

**Zeitschrift:** Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins  
**Herausgeber:** Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke  
**Band:** 24 (1933)  
**Heft:** 5  
  
**Artikel:** IV. Referat  
**Autor:** Goldstein, J.  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-1059511>

### **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:** 22.01.2026

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

de symétrie de l'enroulement: il suffit alors de deux mesures pour déterminer ce centre; l'opération étant faite séparément sur le primaire et sur le secondaire, il est facile d'amener ces centres dans un même plan. La précision est suffisante pour qu'on arrive à centrer des bobinages à 1 mm près, ce qu'on ne ferait qu'à 4 ou 5 mm avec des mesures directes.

Dans aucun cas, cependant, on ne peut être assuré que le centrage est rigoureux. Il faut donc prévoir des dispositifs de calage robustes. Ces dispositifs sont munis d'un réglage, de façon à ne laisser aucun jeu longitudinal aux enroulements, ce qui produirait un choc au moment du c/c.

### 3° Contraintes électriques.

La troisième cause de destruction des transformateurs est l'augmentation de tension qui se produit aux bornes des enroulements en cas de court-circuit. Cette augmentation de tension peut causer un amorçage entre couches, plus rarement entre spires. Ces amorçages, qui réalisent la mise en court-circuit d'une fraction de l'enroulement, ne sont guère à craindre au secondaire. Comme l'intensité secondaire ne croît pas aussi vite que l'intensité primaire, les tensions mises en jeu arrivent rarement à être très importantes; d'autre part, la mise en court-circuit de l'enroulement secondaire ne peut être dangereuse que si elle réduit suffisamment le courant dans le circuit extérieur, pour que les relais qui s'y trouvent ne puissent plus fonctionner; or il faut pour cela que le défaut se produise entre entrées et sorties du secondaire. Au primaire, le même défaut produirait le même résultat par suite de la réduction des ampère-tours; mais c'est l'amorçage entre couches qui est beaucoup plus dangereux dans ce cas. Il en résulte une asymétrie dans l'enroulement qui peut être con-

sidérable, d'où un effort longitudinal qui amène infailliblement la destruction du transformateur. Ces accidents sont à craindre surtout pour les transformateurs de petit calibre, c'est-à-dire à grand nombre de spires primaires. La tension totale aux bornes de l'enroulement est en effet sensiblement égale pour de fortes surcharges au produit de la réactance de fuites par l'intensité traversante.

Comme ordre de grandeur des tensions mises en jeu, nous citerons les chiffres suivants: dans un transformateur 10/5 pour un réseau à 15 000 V, la tension primaire pour 240 fois le courant normal atteint 1800 V, soit 165 V/couche ou 4 V/spire. — Dans un transformateur 10/5 pour un réseau à 75 000 V, la tension primaire pour 240 fois le courant normal peut atteindre 8450 V soit 1000 V/couche et 26,5 V/spire. On conçoit que dans un tel transformateur la capacité de surcharge soit limitée par la contrainte électrique.

Pour s'en défendre, on cherche d'une part à diminuer la valeur de la surtension en shuntant le primaire par une résistance, d'autre part à renforcer l'isolement entre conducteurs d'entrée et entre couches.

On effectue le bobinage en commençant par le milieu de l'enroulement; on a ainsi deux galettes qu'on isole par un disque de presspan ou de bakélite. La tension par couches est divisée par deux et on évite toute possibilité d'amorçage entre le conducteur d'entrée et le reste du bobinage.

Nous venons de passer en revue les différentes contraintes auxquelles sont soumis les transformateurs d'intensité. Grâce aux expériences nombreuses qu'ont permises les Stations d'essais à grande puissance, les constructeurs ont pu étudier les effets de chacune de ces contraintes; on a même pu les chiffrer avec assez d'exactitude.

## IV. Referat

von Dr. J. Goldstein, Oberingenieur der

Allgemeinen Elektrizitätsgesellschaft, Berlin (AEG).

