Zeitschrift: Bulletin de l'Association suisse des électriciens

Herausgeber: Association suisse des électriciens

Band: 21 (1930)

Heft: 19

Artikel: Experimenteller Beitrag zur Frage der Sprungwellenprobe an Transformatoren

Autor: Matthey-Doret, A. / Kopeliowitch, J.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-1058277

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: 22.08.2025

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

SCHWEIZ. ELEKTROTECHNISCHER VEREIN

BULLETIN

ASSOCIATION SUISSE DES ÉLECTRICIENS

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

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

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

XXI. Jahrgang XXIe Année | Bulletin No. 19 | Oktober I Octobre I 1930

Experimenteller Beitrag zur Frage der Sprungwellenprobe an Transformatoren.

Von *A. Matthey-Doret* und Dr. *J. Kopeliowitch*, Baden.

621.314.2.00.14

Die mitgeteilten Versuche wurden zunächst zwecks allgemeiner Erforschung der Ausgleichsvorgänge bei Sprungwellenprobe sowie zur Klärung der Wirkungsweise einer von amerikanischer Seite (Montsinger & Peters) stammenden Schaltanordnung für Stossprüfung an Transformatoren durchgeführt. Diese letztere Schaltung soll den im Betrieb vorkommenden Beanspruchungen durch Gewitterüberspannungen näher kommen als die Sprungwellenprobe des SEV und diejenige des VDE.

Die drei Methoden wurden mittels Kathodenstrahloszillograph in den Werkstätten der A.-G. Brown, Boveri & Cie. in Baden untersucht. Es wurde dabei festgestellt, dass sie in bezug auf die Beanspruchung der Windungs- und Lagenisolation als gleichwertig bezeichnet werden müssen. Dagegen kann die Beanspruchung der Isolation gegen Erde, gleiche Erregerspannung vorausgesetzt, nach der amerikanischen Schaltung 1,8mal höhere Werte erreichen, was bei Sprungwellenprüfung eigentlich nicht erwünscht ist.

Zum Schluss erörtern die Autoren die Zweckmässigkeit der Sprungwellenprobe im allgemeinen und sprechen die durch Statistik begründete Ueberzeugung aus, dass die vollständige Spannungsprüfung nach SEV-Vorschriften geeignet ist, manche Betriebsstörungen zu vermeiden und für den Konstrukteur ein wertvolles Kontrollmittel fertiger Fabrikate darstellt.

Les essais communiqués ci-après avaient comme but l'étude générale à l'aide de l'oscillographe cathodique des phénomènes transitoires dans les enroulements des transformateurs lors des épreuves par ondes à front raide d'après les prescriptions de l'ASE et du VDE. Un schéma d'origine américaine (Montsinger & Peters) pour l'essai de choc de transformateurs a été également étudié. En ce qui concerne les fatigues des enroulements par surtensions d'orage, ce schéma est censé les reproduire plus exactement que les méthodes admises par l'ASE et le VDE.

Ces trois méthodes, examinées au moyen de l'oscillographe cathodique dans les ateliers de la maison Brown, Boveri & Cie à Baden, ont été trouvées équivalentes au point de vue de la contrainte qu'elles imposent à l'isolation des spires et des bobines. En revanche, d'après le schéma américain, pour la même tension d'excitation, la contrainte de l'isolation contre la terre peut atteindre des valeurs 1,8fois supérieures, ce qui, en somme, n'est pas désirable lors de l'épreuve par ondes à front raide.

En terminant, les auteurs expliquent le bienfondé de l'épreuve par ondes à front raide, en général, et expriment leur conviction, basée sur des statistiques, que les essais de tension d'après les directives de l'ASE sont susceptibles d'éviter mainte perturbation de service et représentent pour le constructeur un moyen précieux de contrôler les enroulements terminés.

