

**Zeitschrift:** Bulletin de l'Association suisse des électriciens  
**Herausgeber:** Association suisse des électriciens  
**Band:** 28 (1937)  
**Heft:** 16

**Artikel:** Stromwandler mit gesteuerter Eigenvormagnetisierung  
**Autor:** Goldstein, J.  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-1058745>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

**Download PDF:** 25.12.2024

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

trice, deux machines en cascade avec leurs excitatrices également, et un moteur d'entraînement; 2° demande un système de réglage très compliqué.

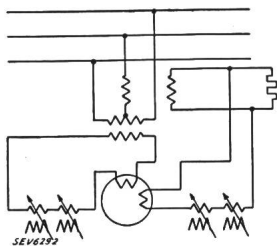


Fig. 26.

On pourrait obtenir aussi le même résultat en utilisant au lieu des machines en cascade, deux ré-

gulateurs d'induction par circuit, selon couplage de la fig. 26. Toutefois, le système de réglage serait également compliqué.

En résumé, les solutions les plus économiques consistent soit à corriger la déformation du triangle des tensions à l'aide de transformateurs auxiliaires introduits dans les phases convenables, soit à équilibrer la charge elle-même, et ceci à l'aide d'une self et d'un condensateur (selon fig. 13) si les conditions de service n'exigent pas un réglage automatique, ou à l'aide de deux machines synchrones, dimensionnées l'une pour 100 % et l'autre pour 25 % de la dissymétrie (selon fig. 16), si les conditions de service exigent un réglage automatique.

## Stromwandler mit gesteuerter Eigenvormagnetisierung.

Von J. Goldstein, Zürich.

921.314.224.08

Die Fortschritte, die auf dem Gebiete der eigenvormagnetisierten Stromwandler erzielt worden sind, dürften auch für die weiteren Fachkreise von Interesse sein. In folgenden Ausführungen sollen die wichtigsten Gesichtspunkte, von denen aus gesehen diese Neuerung auf dem Stromwandlergebiet beachtenswert ist, kurz zusammengefasst werden. Anschliessend wird über die praktischen Erfolge, die in der Schweiz und im Auslande auf dem Gebiete der eigenvormagnetisierten Einleiterstromwandler erreicht worden sind, berichtet.

Les progrès réalisés dans le domaine des transformateurs d'intensité à prémagnétisation propre ne sont pas sans intérêt pour un cercle plus étendu d'électriciens. Dans ce qui suit, l'auteur expose brièvement à quels principaux points de vue cette novation mérite de retenir l'attention. Il décrit ensuite les succès pratiques obtenus en Suisse et à l'étranger avec cette nouvelle construction.

### I. Die Schaltung und der Magnetisierungsvorgang.

Der Zweck der Vormagnetisierung, die Permeabilität des Eisens zu erhöhen, sei hier als bekannt vorausgesetzt.

Eine wesentliche Verbesserung gegenüber den bekannten Schaltungen, an deren Entwicklung bei der AEG der Verfasser beteiligt war, besteht darin, dass die Vormagnetisierungsenergie bei der neuen Ausführung gesteuert wird. Die Steuerung bezieht sich nicht nur auf die Zufuhr eines möglichst im ganzen Strombereich konstanten Vormagnetisie-

Diese Wicklung ist wegen der Kreuzschaltung ohne Einfluss auf die anderen Wicklungen des Wandlers und wird aus dem gleichen Grunde von diesen auch nicht beeinflusst.

Der Sekundärstrom  $I_2$  darf im oberen Stromgebiet nicht mit vollem Betrag für die Vormagnetisierung verwendet werden, da diese sonst über ein zu grosses Gebiet der Magnetisierungskurve sich erstrecken würde und eine Verschlechterung der Permeabilität des Eisens im oberen Stromgebiet zur Folge hätte. Die richtige Aussteuerung der Vormagnetisierung wird durch eine Drosselspule, die in der Fig. 1 als Kern III dargestellt ist, erreicht. Wie aus Fig. 1 ersichtlich, zweigt ein Teil des Sekundärstromes ( $I_2$ ) in die Drosselspule ab ( $I_D$ ); der restliche Teil wird als Vormagnetisierungsstrom ( $I_V$ ) verwendet. Die Bemessung der Windungszahl ( $w_V$ ) dieser Wicklung und die Bemessung des Drosselspulenkerne und seiner Windungszahl ( $w_D$ ) müssen derart erfolgen, dass eine Erfassung des steilsten Bereiches der Magnetisierungskurve gewährleistet wird, und dass diese Magnetisierung möglichst phasengleich mit der «Nutzmagnetisierung» bleibt.