*Einleitend widmet der Referent der Frage der Trockenisolierung der Spannungs- und Stromwandler einige grundsätzliche Betrachtungen und beschreibt kurz zwei typische Konstruktionen von AEG-Oelwandlern. Dann erklärt er eingehend das von der AEG eingeführte Prinzip der Gegenmagnetisierung und weist auf dessen erfolgreiche Anwendungsmöglichkeiten hin, insbesondere beim Bau der Schleifenwandler, der Einleiterwandler und der als ideale Lösung des Stromwandlerproblems angesprochenen sogenannten Kombinationswandler.*

*L'auteur considère brièvement en principe le problème de l'isolement à sec des transformateurs de mesure et décrit deux constructions typiques de l'AEG avec huile. Il expose ensuite en détail le principe de la contre-magnétisation introduit par l'AEG et signale les cas où ce principe est susceptible d'être appliqué avec succès, en particulier dans la construction des transformateurs à boucle, à un conducteur, et des transformateurs combinés, solution idéale du problème des transformateurs de mesure.*

Den Ausführungen über gegenmagnetisierte Stromwandler möchte ich einige allgemeine Auseinandersetzungen, die den Standpunkt der AEG in den wichtigsten Messwandlerfragen präzisieren, vorausschicken.

Die Einführung des Trockenspannungswandlers, so aussichtsreich sie für Spannungen bis 30 kV er-

scheint, ist für höhere Spannungen insofern mit Schwierigkeiten verbunden, als es nicht gelungen ist, eine dem Oelspannungswandler gleichwertige betriebssichere Trockentype in einer Einheit zu schaffen, die auch wirtschaftlich in Wettbewerb mit dem Oelwandler treten könnte. Die AEG hat der Einstellung der Praxis durch Schaffung von Trok-

kenspannungswandlern bis einschliesslich 30 kV erfolgreich Rechnung getragen. Eine grössere Bedeutung ist unserer Meinung nach der Trockenisolation bei Stromwandlern beizumessen, da der Stromwandler im Zuge der Leitung liegt und hohe Kurzschlußströme, des öfteren weit über das, was man normalerweise von einem Stromwandler verlangen kann, aushalten muss. Die AEG hat in dieser Erkenntnis Trockenstromwandler, und zwar Schleifen- und Einleiter-Stromwandler entwickelt, die infolge der besonderen Erfolge, die die Bauart der durch Eigenregung magnetisierten Stromwandler bietet, allen Anforderungen der Praxis in bezug auf Kurzschlussfestigkeit und Messgenauigkeit entsprechen. Im Verlauf der weiteren Ausführungen werde ich zeigen, wie dies erreicht worden ist und wie alle Nachteile, die dem Schleifenstromwandler nachgesagt wurden, durch die neue Bauart beseitigt werden konnten.

Dass die Oel-Stromwandler und -Spannungswandler der alten Bauart verbesserungsbedürftig sind, wurde bei uns schon früh erkannt. Man hat neue Konstruktionen entwickelt und bedeutende Ersparnisse in den Gewichten und Bauhöhen erzielt. Fig. 1 zeigt einen Topfstromwandler der Reihe 200 für Freiluftaufstellung neuester Ausführung. Der zweiteilige Mantelkern ist waagrecht angeordnet und ermöglicht die sehr gedrängte Konstruktion. Auch dieser Stromwandler hat, wie alle unsere Konstruktionen, eine verteilte Sekundärwicklung und arbeitet nach dem später auseinanderzusetzenden Prinzip der Gegenmagnetisierung. Man beachte den direkten Uebergang von der Hochvolt-

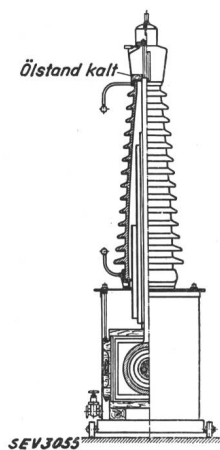


Fig. 1.  
Stromwandler UF 200.  
Freiluftausführung.

spule in die Durchführung und die Anordnung mehrerer Isolationszylinder, wodurch die Abstände von Eisen und Kastenwand kurz gehalten werden können. Bei der neuesten Ausführung des 100-kV-Topfstromwandlers für Freiluftaufstellung ist man auf folgende Werte gekommen: Bauhöhe 2970 mm; Gewicht 460 kg, wovon ca. 100 kg Oel; Leistung 60 VA Klasse 0,5, 150 VA Klasse 1,0.

