Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke

Band: 55 (1964)

Heft: 9

Artikel: Spannungswandler in Hochspannungsnetzen

Autor: Ringger, W.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-916709

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: 09.07.2025

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

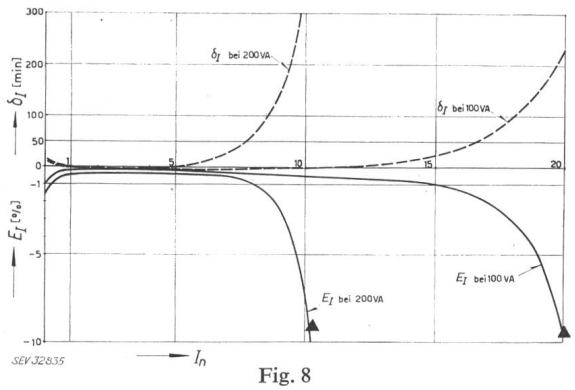

Fig. 8

Messgenauigkeit des Stromwandlers gemäss Fig. 4 im Nennstromgebiet und im Überstromgebiet

▲ Messpunkte aus Kurzschlussprüfungen —— Stromfehler aus Leerlaufmessung, --- gerechneter Fehlwinkel
E_I Stromfehler; δ_I Fehlwinkel; I_n Nennstrom

verfahren festgestellt wurde, was auf die symmetrische Anordnung von Kern und Wicklung zurückzuführen ist. Die Anforderung der ASA-Klasse 10 L 400 bei $10 \times I_n$ wurden erfüllt. Die Dreieckpunkte sind Messpunkte aus der direkten Kurzschlussprüfung, während die ausgezogenen Kurven aus der Leerlaufmessung ermittelt wurden, der Fehlwinkel wurde gerechnet. Die Spannungsprüfungen mit den Nennwerten 960 kV während 1 min und Industriefrequenz sowie die Stossprüfung mit 2200 kV und Welle 1|50 µs wurden ohne Schwierigkeiten bestanden. Die Ionisationsprüfung zeigt eine innere Ionisationsfreiheit des ganzen Wandlers bis 735 kV, was als durchaus genügend betrachtet werden kann. Der äussere Koronaeinsatz beginnt über 500 kV. Zur Kontrolle der inneren Isolation wird wie bei tieferen Spannungen die Verlustfaktormessung angewendet.

Durch die isolationsmässige Trennung in zwei Stufen können die Isolationsmessungen sowie die Messung der inneren Ionisation für jede Stufe ausgeführt werden, wodurch gewisse Erleichterungen für die Durchführung der Messung sowie Prüfeinrichtungen auftreten. Dies gilt natürlich auch für die Stromwandler-Kaskade. Eine Prüfung des ganzen Wandlers kann damit aber nicht umgangen werden.

Der Transport des Stromwandlers mit seinem Gewicht von 5800 kg erfolgt horizontal in einer Spezialverpackung gemäss Fig. 9, wobei der gezeigte Wandler noch mit einem Holzverschlag umgeben wird.

4. Zusammenfassung und Ausblick

Ausgehend von den Anforderungen an 750-kV-Stromwandler sind die möglichen Prinzipien durch das gleiche Ziel gekennzeichnet, nämlich eine bestgeeignete Isolationsanordnung anzuwenden. Auf zwei Lösungen, nämlich eine magnetische Kaskade und eine magnetisch einstufige Ausführung, wurde näher eingegangen, wobei die Wahl eines Prinzipes neben anderen Faktoren sicher auch von wirtschaftlichen Aspekten geleitet sein wird. Von den Konstruktionen werden zahlreiche Einzelheiten gezeigt. Auf umfangreiche Typenprüfungen wie Kurzschlussprüfungen sowie auf die verschiedenen Spannungsprüfungen wurde hingewiesen, ihre Wichtigkeit ist besonders hervorzuheben, vor allem aber kommt der Ionisationsprüfung der inneren Isolation wegen des reduzierten Isolationsniveaus eine besondere Bedeutung zu. Die gezeigten Wandler entsprechen den heutigen Anforderungen der Mess- und Netzschutztechnik.

