

Zeitschrift: Bulletin de l'Association suisse des électriciens
Herausgeber: Association suisse des électriciens
Band: 19 (1928)
Heft: 23

Artikel: Ein neuer Spannungswandler
Autor: Imhof, A.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1057053>

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: 18.02.2026

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

SCHWEIZ. ELEKTROTECHNISCHER VEREIN BULLETIN ASSOCIATION SUISSE DES ÉLECTRICIENS

Generalsekretariat des | REDAKTION | Secrétariat général de
Schweiz. Elektrotechnischen Vereins und des | Zürich 8, Seefeldstr. 301 | l'Association Suisse des Electriciens et de
Verbandes Schweizerischer Elektrizitätswerke | | l'Union de Centrales Suisse d'électricité

Verlag und Administration | Fachschriften-Verlag & Buchdruckerei A.-G. | Editeur et Administration
Zürich 4, Stauffacherquai 36/38

Nachdruck von Text oder Figuren ist nur mit Zustimmung der | Reproduction interdite sans l'assentiment de la rédaction et
Redaktion und nur mit Quellenangabe gestattet | sans indication des sources

XIX. Jahrgang
XIX^e Année

Bulletin No. 23

Dezember I 1928
Décembre I 1928

Ein neuer Spannungswandler.

Von Prof. A. Imhof, Winterthur.

621.314.38 + 621.374

Wird zwischen einen Leiter und Erde ein Ohmscher Widerstand gelegt, so fliesst durch ihn ein Strom zur Erde ab, welcher der Spannung zwischen Leiter und Erde proportional, somit ein Mass dafür ist und mittelst eines Stromwandlers gemessen werden kann. Der Autor beschreibt einen Apparat, welcher auf diesem Prinzip beruht. Er diskutiert Uebersetzungs- und Winkelfehler und zeigt Anwendungs- und Schaltmöglichkeiten. Ein Vergleich mit den gebräuchlichen Spannungstransformatoren ergibt für den neuen Apparat wirtschaftliche Vorteile, welche von etwa 30 : 70 kV, je nach geforderten Fehlergrenzen, an aufwärts mit wachsender Spannung recht beträchtlich werden.

Si l'on branche une résistance ohmique entre un conducteur et la terre, le courant qui la parcourt est proportionnel à la tension du conducteur et peut, par conséquent, servir à mesurer celle-ci, par l'intermédiaire d'un transformateur d'intensité. L'auteur décrit un appareil basé sur ce principe, dont il discute les erreurs de mesure et montre les applications et schémas possibles. La comparaison avec les transformateurs de potentiel usuels montre que le nouvel appareil présente des avantages économiques, qui croissent rapidement avec la tension à partir de 30 : 70 kV, suivant l'exactitude requise des mesures.

In der Messtechnik ist man seit Jahren bemüht, billigere Hochspannungs-Messvorrichtungen zu schaffen, als sie die Spannungswandler darstellen. Der Preis der Spannungswandler, ihr Raumbedarf und Gewicht wächst bei Höchstspannungen so gewaltig an, dass die elektrischen Anlagen hierdurch oft erheblich verteuert werden.

Erfolgreich können nur Ersatzgeräte sein, welche eine für die technischen Messungen in allen Fällen genügende Genauigkeit besitzen, namentlich aber ohne komplizierte Zusatzvorrichtungen und mit grosser Betriebssicherheit die Fernmessung gestatten, damit die Messung im Kommandoraum erfolgen kann. Dabei sind an Isolationssicherheit und Sprungwellensicherheit mindestens dieselben Anforderungen zu stellen, wie bei den bisherigen Spannungswandlern.

Einige Methoden, die obige Bedingungen mit neuen Mitteln zu erfüllen trachten, beruhen auf der Schaffung eines Wechselstrom-Widerstandes, der zwischen Messleitung und Erde eingeschaltet und dessen Stromdurchfluss über einen Stromwandler gemessen wird. Die zuerst bekannt gewordene C-Messung verwendet einen praktisch rein kapazitiven Widerstand, der Pfiffnersche Kaskaden-Spannungswandler einen praktisch rein induktiven Widerstand. Als kapazitiven Widerstand der C-Messung werden Kondensator-Durchführungen verwendet; es würde also diese Methode, was Wirtschaftlichkeit und Raum anbelangt, zweifellos an erster Stelle stehen, da meistens die Durchführungen für Schalter, Transformatoren oder Mauern aus andern

Gründen schon zur Verfügung stehen. Hindernd wirkt jedoch vor allem die grosse Temperaturabhängigkeit der Dielektrizitätskonstanten.

Nach weit zurückreichenden Vorstudien wurde durch die Firma Trüb, Täuber & Co. ein nach Vorschlägen des Verfassers gebauter Widerstandsspannungswandler entwickelt, der einen praktisch reinen Wirkwiderstand verwendet (Fig. 1). Dieser Apparat nimmt durch Gewicht, Raumbedarf und Preis eine hervorragend günstige Stellung ein und besitzt dabei auch technisch wertvolle Eigenschaften. Den Erbauern der Kraft- und Unterwerke dürfte die Verwendung des neuen Messwandlers eine wesentliche Verbilligung der Anlagen einbringen.

Der erste Versuchswandler steht seit 18 Monaten in ständigem Betrieb, ohne die geringsten Störungen gezeigt zu haben und grössere Wandler sind in einer Freiluftstation in Betrieb genommen worden.

Wirkungsweise. Ein sehr hoher konstanter Ohmscher Widerstand wird in Serie mit einem primärseitig einpolig geerdeten Stromwandler geschaltet (Fig. 2). Die Messspannung wird zwischen dem nicht mit dem Stromwandler verbundenen Ende des Widerstandes und der Erde angelegt. Von der Sekundärwicklung des Stromwandlers wird ein der Messspannung proportionaler Strom den Niederspannungs-Apparaten, insbesondere Messgeräten, zugeführt. Da der induktive Spannungsabfall des Stromwandlers gegenüber der Gesamtspannung sehr klein ist, ist der Primärstrom mit der Messspannung in Phase, der Sekundärstrom ist damit sehr angenähert in Gegenphase und proportional der Messspannung. Der Primärstrom wurde bei

Fig. 1.
Ansicht eines Widerstandsspannungswandlers für Freiluftanlagen; Nennspannung 135 kV.

