Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins
Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke
Band: 35 (1944)
Heft: 22

Artikel: Die Uebertragung von Gewitterüberspannungen in Transformatoren
Autor: Wellauer, M.
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-1061609

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: 02.10.2025

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

SCHWEIZERISCHER ELEKTROTECHNISCHER VEREIN

BULLETIN

REDAKTION:
Sekretariat des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins
Zürich 8, Seefeldstrasse 301

ADMINISTRATION:
Zürich, Stauffacherquai 36 ◆ Telephon 25 17 42
Postcheck-Konto VIII 8481

Nachdruck von Text oder Figuren ist nur mit Zustimmung der Redaktion und nur mit Quellenangabe gestattet

XXXV. Jahrgang | N° 22 | Mittwoch, 1. November 1944

Leistungstransformatoren

Bericht über die Diskussionsversammlung des SEV vom 13. Juli 1944 in Zürich

Am 13. Juli 1944 fand im Kongresshaus Zürich der 1. Teil der Transformatorentagung des SEV statt. Anwesend waren 220 Mitglieder und Gäste:

Folgende Referate wurden gehalten:

1. **Die Uebertragung von Gewitterüberspannungen in Transformatoren.**
   Referent: Dr. *M. Wellauer*, Ingenieur der Maschinenfabrik Oerlikon, Zürich.
2. **Diskussion.**
3. **Neue Bauweisen bei Transformatoren und Drosselspulen.**
   Referent: *A. Meyerhans*, Oberingenieur der A.-G. Brown, Boveri & Cie., Baden.
4. **Réalisations intéressantes de ces dernières années.**
   Referent: *V. Rochat*, Oberingenieur der S. A. des Ateliers de Sécheron, Genf.
5. a) **Betriebserfahrungen über Transformatoren mit Aluminiumwicklungen.**
   Referent: *W. Wacker*, Direktionssekretär der St. Gallisch-Appenzellischen Kraftwerke A.-G., St. Gallen.
   b) **Verschiedene Betriebserfahrungen der Motor-Columbus A.-G., Baden, und der Aare-Tessin A.-G. für Elektrizität, Olten.**
   Referent: *H. Schiller*, Oberingenieur der Motor-Columbus A.-G., Baden.
   c) **Erfahrungen mit Transformatoren im Netz des Elektrizitätswerkes Basel.**
   Referent: *E. Rometsch*, Ingenieur für den Betrieb des Elektrizitätswerkes Basel.
   d) **Betriebserfahrungen mit Transformatoren im Netz des Elektrizitätswerkes der Stadt Bern.**
   Referent: *A. Jäcklin*, Direktionsadjunkt des Elektrizitätswerkes der Stadt Bern.

Wir beginnen in dieser Nummer mit der Veröffentlichung des Berichtes über diese Versammlung.

Der 2. Teil der Transformatorentagung, der den Messwandlern gewidmet war, fand am 7. Oktober 1944 in Luzern statt. Der Bericht hierüber wird anschliessend veröffentlicht.

Der Präsident des SEV, Prof. Dr. **P. Joye**, heisst die Anwesenden herzlich willkommen. Er betont das Glück, inmitten des gewaltigen Krieges Versammlungen abhalten und Diskussionen über friedliche Gegenstände führen zu dürfen. Er begrüsst die Herren Referenten und den Tagesvorsitzenden, Herrn Prof. E. Dünner, dem er das Wort erteilt.

Prof. E. Dünner, Vorsitzender: Der Gegenstand, den wir heute behandeln, ist der Transformator, eines der ältesten Objekte elektrischer Anlagen. Sein Geburtsjahr dürfte ins Jahr 1856 fallen, als Varley in England als erster einen Transformator beschrieb, der einen geschlossenen Eisenkern hatte, als Manteltyp gebaut war und Scheibenspulenwicklung aufwies; der Zweck dieses ersten Transformators war, hochgespannten Wechselstrom zu erzeugen. Der eigentliche Gedanke des Transformators, nämlich elektrische Energie auf Hochspannung zu bringen, damit sie mit möglichst geringen Verlusten auf Leitungen übertragen werden kann, dürfte wohl auf Gaulard und Gibbs zurückgeführt werden (1883). 1887 erschien dann das Lehrbuch über Transformatoren von Gisbert Kapp, der darin als erster die Theorie des Transformators in leuchtender Klarheit schrieb. Aber auch unter uns finden sich Herren, die den Transformatorenbau verstehen. Ich denke vor allem an unseren Altmeister, Herrn Johann Kübler, der seit 1902 an der Entwicklung des Transformators erfolgreich mitgearbeitet hat.

Der **Vorsitzende** erteilt hierauf das Wort Herrn Dr. M. Wellauer zu seinem Vortrag.

