Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke

Band: 47 (1956)

Heft: 25

Artikel: Spannungswandler mit Stabkern für Höchstspannungen

Autor: Erhart, L.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-1060125

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: 31.12.2025

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

Federungseigenschaften von Silber keine Ermüdungserscheinungen. Das ganze mechanische System war somit der hohen Schaltzahl gewachsen. Die an den Kontaktflächen aufgetretenen Erscheinungen, welche die Betriebszeit der Patronen zunächst auf etwa 6 Wochen beschränkten, konnten später aufgeklärt und unterdrückt werden.

Literatur

[1] *Baer, W. J.*: Elektromagnetische Steuerung von Gleichrichterkontakten. Bull. SEV Bd. 47(1956), Nr. 16, S. 710...720.

[2] *Kesselring, F.*: Erfahrungen mit elektromagnetisch gesteuerten Grossgleichrichtern. Sci. electr. Bd. 2(1956), Nr. 2, S. 140...159.

Adresse des Autors:
R. Stulz, Rebbergstrasse 11, Oberengstringen (ZH).

Spannungswandler mit Stabkern für Höchstspannungen

Von *L. Erhart*, Aarau

621.314.222.8.027.3

Die technischen Probleme, die sich beim Bau von Spannungswandlern mit Stabkern ergeben, werden als Beispiel an einem 220-kV-Wandler behandelt.

Les problèmes techniques soulevés par la construction de transformateurs de tension à noyau en forme de barreau sont traités en prenant comme exemple un transformateur pour 220 kV.

Einleitung

Für die Spannungsmessung und für Schutzzwecke werden heute in Hochspannungsnetzen magnetische und kapazitive Spannungswandler verwendet. Eine besondere Art der magnetischen Spannungswandler ist der Wandler ohne magnetischen Rückschluss, der von *Biermanns* [1][1]) erstmals angegeben wurde. In späteren Veröffentlichungen [2; 3] ist diese Art von Spannungswandlern in verschiedenen Konstruktionen bekannt geworden. Zweck dieser Arbeit ist, die in der Literatur fehlenden Zusammenhänge zur Berechnung der Messgenauigkeit eines Spannungswandlers mit Stabkern näher zu betrachten. Als Beispiel werden die Messgenauigkeit, Konstruktion und Isolationsfestigkeit eines 220-kV-Spannungswandlers behandelt.

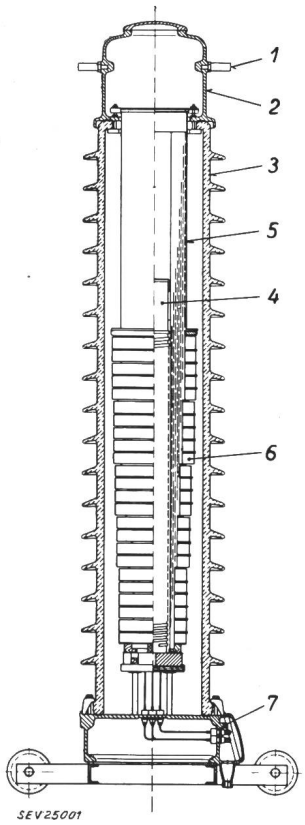


Fig. 1
Schnitt durch einen 220-kV-Spannungswandler mit Stabkern
1 Primäranschluss; *2* Ölausdehnungsgehäuse; *3* Isolator; *4* Stabkern mit Sekundärwicklung; *5* Hochspannungsisolation mit Kondensatorbelägen; *6* Primärspulen; *7* Grundplatte mit Sekundärklemmen

Prinzip

Spannungswandler für Hochspannungen über 60 kV werden heute nur noch einpolig gebaut. Der grundsätzliche Aufbau des betrachteten einpoligen Spannungswandlers ist aus Fig. 1 ersichtlich. Auf dem lamellierten Stabkern aus Transformatorenblech, dessen unteres Polende stark ausgeprägt ist, sind die Sekundärwicklungen angeordnet. Konzentrisch darüber ist die Hochspannungsisolation mit den Primärspulen montiert.

[1]) siehe Literaturverzeichnis am Schluss des Aufsatzes.

Der aktive Teil ist auf einer Grundplatte befestigt, welche die Sekundäranschlüsse enthält, darüber ist der Wandler mit einem Porzellan-Isoliermantel und einem Kopfgehäuse abgeschlossen.

Zur Steuerung des elektrischen Feldes zwischen dem geerdeten Kern und der Primärwicklung sind Kondensatorbeläge in der Papierisolation eingewickelt, welche gleichzeitig zur Steuerung der Primärspulen bei Stoßspannungen verwendet werden. Das entsprechende Prinzipschema ist in Fig. 2 dargestellt. Die oberste Spule ist an den äussersten Kondensatorbelag angeschlossen und die unterste mit dem innersten, geerdeten Kondensatorbelag verbunden. Dadurch ergibt sich ein übersichtlicher und einfacher Aufbau der Isolation und der Wicklung.