Nennspannung zu 5–10 Milliampere gewählt, der Sekundärstrom normalerweise zu 500 Milliampere. Die Messgeräte werden miteinander in Serie geschaltet. Dieselben besitzen daher Stromwicklungen ohne Vorwiderstände, wodurch der Eigenverbrauch auf das Mindestmass herabgesetzt werden kann.

Aufbau. Ein gut durchgebildeter Aufbau ist für die Brauchbarkeit des Apparates sehr wichtig. Der Ohmsche Widerstand ist aus feinem Konstantandraht mit Emaille- und Seidenisolation nahezu induktionsfrei gewickelt. Die einzelnen Spulen sind gruppenweise, für je eine Nennspannung von 1400 V bemessen, übereinander angeordnet; die Spannungen der einzelnen Gruppen betragen $10 \div 20$ kV. Einige Einzelheiten sind aus Fig. 3 zu ersehen. Ein gusseiserner Fuss enthält zunächst die Stromwandler, meistens deren zwei übereinander. Darüber folgen die Widerstandsspulen, zentralisch um ein den ganzen Wandler durchziehendes Hartpapierrohr angeordnet. Als Oelbehälter dient ein weiterer stark lackierter Hartpapierzylinder. Die oberen Spulenabteilungen sind durch Hülsen mit eingebetteter Metallfolie gegen Koronabildung geschützt, während die tieferliegenden, für die eine solche Gefahr nicht mehr besteht, von folienfreien Hülsen umgeben sind, die nur der Oelführung dienen. Die Koronagefahr an Feindrahtspulen wird vielfach überschätzt. Man hat

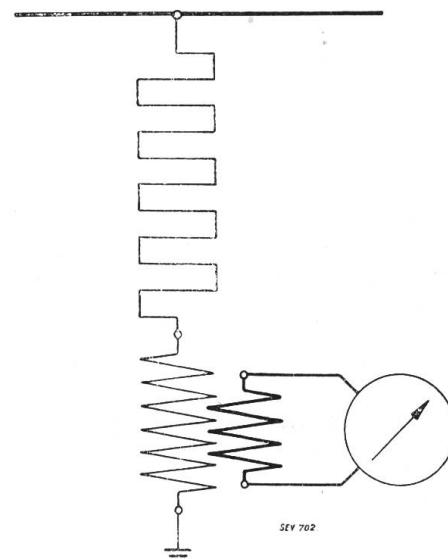
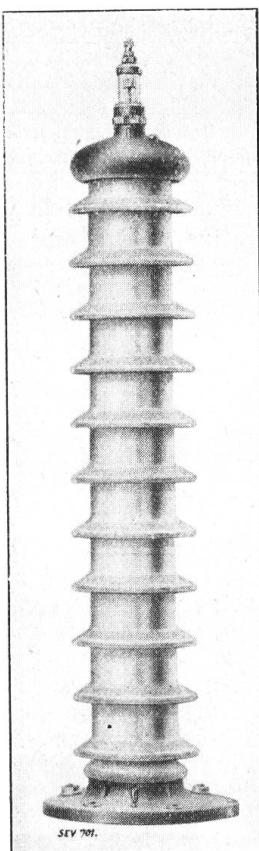


Fig. 2.
Schema der Schaltung.

zu bedenken, dass die dicht zusammenliegenden Dünndrahtwindungen statisch als kompakter Ring aufzufassen sind. Die Oelwege sind so gebildet, dass die Spulen auf der Innen- und Aussenseite umspült werden. Ein Oelstrom steigt längs den innern Spulenseiten durch den ganzen Apparat nach oben und der Innenwandung des Oelbehälters entlang wieder nach unten. Innerhalb jeder Spulenabteilung zirkuliert ferner das Oel an den Spulenaussenseiten nach oben und ausserhalb der Oelführungshülsen nach unten. Die Oelabdichtung ist in vollkommener Weise gelungen. Eine Bronzehaube mit Anschlussklemme und Oelstandszeiger schliesst den Spannungswandler oben ab. Als Oelstandszeiger dient ein Schwimmer mit gut sichtbarer Marke. Der Gussfuss enthält die Stopfbüchsen zur Abdichtung des Oelbehälters, ferner die Niederspannungs-Anschlussklemmen mit wasserdichtem Verschluss. Die Freilufttype besitzt zum Wittringsschutz übereinander gestülpte, gegenseitig gedichtete Porzellanschirme.

Elektrische Daten.

Primärstrom bei Nennspannung 5 bis 10 mA, je nach Nennspannung.

Sekundärstrom bei Nennspannung 500 mA.

Sekundäre Leistung 15 bis 20 VA.

Fehlwinkel $< \pm 60'$ bei Spannungen zwischen 90 und 110% der Nennspannung, in Spezialausführung ca. $\pm 30'$.

Uebersetzungsfehler für $\cos \varphi = 0,6 : 1,0 \leq 1,5\%$.

Prüfspannung: Hierfür werden die gleichen Normen wie für Durchführungsisolatoren eingehalten.

Ueberschlagsspannung ca. $3,6 \cdot$ Nennspannung.

Fehler-Diskussion. Bei einem Messtrom von nur 5 Milliampere könnten Ströme, wie sie auf der Oberfläche bei Regen fliessen, schon einen störenden Nebenschluss bilden, wenn sie den Stromwandler durchfliessen würden. Da jedoch der Stromwandler eingebaut ist, fliessen die Oberflächenströme direkt in den geerdeten Gussockel ab. Dasselbe gilt von den das umhüllende Isoliermaterial durchfliessenden Strömen. Das zentrale Isolierrohr ist ständig ölumschwemmt, kann also nicht Wasser aufnehmen, und unter diesen Umständen ist es nicht schwer, dessen