Die Uebertragung von Gewitterüberspannungen in Transformatoren

Vortrag, gehalten an der Diskussionsversammlung des SEV vom 13. Juli 1944 in Zürich, von *M. Wellauer*, Zürich-Oerlikon

621.314.21.015.33

In knapper Form wird die Uebertragung von Stoßspannungen in Wicklungen von Transformatoren behandelt. Es wird gezeigt, dass die Einführung von Ersatzschaltungen und deren Berechnung die komplizierten Vorgänge verständlich machen. Messungen und Berechnungen zeigen, dass gefährliche Stoßspannungen nur auf die offenen Wicklungen übertragen werden. Ist an eine Wicklung eine lange Leitung oder eine Belastung mit kleinem Wellenwiderstand angeschlossen, so sind auf dieser Seite des Transformators keine hohen Stoßspannungen zu erwarten.

M. Wellauer expose succinctement la transmission des tensions de choc dans les enroulements des transformateurs. Il montre qu'en opérant les calculs avec des couplages de substitution, les processus compliqués deviennent plus compréhensibles. Les mesures et les calculs montrent que des tensions de choc dangereuses ne sont transmises qu'aux enroulements ouverts. Lorsqu'une longue ligne ou une charge à faible résistance d'onde est raccordé à un enroulement, les tensions de choc ne sont pas considérables de ce côté du transformateur.

---

1. In meinem Vortrag werde ich die Uebertragung von Stoßspannungen in Transformatorenwicklungen behandeln, d. h. anders ausgedrückt, die Fragen beantworten: Was für Spannungen erscheinen an der Unterspannungsseite von Transformatoren, wenn die Oberspannungsseite von Stoßspan-

nungen getroffen wird, die hauptsächlich durch Gewitter entstehen?

Fragen wir zuerst, was hat die Praxis über das Verhalten der Netze bei Gewittern gezeigt? Im allgemeinen hat man die Erfahrung gemacht, dass die Ueberspannungen durch die Transformatoren abgeschwächt werden, d. h. auf der Unterspannungsseite weniger gefährlich sind. Diese Ansicht wurde auch durch den Schutz, den 1 : 1-Transformatoren geben, unterstützt. Unter gewissen Bedingungen kann jedoch die Stoßspannung die Wicklung durchqueren und auch auf der Unterspannungsseite gefährliche Werte annehmen.

2. Das Problem wurde von uns einer eingehenden theoretischen und experimentellen Untersuchung unterworfen, deren Ergebnis ich kurz mitteilen möchte [1]).

Die Untersuchung hat gezeigt, dass in einem Transformator, wenn eine Wicklung von Stoßspannung, z. B. von der Form der genormten Stoßspannung, getroffen wird, auf die andere Wicklung folgende Spannungen übertragen werden:

a) Ein kapazitiv übertragener Anfangsspannungsstoss, der die übertragene Stoßspannungsstirn darstellt und den ich als Anfangsspannung A bezeichne.

b) Eine übertragene Spannung, die ich mit Endzustandsspannung E bezeichne.

c) Ein oder zwei Ausgleichsspannungsschwingungen, die vom Anfangszustand A in den Endzustand E überleiten.

Je nach der Schaltung des Transformators brauchen nicht alle drei Spannungen aufzutreten. Die Anfangsspannung oder die Endzustandsspannung kann Null sein; es kann nur eine Ausgleichsspannung auftreten. Einen gleichen Aufbau wie die übertragene Spannung hat auch die Sternpunktspannung.

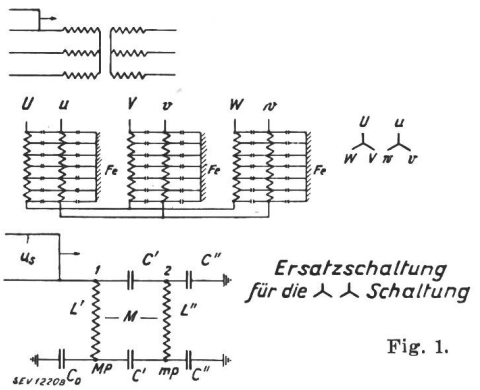


Fig. 1.

Die genaue theoretische Behandlung des Problems führt nun zu sehr komplizierten Rechnungen und zu unübersichtlichen Ergebnissen. Es hat sich aber gezeigt, dass geeignete Ersatzschaltungen einfache Berechnungen ergeben und zu genügend genauen Resultaten führen. Diese Berechnungen erlauben, die Messresultate zu erklären und die übertragenen Spannungen praktisch genügend genau vorauszuberechnen. Man kann also die Gefährdung eines Netzteiles hinter einem Transformator beurteilen. Ein Beispiel einer Ersatzschaltung zeigt Fig. 1. Die im Transformator längs der ganzen Wicklung verteilten Kapazitäten (Fig. 1 Mitte) sind in der Ersatzschaltung (Fig. 1 unten) auf die Wicklungsenden konzentriert und mit C', C'' und C_0 bezeichnet. C' ersetzt die Kapazität zwischen den Wicklungen, C'' die Kapazität der Unterspannungswicklung gegen das Eisen und C_0 ist die primäre Nullpunktkapazität. Ferner wird eine primäre Induktivität L', eine sekundäre Induktivität L'' und gegenseite Induktivität M eingeführt.