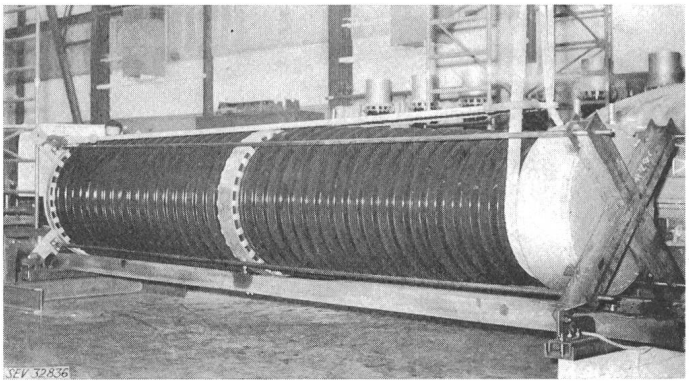

Fig. 9

750-kV-Stromwandler gemäss Fig. 4 in Transportlage
ohne Holzverschalung

Als Zukunftsbetrachtung darf hinzugefügt werden, dass beachtliche Fortschritte mit leistungsarmen Relais zu erwarten sind, wodurch die Messleistungen des Stromwandlers erheblich reduziert werden können. Denkbar und wahrscheinlich ist in diesem Falle auch, dass der Stromwandler dank seiner Eigenkapazität viel häufiger als Primärteil einer Spannungsmessung dienen wird. Vergegenwärtigt man sich noch die von Dr. *Jancke* [2]) aufgezeigten Projekte mit noch höheren Spannungen sowie Rückwirkungen neuerer Erkenntnisse auf tiefere Spannungen, z. B. die des tiefen Isolationsniveaus, so zeigt dies, dass es trotz dem Erreichten auch an neuen Aufgaben nicht fehlt.

Literatur

[1] *K. Jagsich* und *L. Erhart:* Problèmes relatifs à la conception d'appareils pour réseaux à T. H. T. de 765 kV. Cigré 1964, Rapp. 403.

[2] *E. Rey* und *L. Erhart:* Die Beurteilung von inhibierten und nichtinhibierten Isolierölen für Hochspannungs-Transformatoren und Messwandler. Bulletin SEV 1961, Nr. 11.

Adresse des Autors:
L. Erhart, Ingenieur, Sprecher & Schuh AG, Aarau.

[2]) Siehe Seite 420...424 dieses Heftes.

Spannungswandler in Hochspannungsnetzen

Vortrag, gehalten an der Diskussionsversammlung des SEV vom 20. Januar 1964 in Zürich,
von *W. Ringger,* Basel

621.314.222.8

Für die Spannungsmessung in Höchstspannungsnetzen werden Wandler verwendet, die eine Weiterentwicklung der für kleinere Betriebsspannungen bereits bewährten Konstruktionen darstellen. Diese Weiterentwicklung liegt in erster Linie in der allgemeinen Anwendung der Kaskadenschaltung. Es ist leicht einzusehen, dass es einfacher und billiger sein muss 3 Spannungswandler von 250 kV aufeinander zu stellen um einen 750-kV-Wandler zu erhalten, als eine einzige Einheit für 750 kV zu bauen.

Die Kaskadenschaltung mehrerer gleicher Elemente ist ein Konstruktionsprinzip das in allen Gebieten der Elektrotechnik mit grösstem Erfolg angewendet wird. Neben sehr

32'846-850

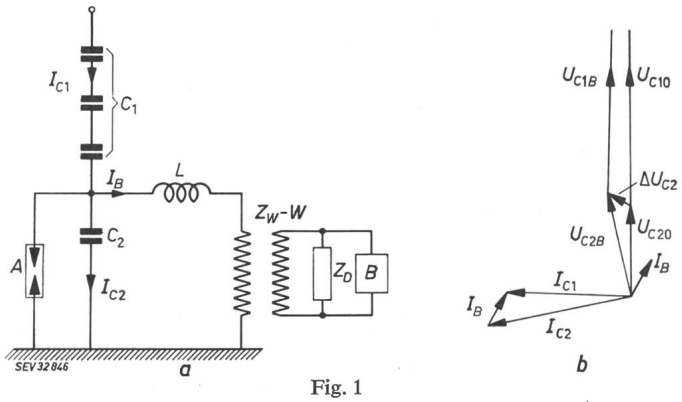

Fig. 1
Schaltschema (*a*) und Vektor-Diagramm (*b*) eines kapazitiven Spannungswandlers

I_{C1}, I_{C2} Kapazitätsströme; I_B totaler Bürdenstrom; C_1, C_2 Primär- und Sekundärkapazität; L Kompensationsdrosselspule; A Überspannungs-Ableiter; B Bürde; Z_W-W Zwischen-Wandler; Z_D Dämpfungs-Impedanz

vielen Vorteilen hat es natürlich auch einige kleinere Nachteile. Der unangenehmste hievon ist wohl der grosse Einfluss der Streukapazitäten auf die Stoßspannungsverteilung. Während sich die betriebsfrequente Spannung gleichmässig über alle Glieder der Kaskade verteilt, wird die Spannungsverteilung von Stoss- und Schaltüberspannungen infolge dieser Streukapazitäten gegen Erde, unlinear und zwar umsomehr. je grösser die Streukapazitäten im Vergleich zu den Eigenkapazitäten der einzelnen Kaskadenglieder sind.