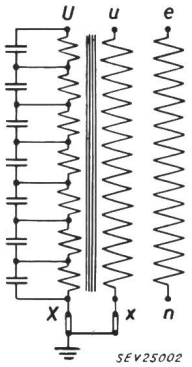


Fig. 2
Prinzipschema des Spannungswandlers
U...X Primärwicklung
u...x Sekundär-Messwicklung
e...n Sekundär-Relaiswicklung

Der Wandler wird zur Erreichung der Isolationsfestigkeit evakuiert, mit trockenem, entgastem Transformatorenöl imprägniert und hermetisch gegen die Aussenluft abgeschlossen.

Messgenauigkeit

Die Vorausberechnung der Übersetzungsgenauigkeit eines Spannungswandlers mit geschlossenem Magnetkreis ist bekannt. Für den Spannungswandler mit Stabkern wird die Vorausberechnung der Übersetzungsgenauigkeit nach dem Möllinger-Spannungsdiagramm angegeben und gezeigt, dass sowohl die Übersetzungsgenauigkeit als auch die Messleistung in gleicher Güte wie bei einem geschlossenen Magnetkreis erreicht werden.

Im Leerlaufzustand bewirken die Vektoren $I_0 R_1$ und $I_0 X_1$ die Leerlauffehler F_{U0} und δ_{U0} (Fig. 3a). Wird der Wandler sekundärseitig mit einer Bürde mit gegebenem $\cos\beta$ belastet, so addieren sich das Belastungsdreieck mit den Vektoren $(R_1 + R_2')\, I_2'$ und $(X_1 + X_2')\, I_2'$ zu dem Leerlaufdreieck, welches die absoluten Fehler F_U und δ_U ergibt.

Zum Vergleich ist in Fig. 3b im gleichen Massstab das Vektordiagramm eines eisengeschlossenen Spannungswandlers dargestellt. Durch den geschlossenen Eisenkern ergeben sich kleinere Leerlauffehler, während das Belastungsdreieck gleich ist wie beim Spannungswandler mit Stabkern.

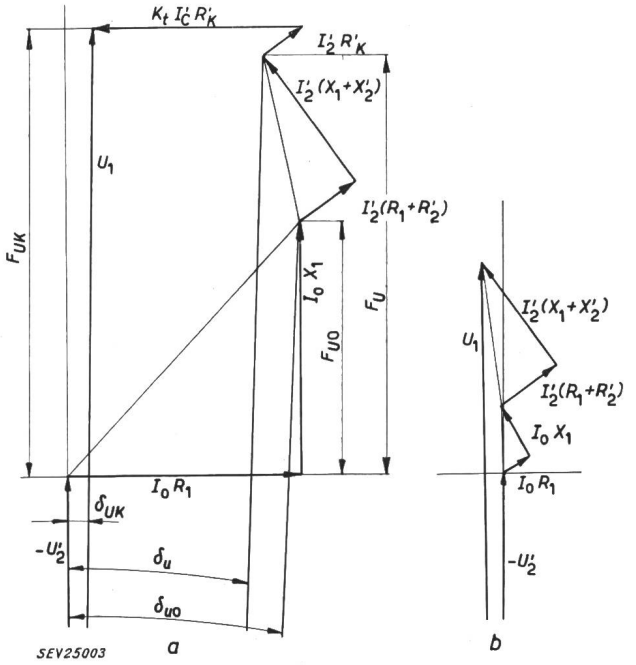


Fig. 3
Vekordiagramme von Spannungswandlern
a mit Stabkern und Fehlwinkelkompensation
b mit geschlossenem Eisenkern
(gleicher Mßstab in *a* und *b*)

F_U	Spannungsfehler bei Belastung
F_{U0}	Spannungsfehler im Leerlauf
F_{UK}	Spannungsfehler bei Belastung und Fehlwinkelkompensation
δ_u	Fehlwinkel bei Belastung
δ_{u0}	Fehlwinkel im Leerlauf
I_2'	Sekundärstrom
I_c'	Kompensationsstrom kapazitiv
I_o	Leerlaufstrom
R_1, R_2'	Ohmsche Widerstände von Primär- und Sekundärwicklung
R_K	Widerstand
U_1, U_2'	Primär- und Sekundärspannung
X_1, X_2'	Primär- und Sekundärreaktanz

Die Komponenten des Leerlaufdreieckes in Fig. 3a für den Spannungswandler mit Stabkern lassen sich aus wirtschaftlichen und technischen Erwägungen nur auf einen bestimmten minimalen Wert bringen. Während die Widerstände R_1 und X_1 bestimmte Werte nicht unterschreiten können, ist der Leerlaufstrom I_0 massgebend für die Leerlauffehler.

Nach den Vorschriften und Regeln für Messwandler (z. B. nach VDE 0414) sind Spannungsfehler und Fehlwinkel für die Nennleistung und ¼-Leistung bei 80...120 % der Nennspannung einzuhalten. Nach dem Diagramm ist also der Wert $F_U - F_{U0}$ für die Klassengenauigkeit des Spannungsfehlers massgebend. Der Spannungsfehler $F_U - F_{U0}$ kann durch Nullpunktverschiebung in die Klassengrenzen gebracht werden, während der Fehlwinkel durch den Vektor $I_0 R_1$ gegeben ist.