Die Rechnung wird nun besonders übersichtlich, wenn die Stoßspannung durch einen Rechteckstoss ersetzt wird, d. h. durch eine Spannung, die unendlich rasch auf den höchsten Wert u_s ansteigt und dann diesen Wert beibehält. Sehr steile und sehr langsam abklingende Stoßspannungen, die in Wirklichkeit vorkommen, haben praktisch dieselbe Wirkung wie der Rechteckstoss. Bei der Rechnung wird u_s gleich 1 (100 %) gesetzt.

3. Betrachten wir zuerst den Fall des sekundär *offenen* Transformators. Die Berechnung der Ersatzschaltungen verschiedener Schaltgruppen von Transformatoren führt glücklicherweise immer auf zwei einfache Gleichungen (1) oder (2)

$$u_2 = u_s\,[E + (A - E)\,\cos \Omega\, t] \qquad (1)$$

$$u_2 = u_s\,[E + (A - F)\,\cos \Omega\, t + (F - E)\,\cos \omega\, t] \qquad (2)$$

die die Berechnung der übertragenen Spannungen gestatten. Die Anfangsspannung A, die Endzustandsspannung E und die Amplituden und Frequenzen der Ausgleichsspannungsschwingungen Ω und ω sind ziemlich einfache Ausdrücke der eingeführten Kapazitäten und Induktivitäten, wie man aus den folgenden zwei Beispielen erkennen wird.

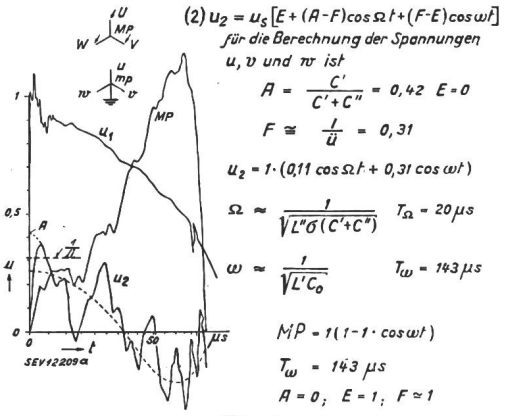


Fig. 2.

Das 1. Beispiel (Fig. 2) zeigt die Verhältnisse an einem Transformator mit Stern/Stern-Schaltung und geerdetem sekundärem Sternpunkt bei einem dreipoligen Stoss auf die Primärwicklung. Die ankommende Spannung an den Klemmen U, V, W ist mit u_1 und die übertragene Spannung an den Klemmen u, v und w ist mit u_2 und die Sternpunktspannung mit MP bezeichnet. Die Zeitachse ist in μs eingeteilt. Die übertragene Spannung u berechnet sich

[1]) Eine ausführliche Arbeit erscheint demnächst im Bull. Oerlikon.

aus Gl. (2). Man sieht, dass A den Anfangszustand und E den Endzustand ausdrückt, denn für $t = 0$ gibt (2): $u_2 = A$; für $t = \infty$ verschwinden infolge der Dämpfung die cos-Glieder und man erhält $u_2 = E$. Die Anfangsspannung

$$A = \frac{C'}{C' + C''}$$

ist nur von dem Verhältnis der Kapazitäten C' und C'' abhängig und wird deshalb als *kapazitiver Anfangsspannungsstoss* bezeichnet. Aus dem Ausdruck für A erkennt man, dass der kapazitive Anfangsspannungsstoss so übertragen wird, wie wenn im Transformator nur Kapazitäten vorhanden wären. Der kapazitive Anfangsspannungsstoss ist meistens das gefährlichste Glied der übertragenen Stoßspannung, denn er enthält die übertragene *Stoßspannungsstirn* und beansprucht die Windungen der Sekundärwicklung, angeschlossener Maschinen, Relais usw. Der kapazitive Anfangsspannungsstoss lässt sich, wie man sieht, sehr einfach berechnen.

Die Ausgleichsspannungsschwingung besteht aus einer schnellen hochfrequenten Schwingung mit der Kreisfrequenz

$$\Omega = \frac{1}{\sqrt{L'' \sigma (C' + C'')}}$$

und einer langsameren Hochfrequenzschwingung mit der Kreisfrequenz

$$\omega = \frac{1}{\sqrt{L' C_0}}$$

und zwar wird die schnelle Ausgleichsschwingung in diesem Falle hauptsächlich durch die Streuung des Transformators σ, die langsamere Schwingung durch die primäre Jochinduktivität L' und die Sternpunktkapazität C_0 bestimmt. Die langsamere Schwingung ist nichts anderes als die magnetisch übertragene Sternpunktschwingung, wie ein Vergleich der Spannungen u_2 und MP zeigt. Beide Spannungen schwingen synchron in Gegenphase.