Dies war auch einer der Gründe weshalb man vor wenigen Jahren noch der Ansicht war, dass für die Spannungsmessung in Höchstspannungsnetzen nur kapazitive Wandler in Frage kämen. Ihre Eigenkapazität ist nämlich derart gross, dass die Streukapazitäten daneben praktisch verschwinden. Die Mittel um auch bei induktiven Spannungswandlern eine praktisch lineare Stoßspannungsverteilung herbei zu führen sind aber bald gefunden worden und bestehen in irgend einer Art Steuerkapazitäten, die also keine eigentlichen Steuerkondensatoren zu sein brauchen. So darf heute gesagt werden, dass für alle vorkommenden Höchstspannungen sowohl induktive als auch kapazitive Spannungswandler in gleicher Qualität zur Verfügung stehen.

In Fig. 1 ist das bekannte Prinzipschema des kapazitiven Wandlers mit dem zugehörigen Vektor-Diagramm aufgezeichnet.

Der Hochspannungskondensator ist mit einer Anzapfung ausgerüstet, die ihn in den Primärkondensator C_1 und den Sekundärkondensator C_2 unterteilt. Die an diesem kapazitiven Teiler abgenommene Spannung liegt zwischen 10 und 30 kV und wird über eine Drosselspule L dem induktiven Zwischenwandler zugeführt. Der der sekundären Belastung des Zwischenwandlers entsprechende Primärstrom I_B hat zur Folge, dass sich die Spannungsverteilung am kapazitiven Teiler ändert. Für eine Ohmisch-induktive Belastung tritt, wie in Fig. 1b angegeben, eine Spannungserhöhung ΔU_{C2} am Sekundärkondensator C_2 auf. Diese Spannungserhöhung beträgt für einen normal dimensionierten Wandler bei Nennbürde ca. 10 %. Dieser Umstand erklärt, weshalb dem kapazitiven Wandler nur eine, im Vergleich zu dem induktiven Wandler kleine, sog. thermische Grenzleistung zugestanden werden kann. Es handelt sich bei deren Bestimmung nicht um eine Grenzerwärmung der Wicklungen der Drosselspule und des Zwischenwandlers, sondern es ist die max. zulässige Betriebsspannung U_{C2B} des Kondensators C_2 die hier die Grenze setzt.

Der Vektor der Spannungserhöhung ΔU_{C2} am Kondensator C_2 ist übrigens auch ein direktes Mass für die maximal mögliche Amplitude der Schwingung, die die sekundäre Spannung des Wandlers bei einem primären Kurzschluss ausführt. Werden kapazitive Wandler zur Speisung von 1-Perioden-Relais verwendet, so ist diese Spannungserhöhung klein zu halten.

Aus konstruktiven Gründen ist es nötig den Hochspannungskondensator für diese hohen Spannungen in 2 oder 3 für sich abgeschlossene unabhängige Einheiten aufzuteilen. Hiedurch ist auch das Transportproblem gelöst und eine einfache Montage am Aufstellungsort gewährleistet.

Fig. 2 zeigt einen kapazitiven Spannungswandler für 750 kV, 60 Hz, der eine Nennkapazität von 2000 pF aufweist. Seine Stosshaltespannung beträgt 2400 kV und die Messleistung 300 VA, Kl. 0,5 bei einer max. Frequenzänderung von ± 0,75 Hz. Der Hochspannungskondensator ist 3-teilig ausgeführt, wogegen Fig. 3 einen Wandler gleicher Daten mit nur 2-teiligem Porzellan darstellt.

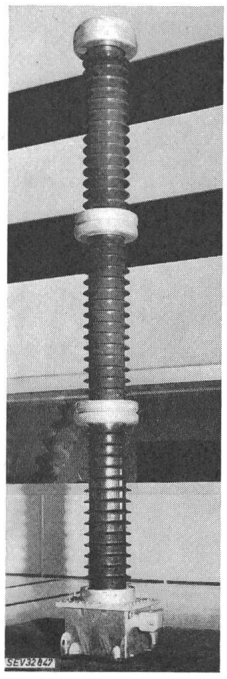

Fig. 2
Kapazitiver Spannungswandler
(Micafil)
Betriebsspannung 750 kV, 60 Hz; Nennkapazität 2000 pF; Stosshaltespannung 2400 kV; Messleistung 300 VA, Kl. 0,5; zulässige Frequenzänderung ± 0,75 Hz

