

Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins
Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke
Band: 28 (1937)
Heft: 16

Artikel: Stromwandler mit gesteuerter Eigenvormagnetisierung
Autor: Goldstein, J.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1059859>

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: 03.04.2025

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

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

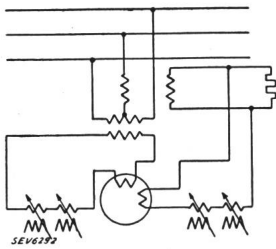


Fig. 26.

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 équi-
librer la charge elle-même, et ceci à l'aide d'une
self et d'un condensateur (selon fig. 13) si les con-
ditions de service n'exigent pas un réglage automa-
tique, ou à l'aide de deux machines synchrones, di-
mensionnées 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 Eigenformmagnetisierung.

Von J. Goldstein, Zürich.

921.314.224.08

Die Fortschritte, die auf dem Gebiete der eigenformmagne-
tisierten 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 Stromwandler-
gebiet beachtenswert ist, kurz zusammengefasst werden. An-
schliessend wird über die praktischen Erfolge, die in der
Schweiz und im Auslande auf dem Gebiete der eigenform-
magnetisierten Einleiterstromwandler erreicht worden sind,
berichtet.

Les progrès réalisés dans le domaine des transformateurs
d'intensité à prémagnétisation propre ne sont pas sans in-
térêt 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 Per-
meabilität des Eisens zu erhöhen, sei hier als be-
kannt 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 Wandler-
s und wird aus dem gleichen Grunde von diesen
auch nicht beeinflusst.

Der Sekundärstrom I_2 darf im oberen Strom-
gebiet nicht mit vollem Betrag für die Vormagne-
tisierung 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 Vormagnetisie-
rungsstrom (I_V) verwendet. Die Bemessung der
Windungszahl (w_V) dieser Wicklung und die Be-
messung des Drosselspulenkerne und seiner Win-
dungszahl (w_D) müssen derart erfolgen, dass eine
Erfassung des steilsten Bereiches der Magnetisie-
rungskurve gewährleistet wird, und dass diese Ma-
gnetisierung möglichst phasengleich mit der «Nutz-
magnetisierung» bleibt.

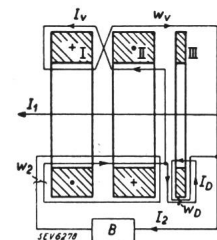


Fig. 1.

Schaltung eines Einleiter-Strom-
wandlers mit gesteuerter Eigen-
vormagnetisierung.

rungsstromes, sondern auch auf die Phasenregu-
lierung dieses Stromes relativ zum Magnetisierungs-
strom des Stromwandlers.

In Fig. 1 ist die Schaltung eines Einleiterstrom-
wandlers mit gesteuerter Eigenformmagnetisierung
dargestellt. Der zweiteilige Eisenkern wird wie
jeder normale Stromwandler mit einer sekundären
Wicklung versehen, die eine dem Uebersetzungs-
verhältnis des Stromwandlers entsprechende Win-
dungszahl w_2 erhält. In Serie mit der Hauptwick-
lung ist eine Hilfswicklung w_V , die in Kreuzschal-
tung die beiden Teilkern umschlingt, geschaltet.

Durch die Verkennung dieser Umstände ist es
zu erklären, dass die in Frankreich in den Jahren
1920 bis 1922 von der Compagnie pour la Fabrica-
tion des Compteurs et Matériel d'Usines à Gaz aus-
geführten Versuche mit compoundierten Strom-
wandlern nicht von durchgreifendem Erfolg be-
gleitet gewesen sind. Auch entspricht die ange-
strebte 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,

μ_v die Permeabilität des vormagnetisierten Kernes,

β Phasenverschiebungswinkel im Bürdenkreis,

β_0 Phasenverschiebungswinkel des Leerlaufstromes,

so lassen sich der Stromfehler (f_s) und der Fehlerwinkel (δ) 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 μ_v mit Wechselstromvormagnetisierung bietet am meisten Schwierigkeiten und setzt Spezialversuche in geeigneten Schaltungen voraus. Die Kurven kön-

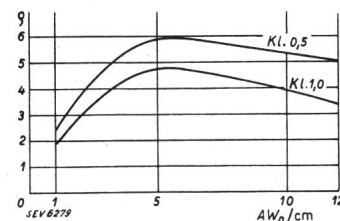


Fig. 2.

Leistungserhöhung des
eigenvormagnetisierten
Stromwandlers.

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

Die Erhöhung der μ -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 ϱ ist dabei der Quotient

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

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 «Kunstschtung» 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 ϱ 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

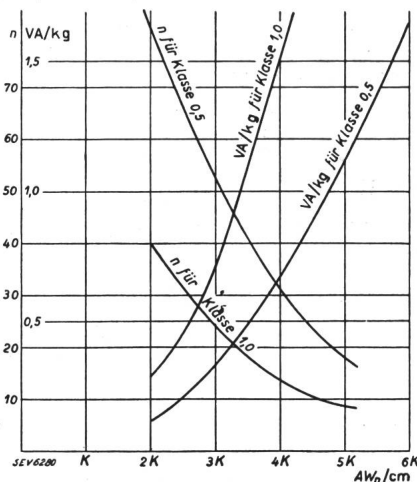


Fig. 3.
Ueberstrom- und
Leistungscharakteristiken.

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 Transformatorenblech 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

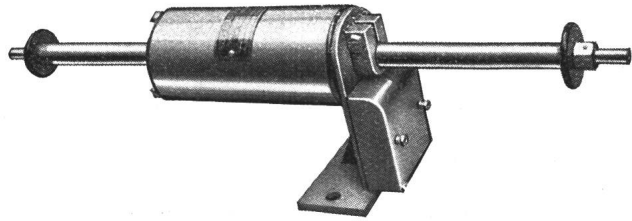


Fig. 5.

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-

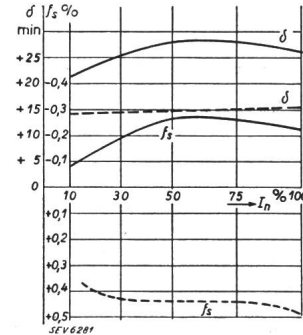


Fig. 6.

Fehlerkurven.
fs Stromfehler.
delta Fehlwinkel.

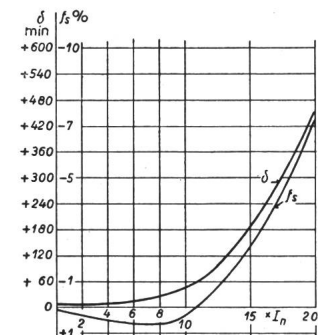
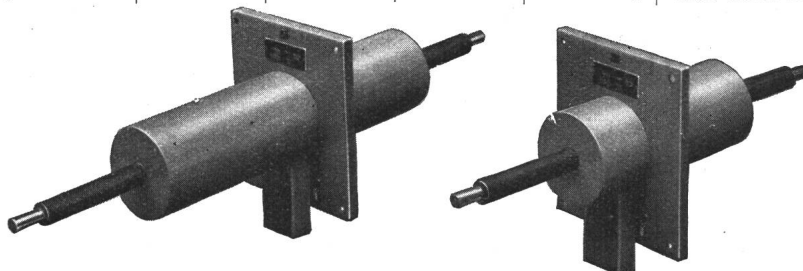


Fig. 6a.

Ueberstromcharakteristiken.



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

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.

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 φ_0 der Belastung ab. Sie ist bei dem gewöhnlich kleinen Stabilitätswinkel zwischen U_0 und U_1 mit sehr grosser Genauigkeit

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