Bei der vorliegenden Messung an einem 6000-kVA-Transformator mit den Nennspannungen 50/17 kV, d. h. einer Unterspannung von 31 % der Oberspannung, ist der kapazitive Anfangsspannungsstoss $A = 42$ % der ankommenden Stoßspannung. Das Glied F ist 31 % und die Endzustandsspannung ist Null, da ja die Sekundärseite durch den Sternpunkt geerdet ist und die übertragene Spannung nach Ablauf der Ausgleichsvorgänge Null sein muss. Der vollständige Ausdruck für die berechnete übertragene Spannung lautet

$$u_2 = 1 \cdot (0{,}11 \cos \Omega t + 0{,}31 \cos \omega t)$$

In diesem Falle ist die übertragene Spannung nur im ersten Augenblick höher, als wenn sie dem Uebersetzungsverhältnis entsprechend übertragen würde, und zwar infolge des kapazitiven Anfangsspannungsstosses. Die Periodendauer der schnellen Schwingung wurde zu $T_\Omega = 20$ μs und die der langsamen Schwingung zu $T_\omega = 143$ μs berechnet.

Die Berechnung der Sternpunktspannung gibt für die Endzustandsspannung den Wert 1. Der kapazitive Anfangsstoss ist Null, da der Sternpunkt mit den angestossenen Klemmen U, V, W nur sehr schwach kapazitiv gekoppelt ist. Eine grosse Ausgleichsspannung lagert sich deshalb über die Endzustandsspannung und ergibt den hohen Wert der Sternpunktspannung, der die ankommende Stossspannung wesentlich übersteigt. Man sieht, dass in diesem Falle, und zwar infolge des geerdeten Sternpunkts und der günstigen Kapazitätsverhältnisse, die übertragene Spannung nicht viel höher ist als die, welche dem Uebersetzungsverhältnis entspricht. Dass dies nicht immer so der Fall ist, zeigt das Beispiel (Fig. 3) eines dreipoligen Stosses auf einen Transformator mit Stern/Dreieck-Schaltung und einer Unterspannung von 5,3 % der Oberspannung. u_1 ist die ankommende Spannung an den Primärklemmen U, V, W und u_2 die übertragene Stoßspannung. Diese berechnet sich nach Gl. (1). Man erhält bei dieser Schaltung für den kapazitiven Anfangsstoss den Ausdruck

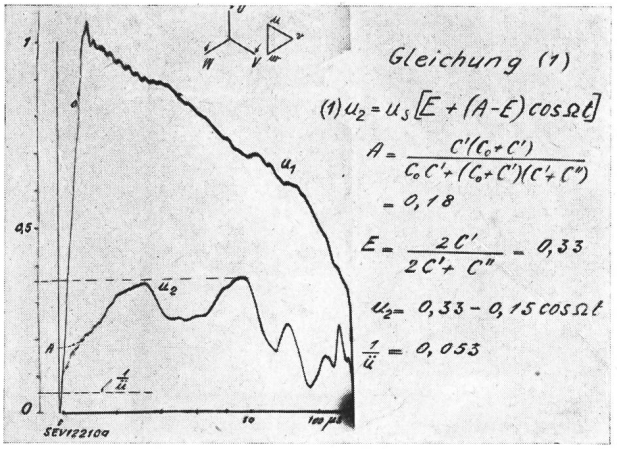


Fig. 3.

$$A = \frac{C' (C_0 + C')}{C_0 C' + (C_0 + C') (C' + C'')}$$

und einen Zahlenwert von 18 %. Für die Endzustandsspannung

$$E = \frac{2 C'}{2 C' + C''}$$

erhält man aus der Rechnung 33 %. Ueber die hohe Endspannung lagert sich die Ausgleichsschwingung $A - E$ mit der Kreisfrequenz

$$\Omega = \sqrt{\frac{2 C' + C''}{L_{1k} [C' (C' + 2 C_0) + C'' (C' + C_0)]}}$$

und so werden ganz beträchtliche Spannungen auf die Unterspannungsseite übertragen. Die berechnete Spannung ist $u_2 = 0{,}33 - 0{,}15 \cos \Omega t$. Die Messungen an einem grossen Transformator von 40 000 kVA und den Nennspannungen $U_n = 120$ kV bzw. 6,3 kV ergaben einen kapazitiven Spannungsstoss von etwa 15 % und einen Scheitelwert des Spannungsrückens

von 35 % der ankommenden Stoßspannung. Nehmen wir an, die ankommende Stoßspannung erreiche gerade die Ueberschlagspannung der Isolatoren des Stationsmaterials, ohne jedoch zum Ueberschlag zu führen, also den Scheitelwert ($2{,}2\ U_n$ plus 20) $\sqrt{2} = 400$ kV, so erhalten wir einen Scheitelwert des kapazitiven Anfangsspannungsstosses von 60 kV und eine höchste Spannung im Rücken von 140 kV, für eine 6,3-kV-Wicklung ganz beträchtliche Werte.