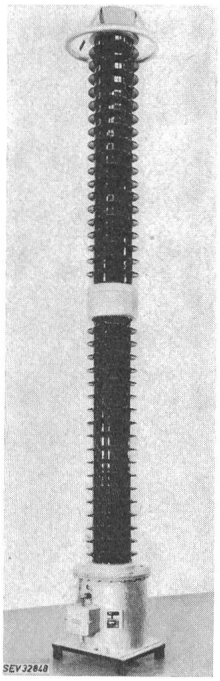

Fig. 3
Kapazitiver Spannungswandler
(Sprecher & Schuh)
750 kV, 60 Hz

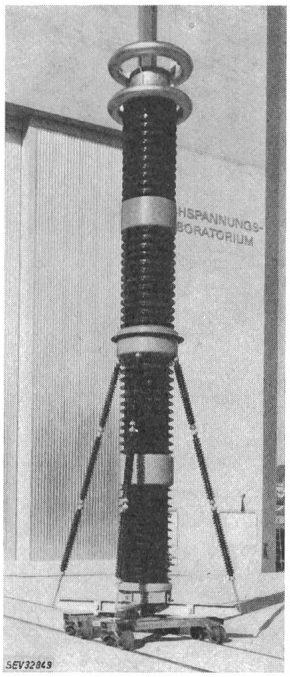

Fig. 4
Induktiver Spannungswandler
(Brown Boveri)
Nennspannung 750 kV, 60 Hz; Messleistung 500 VA, Kl. 0,5; 1-min-Prüfspannung 1150 kV; Stosshaltespannung 1|50 ± 2650 kV; Stosshaltespannung abgeschnitten ± 3050 kV

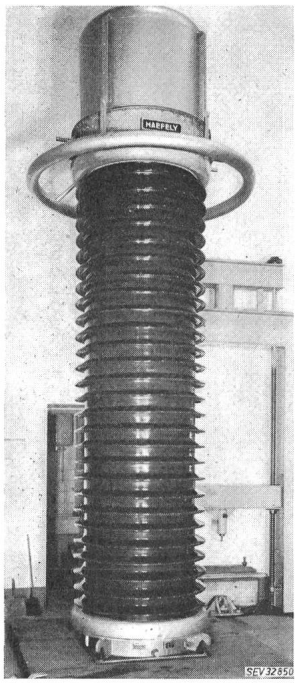

Fig. 5
Induktiver Spannungswandler
(Haefely)
Nennspannung 550 kV, 60 Hz; Messleistung 400 VA, Kl. 0,3 ASA oder 300 VA, Kl. 0,2; 1-min-Prüfspannung 750 kV; Stosshaltespannung 1,5|40—1675 kV; Stosshaltespannung abgeschnitten 1930 kV

Aus Fig. 4 ersieht man einen induktiven Spannungswandler für 750 kV Nennspannung mit einer Messleistung von 500 VA, Kl. 0,5. Er ist als 4-stufige Kaskade ausgeführt und für eine 1-Minuten-Prüfspannung von 1150 kV, eine Stosshaltespannung 1|50 von ± 2650 kV und eine Stosshaltespannung abgeschnitten von ± 3050 kV ausgelegt. Jedes Element dieser Kaskade ist ein selbständiger, in sich abgeschlossener Stabkernwandler mit Spulenwicklung. Die Hochspannungswicklungen aller Stufen sind in Serie geschaltet. Dank einer geeigneten Dimensionierung der Kapazitäten zwischen den 4 Kaskaden Elementen und innerhalb jedes einzelnen davon, wird jede Stoßspannung linear über den ganzen Wandler verteilt.

Fig. 5 zeigt einen induktiven Spannungswandler für 550 kV mit einem einteiligen Porzellankörper. Sein innerer Aufbau entspricht ebenfalls einer 4-stufigen Kaskade, wobei 2 geschlossene Eisenkörper und Hochspannungsspulen mit Lagenwicklungen zur Verwendung gelangen. Seine 1-Minuten-Prüfspannung beträgt 750 kV, die Stosshaltespannung 1,5/40 — 1675 kV und die Stosshaltespannung abgeschnitten 1930 kV. Der Wandler gibt eine Messleistung von 400 VA, Kl. 0,3 ASA, oder 300 VA in Kl. 0,2 ab.