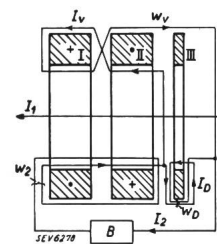


Fig. 1.

Schaltung eines Einleiter-Stromwandlers mit gesteuerter Eigenvormagnetisierung.

ungsstromes, sondern auch auf die Phasenregulierung dieses Stromes relativ zum Magnetisierungsstrom des Stromwandlers.

In Fig. 1 ist die Schaltung eines Einleiterstromwandlers mit gesteuerter Eigenvormagnetisierung dargestellt. Der zweiteilige Eisenkern wird wie jeder normale Stromwandler mit einer sekundären Wicklung versehen, die eine dem Uebersetzungsverhältnis des Stromwandlers entsprechende Windungszahl  $w_2$  erhält. In Serie mit der Hauptwicklung ist eine Hilfswicklung  $w_V$ , die in Kreuzschaltung die beiden Teilkern umschlingt, geschaltet.

Durch die Verkenntung dieser Umstände ist es zu erklären, dass die in Frankreich in den Jahren 1920 bis 1922 von der Compagnie pour la Fabrication des Compteurs et Matériel d'Usines à Gaz ausgeführten Versuche mit compoundierten Stromwandlern nicht von durchgreifendem Erfolg begleitet gewesen sind. Auch entspricht die angestrebte Einregulierung der Vormagnetisierung auf den höchsten Wert der Permeabilitätskurve keines-

wegs dem günstigsten Verhalten in bezug auf minimale Strom- und Winkelfehler. Man muss die Vormagnetisierung für das günstigste Verhalten bei *Permeabilitätsänderungen* bemessen. Einen tieferen Einblick in die magnetischen Verhältnisse erhält man durch das Studium folgender Spezialarbeiten:

1. Neue Wege im Stromwandlerbau. Elektrotechn. u. Maschinenb. 1933, S. 489.
2. G. Stein: Ueber die Bestimmung der magnetischen Eigenschaften des Eisens bei Wechselstromvormagnetisierung und ihre Bedeutung für die Entwicklung der Stromwandlertechnik. Z. techn. Physik 1933, S. 495.
3. Die Wechselstrommagnetisierung im Stromwandlerbau. Bulletin des SEV 1934, S. 229.

### 2. Die Fehlergleichungen eigenvormagnetisierter Stromwandler.

Führt man die folgenden Bezeichnungen ein:

- $B_N$  Scheitelwert der Induktion bei Nennlast in Gauss,
- $l_e$  mittlerer Eisenweg in cm,
- $I_1$  primärer Nennstrom in A,
- $w_1$  primäre Windungszahl,
- $\frac{I_1 w_1}{l_0} = AW_N$  Nenn-Ampèrewindungszahl pro cm,
- $\mu_v$  die Permeabilität des vormagnetisierten Kernes,
- $\beta$  Phasenverschiebungswinkel im Bürdenkreis,
- $\beta_0$  Phasenverschiebungswinkel des Leerlaufstromes,

so lassen sich der Stromfehler ( $f_s$ ) und der Fehlerwinkel ( $\delta$ ) der vormagnetisierten Stromwandler bei Nennbürde durch folgende Ausdrücke ermitteln:

$$f_s \text{ in } \% = 100 \frac{B_N}{AW_N \mu_v} \frac{1}{\cos(\beta_0 - \beta)}$$

$$\delta \text{ in Minuten} = 3450 \frac{B_N}{AW_N \mu_v} \frac{1}{\sin(\beta_0 - \beta)}$$

Es ist ohne weiteres einzusehen, dass man durch eine entsprechende Aenderung der Werte für  $B_N$  und  $AW_N$  die Fehler bei jeder Bürde und jedem Stromwert ermitteln kann.

Die Ermittlung der Kurven für die Permeabilität  $\mu_v$  mit Wechselstromvormagnetisierung bietet am meisten Schwierigkeiten und setzt Spezialversuche in geeigneten Schaltungen voraus. Die Kurven kön-

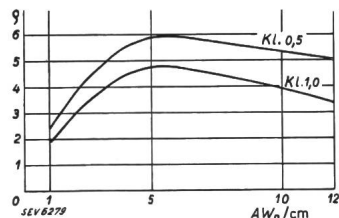


Fig. 2.