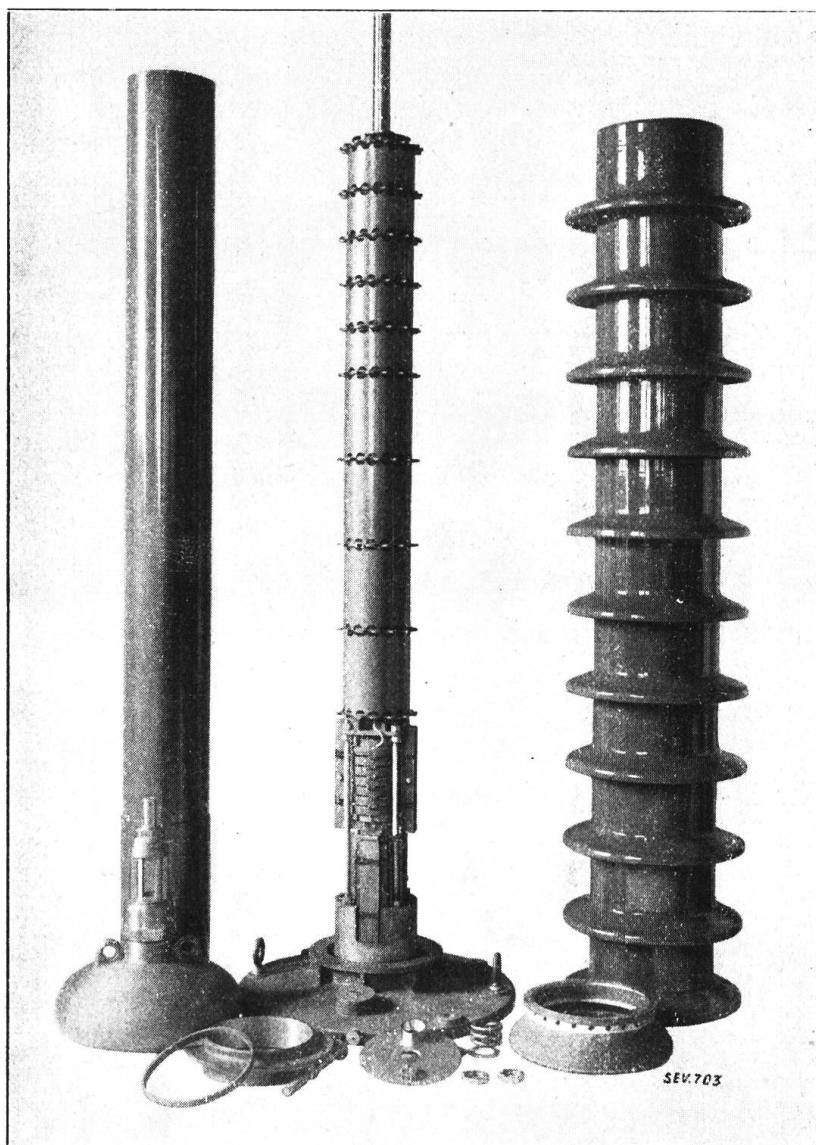


Fig. 3.
W-O Wandler in Teile zerlegt.

Qualität dauernd so zu erhalten, dass sein Wirkstrom von durchaus vernachlässigbarer Grösse bleibt.

Die Uebersetzungs- und Winkelfehler sind der Rechnung leicht zugänglich. Sie setzen sich zusammen aus den Fehlern, die sich aus dem Verhältnis des Vorwiderstandes zur Gesamtimpedanz des Stromwandlers ergeben, fortan genannt „primäre Fehler“ und den Fehlern des Stromwandlers selbst, fortan genannt „sekundäre Fehler“. An beiden Fehlern haben wir wiederum zwischen Uebersetzungs- und Winkelfehlern zu unterscheiden. Primärer und sekundärer Fehler addieren sich sowohl mit steigender Erregung wie auch mit steigender Belastung, wogegen sich primäre und sekundäre Winkelfehler meist subtrahieren.

Es bedeuten: R_V den Vorwiderstand¹⁾, R_S den Wirkwiderstand, X_S den Blindwiderstand und Z_S die Gesamtimpedanz des Stromwandlers, r_B , x_B , z_B bezw. den Wirk-, Blind- und Gesamtwiderstand der sekundären Belastung, n das Uebersetzungsverhältnis (Windungsverhältnis) des Stromwandlers. Die Belastungswiderstände auf die Primärseite umgerechnet, ergeben:

$$R_B = n^2 r_B, \quad X_B = n^2 x_B, \quad Z_B = n^2 z_B.$$

Zur Beurteilung der Uebersetzungsfehler berechnen wir das Verhältnis des Stromes, der sich bei sekundär kurz geschlossenem Stromwandler einstellt (I_0) und dem Strom bei belastetem Stromwandler (I_B), ferner den Winkel dieser beiden Ströme gegeneinander (δ_{0-B}), denn wäre dieser Null, so liesse er sich korrigieren durch geeignete Gestaltung des Vorwiderstandes.

Für $Z_B = 0$ fliesst bei der Gesamtspannung E ein Strom

$$I_0 = \frac{E}{R_V + R_S + j X_S} \quad (1)$$

daraus ergibt sich der Winkelfehler (d. h. Winkel $I_0 E$).

$$\delta_0 = -\arctg \frac{X_S}{R_V + R_S} \cong -\arctg \frac{X_S}{R_V}. \quad (2)$$

Mit der sekundären Belastung Z_B gilt, unter Vernachlässigung des betriebsmässig sehr kleinen Magnetisierungsstromes analog:

$$I_B = \frac{E}{R_V + R_S + R_B + j (X_S + X_B)} \quad (3)$$

$$\frac{I_0}{I_B} = 1 + \frac{R_B + j X_B}{R_V + R_S + j X_S}$$

$$= 1 + \frac{(R_V + R_S) R_B + X_S X_B - j \{ R_B X_S - (R_V + R_S) X_B \}}{(R_V + R_S)^2 + X_S^2} \quad (4)$$

Für das absolute Verhältnis von Kurzschluss- und Belastungsstrom ergibt sich also

$$\left| \frac{I_0}{I_B} \right| = \sqrt{\left\{ 1 + \frac{(R_V + R_S) R_B + X_S X_B}{(R_V + R_S)^2 + X_S^2} \right\}^2 + \left\{ \frac{R_B X_S - (R_V + R_S) X_B}{(R_V + R_S)^2 + X_S^2} \right\}^2}$$

Darin bedeutet $\sqrt{(R_V + R_S)^2 + X_S^2} = Z_0$ die Leerlaufimpedanz des Widerstands-Spannungswandlers.

$$\left| \frac{I_0}{I_B} \right| = \sqrt{\left\{ 1 + \frac{(R_V + R_S) R_B + X_S X_B}{Z_0^2} \right\}^2 + \left\{ \frac{R_B X_S - (R_V + R_S) X_B}{Z_0^2} \right\}^2} \quad (5)$$

Für induktionsfreie Belastung $X_B = 0$ wird sehr angenähert

$$\left| \frac{I_0}{I_B} \right| = 1 + \frac{(R_V + R_S) R_B}{Z_0^2} \cong 1 + \frac{R_B}{R_V + R_S} \quad (5a)$$

¹⁾ Dieser werde als kapazitäts- und selbstinduktionsfrei angenommen. Die Wirkung der Kapazität des Widerstandes gegen die geerdete Umgebung soll später untersucht werden.

d. h. der Fehler wächst proportional der Belastung. $R_V + R_S$ sind dem Primärstrom umgekehrt proportional, n ebenfalls, und da $R_B = n^2 r_B$, bewirkt eine Vergrösserung des Primärstromes einen im gleichen Verhältnis abnehmenden Uebersetzungsfehler.