Wie bereits erwähnt sind der kapazitive und der induktive Spannungswandler einander in Bezug auf Betriebssicherheit ebenbürtig. Es stellt sich daher die Frage, wann die eine oder die andere Art dieser Wandler zur Verwendung gelangen soll. Die Antwort hierauf ist nicht leicht zu geben, da sie stark davon abhängt, welchen Messwandler-Eigenschaften der Gebraucher am meisten Bedeutung zumisst, oder ob vielleicht der Preis allein ausschlaggebend ist. In diesem Fall müsste die Wahl natürlich auf den billigeren kapazitiven Wandler fallen. Da aber in Höchstspannungsnetzen tatsächlich auch induktive Wandler eingesetzt werden, müssen sie wohl Fähigkeiten aufweisen, die vom kapazitiven Wandler nicht verlangt werden können, was wirklich auch der Fall ist.

Es ist bekannt, dass beim kapazitiven Wandler die Messgenauigkeit eine gewisse Anhängigkeit von der Frequenz, der Temperatur und je nach Konstruktion auch von der äusseren Verschmutzung aufweist. Aus diesen Gründen kann für solche Apparate ehrlicherweise keine grössere Messgenauigkeit als Kl. 0,5 garantiert werden.

Eine Ausnahme können die Kabelspannungswandler bilden, die aber hier nicht zur Diskussion stehen. Dem gegenüber erreichen die induktiven Wandler ohne weiteres eine Genauigkeit nach Klasse 0,2 für 300 VA Messleistung. Eine solch grosse Messgenauigkeit ist sicher überall dort am Platz, wo es sich um eine Verrechnungsmessung handelt. Wenn man bedenkt welche ungeheuren Energiemengen über diese Höchstspannungsleitungen transportiert werden und was für eine gewaltige Geldsumme z. B. nur 1 ‰ hievon bereits darstellt, ersieht man ohne weiteres, dass auch der teuerste induktive Wandler immer noch sehr billig und seine Anschaffung voll gerechtfertigt ist.

Wie viele Versuche und auch die Erfahrung gezeigt haben, sind die heutigen kapazitiven Wandler trotz der leichten Schwingungen ihrer Sekundärspannung bei primärem Kurzschluss, in der Lage, die normalen Netzschutzrelais zuverlässig zu speisen. Da die entsprechenden Bedingungen für den 1-Periodenschutz aber wesentlich schärfer sind, ist es notwendig, denselben bei der Berechnung der Apparate speziell Rücksicht zu tragen. Auch darf ein solcher Wandler nicht überlastet d. h. mit der sog. thermischen Grenzleistung betrieben werden, da dadurch sein Schwingungsverhalten verschlechtert wird. Einem kapazitiven Wandler der zur Speisung von 1-Periodenrelais vorgesehen ist, sollte überhaupt keine thermische Grenzleistung zugestanden werden.

Der induktive Wandler überträgt primäre Spannungsänderungen praktisch starr auf die Sekundärseite und weist nur eine ganz kurze und schwache Schwingung auf. Auch eine Überlastung ändert an diesem Verhalten praktisch nichts. Sind also wesentliche Messleistungen bei grösseren Genauigkeiten nötig und soll zudem ein 1-Periodendistanzschutz gespiesen werden, so ist auch da die Verwendung eines induktiven Spannungswandlers angezeigt. Gelegentlich sind induktive Wandler auch zur Ableitung von Restladungen auf Höchstspannungsleitungen erwünscht.

Es ist deshalb wahrscheinlich, dass in Höchstspannungsnetzen stets beide Wandlertypen anzutreffen sein werden, und dass jeder, an seiner Stelle, den von ihm verlangten Dienst einwandfrei erfüllen wird.

Adresse des Autors:
W. Ringger, Direktor der Emil Haefely & Cie. AG, Basel.

Diskussion

W. Lerch, Ingenieur der Sprecher & Schuh AG, Aarau: Wie bereits Dr. *G. Jancke* [1]) dargelegt hat, ergeben sich in Höchstspannungsnetzen die grössten Isolationsbeanspruchungen durch Schaltüberspannungen. Den extremen Fall stellen dabei die Vorgänge beim Einschalten auf die von einer kurz vorhergehenden Ausschaltung noch geladene Leitung dar.

Diese Vorgänge bildeten Gegenstand einer eingehenden Untersuchung auf unserem besonders für Überspannungs-Untersuchungen gebauten Analog-Netzmodell, woraus in Ergänzung des Vortrages von *H. Glavitsch* [2]) einige Beispiele aus dem Problemkreis der Kurzunterbrechung erwähnt seien.

Primär interessiert der Unterschied der maximal auftretenden Überspannungen beim Einschalten auf die geladene und auf

[1]) Siehe Seiten 420...424 dieses Heftes.

[2]) Siehe Seiten 424...429 dieses Heftes.