Ich möchte noch die Frage nach der Steilheit der übertragenen Spannung, d. h. die Steilheit des kapazitiven Anfangsspannungsstosses, der ja die Spannungsstirn bildet, beantworten. Fig. 4 zeigt die Messungen an dem gleichen Transformator wie vorher. Im oberen Oszillogramm wurde der Transfor-

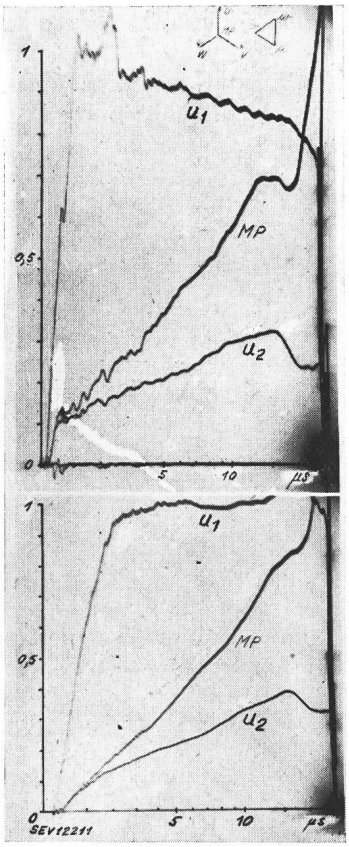


Fig. 4.

mator mit einer sehr steilen Stoßspannung dreipolig gestossen. Die an den Klemmen U, V, W ankommende Stoßspannung hat eine Stirnzeit von 0,8 µs. Man sieht, dass die übertragene kapazitive Stoßspannung dieselbe Stirnzeit hat wie die ankommende Stoßspannung. Dasselbe gilt auch für das untere Oszillogramm, bei dem die Stirnzeit der ankommenden Stoßspannung 2,2 µs, d. h. etwa 3mal länger war. Auch hier ist die Stirnzeit des kapazitiven Anfangsstosses etwa 2,2 µs. Wir stellen also fest, dass der kapazitive Anfangsstoss bei diesen relativ steilen Stoßspannungen dieselbe Stirnzeit hat wie die der ankommenden Stoßspannung und dass die Höhe des kapazitiven Anfangsstosses unabhängig ist von der Stirnzeit der ankommenden Stoßspannung.

Fig. 5 zeigt, dass die Stirnzeit der ankommenden Stoßspannung nur einen geringen Einfluss hat auf die Höhe des Rückens der übertragenen Stoßspannung. Das obere Oszillogramm zeigt die übertragene

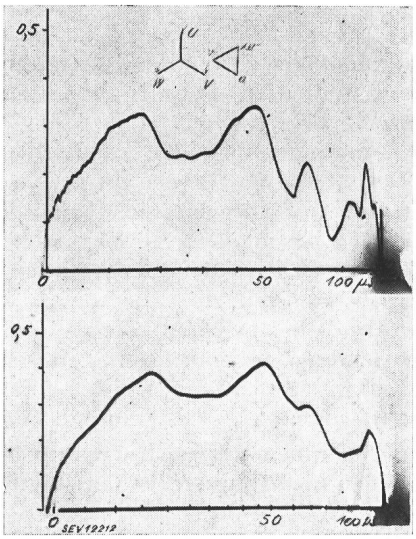
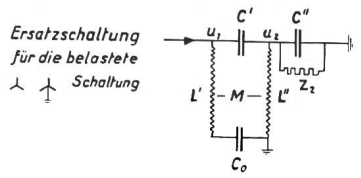


Fig. 5.

Spannung bei 0,8 µs Stirnzeit der ankommenden Stoßspannung, das untere Oszillogramm bei 2,2 µs Stirnzeit der ankommenden Stoßspannung. Bei dem oberen Oszillogramm sind die Ausgleichsschwingungen etwas ausgeprägter. Die Höhe des Spannungsrückens ist fast gleich in beiden Fällen.

4. Wir haben gesehen, dass an einem offenen Transformator beträchtliche Spannungen übertragen werden können. Glücklicherweise sind nun die Verhältnisse wesentlich günstiger, wenn die Sekundärwicklung nicht offen ist, sondern Belastungen in Form von Wellenwiderständen und Kapazitäten angeschlossen sind. Eine Maschine ist in diesem Sinne auch als Wellenwiderstand aufzufassen.



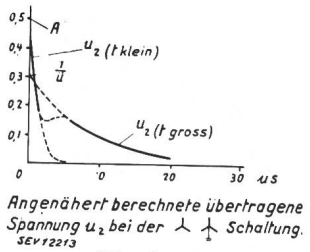


Fig. 6.