Für einen 220-kV-Spannungswandler sind als Beispiel die gemessenen Fehlerkurven, gemäss dem Diagramm in Fig. 3a, in Fig. 4 wiedergegeben. Die geforderten Bedingungen für Klasse 0,5 (VDE) konnten gut eingehalten werden.

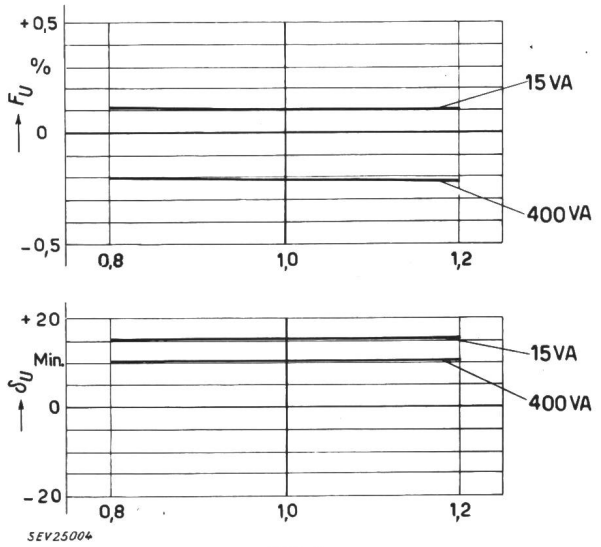


Fig. 4
Spannungsfehler F_U und Fehlwinkel δ_U eines 220-kV-Spannungswandlers mit Stabkern, ohne Kompensation, innerhalb der Klassengrenze der Klasse 0,5, cos β = 0,8 (VDE)

Zur Erreichung einer grösseren Klassengenauigkeit, z. B. Klasse 0,2 (VDE), muss der Fehlwinkel kompensiert werden. Dazu stehen grundsätzlich zwei Methoden zur Verfügung:

a) Kapazitive Vorbelastung zur Kompensation des Leerlaufstromes;

b) Kompensation der Sekundärspannung mit einer Hilfsspannung.

Die Methode nach a) benötigt einen verhältnismässig grossen wirtschaftlichen Aufwand. Es wurde daher eine Kompensation nach b) entwickelt, die mit Hilfe des Schemas in Fig. 5 näher erläutert wird.

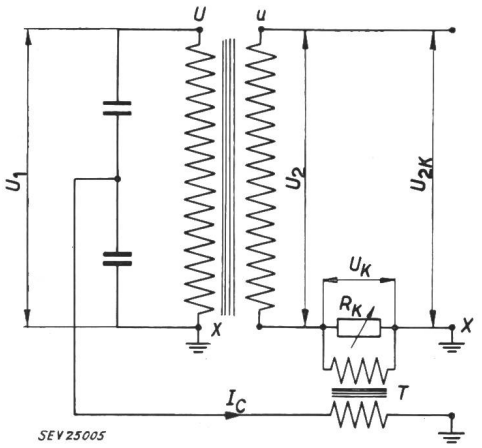


Fig. 5
Schema eines Spannungswandlers mit Fehlwinkelkompensation

I_o	Kompensationsstrom kapazitiv	U_2	Sekundärspannung
R_K	Widerstand	U_K	Kompensationsspannung
T	Hilfstransformator	U_{2K}	Sekundärspannung korrigiert
$U...X$	Primärwicklung		
U_1	Primärspannung	$u...x$	Sekundärwicklung

Eine dem Vektor $I_0 R_1$ entgegengerichtete Korrekturspannung U_K bestimmter Grösse wird der Sekundärspannung U_2 überlagert und bewirkt eine Korrektur des Fehlwinkels gegen Null. Diese Korrekturspannung wird in der Weise erzeugt, dass, wie das Schema in Fig. 5 zeigt, der Hilfstransformator T, dessen Sekundärwicklung mit einem Widerstand R_k belastet ist, durch einen kapazitiven Spannungsteiler erregt wird, wobei der Sekundärstrom I_C bei entsprechender Kleinhaltung des Übersetzungsfehlers des Hilfstransformators T am Widerstand R_k einen Spannungsabfall U_k erzeugt, welcher der Spannung $I_0 R_1$ entgegengerichtet ist. Der kapazitive Spannungsteiler wird durch die natürlichen Kapazitäten der Hochspannungsisolation gebildet. Für die Kompensationsspannung U_k ergibt sich $U_k = K_t I_C R_k$, wobei I_C der wirksame kapazitive Strom in der Primärwicklung von T ist.