Aus Gleichung (4) folgt

$$\operatorname{tg} \delta_{0-B} = \frac{R_B X_S - (R_V + R_S) X_B}{(R_V + R_S) R_B + X_S X_B + (R_V + R_S)^2 + X_S^2} \quad (6)$$

und angenähert für kleine Winkel

$$\operatorname{tg} \delta_{0-B} \cong -\frac{X_B}{R_V}. \quad (6a)$$

Zu den nach Gleichungen (5) und (6) bestimmten primären Fehlern kommen noch die sekundären Fehler, also diejenigen des Stromwandlers selbst, die wiederum mit Zuhilfenahme der Streuungsmessung der Rechnung zugänglich sind. Soll der primäre Uebersetzungsfehler bei R_B und für $X_B = 0$ (d. h. im ungünstigsten Fall) höchstens $1/2\%$ betragen, so muss $\frac{R_B}{R_V + R_S} \leq 0,005$ sein nach (5a). Daraus ergibt sich der bei vorgeschriebener Nennlast notwendige Widerstand R_V des Wandlers.

Eine zweite Forderung für R_V leitet sich ab aus dem bei gegebenem Stromwandler vorgeschriebenen Fehlwinkel. Der ungünstigste Fall ist hier bei $\cos \varphi_B = 0,6$, dem untersten Grenzwert für den Belastungsleistungsfaktor nach VDE Klasse E und F. Hat der Stromwandler selbst einen Fehlwinkel δ_s und ist der primäre Fehlwinkel δ_p , so ist $\delta = -\delta_p + \delta_s = -\frac{\pi}{180}$ für Klasse F, somit $\delta_p = \frac{\pi}{180} + \delta_s$. δ_0 darf um so grösser sein, je stärker voreilend δ_s ist. Aus den Gleichungen (2) und (6a) folgt

$$\operatorname{tg} \delta_p \cong -\frac{X_S + X_B}{R_V} \quad (7)$$

$$\operatorname{tg} \delta_p = \operatorname{tg}\left(\frac{\pi}{180} + \delta_s\right) \cong -\frac{X_S + X_B}{R_V}$$

R_V ist so zu wählen, dass die Gleichungen (5a) und (7) befriedigt sind.

Die sekundären Fehler können, wo dies nötig ist, durch Verwendung der nickellegierten Eisensorten (μ -Metall, Permalloy u. a.) auch bei niedriger Amperewindungszahl klein gemacht werden. In Fig. 4 ist das Vektordiagramm des Widerstands-Spannungswandlers dargestellt.

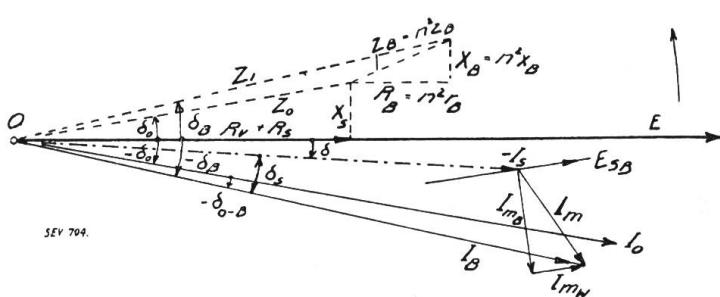


Fig. 4.
Vektordiagramm.

normale Spannungswandler. Sollen jedoch Leistungsmessungen mit Einhaltung der durch Klasse F der VDE Normen geforderten Bedingungen vorgenommen werden, so muss bei niedrigeren Spannungen die Stromaufnahme vergrössert werden, wodurch die Wärmeentwicklung steigt und daher die Abmessungen nicht der Spannung entsprechend reduziert werden können. Die Wirtschaftlichkeit beginnt dann erst etwa von 70 kV an aufwärts.

Die Frequenzabhängigkeit ist naturgemäß infolge des reinen Wirkwiderstandes sehr gering. Wohl aber sinkt die innert vorgeschriebener Fehlergrenzen mögliche

Dienen die Widerstands-Spannungswandler nur zur Spannungsmessung, so ist eine Zusammenfassung mit dem Spannungsmesser möglich; die Wandler können dann schon bei Spannungen von etwa 30 kV an wirtschaftlicher gebaut werden als

sekundäre Leistung mit sinkender Frequenz und es gelten diesbezüglich die Gesetze der Stromwandler.

Die Temperaturfehler sind so gering, dass sie nicht diskutiert zu werden brauchen. Der ganze Widerstand, mit Ausnahme des geringen Anteiles des Stromwandlers,

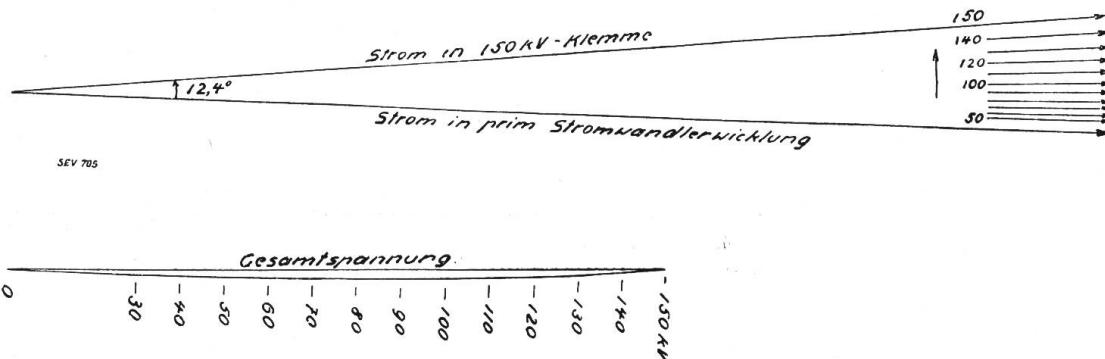


Fig. 5.
Ströme und Spannungen in den Teilwiderständen. Diagramm.

besteht aus Konstantandraht mit einem praktisch gleich Null zu setzenden Temperaturkoeffizient.