Fig. 6 zeigt die Verhältnisse, wenn an die Sekundärwicklung eines Transformators mit Stern/Sternschaltung, Sekundärsternpunkt geerdet, eine lange Freileitung angeschlossen ist. Der obere Teil der

Figur stellt die Ersatzschaltung dar. Die Freileitung ist durch den Wellenwiderstand Z_2 wiedergegeben. Der untere Teil zeigt die berechnete Spannung. Es zeigt sich, dass der kapazitive Anfangsstoss A den Wert von 50 % hat, durch den Einfluss des Wellenwiderstandes jedoch sehr rasch abfällt. Auch der Rücken der übertragenen Stoßspannung bleibt unter dem Wert der dem Uebersetzungsverhältnis übertragenen Spannung.

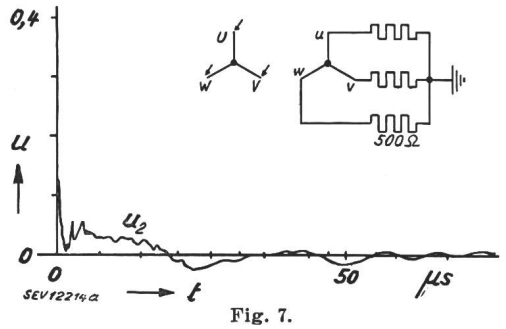


Fig. 7.

Fig. 7 zeigt eine Messung. Die Freileitung wurde dabei durch einen Widerstand von 500 Ohm pro Pol ersetzt. Die Anfangsspannung, die den Wert von 50 % erreichen müsste, kann sich jedoch nur schwach ausbilden, da die ankommende Stoßspannung nicht genügend steil gemacht werden konnte. Auch die nachfolgende übertragene Spannung ist nur klein. Man darf daraus schliessen, dass bei Anschluss einer längeren Freileitung auf der Sekundärseite nur unbedeutende Spannungen auf die Unterspannungsseite übertragen werden.

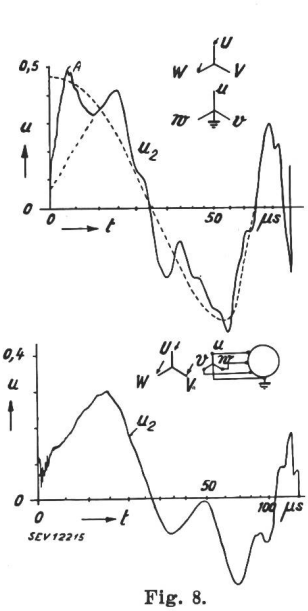


Fig. 8.

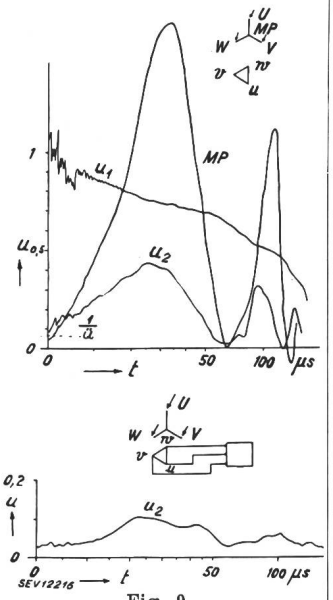


Fig. 9.

Derselbe Transformator wurde mit einem kleinen Motor belastet, dreipolig gestossen und der sekundäre Sternpunkt geerdet. Der obere Teil von Fig. 8 zeigt die Verhältnisse bei offener Sekundärwicklung. Man erkennt den Anfangsspannungsstoss von 50 % und die nachfolgenden Ausgleichsschwingungen. Bei Belastung durch den Motor wird der kapazitive Anfangsspannungsstoss durch die Kapazitäten der kurzen Anschlusskabel und Eingangskapazität des Motors fast ganz unterdrückt. Der Anstieg der übertragenen Spannung ist dadurch viel weniger steil. Die Höhe der übertragenen Spannung wird jedoch durch den Anschluss des Motors, der einen hohen Wellenwiderstand hatte, nicht stark herabgesetzt.