Ähnliche Erfolge sind auch auf dem Gebiete der Spannungswandler zu verzeichnen. Fig. 2 zeigt einen Spannungswandler für 150 kV, Freiluftausführung. Die drei Einphasenspannungswandler werden in einen Kasten eingebaut. Das Aggregat leistet die gleichen Dienste wie der Fünfschenkelwandler. Neben der Sekundärwicklung hat jeder Wandler eine Relaiswicklung. Die Relaiswicklungen sind in offenem Dreieck geschaltet. An den offenen Klemmen ist im erdschlusslosen Betrieb die Spannung Null, im Erdschluss stellt sich, wie man sich an Hand eines Vektordiagrammes überzeugen kann, eine Spannung ein, die mit der Null-

punktsspannung phasengleich ist. Die Kerne sind wieder in horizontaler Lage angeordnet. Durch die Anwendung einer besonderen Schaltungsart wird ein linear gesteuerter Spannungsanstieg von den Jochen zum Hochspannungspol erzielt. Dadurch wird es möglich, die an einem Pol geerdete Hochvoltwicklung mit geringsten Spulenabständen im Mantelkern unterzubringen. Ähnlich wie beim Stromwandler sieht man den direkten Uebergang von der Wicklung in die Durchführung.

Nach diesen Bemerkungen möchte ich zur grundsätzlichen Behandlung der Frage der von der AEG eingeführten Gegenmagnetisierung bei Stromwandlern übergehen.

Die Magnetisierung eines Stromwandlers ist keine theoretische Frage. Vielmehr ist sie der Ausgangspunkt für die Gestaltung und Entwicklung eines leistungsfähigen und kurzschlußsicheren Stromwandlers. In dieser Beziehung ist in der letzten Zeit ein grundsätzlicher Wandel eingetreten. Während man früher glaubte, den Zwecken

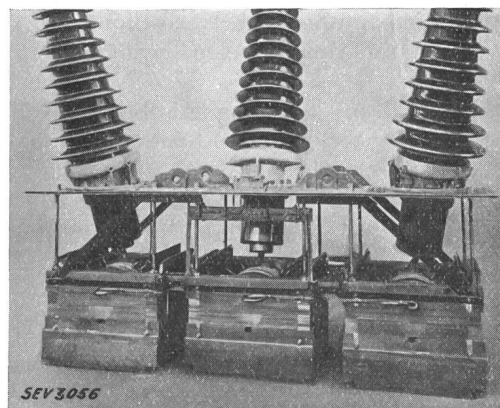


Fig. 2.  
Spannungswandler EVDF 150.  
Prüfspannung 350 kV.

des Stromwandlers dadurch gerecht zu werden, dass man die Magnetisierung des Eisenkernes möglichst im unteren Gebiet der Magnetisierungskurve verlaufen liess, ist man heute zu einer ganz anderen Ansicht gelangt. Die wichtigsten Anforderungen, die an einen modernen Stromwandler gestellt werden, nämlich geringe Messfehler bei ausreichender Leistungsfähigkeit und hoher Kurzschlussfestigkeit, lassen sich mit viel grösserem Erfolg und dabei noch mit wirtschaftlichen Vorteilen erzielen, wenn man den Kern in einem bestimmten höheren Gebiet der Magnetisierungskurve arbeiten lässt.

Die Schaltung der AEG ist in Fig. 3 dargestellt. Der Kern besteht aus zwei in sich geschlossenen Teilen, die durch eine Luftfuge voneinander getrennt sind. Die zusätzliche Magnetisierung wird durch eine entsprechende Anordnung der Wicklung in Form einer Gegenmagnetisierung beider Kernhälften durchgeführt. Die primäre Wicklung und der Hauptanteil der sekundären Windungen umschlingen den Mittelsteg; auf den Aussenschenkeln sind

Teile der sekundären Wicklung angeordnet. Die sekundäre Windungszahl sei für Kern I  $z_1$ , für

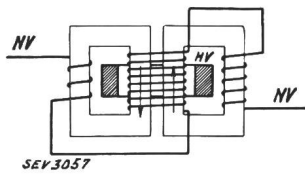


Fig. 3.  
Prinzip der Gegenmagnetisierung.

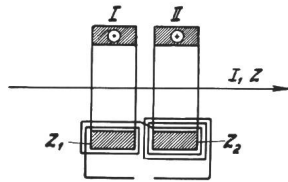


Fig. 4.  
Anordnung der Wicklung bei einem Einleiterwandler mit Gegenmagnetisierung.