Für den Spannungswandler ohne Kompensation gilt, die Sekundärspannung auf Primärseite bezogen, im Leerlauf

$$\overrightarrow{U_1} = \overrightarrow{U_2'} + \overrightarrow{X_1 I_0} + \overrightarrow{R_1 I_0}$$

Mit Kompensation kommt man gemäss Diagramm Fig. 3a, für Leerlauf auf die Beziehung

$$\overrightarrow{U_1} = \overrightarrow{U_{2k}'} + \overrightarrow{R_1 I_0} + \overrightarrow{X_1 I_0} + \overrightarrow{K_t I_C' R_k'}$$

Soll der Fehlwinkel δ_{Uk} bei dem betrachteten Fall null werden, so muss die Bedingung

$$R_1 I_0 = K_t I_C' R_k'$$

erfüllt sein.

In Serie zur Sekundärwicklung liegt der Widerstand R_k, der Vektor $I_2' (R_1 + R_2')$ wird somit zu $I_2' (R_1 + R_2' + R_k')$ und erhöht den Spannungsfehler. R_k wird als einstellbarer Widerstand ausgeführt. Damit kann ein guter Feinabgleich des Fehlwinkels und in kleinen Grenzen auch des Spannungsfehlers vorgenommen werden.

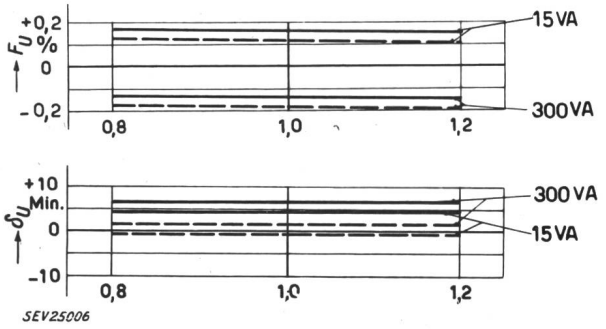


Fig. 6
Spannungsfehler F_U und Fehlwinkel δ_U eines 220-kV-Spannungswandlers mit Stabkern, mit Kompensation, innerhalb der Klassengrenze der Klasse 0,2, cos β = 0,8 (VDE)
——— 50 Hz — — — 60 Hz

Fig. 6 zeigt als Beispiel die Messgenauigkeit des gleichen wie in Fig. 4 dargestellten Spannungswandlers für 220 kV. Der Fehlwinkel ist jedoch nach der beschriebenen Methode kompensiert. Der Wandler erfüllt gut die Bedingungen der Klasse 0,2 (VDE).

Der Kapazitätsstrom I_C, und bei Spannungswandlern mit grossem Luftspalt auch der Leerlaufstrom I_0, sind der Primärspannung U_1 proportional. Daraus ist ersichtlich, dass die Fehlwinkelkompensation von der Primärspannung unabhängig ist.

Der Einfluss der Frequenz auf die Messgenauigkeit ist für den Spannungswandler mit Stabkern aus Fig. 6 ersichtlich. Es wurde der gleiche Spannungswandler bei 50 und 60 Hz gemessen; die Fehler liegen für beide Frequenzen innerhalb der Klassengrenze.

Es ist mit einfachen mathematischen Mitteln möglich, aus dem Diagramm in Fig. 3a die Messgenauigkeit eines kompensierten Spannungswandlers mit Stabkern vorauszuberechnen. Das schwierige Problem bildet dabei die Bestimmung des Leerlaufstromes.

Bestimmung des Leerlaufstromes

Der Leerlaufstrom zur Magnetisierung eines Stabkernes wird zur Hauptsache durch das Luftfeld, d. h. durch seinen sog. relativen Luftspalt bestimmt. In Fig. 7 ist das magnetische Feldbild eines Stabkernes anschaulich dargestellt. Die Austrittsstellen der Magnetlinien vom Eisenkern haben die grösste Luftinduktion und bilden den eigentlichen Luftspalt. Aus den Abmessungen von Kern und Spule hat *Küchler* [4] für Drosselspulen eine

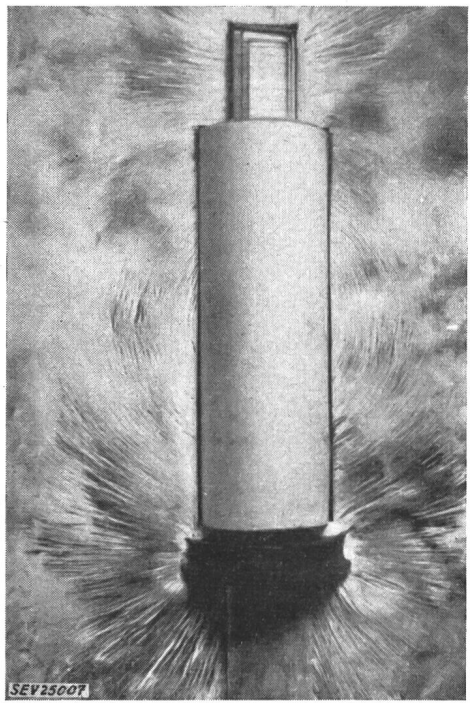


Fig. 7
Magnetisches Feldbild eines Stabkernes

Berechnung der Induktivität angegeben, welche auch für Spannungswandler mit Stabkern mit genügender Genauigkeit anwendbar ist.