Leistungserhöhung des eigenvormagnetisierten Stromwandlers.

nen auch rechnerisch durch ein Differential- und Integralverfahren aus den gewöhnlichen Wechselstrommagnetisierungskurven ermittelt werden.

Die Erhöhung der  $\mu$ -Werte durch die Vormagnetisierung gegenüber den gewöhnlichen ist für die verschiedenen Kernmaterialien ganz verschieden und ändert sich mit der Nennampèrewindungszahl sehr stark. Die Vorteile der Verwendung der gesteuerten Vormagnetisierung werden am besten durch die Kurven Fig. 2 dargestellt. Die Kurven

zeigen das Verhältnis der Leistungen des eigenvormagnetisierten und des gewöhnlichen Wandlers pro kg Kerngewicht in Abhängigkeit von der Nenn-AW-Zahl pro cm, wenn als Kernmaterial 1,3-Watt-Transformatorblech (Qualität IV) verwendet wird. Die Zahl  $q$  ist dabei der Quotient

$$q = \frac{VA_v}{VA_g}, \text{ wo}$$

- $VA_v$  die Voltampèrezahl/kg des eigenvormagnetisierten Stromwandlers,
- $VA_g$  die Voltampèrezahl/kg des gewöhnlichen Stromwandlers

bedeuten. Die Kurven wurden für Stromwandler in den beiden gebräuchlichsten Klassen 0,5 und 1,0 rechnerisch ermittelt. Aus den Kurven geht hervor, dass es keine konstante Zahl für die Leistungsverbesserung gibt, und die Angabe, die man in der Literatur trifft, es sei durch eine «Kunstschaltung» eine Leistungsverbesserung von 100 % zu erzielen, ist unzutreffend.

Es sei noch erwähnt, dass bei Verwendung besserer Kernmaterialien als das handelsübliche 1,3-Watt-Blech die Zahl  $q$  sich vermindert, ohne dass dabei die wirtschaftlichen Vorteile herabgemindert werden. Im Gegenteil, bei Verwendung von Kernen aus Nickel-Eisen-Legierungen, die ja sehr teuer sind, wird erst recht der Vorteil des eigenvormagnetisierten Stromwandlers erkannt werden.

### 3. Kurzschlußsicherheit.

Bei normalen Wickelstromwandlern beträgt die Nennampèrewindungszahl pro cm 10 ... 20.

Nun ist es klar, dass man bei vormagnetisierten Wandlern infolge der Leistungserhöhung die Ampèrewindungszahl wesentlich dabei quadratisch mit Kurzschlußfestigkeit wächst dabei quadratisch mit der Reduktion der AW-Zahl.

Die Stromwandlerdefekte bei Netzkurzschlüssen haben Unterbrechungen der Stromzufuhr zur Folge, und es ist für einen Betrieb eine angenehme Beruhigung, sich auf die Kurzschlussfestigkeit der Stromwandler verlassen zu können. Es ist daher zu begreifen, dass vom Standpunkt der Betriebsleitung eine obere Grenze für die Nenn-AW-Zahl der Stromwandler erwünscht ist.

Schleifenstromwandler, die speziell wegen der Kurzschlussbeanspruchung Besorgnis erregen, sind ja nicht wegen der Schleife, sondern in den meisten Fällen wegen der Ampèrewindungszahl dieser Schleife gefährlicher als gewöhnliche Stromwandler. Sie sind es nicht mehr, wenn die Windungszahlen auf die Hälfte reduziert werden können. Vormagnetisierte Schleifenstromwandler mit 2 ... 3 Windungen und ca. 5 AW/cm sind unter Umständen den üblichen Topfstromwandlern mit 10 AW/cm überlegen.

