets in der Fuge, ohne auf dem festen Material Spuren zu hinterlassen. Das Verhältnis von Durchschlagfestigkeit zur Längsfestigkeit ist unter verschiedenartigen Bedingungen bestimmt worden (Beispiel Fig. 4):

$$(U_d/d) : (U_l/l) = 20 : 1$$

Diese Beziehung ist gültig für Anwendungen unter Öl und in Luft.