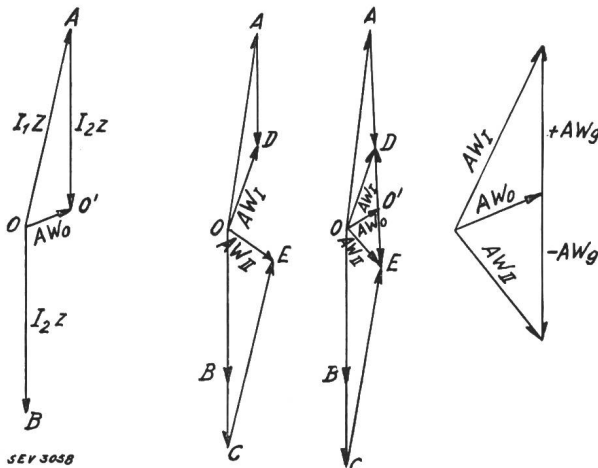
Kern II  $z_2$ . Abweichend vom normalen Stromwandlerkern ist hier absichtlich die Gleichung

$$I_1 Z = I_2 z$$

nicht erfüllt. Rein gefühlsmässig muss man erwarten, dass sich ein Strommittelwert entsprechend der Windungszahl  $\frac{z_1 + z_2}{2}$  einstellt. Für das ganze

System gilt die Stromübersetzungsgleichung nach wie vor; in jedem einzelnen Kern bleibt ein Ueberschuss von Ampèrewindungen, welche den Kern magnetisieren.

Die Behandlung der magnetischen Verhältnisse wird einfacher, wenn sie anhand der Fig. 4 geschieht. Die Betrachtung beschränkt sich keineswegs auf Einleiterstromwandler. Die Hochvoltwicklung, die als Leiter durch die Kerne angedeutet ist, habe  $Z$  Windungen und führe den Primärstrom  $I_1$ . Die Sekundärwicklungen beider Kerne werden in Serie geschaltet und die Windungszahlen seien  $z_1$  und  $z_2$ , wobei  $z_1 < z$ ,  $z_2 > z$  und  $z$  die der theoretischen Übersetzung entsprechende Windungszahl bedeutet. Infolge einer derartigen An-



AW-Diagramm eines gewöhnlichen Stromwandlers.

Fig. 5.  
AW-Diagramm eines Stromwandlers mit Gegenmagnetisierung.

ordnung der Wicklung wird jeder Kern magnetisiert, und zwar wird Kern I vom Uebergewicht der primären Ampèrewindungen, Kern II vom Ueber-

gewicht der sekundären Ampèrewindungen magnetisiert. Die Verhältnisse sind aus den Diagrammen der Fig. 5 ersichtlich. Das Diagramm links stellt das Ampèrewindungsdiagramm des gewöhnlichen Stromwandlers dar. Bei dem gegenmagnetisierten Wandler ergeben sich für jeden Kern, wenn man die primären und sekundären Ampèrewindungen geometrisch addiert, die Grössen  $OD = AW_1$  und  $OE = AW_2$ . Wie man sieht, erscheint im ersten Kern die sekundäre AW-Zahl  $AD$  verkürzt, im zweiten Kern ( $OC$ ) vergrössert. Man kann dieses Diagramm auf das ursprüngliche durch Zerlegung der Grössen  $AW_1$  und  $AW_2$  zurückführen, und zwar wird

$$AW_1 = AW_0 + AW_g \text{ und } AW_2 = AW_0 - AW_g.$$

Die so eingeführten Magnetisierungen  $OD = +AW_g$  und  $OE = -AW_g$  sind entgegengesetzt gerichtet, daher die Bezeichnung «Gegenmagnetisierung». Die Grösse dieser Gegenmagnetisierung ist offensichtlich durch den Betrag  $I_2 \cdot \frac{z_2 - z_1}{2}$  gegeben und kann daher nach freiem Ermessen bestimmt werden.

Wie man erkennen kann, beteiligen sich die Ampèrewindungen der Gegenmagnetisierung an der Stromübersetzung überhaupt nicht. Im Endresultat heben sich die Komponenten der Gegenmagnetisierung für den Doppelkern als Ganzes auf.