Bei Vernachlässigung der Permeabilität im Eisen kann man für den Luftspalt, bezogen auf die mittlere Induktion im Eisen schreiben:

$$\delta = 0{,}44 \frac{d_e^2}{d\, K_1 K_2} \text{ [cm] gültig für } \frac{l}{d_e} \geqq 5$$

wobei nach Küchler

$$K_1 = 1 + 0{,}1\frac{l}{d_e} + 0{,}6\frac{l_e - l}{d_e} \text{ für } l_e > l$$

K_2 geht aus Fig. 8 hervor. Die Bedeutung der Symbole geht aus Fig. 9 hervor.

Für den Leerlaufstrom ergibt sich demnach

$$I_0 = \frac{\delta\, B_m}{N \cdot 0{,}4\,\pi \cdot \sqrt{2}}$$

(B_m mittlere Induktion im Eisen; N Windungszahl)

Wie aus den Beziehungen ersichtlich ist, wird der Luftspalt mit zunehmendem Schlankheitsgrad l/d_e kleiner. Die technische, wie auch die wirtschaftliche Bedeutung des Stabkernes für Spannungswandler ist für Nennspannungen von 110 kV an aufwärts am grössten. Der aktive Teil eines Spannungswandlers mit Stabkern lässt sich dabei sehr gut in einem schlanken Isolator normaler Bauhöhe unterbringen. Das Ölvolumen wie auch das Gesamtgewicht des Spannungswandlers können bei dieser Bauart verhältnismässig klein gehalten werden.

Beeinflussungen

Durch das Vorhandensein eines magnetischen Feldes in der Luft um den Spannungswandler ist die Frage nach einer Beeinflussung der Messgenauigkeit, sei es durch seine Aufstellung auf einem Eisengerüst oder durch die unmittelbare Nähe eines andern Spannungs- oder Stromwandlers, durchaus verständlich.

Über diese Fragen wurden schon bei der Entwicklung entsprechende Versuche durchgeführt. Die Aufstellung eines Spannungswandlers auf einem Eisengerüst kann einen Einfluss auf den Leerlaufstrom ausüben, da die Feldlinien abgelenkt werden. Als Massnahme dagegen wurde die Distanz vom Kern zur Grundplatte auf das notwendige Mindestmass gebracht, im weiteren muss die Grundplatte aus einem nicht magnetischen Material angefertigt werden. Der Einfluss auf die Übersetzungsgenauigkeit bleibt dann auch bei ungünstiger Aufstellung, z. B. bei einem geschlossenen Stahlgerüst, in der Grössenordnung der Messgenauigkeit der Prüfeinrichtung. Ein starkes Fremdfeld kann bei 3poliger Aufstellung der daneben stehende Spannungswandler mit Stabkern bilden. Durch die Wahl einer kleinen Nenninduktion war es jedoch möglich, den Einfluss auf die Übersetzungsgenauigkeit auf die Grössenordnung der Messgenauigkeit von 0,02 % und 2 min zu bringen. Durch den Umstand, dass die Klassengrenzen durch die Fehler nicht voll ausgenützt werden, bleibt die Klassengenauigkeit erhalten, auch wenn die beschriebenen kleinen Beeinflussungen auftreten.

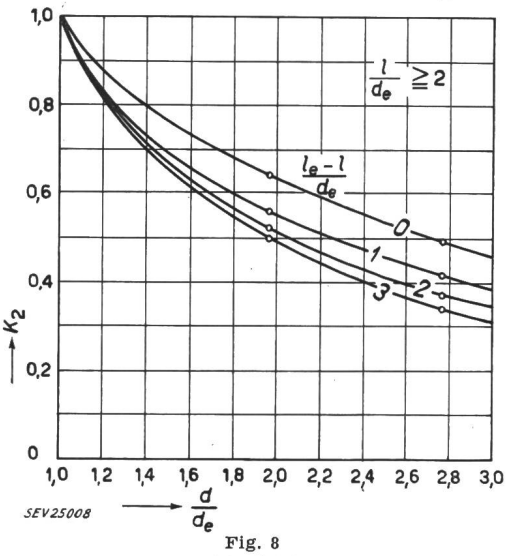
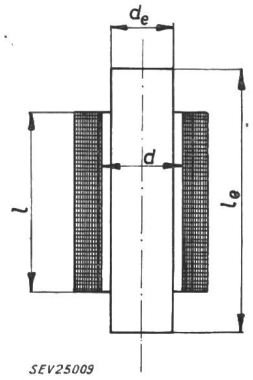


Fig. 8
Korrekturfaktor K_2
für $\frac{l_e - l}{d_e} = 0...3$
Weitere Bezeichnungen siehe Fig. 9



Ein Einfluss auf die Messgenauigkeit eines Stromwandlers durch den Streufluss des daneben stehenden Spannungswandlers konnte nicht gemessen werden. Massgebend ist auch hier die kleine Nenninduktion im Spannungswandler.