Die Widerstands-Spulen haben eine gewisse Kapazität gegen die geerdete Umgebung. In Anbetracht des kleinen Primärstromes ist zu prüfen, von welcher Größenord-

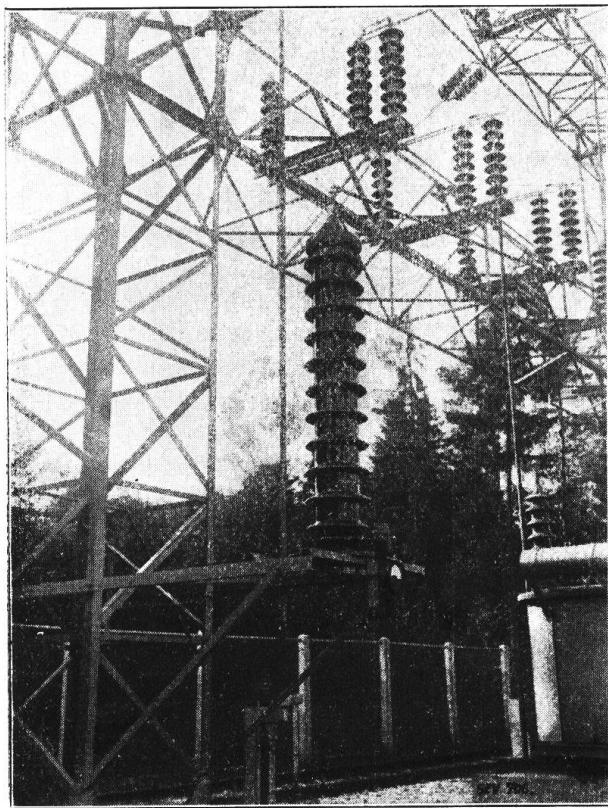


Fig. 6.
W-O Wandler für 132 kV, 16 $\frac{2}{3}$ Per/sec in einer Freiluftstation.

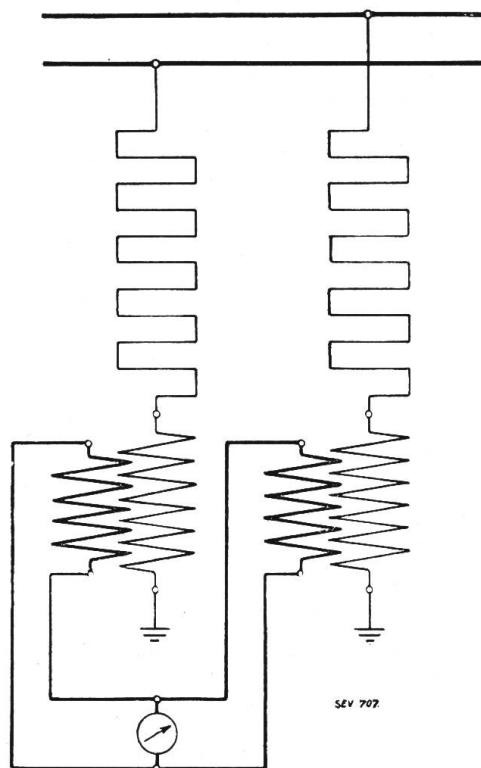


Fig. 7.
Schaltschema. Messung der Spannung zwischen
zwei Leitern.

nung der Verschiebungsstrom dieser Kapazität ist. Aus Messungen im konstruierten Kraftlinienbild ergibt sich, dass mit einiger Näherung ein zu der Achse des Apparates koaxialer geerdeter Zylinder angenommen werden darf als Ersatz für die ebene

Grundfläche, auf welcher der Apparat steht. Der Verschiebungsstrom ergibt sich dann aus dem Ansatz

$$di_c = \omega dC E$$

Die Kapazität C ist proportional der Höhe h des säulenförmigen Widerstandes

$$dC = a dh,$$

ebenso ist die Spannung gegen Erde proportional der Höhe:

$$\begin{aligned} E &= b h \\ di_c &= \omega a b h dh \\ i_c &= \frac{1}{2} \omega a b h^2. \end{aligned}$$

Beispielsweise werde ein geerdeter Zylinder von 2 m Radius angenommen. a bedeutet die Kapazität pro 1 cm Länge und beträgt in diesem Falle

$$\begin{aligned} a &= \frac{1}{2 \ln \frac{200}{5,5} \cdot 9 \cdot 10^{11}} \\ &= \frac{10^{-11}}{65}. \end{aligned}$$

Die Konstante b beträgt ca. 1000 V/cm. Dann ist für $\omega = 314$ $i_c = 2,41 \cdot 10^8 \cdot h^2 A$, beispielsweise für eine Nennspannung von 100 kV ist $i_c = 0,24 \text{ mA}$.

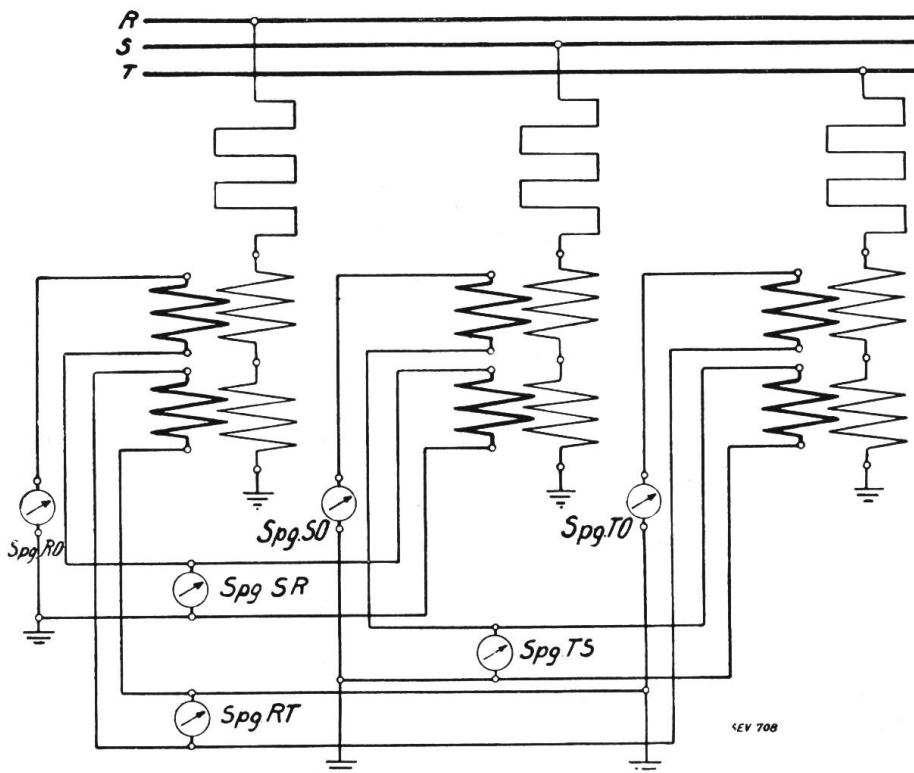


Fig. 8.
Schaltschema.