Ein weiteres Beispiel zeigt Fig. 9. Es handelt sich hier wieder um einen Transformator von 40 000 kVA, mit den Nennspannungen von 120 bzw. 6,3 kV und Stern/Dreieck-Schaltung. Bei den Versuchen war der Transformator einmal offen, das zweite Mal über eine kleine Schaltanlage mit einem Motor von 2000 kW belastet. Der obere Teil zeigt die gemessenen Spannungen bei offener Sekundärwicklung. u_1 ist die auftreffende Spannung bei einem dreipoligen Stoss auf die Klemmen U, V, W; u_2 ist die übertragene Spannung an den Klemmen u, v und w und *MP* die Sternpunktspannung. Die dem Uebersetzungsverhältnis entsprechende Unterspannung ist 5,3 % der Oberspannung. Wir stellen, wie in dem früheren Beispiel, fest, dass dabei wesentlich höhere Spannungen als dem Uebersetzungsverhältnis entsprechend übertragen werden. Der untere Teil zeigt die gemessene übertragene Spannung bei Anschluss des Motors. Sie ist ungefähr 4mal kleiner geworden, aber immer noch höher als dem Uebersetzungsverhältnis entsprechend. Es ist anzunehmen, dass bei Anschluss einer Schaltanlage und einer Belastung, die den Grössenverhältnissen des Transformators besser entsprechen würde, die übertragenen Spannungen noch kleiner wären.

5. Auf die Verhältnisse, die bei einem einpoligen Stoss auf eine Transformatorwicklung eintreten, kann ich aus Zeitmangel nicht näher eingehen. Ich muss mich mit der Bemerkung begnügen, dass die übertragenen Spannungen bei offenem und belastetem Transformator wesentlich kleiner werden als bei einem dreipoligen Stoss, ausgenommen der kapazitive Anfangsstoss, der bei der angestossenen Phase denselben Wert wie beim offenen Transformator hat.

6. Zum Schluss möchte ich das Ergebnis unserer Untersuchungen wie folgt zusammenfassen:

a) Bei einem Transformator mit offener Sekundärwicklung und bei Anschluss kurzer offener Leitungen ohne wesentliche Kapazität gegen Erde können Stoßspannungen übertragen werden, die wesentlich über den dem Uebersetzungsverhältnis entsprechenden Wert hinausgehen. Dies ist z. B. besonders bei Mehrwicklungstransformatoren der Fall, bei denen eine Wicklung des in Betrieb befindlichen Transformators offen ist. Solche Wicklungen haben meistens eine gute kapazitive Kopplung mit der Oberspannungswicklung und eine kleine Erdkapazität, so dass bei einer steilen ankommenden Stoßspannung hohe und steile Spannungen auf die Unterspannung übertreten. Die *Stirnzeit* der übertragenen Stoßspannung ist dieselbe wie die der auftreffenden Stoßspannung.

In kritischen Fällen kann durch Einbau von Kondensatoren zwischen den sekundären Polen und Erde und durch Ableiter ein wirksamer Schutz her-

gestellt werden. Die Grösse dieser Kondensatoren richtet sich nach der inneren Kapazität des Transformators. Da diese jedoch klein ist, Grössenordnung 1/1000 μF, gewähren schon relativ kleine Kapazitäten einen guten Schutz.

b) Bei einem belasteten Transformator sind die übertragenen Spannungen klein, wenn die Belastung, worunter auch lange Leitungen und lange Kabel zu verstehen sind, *einen kleinen Wellenwiderstand hat.*

Eine Gefährdung von Maschinen wird durch die Erdkapazitäten der angeschlossenen Zuleitungen, z. B. der Sammelschiene, Stützer usw., die den Anstieg der übertragenen Spannung und damit die Gefahr von Windungsschlüssen stark herabsetzen, vermindert.

Daraus erklären sich die eingangs erwähnten günstigen Erfahrungen, die im allgemeinen mit Transformatoren zum Schutz der Maschinen gemacht wurden.

Diskussion

Vorsitzender: Ich danke Herrn Dr. Wellauer verbindlichst für seinen Vortrag, der ohne viel Theorie uns einen Einblick in das Verhalten des Transformators gegen Ueberspannungen gab und gleichzeitig auch die Mittel erörterte, wie den Ueberspannungsgefahren begegnet werden kann.

Dr. **H. Meyer,** Ingenieur der A.-G. Brown, Boveri & Cie., Baden, berichtet über die eingehenden Untersuchungen, die bei Brown, Boveri in den letzten Jahren über denselben Gegenstand gemacht wurden. Wir verzichten hier auf die Wiedergabe seines Votums, da darüber später im Bulletin des SEV ein eingehender Bericht erscheinen soll.

Prof. Dr. **K. Kuhlmann** erkundigt sich, ob zu den Versuchen ein Transformator mit Scheibenwicklung oder mit Zylinderwicklung benutzt wurde.

Dr. **M. Wellauer,** Referent: Sämtliche Messungen wurden an Transformatoren mit Zylinderspulen durchgeführt, da Transformatoren mit Scheibenspulen bei uns relativ selten ausgeführt werden.

Prof. Dr. **K. Kuhlmann** frägt, ob die Unterspannungswicklung aussen oder am Kern lag.