Fig. 9
Spule mit Stabkern

Isolationsfestigkeit

Die betriebsmässigen Spannungsbeanspruchungen stehen in bestimmten Relationen zu den Prüfspannungen, welche durch Vorschriften und Regeln festgelegt sind. So werden nach den Empfehlungen der CEI für Spannungswandler eine 1-min-Hochspannungs-Windungsprüfung sowie die Prüfung mit Stoßspannung vorgeschrieben.

Für die Spannungsverteilung bei Betriebsfrequenz und bei der 1-min-Hochspannungsprüfung mit erhöhter Frequenz ist die Induktivität der Primärspulen massgebend. Durch die Anordnung mit Stabkern ist die Spannungsverteilung längs der Primärwicklung nicht linear, sondern folgt einer Kurve, wie sie in Fig. 10 wiedergegeben ist. Die Abweichung von der linearen Spannungsverteilung muss bei der Dimensionierung der Kondensatordurchführung berücksichtigt werden, da die einzelnen Spulen mit den entsprechenden Kondensatorbelägen verbunden sind. Für die Nennspannung von 220 kV, entsprechend einer max. Betriebspannung von 245 kV, ist nach den Empfehlungen der CEI eine Windungsprüf-

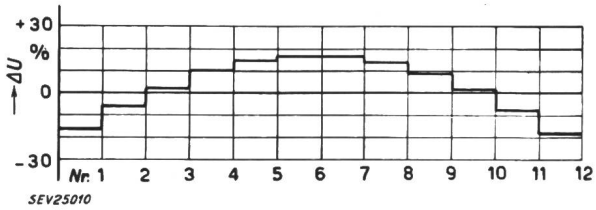


Fig. 10
Abweichung der Spulenspannung ΔU vom Mittelwert in Funktion der Spulennummer, an einem Spannungswandler mit Stabkern bei 50 Hz

spannung von 395 kV für reduzierte Isolation, und 460 kV für volle Isolation während 1 min vorgeschrieben. Der beschriebene 220-kV-Spannungswandler wurde mit 504 kV während 1 min geprüft, wobei diese Spannung vom gleichen Wandler wiederholt ohne Schwierigkeiten gehalten wurde.

Als weitere Hochspannungsprüfung hat der Spannungswandler die in den Regeln festgelegte Stossprüfung zu bestehen. Man unterscheidet zwischen einer Prüfung mit der vollen Welle, deren zeitlicher Ablauf nach den Empfehlungen der CEI mit 1 μs Steilheit und 50 μs Halbwertdauer festgelegt ist, und zwischen einer Prüfung mit abgeschnittenem Stoss nach ASA-Standards C 57011—1948.

Mit der verwendeten ölimprägnierten Papierisolation und ihren ausgezeichneten dielektrischen Eigenschaften wurden die Spannungsbeanspruchungen leicht beherrscht. Die Isolationsfestigkeit der Primärwicklung gegen Stoßspannungen bildet für den Spannungswandler das grösste Isolationsproblem. Die Primärwicklung des Spannungswandlers, deren Windungen in einzelne Spulen aufgeteilt sind, setzt der eindringenden Stosswelle einen grossen Wellenwiderstand entgegen. Die entstehende Anfangs-Spannungsverteilung sowie der nachfolgende Ausgleichsvorgang erzeugen sehr grosse Spannungsbeanspruchungen der Windungs-Lagen- und Spulenisolation, welche ohne besondere Mittel nicht leicht beherrscht werden können. Die Ergebnisse umfangreicher Versuche, zur Klärung des komplizierten Problems der Spannungsverteilung in einer Wicklung, konnten mit Erfolg an den Spannungswandlern angewendet werden.

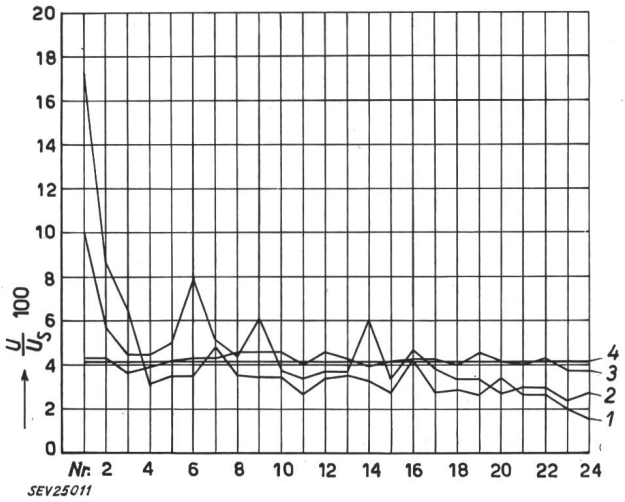


Fig. 11
Elektrische Beanspruchung der Primärspulen eines 220-kV-Spannungswandlers mit Stabkern beim Normstoss 1|50 in Funktion der Spulennummer

$\frac{U}{U_S}$ 100 Spulenspannung U_S in Prozenten der angelegten Spannung U

1 ohne kapazitive Steuerung
2 Spulen 1...5 mit abgestufter Kapazität gesteuert
3 alle Spulen kapazitiv gesteuert
4 theoretischer Mittelwert