Die praktisch unbegrenzte Kurzschlußsicherheit erlangt man im Einleiterstromwandler. Auf diesem Gebiet war die Anwendung der gesteuerten Eigenvormagnetisierung das gegebene Mittel, Prä-

zisions-Einleitstromwandler für niedrige Stromstärken zu bauen. Liegt der Wert der Nennampèrewindungszahl tiefer als 5 AW/cm, so muss man mit Rücksicht auf die Bauhöhe des Stromwandlers in der Regel zu Kernen aus hochpermeablen Legierungen, bzw. zu Mischkernen aus hochsiliziertem und Nickel-Eisen-Blech greifen. Die Einführung der gesteuerten Eigenvormagnetisierung ermöglicht in diesen Fällen wirtschaftliche Konstruktionen für Einleiterstromwandler bis zu den Uebersetzungsverhältnissen von 25/5 A. Die Bedeutung der Eigenvormagnetisierung für Zweikernstromwandler (Relaik und Messkern) ist einleuchtend. Die richtige Auswahl des Kernmaterials ergibt sich durch die gestellten Anforderungen (Leistung, Klassengenauigkeit) einerseits, durch die zulässigen Ringdurchmesser und Kernhöhen andererseits.

#### 4. Die Ueberstromziffer.

Es scheint angebracht, an dieser Stelle einige wichtige Zusammenhänge zwischen der Ueberstromziffer, Leistungsfähigkeit und Klassengenauigkeit in Erinnerung zu rufen, die sowohl für vormagnetisierte als auch für gewöhnliche Stromwandler ihre Gültigkeit haben. Die Definition der Ueberstromziffer nach VDE-Regeln (REW/932) lautet bekanntlich folgendermassen:

«Die Ueberstromziffer  $n$  ist bei Stromwandlern das vielfache des Nenn-Primärstromes, bei dem bei Nennbürde ohne Rücksicht auf den Leistungsfaktor der Stromfehler 10 % ist.»

Die Erreichung einer bestimmten Ueberstromziffer setzt die Einhaltung einer bestimmten Nenninduktion voraus. Diese ist bei einer gegebenen Bürde von der Nennampèrewindungszahl pro cm abhängig. Mitunter glaubt der projektierende Ingenieur beim Entwurf von Schutzeinrichtungen, dass man beim Verzicht auf hohe Messgenauigkeit

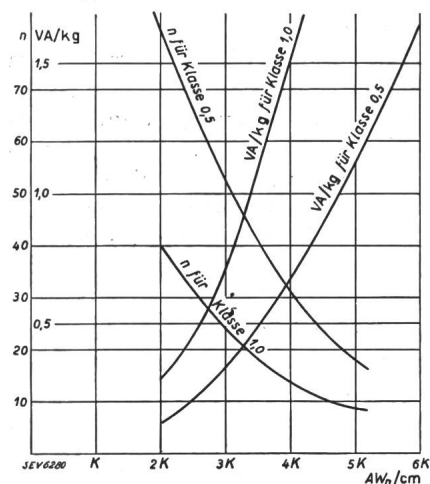


Fig. 3.  
Ueberstrom- und  
Leistungscharakteristiken.

um so mehr hohe Ueberstromziffern und hohe Bürden verlangen kann. Dies ist keineswegs der Fall und steht im Widerspruch zum natürlichen Verhältnis der Dinge. Die Ueberstromziffer ist für eine schlechtere Messklasse und höhere Bürde um so kleiner. Relaiswandler haben deshalb eine geringe Ueberstromziffer, wenn sie wirklich nach der Bürde und Genauigkeit bemessen werden, für welche sie

bestimmt sind. Aus den Kurven der Fig. 3 geht der Sachverhalt deutlich hervor. Der Abszissen-Maßstab für die Nennampèrewindungen  $AW_n/cm$  ist hier durch eine Konstante  $K$  ausgedrückt, deren Zahlenwert vom Material und von der Magnetisierungsart abhängt. Bei einer bestimmten Ampèrewindungszahl pro cm erhält man jeweilen entsprechend der Messklasse 0,5 oder 1,0 aus den stark ausgezogenen Kurven die Leistung in VA pro kg Material. Zur gleichen Abszisse gehört dann bei dieser Leistung die entsprechende Ueberstromziffer  $n$ . Wie man aus der Darstellung sieht, erhöhen sich die Leistungen mit zunehmender Ampèrewindungszahl pro cm annähernd quadratisch, die Ueberstromziffern nehmen dabei ab. Man hat also bei geringen Ampèrewindungszahlen in der Regel hohe Ueberstromziffern. Der Einleiterstromwandler, der geringe Leistungen abgibt, hat also an und für sich hohe Ueberstromziffern.