Allgemeines Schema für die Messung der verketteten und Phasenspannungen.

neben sind die einzelnen Teilspannungen unter Annahme von rein Ohmschen Widerständen der einzelnen Spulengruppen zur Gesamtspannung addiert. Mit grosser Näherung ist der Strom in der Zuleitung gleich dem Strom beim Ausgang der Widerstandssäule. Eine Fehlerquelle liegt hierin nicht. Hingegen zeigt es sich als notwendig, den Spulen eine allerdings sehr kleine Induktivität zu geben, damit der Vektor der Gesamtspannung mit dem Strom im Stromwandler der Richtung nach zusammenfällt. Dies ist aber auch schon deswegen angezeigt, um die Spulenkapazität selbst zu kompensieren. Für die mathematische Untersuchung der vorliegenden Verhältnisse können die für Freileitungen geltenden Gleichungen²⁾ herangezogen werden.

In sehr wenig ausgedehnten Anlagen ist noch eine Fehlerquelle vorhanden, auf welche hinzuweisen ist. Die Kapazitäten der Leitungen gegen Erde bilden einen künstlichen Nullpunkt. Bei einiger Ausdehnung des Netzes bleibt dieser auch bei Shaltung der Kapazitäten durch Widerstandsspannungswandler unbeeinflusst, während bei kleinen Kapazitäten eine Verschiebung desselben eintreten kann.

²⁾ E. Orlich und H. Schultze: „Ueber einen Spannungsteiler für Hochspannungsmessungen“. Archiv für Elektrotechnik I. Band 1912; S. 1.

Anwendungen. Die häufigste Anwendung dürfte der Widerstandsspannungswandler in Hochspannungszentralen und Unterwerken zur Messung der Spannung und Leistung finden, ferner zur oberspannungsseitigen Synchronisierung. Dabei ist wertvoll, dass ausser den verketteten Spannungen zwecks Erdschlusskontrolle auch die Erdpotentiale messbar sind. Eine Anzahl von Schaltungsbeispielen wird im folgenden Abschnitt gegeben.

Neben schon bestehenden normalen Spannungswandlern eignen sich die Widerstandsspannungswandler als Reserve in Störungsfällen und werden dann zweckmässig als Erdschlussprüfer ständig angeschlossen. Das kleine Gewicht gestattet auch sehr gut die Verwendung als transportabler Spannungswandler.

Eine weitere Anwendung bieten die Hochspannungsprüflokale. Seitdem die Isolationsprüfungen nicht mehr nur in Oberflächen-Ueberschlagsmessungen bestehen, ist die genaue und rasche Bestimmung des Effektivwertes wichtig. Diese ist mit dem Widerstands-Spannungswandler sehr genau möglich, da dessen Eichung auf die Messung seines Widerstandes und des durchfliessenden Stromes basiert werden kann. Die ständige zeitraubende und bei unbekannter Kurvenform mässig genaue Mitbenutzung der nach Luft-

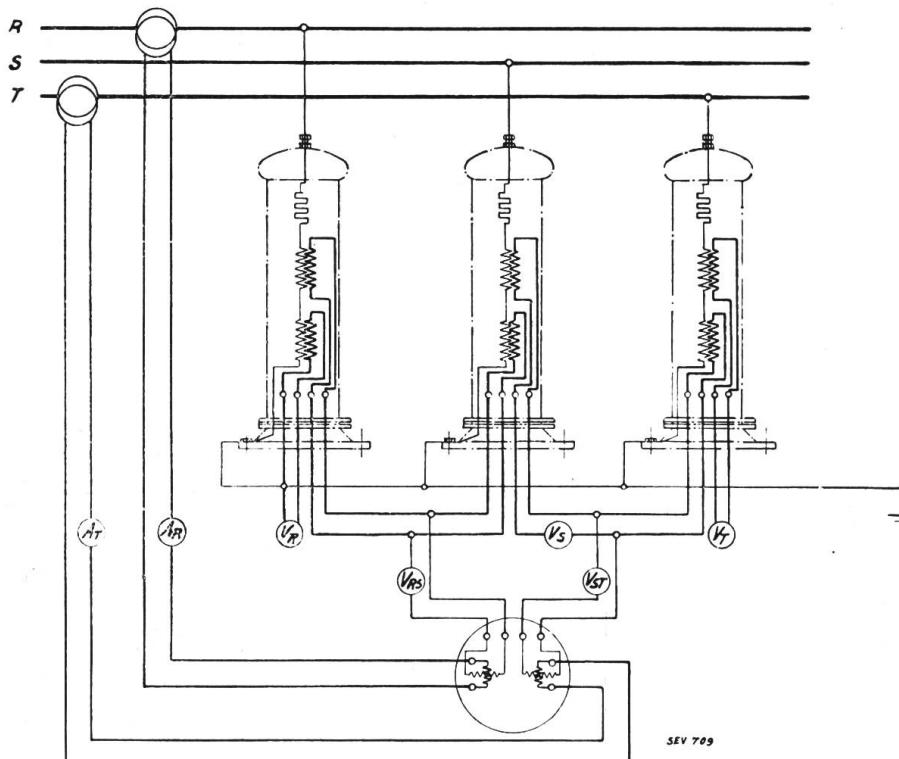


Fig. 9.
Schaltschema.
Messung der Leistung nach der Zwei-Wattmeter-Methode, der verketteten und Phasenspannungen.

druck und Temperatur zu korrigierenden Kugelfunkenstrecke fällt dann weg. Es bietet keine grossen Schwierigkeiten, den Widerstandswandler für Spannungen von mehreren Hundert kV zu bauen.