Ein grundlegendes Ergebnis über die Wirksamkeit einer kapazitiven Spannungssteuerung der Primärspulen zeigt Fig. 11. Es ist die elektrische Beanspruchung der Spulen bei Stoss 1|50 längs einer Primärwicklung mit und ohne kapazitive Steuerung wiedergegeben. Angewendet wurde bei der Konstruktion der Spannungswandler die Steuerung aller Spulen nach Kurve 3; alle Spulen werden mit einer praktisch gleichen Stoßspannung beansprucht. Innerhalb der Spulen lässt sich die elektrische Beanspruchung mit den üblichen Isolationsmitteln leicht beherrschen.

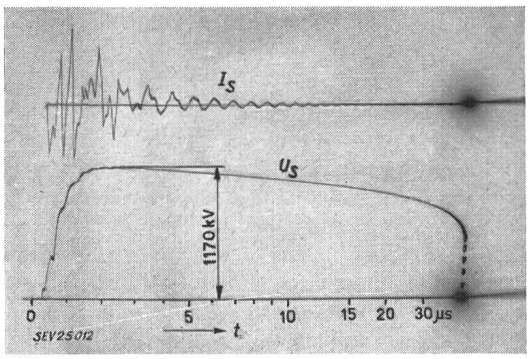


Fig. 12
Oszillogramm der Prüfung eines 220-kV-Spannungswandlers
I_S Stoßstrom; U_S Stoßspannung am Teiler; t Zeit

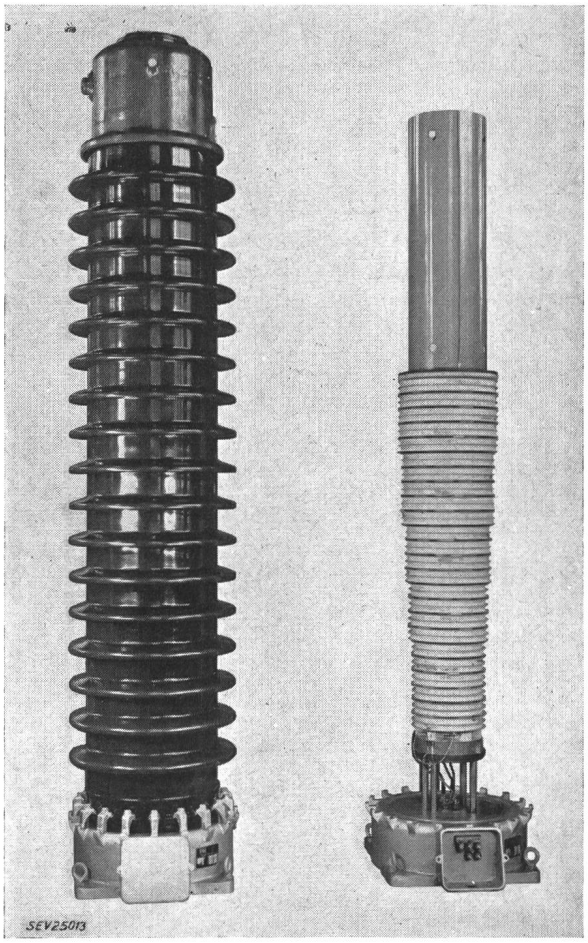


Fig. 13
Spannungswandler für 220 kV, daneben der aktive Teil

Für 220-kV-Spannungswandler sind nach den Empfehlungen der CEI eine Stosshaltespannung, Welle 1|50, von 1050 kV bei voller Isolation und

900 kV bei reduzierter Isolation vorgeschrieben. Der betrachtete 220-kV-Wandler wurde mit über 40 Stössen mit einem Scheitelwert von 1170 kV bei einer Welle 1|50 beansprucht, ebenso mit Stössen mit abgeschnittener Welle von einem Scheitelwert von 1200 kV. Fig. 12 zeigt ein Oszillogramm eines Vollwellenstosses auf einen 220-kV-Spannungswandler. Zur Fehleranzeige wurden bei jedem Stoss die Spannung und der Strom am geerdeten Ende der Primärwicklung oszillographiert, und es wurden keine Unregelmässigkeiten gegenüber Oszillogrammen mit reduzierter Spannung festgestellt. Bei der nachträglichen sorgfältigen Demontage der hochbeanspruchten Teile konnten keine Durch- oder Überschlagspuren festgestellt werden.

Die äussere Isolationsfestigkeit über das Porzellan ist durch die gute Spannungssteuerung der Primärspulen sehr gross. Keine der angelegten erhöhten Prüfspannungen führten zu Überschlägen gegen Erde.