Die dargestellten relativen Zusammenhänge bleiben die gleichen auch für vormagnetisierte Wandler. Die absoluten Werte der Ueberstromziffer hängen ganz von der Bemessung und vom Material ab und können in der Regel noch variiert werden. Der Rückgang der Ueberstromziffer durch die Erhöhung der Leistungen wird dadurch zum Teil kompensiert, dass man naturgemäss bei geringen Nennampèrewindungen zur Vormagnetisierung greift, wo die Ueberstromziffern an und für sich gross, in vielen Fällen sogar unerwünscht gross sind.

Man darf keineswegs, wie dies aus mangelnder Sachkenntnis oft geschieht, den Begriff «vormagnetisierter Wandler» durch den Begriff «gesättigter Wandler» ersetzen. Schon aus dem Grunde nicht, weil sich aus der Bedingung der günstigsten Vormagnetisierung im steilsten Bereich der Magnetisierungskurve relativ niedrige Werte für die Vormagnetisierung ergeben. Ausserdem handelt es sich bei vormagnetisierten Wandlern um ein Zweikernsystem und um eine mittlere Magnetisierung beider Systeme, die einen Ausgleich bedingt. So haben auch Messungen ergeben, dass Ueberstromziffern grösser als  $n = 20$  bei vormagnetisierten Stromwandlern, die aus Transformatorblech hergestellt werden, erreicht werden.

Anders liegen die Verhältnisse, wenn als Kernmaterial Nickel-Eisen-Legierungen verwendet werden müssen. Die geringeren Ueberstromziffern sind dann durch die magnetische Charakteristik der betreffenden Legierung bedingt, zum Teil unabhängig davon, welche Magnetisierungsart verwendet wird. Es ist Sache der Stromwandler-Berechnung, den Ansprüchen in dieser Beziehung durch die Wahl der geeigneten Mittel, wie Beimischung von siliziertem Blech oder Querschnittserhöhung, zu entsprechen.

Im Anschluss an diese Betrachtungen sei noch auf die Abhandlung von Brügger im Bull. SEV 1936, S. 439, verwiesen, in welcher die messtechnischen Schwierigkeiten, die sich bei der Bestimmung der Ueberstromziffer ergeben, eingehend besprochen werden.

### 5. Praktische Erfahrungen.

Die serienmässige Fabrikation von Einleiterstromwandlern mit gesteuerter Vormagnetisierung wird im Auslande bis 100 kV und in der Schweiz

Nennspannung kV	Prüfspannung kV	Uebersetzung A	Leistung VA	Klasse VDE
11	42	40/5	10	1,0
6	34	50/5	5	0,5
11	42	80/5	20	3,0
12	28	80/5	10	1,0
16	64	75/5	20	1,0
17	64	80/5	30	1,0
12	28	100/5	30	1,0
12	42	120/5	15	0,5
75	160	100/5	15	3,0
17	64	125/5	40	1,0
75	160	100/5	20	0,5
11	42	150/5	30	1,0
16	64	150/5	15	0,5
24	50	150/5	30	1,0
12	42	160/5	30	1,0
12	42	160/5	15	0,5
6	20	200/2×5	2×20	0,5
12	28	200/5	30	0,5
16	64	200/5	15	0,5
50	100	200/5	20	0,5
17	64	220/5	40	1,0
12	28	250/5	30	0,5
16	64	250/5	30	0,5
12	42	300/5	30	0,5
17	64	300/5	40	1,0
66	184	300/1	30	1,0
24	50	400/5	30	0,5

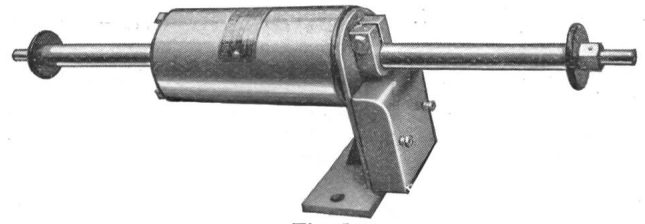


Fig. 5. Konsolenwandler 40/5 A, 12 kV, Prüfspannung 42 kV.

Ueberblick über die auf diesem Gebiet bisher erreichten Erfolge.

Wie aus der Tabelle ersichtlich ist, ist der Strom von 400 A die obere Grenze, bei der die Ausführung von Wand-

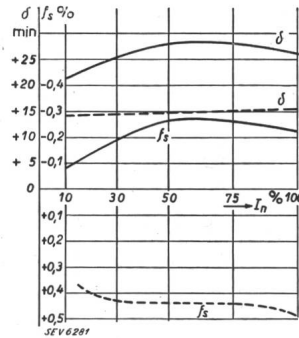


Fig. 6. Fehlerkurven. fs Stromfehler. delta Fehlwinkel.