Was hat man aber mit der Gegenmagnetisierung erzielt? Der Mechanismus der Gegenmagnetisierung dient lediglich dazu, den Betrag  $AW_0 = I_0 Z$  klein zu halten. Die Fehler — Stromfehler  $f_s$  und Fehlwinkel  $\delta$  — sind direkte Funktionen des Leerlaufstromes  $I_0$  und sind bekanntlich bei Ohmscher Bürde durch die Ausdrücke:

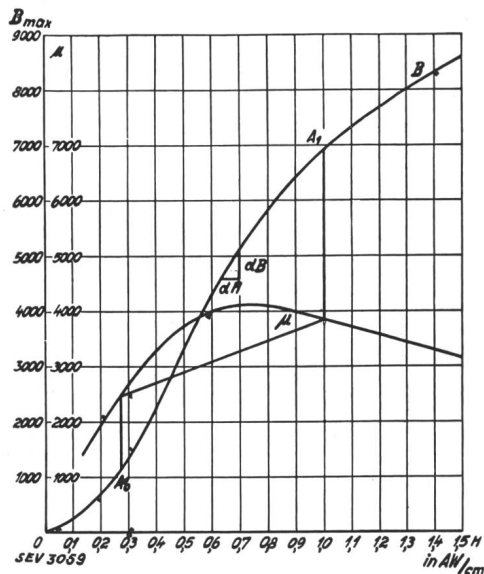
$$f_s = \frac{I_0 \cos \varphi_0}{I_1} 100 \%$$

$$\delta = \frac{I_0 \sin \varphi_0}{I_1 \cdot 0,00029} \text{ in Minuten}$$

gegeben, wo  $\varphi_0$  den Phasenwinkel des Leerlaufstromes bedeutet. In jedem Falle wird eine Herabsetzung der Fehler durch Verminderung des Leerlaufstromes  $I_0$  erzielt. Durch die Gegenmagnetisierung wird die Permeabilität des Kernmaterials auf einen höheren Wert gebracht. Man muss bei einem solchen Wandler den Fluss, der infolge der sekundären Klemmenspannung und der inneren Spannungsabfälle vorhanden ist, vom Fluss, der lediglich zur höheren Magnetisierung dient, auseinanderhalten. Der Leerlaufstrom ist proportional dem magnetischen Widerstand des Kernmaterials, oder, was das gleiche besagt, proportional  $\frac{1}{\mu}$ .

Durch die zusätzliche Magnetisierung erhöhen wir die Permeabilität des Kernmaterials, und zwar veränderlich im Gebiet der Fehlerkurve und abhängig vom sekundären bzw. vom primären Strom. Man sieht an Hand der Magnetisierungskurve für

hochlegiertes Transformatorenblech (Fig. 6), dass man gut tut, die Magnetisierung in das annähernd geradlinige Gebiet etwa von  $A_0$  bis  $A_1$  zu





Ein wesentlicher Fortschritt wurde in allerletzter Zeit erzielt durch eine Verbesserung der Gegenmagnetisierung bei den sogenannten

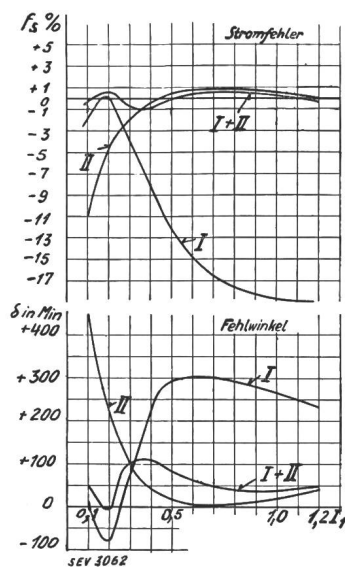


Fig. 9.

Fehlerkurven des Kombinationswandlers Fig. 8.

man, dass der Hauptanteil der Klemmenspan-

nung  $U$ , die sich als Summe  $U = U_1 + U_2$  beider Teilspannungen darstellt, im entsprechenden Teilgebiet hauptsächlich nur von einem System geliefert wird. Der Einfachheit halber sei gleiche magnetische Charakteristik für beide Systeme angenommen. Man kann an Hand der Permeabilitätskurve die Wirkung der Einzelsysteme plausibel machen. Im unteren Gebiet der Fehlerstromkurve wirkt das System I, das auf eine höhere Permeabilität abgeglichen ist, im oberen Gebiet tritt dieses System zurück und die Leistung wird automatisch vom zweiten System übernommen. Die Fehlerkurven in Fig. 9 bringen die Wirkung deutlich zum Ausdruck. Wie man sieht, sind die Fehlerkurven I + II das Resultat der Zusammenwirkung beider Systeme, während die Fehlerkurven I und II, für sich allein betrachtet, unbrauchbare Werte ergeben. Die Fehler eines Kombinationswandlers 75/5 A entsprechen bei einer Bürde von 15 VA der Klasse 1.