Zusammenfassung

Für einen Spannungswandler mit Stabkern wird die Vorausberechnung der Übersetzungsgenauigkeit angegeben und gezeigt, dass sowohl die Übersetzungsgenauigkeit als auch die Messleistung in gleicher Güte wie bei einem geschlossenen Magnetkreis erreicht werden. Die Messgenauigkeit mit und ohne Fehlwinkel-Kompensation wird als Beispiel für einen 220-kV-Wandler gezeigt. Durch besondere Massnahmen wurden die äusseren Beeinflussungen auf die Messgenauigkeit auf ein zulässiges Minimum begrenzt. Fig. 13 zeigt den beschriebenen 220-kV-Spannungswandler und daneben seinen aktiven Teil. Bemerkenswert sind der einfache, robuste Aufbau, das kleine Gewicht und die geringe Ölmenge.

Durch die einfache Papier-Öl-Isolation und die kapazitive Steuerung der Primärspulen wird eine hohe Isolationsfestigkeit erreicht, welche durch ausgedehnte Versuche mit der Windungsprüfspannung, der Stosshaltespannung und der abgeschnittenen Stoßspannungswelle nachgewiesen wurde.

Literatur

[1] *Biermanns, J.:* Fortschritte im Transformatorenbau. ETZ Bd. 58(1937), Nr. 24, S. 659...662.

[2] *Goldstein, J.:* Die Messwandler, ihre Theorie und Praxis. 2. Aufl. Basel: Birkhäuser 1952.

[3] *Bauer, R.:* Die Messwandler. Grundlagen, Anwendung und Prüfung. Berlin: Springer 1953.

[4] *Küchler, R.:* Induktivität und Stromkraft einer Zylinderspule mit Stabkern. Jahrbuch der AEG-Forschung Bd. 6 (1939), Liefg. 2, S. 118...123.

Adresse des Autors:
L. Erhart, Sprecher & Schuh A.-G., Aarau.

Technische Mitteilungen — Communications de nature technique

Germanium Leistungsgleichrichter

621.314.632 : 546.289

[Nach *T. H. Kinman, G. A. Carrick, R. G. Hibberd* und *A. J. Blundell:* Germanium and Silicon Power Rectifiers. Proc. Instn. Electr. Engrs. Bd. 103 (1956), Part A, Nr. 8, S. 89...107]

Die grundlegenden physikalischen Eigenschaften der Halbleiter und *p-n*-Übergangsflächen sind durch Forschungen von *Shockley* und anderen in der USA ausgeführten Arbeiten weitgehend geklärt worden. Die technische Auswertung in der Starkstromtechnik erfolgte hauptsächlich in England, wo heute schon Gleichrichteranlagen mit einer Gesamtleistung von rund 25 MW vorhanden sind.

Im Germanium unterscheidet man zwei verschiedene Gebiete: 1. Im *n*-Germanium wurde durch Zuführung von Donoren (5wertigen Elementen) die Elektronenkonzentration und dadurch die Anzahl negativer Ladungsträger erhöht; 2. im *p*-Germanium ist durch Zuführung von Akzeptoren (3wertigen Elementen) die Lochkonzentration und dadurch die Anzahl positiver Ladungsträger erhöht. Im *p-n*-Übergangsgebiet entstehen gewisse Raumladungen infolge der verschiedenen Konzentrationen, welche spannungsabhängig sind. Durch Zusammenspiel mit Generations- und Rekombinationsprozessen entsteht eine Gleichrichterwirkung. In Fig. 1 sind Charakteristiken von Ge-Gleichrichter-Dioden für kleine und grosse Leistungen aufgestellt. Man erkennt, dass auch im Sperrgebiet ein kleiner Strom fliesst, welcher temperaturabhängig ist. Wächst die Sperrspannung über eine gewisse Grenze, so bemerkt man einen lawinenartigen Zuwachs des Stromes und die Gleichrichtewirkung geht verloren (Zener-Effekt). Die zulässige Sperrspannung ist nach

Vergleich einiger Ge-Gleichrichtertypen

Tabelle I

Typ	Leistung	Übergangsflächenquerschnitt mm²	Sperrspannung (Scheitelwert) V	Mittlerer Strom A bei 35 °C	Mittlerer Strom A bei 55 °C	Spannungsabfall im Durchlassbereich V
GJ4D	niedrig	1	100	0,25 0,5	0,1 0,2	0,5 bei 0,2 A
GJ3D	niedrig	1	200	0,25 0,5	0,1 0,2	0,5 bei 0,2 A
GJ5D	niedrig	1	300	0,25 0,5	0,1 0,2	0,5 bei 0,2 A
GJ1F	mittel	10	50	5	2,5	0,5 bei 3,5 A
GJ2F	mittel	10	100	5	2,5	0,5 bei 3,5 A
GJ3F	mittel	10	150	5	2,5	0,5 bei 3,5 A
GJ4F	mittel	10	200	5	2,5	0,5 bei 3,5 A
GP1B	hoch	20	100	20	—	0,5 bei 60 A
GP2B	hoch	20	200	20	—	0,5 bei 60 A
GP1C	hoch	64	25	60	—	0,5 bei 100 A
GP2C	hoch	64	50	55	—	0,5 bei 100 A
GP3C	hoch	64	100	50	—	0,5 bei 100 A