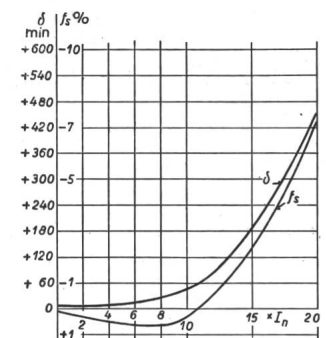


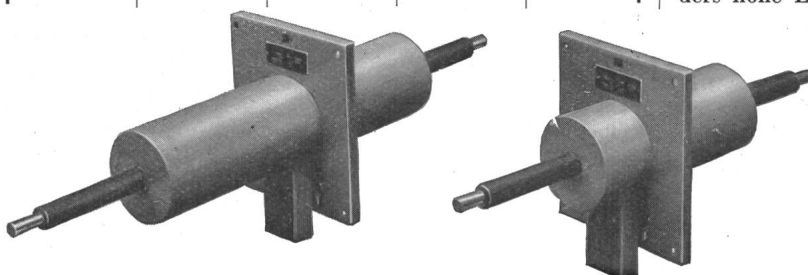
Fig. 6a. Ueberstromcharakteristiken.

lern mit gesteuerter Vormagnetisierung wirtschaftliche und praktische Vorteile bringt. Für Stromstärken von 500 A und aufwärts wird man nur in den Fällen, in denen besonders hohe Leistungen gefordert werden und dabei auf eine geringe Kernhöhe Wert gelegt wird, von vormagnetisierten Einleiterstromwandlern Gebrauch machen. Für die höheren Spannungen kommen in der Regel geringere Stromstärken in Frage. In solchen Fällen ist auch die Bedeutung der Kurzschlußsicherheit noch höher einzuschätzen.

Die Fig. 4 und 5 zeigen einige Ausführungen. Die Wandler der Fig. 4 sind als Durchführungswandler mit einer Befestigungsplatte zum Einbau versehen. Der Wandler Fig. 5 ist mit einer Konsole zum Einbau ausgerüstet, wodurch die Montage in beliebiger Lage erfolgen kann.

In Fig. 6 und 6a sind die Fehlerkurven und Ueberstromcharakteristiken eines Stromwandlers 150/5 A mit einem Kern aus Transformatorenblech nach Prüfprotokoll des SEV dargestellt.

Den technischen Prüfanstalten des SEV und dem Amt für Mass und Gewicht in Bern möchte ich an dieser Stelle für die Unterstützung mit ausgiebigen Versuchen meinen besten Dank aussprechen.



a 80/5 A. b 125/5 A.

Fig. 4.

Durchführungswandler, 17 kV, Prüfspannung 64 kV.

bis zur Nennspannung von 75 kV ausgeführt; für 220 kV liegt eine Versuchsausführung vor.

In der Schweiz hat die Firma Moser-Glaser & Co. in Basel durch die Ausführung dieser Wandler eine dreijährige Erfahrung erlangt. Folgende Zusammenstellung nach Stromstärke, Nennspannung, Leistung und Klassengenauigkeit ausgeführten Serien von Einleiterstromwandlern gibt einen guten

### Spannungshaltung in Niederspannungsnetzen.

Bulletin SEV 1937, Nr. 11, S. 213.

#### Berichtigung.

Herr E. Schönholzer, Zürich, macht auf eine Ungenauigkeit im theoretischen Teil des Referates Howald aufmerksam, auf die wir noch hinweisen möchten. Der auf Seite 214 über der Fig. 1 mit «Spannungsabfall» bezeichnete Ausdruck ist

die geometrische, nicht die für den Verbraucher massgebende numerische Spannungsdifferenz. Diese hängt natürlich, wie aus der (richtigen) Fig. 1 und übrigens auch aus dem Referat Roesgen hervorgeht, vom Phasenwinkel  $\varphi_0$  der Belastung ab. Sie ist bei dem gewöhnlich kleinen Stabilitätswinkel zwischen  $U_s$  und  $U_0$  mit sehr grosser Genauigkeit

$$I(R \cos \varphi_0 + X \sin \varphi_0)$$