Schaltungen. Da Änderungen der Sekundärwiderstände den Primärstrom nicht beeinflussen können, ist der Apparat, obschon er als Spannungswandler verwendet wird, schaltungstechnisch als Stromwandler zu betrachten. Alle Niederspannungsapparate sind also in Serie anzuschalten. Die Verwendungsmöglichkeiten werden durch Einbau zweier Wandler, die primärseitig in Serie geschaltet sind, sekundär aber unabhängige Klemmen besitzen, wesentlich vermehrt. Die Messung der Spannung zwischen zwei Leitern wird mit der Schaltung nach Fig. 7 vorgenommen. Fig. 8 zeigt, wie in einem Drehstromnetz gleichzeitig die Spannungen RO , SO und TO gegen Erde und die verketteten Spannungen SR , RT und TS gemessen werden. Fig. 9 stellt das Schema dar zur Messung der drei Spannungen gegen Erde und zweier verketteter Spannungen, ferner der Drehstromleistung nach der Zweiwattmetermethode. Fig. 10 endlich stellt eine Synchronisierschaltung mit Doppelvoltmeter, Doppelfrequenzmesser und Synchronoskop dar. Es können aber auch Synchronisierungsschaltungen zusammen mit normalen Spannungswandlern ausgeführt werden,

ohne dass hier schon näher darauf eingegangen sei, ferner Schaltungen mit nur *einem* Wandler für jedes der zusammenzuschaltenden Netze.

Kommen in Messschaltungen Umschalter vor, so sind diese so zu bauen, dass die Messwandler bei den Umschaltungen nicht geöffnet werden. Aber auch ohne dies werden Störungen vermieden, da angebaute Neonröhren bei Öffnung des Sekundärkreises sofort automatisch kurzschließen.

Diese wenigen Bemerkungen über die Schaltungen zeigen schon, dass alle wünschbaren Möglichkeiten bestehen.

Vergleichsanlagen. Die Unterschiede gegen die normalen Spannungswandler liegen vor allem auf wirtschaftlichem Gebiet. In Fig. 11 ist das Gewicht des Freiluft- und des Innenraum-Widerstandsspannungswandlers inklusive Öl in Funktion der Nennspannung aufgetragen, ferner das analoge Gewicht der normalen Wandler gemäß dem Katalog einer bedeutenden Spezialfirma. Die beiden Kurvenbilder zeigen deutlicher als viele Worte, welcher Art die Vorteile sind. So kleine Gewichte sind möglich geworden, weil der Strom nur 5 Milliampere beträgt, der als Belastung gar nicht fühlbar wird.

Allerdings ist das Wicklungsmaterial kostspielig, dafür aber von geringem Gewicht. Die Vergleiche fallen noch stärker zugunsten des Widerstandsspannungswandlers aus, wenn man bedenkt, dass derselbe sehr viel weniger Raum in Anspruch nimmt, als ein normaler Wandler, sowohl der Höhe, wie namentlich der Grundfläche nach. (Siehe Fig. 12.)

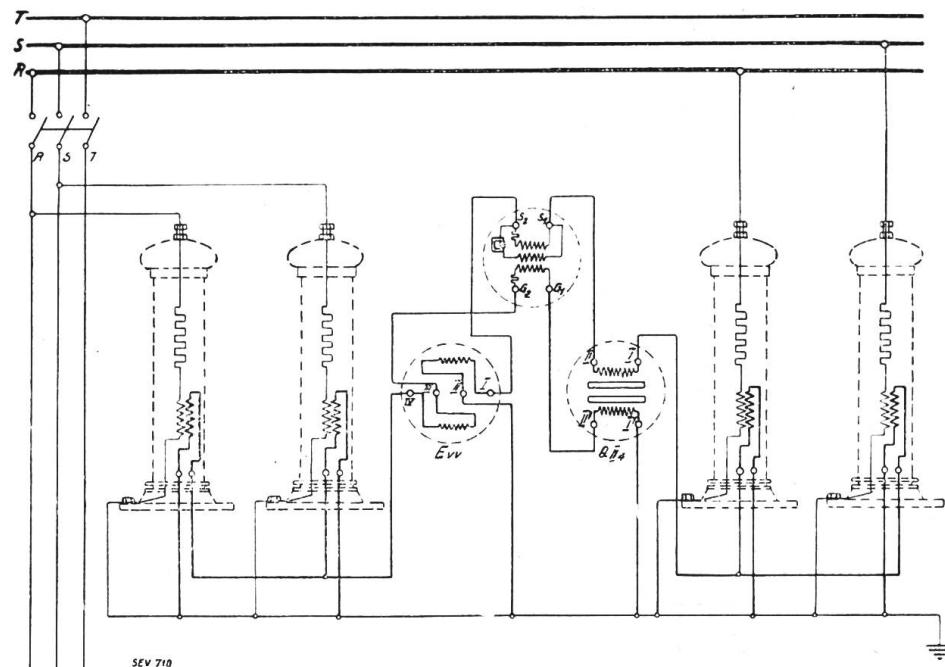


Fig. 10.
Schalschema. Synchrone-Schaltung.

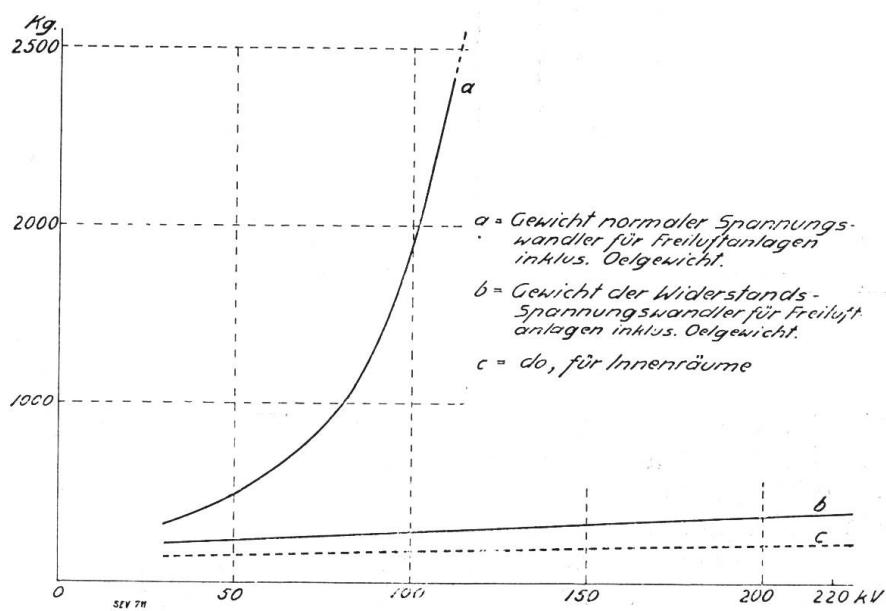


Fig. 11.
Vergleich der Gewichte.