Dr. **M. Wellauer,** Referent: Bei den gezeigten Messungen lag die Unterspannungswicklung zwischen Oberspannungsspule und dem Eisenkern. Die Verhältnisse werden aber prinzipiell nicht anders, wenn die Unterspannungswicklung aussen liegt. Natürlich wird auch die Stoßspannung von der Unterspannungs- auf die Oberspannungswicklung übertragen, wenn die Unterspannungswicklung angestossen wird. Liegt die Unterspannungswicklung aussen, so ändert sich das Kapazitätsverhältnis C'/C''. Im allgemeinen ist in diesem Falle die Erdkapazität C'' der Unterspannungswicklung relativ klein und deshalb wird der kapazitive Anfangsstoss A auf die Unterspannungswicklung grösser sein als bei der normalen Anordnung.

W. Ringger, Ingenieur der Emil Haefely & Co. A.-G., Basel: Wir haben vernommen, aus was für Komponenten sich die auf die Unterspannungswicklung übertragene Ueberspannung zusammensetzt, wenn eine Stoßspannung auf die Meßspannungswicklung auftrifft. Es wäre interessant zu wissen, wie sich diese Komponenten mit der sich im ersten Moment einstellenden kapazitiven Spannungsverteilung in der Oberspannungswicklung verändern, und was für den Grenzfall einer praktisch schwingungsfreien Oberspannungswicklung auf der Unterspannungsseite zu erwarten ist.

Dr. **M. Wellauer,** Referent: Der kapazitiv übertragene Anfangsspannungsstoss ist unabhängig von der Anfangsspannungsverteilung in der angestossenen Wicklung. Im Zusammenhang mit der Frage der Stoßspannungsübertragung bei schwingungsarmen Wicklungen spielt die Erdung des Sternpunktes eine wesentliche Rolle. In Amerika sind die schwingungsarmen Transformatoren meistens mit geerdetem Sternpunkt im Betrieb. In diesem Falle ist keine Sternpunktsschwingung vorhanden und da beim schwingungsarmen Transformator die Ausgleichsschwingungen klein sind, reduziert sich die übertragene Stoßspannung auf den kapazitiven Anfangsstoss.

Bei isoliertem Sternpunkt liegen die Verhältnisse weniger günstig, denn selbst bei relativ schwingungsarmen Anordnungen tritt immer noch eine hohe Sternpunktschwingung auf, die auf die Unterspannungswicklung übertragen wird.

Der **Vorsitzende** dankt den Diskussionsrednern für ihre Voten und Herrn Dr. Wellauer für die Beantwortung der Fragen. Er gibt das Wort Herrn A. Meyerhans.

Neue Bauweisen bei Transformatoren und Drosselspulen

Vortrag, gehalten an der Transformatorentagung des SEV vom 13. Juli 1944 in Zürich,

von *A. Meyerhans,* Baden

621.314.21
621.318.42

Mit dem Wachsen von Spannung und Leistung der Transformatoren erreicht man allmählich die Grenzen der Ausführbarkeit der üblichen Bauweisen. Im folgenden werden zwei Wege beschrieben, auf denen wohl künftige Aufgaben gelöst werden können. Der eine besteht in der Anwendung kabelähnlicher Isolationen mit dem neuentwickelten Spreizflansch. Dadurch werden ohne Erhöhung der spezifischen Belastung der aktiven Teile grosse Materialersparnisse erzielt. Der andere Weg ist die Verwendung der radial geblechten Transformatorensäulen mit seitlichen Jochen, die unter anderem eine wesentliche Verkleinerung der Bauhöhen ergeben, so dass, wie ein Entwurf zeigt, eine Einphaseneinheit für eine 240-MVA-Gruppe von 400 kV bahnprofilgängig wird. Sowohl der Spreizflanschwickel als auch der radialgeblechte Kern haben sich bereits praktisch bewährt.

En raison de l'augmentation de la tension et de la puissance des transformateurs, les limites de construction des types usuels sont peu à peu atteintes. Pour résoudre les problèmes futurs, l'auteur décrit deux nouvelles méthodes. La première consiste à utiliser des cylindres d'isolation à bride écartée qui permettent une grande économie de matière sans augmenter la charge spécifique des parties actives. La seconde méthode est de prévoir des noyaux à tôles radiales avec culasses latérales, ce qui réduit beaucoup la hauteur de la construction. Une unité monophasée d'un groupe de transformateurs de 240 MVA pour 400 kV de ce type peut être transportée complètement montée par chemin de fer, ainsi que le montre un projet de ce genre. Les cylindres d'isolation à bride écartée et les noyaux à tôles radiales ont déjà fait leurs preuves en pratique.

I.

Bei einem so einfachen Gebilde, wie es der Transformator an sich darstellt, wird man kaum mehr sehr tiefgreifende Verbesserungen erwarten, sind doch die magnetischen und elektrischen Eigenschaften von Eisenkern und Wicklung nun schon seit einigen Jahrzehnten praktisch genau bekannt.

Die Hersteller von Transformatorenblech konnten zwar in zähem Bemühen die Verlustziffer schrittweise verringern. Dies erleichterte beim