Es scheint, dass man hier eine sehr vollständige Lösung des Stromwandlerproblems gefunden hat. Da die Frage der Leistungsabgabe damit als gelöst zu betrachten ist, ist der Einleiterstromwandler wegen seiner unbeschränkten Kurzschlussfestigkeit der Wandler der Zukunft.

Die Wirkung dieser Kombination besteht darin, dass man jedes System in dem Teilstromgebiet arbeiten lässt, wo es die geringsten Fehler hat.

Durch die Abstimmung der Magnetisierung erreicht

## V. Referat

gehalten von Dr. E. König, Direktor des

Eidg. Amtes für Mass und Gewicht.

Dr. E. König, Direktor des Eidgenössischen Amtes für Mass und Gewicht, referiert über die neue «Vollziehungsverordnung über die amtliche Prüfung von Elektrizitätsverbrauchsmessern». Seine Bemerkungen beziehen sich in erster Linie auf die Änderungen gegenüber den bisherigen Vorschriften oder dem ersten, seinerzeit den Firmen zur Vernehmlassung zugestellten Entwurf. Da die Vorlage im Januar an den Bundesrat zur Genehmigung ging, so kann ein Aufzählen der einzelnen Punkte umgangen werden; einige wenige der vorgesehenen neuen Bestimmungen sind die folgenden:

Für Stromwandler: Die Nennleistung des Sekundärkreises darf nicht kleiner sein als 10 VA, bei Einstabwandlern 5 VA. Stromfehler und Fehlwinkel sind charakterisiert durch  $f_u = 0,5\%$  und  $\delta = 30'$ ; die Toleranzen sind  $0,1\%$  für  $f_u$  und  $5'$  für  $\delta$ .

Für Spannungswandler: Die Nennleistung der Sekundärkreise eines Spannungswandlers darf nicht weniger als 30 VA pro Phase betragen; Spannungsfehler und Fehlwinkel wie bei Stromwandlern, ebenso gleiche Toleranzen.

## Diskussion 1).

J. Fischer, Ingenieur der Emil Haefely & Cie. A.-G., Basel (EHB): Aus den gleichen Gründen, wie sie bereits in den vorausgegangenen Referaten erwähnt wurden, führt die EHB für dauernde betriebsmässige Messungen keine Wandler mit Massfüllung aus. Wer je bei der Explosion eines mit Masse gefüllten Wandlers dabei war, wird wohl kaum mehr ein derartiges Konstruktionsexperiment nachahmen. Fast möchte es scheinen, dass eine Betonung dieser Tatsachen nötig sei, und doch sah ich in einer neuzeitlichen Anlage wieder Massewandler.

Für Wandler, welche zur Messung sehr grosser Energiemengen dienen sollen, bekennen wir uns als Anhänger der

<sup>1)</sup> Fast alle Diskussionsbeiträge wurden dem Berichterstatter in freundlicher Weise nachträglich schriftlich formuliert zugestellt, wofür auch hier bestens gedankt sei. Verschiedene mussten gekürzt oder zusammengezogen werden.

Idee grösster Genauigkeitsansprüche. An sich bedingen hohe Betriebsspannungen verhältnismässig grosse Abmessungen der Wandler und deshalb grössere Schwierigkeiten, ansehnliche Sekundärleistungen bei grosser Präzision zu erreichen. Dass diese Schwierigkeiten durch sorgfältige Konstruktion zu meistern sind, zeigen die Fehlerkurven (Fig. 1) eines Stromwandlers für 150 kV. Übersetzungsfehler und Fehlwinkel bei  $\cos \varphi = 1$  und  $0,8$  für volle Bürde, ebenso  $\frac{1}{4}$  Bürde, sind günstiger als nach VDE-Klasse 0,2 zulässig wäre; bei Ausnützung dieser Grenzen könnten dem vorliegenden Wandler noch erheblich grössere Leistungen entnommen werden. Zum Vergleich wurden auch noch die Genauigkeitsansprüche gemäss dem eidgenössischen Vorschriftenentwurf 1933 eingetragen, die sich übrigens mit VDE Klasse 0,5 decken.