Die Höhe des Apparates beträgt für eine Nennspannung von:

110 kV 2230 resp. 2410 mm; 220 kV 3330 resp. 3510 mm,

wobei die grössere Zahl gilt, wenn zwei Stromwandler in Serie eingebaut sind.

Der neue Wandler bietet auch für die Fabrikation und die Bauzeit ganz gewaltige Vorteile. Unabhängig von der Höhe der Spannung werden dieselben Bestandteile verwendet, mit Ausnahme zweier Hartpapierröhren. Nahezu alle Teile können serienmässig hergestellt und auf Lager gelegt werden.

Wirtschaftliche Vorteile ergeben sich je nach geforderten Fehlergrenzen von etwa 30kV bis 70 kV an. Man darf bei der Messung verketteter Spannungen, z. B. bei der Leistungsmessung nach der Zweiwattmetermethode, nicht den Preis *eines* Wider-

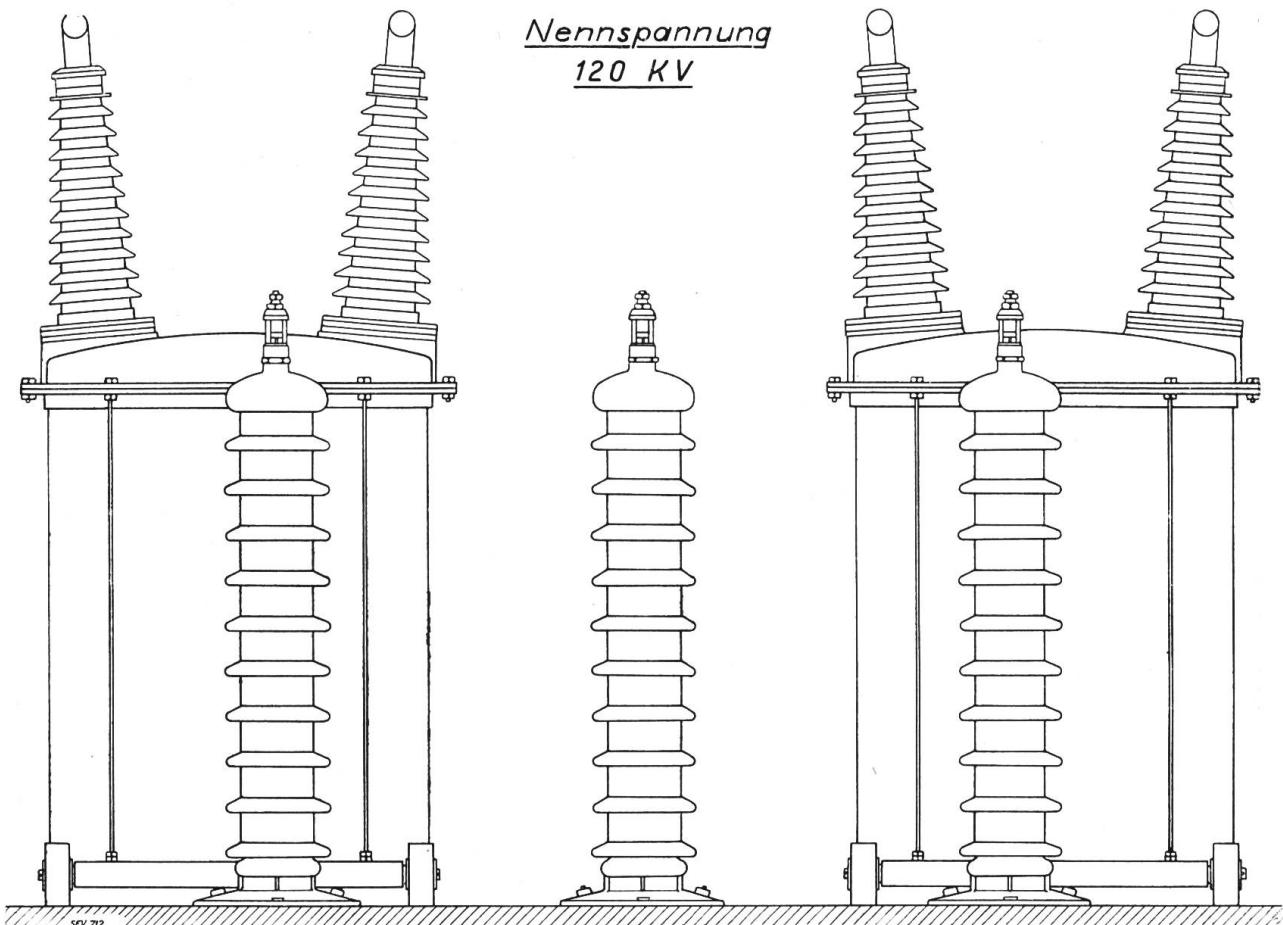


Fig. 12.
Vergleich der Dimensionen von Spannungswandlern für 120 kV.

standswandlers mit dem *eines* normalen Wandlers vergleichen, sondern *dreier* Widerstandswandler mit dem *zweier* Normalwandler, wie dies aus den Schaltbildern hervorgeht. Anderseits kann man aber mit den drei Widerstandswandlern auch noch die drei Spannungen gegen Erde messen.

Die Eichung erfolgt in der Fabrik. Zwischen Messspannung und sekundärem Messtrom besteht Proportionalität, was für die Wattmessung bedeutsam ist.

Gegen Wanderwellen ist der neue Wandler sehr unempfindlich, da die Wanderwellen an einem Ohmschen Widerstand nicht gestaut werden, sondern sich allmählich abflachen. Isolationstechnisch stellt der Widerstandswandler insofern eine ideale Lösung dar, als Durchführungsisolatoren ganz wegfallen und der Spannungsgradient längs der ganzen Höhe konstant ist.