I. Vorbemerkung.

Im Jahre 1923 wurde eine neue Art der Isolationsprüfung — die sog. Sprungwellenprobe — in der Schweiz eingeführt[1]) und seither an allen Transformatoren neben den sonst üblichen Spannungsprüfungen angewendet. Diese Prüfmethode wurde damals auf Grund der Betriebsstatistik über Wicklungsdefekte, welche sich in ihrer Mehrzahl seinerzeit als Windungs- und Spulenschlüsse herausstellten, sowie

[1]) Normen für Spannungen und Spannungsprüfungen des Schweiz. Elektrotechnischen Vereins vom 11. August 1923, Sonderdruck S. 14, C, Art. 23.

an Hand der eingehenden Messergebnisse[2]) zur Annahme empfohlen. Dieser Probe wurden zwei Aufgaben zugeschrieben: Zunächst sollte sie ermöglichen, die bestehenden Bauarten von Wicklungen zu sichten, die ungeeigneten zu verbessern oder auszuscheiden. Ihre Anwendung hatte weiter den Zweck, die Konstruktions- bzw. Fabrikationsfehler bei einzelnen Transformatoren, und zwar noch in der Werkstatt, anzuzeigen. Auf diesem Wege sollte es möglich sein, die Zahl der Lagen- und Spulenschlüsse bei Transformatoren, welche in gutem Zustande sind und richtig unterhalten werden, in hohem Masse zu verringern, gleichwie es möglich war, durch die genügend scharfen Prüfbedingungen der Spannungsprobe Ueberschläge von Wicklungen nach Erde zu einer Seltenheit zu machen[2]).

Auch vom Verein Deutscher Elektrotechniker wurde eine entsprechende Vorschrift im gleichen Jahre in die Normen aufgenommen[3]), ihre Begründung, sowie ihre Durchführung jedoch etwas verschieden von der schweizerischen Fassung festgelegt.

Fig. 1 gibt die schematische Anordnung der Sprungwellenprüfung gemäss den SEV-Normen wieder, welche an fertigen Transformatoren für mehr als 3 kV Nennspannung im Prüffeld, noch vor der Probe mit erhöhter Eigenspannung, vorgenommen werden muss. Die Schlagweite der Erregerfunkenstrecke EF wird dabei entsprechend $U = 1{,}3 \cdot U_n$ (U_n = Nennspannung in Volt) eingestellt und der Transformator bei 50 Per/s während 10 s, d. h. 1000-mal, mit dieser Spannung beansprucht. Der Widerstand R muss nach der Formel $R = (0{,}5 \text{ bis } 2)\ \Omega/\text{V}$ bemessen sein.

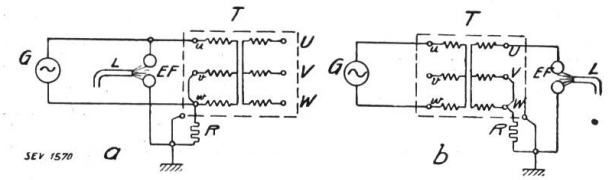


Fig. 1.
Anordnung für die Sprungwellenprobe nach den SEV-Normen.
G = Generator, T = Transformator, EF = Erregerfunkenstrecke, R = Ohmscher Widerstand, L = Druckluft. Schlagweite von $EF = 1{,}3\ U_n$.

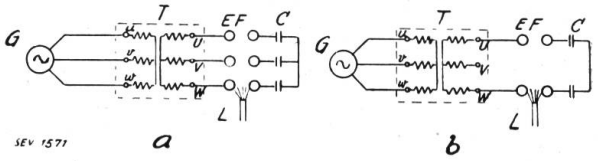


Fig. 2.
Anordnung für die Sprungwellenprobe, nach den VDE-Vorschriften.
G = Generator, T = Transformator, EF = Erregerfunkenstrecke, C = Kondensatoren. Schlagweite von $EF = 1{,}3\ U_n$, jedoch Erregung von T auf $1{,}1\ U_n$.

Die Schaltung, welche für Sprungwellenprüfung nach den VDE-Regeln zur Anwendung gelangt und in Fig. 2 aufgezeichnet ist, unterscheidet sich von der SEV-Schaltung in folgenden Punkten: An Stelle des Widerstandes R hinter dem Transformator wird hier ein Kondensator C nach der Funkenstrecke EF in den Kreis eingeführt. Die Grösse des Kondensators C (μF) ergibt sich angenähert aus der Formel:

$$C \cdot U_n = 0{,}30 \quad (U_n \text{ in kV},\ C \text{ in } \mu\text{F}).$$

Diese Prüfung wird bei auf $1{,}3 \cdot U_n$ eingestellten Funkenstrecken, jedoch auf $1{,}1 \cdot U_n$ erregtem Transformator[4]) ebenfalls während 10 s durchgeführt. Die Zündung der Funkenstrecke wird mit Hilfe eines Fremdkörpers eingeleitet. Das Funkenspiel bewirkt bei jedem Ueberschlag eine Umladung von Kondensatoren, wobei jeweils eine Entladewelle in die Wicklung einzieht.

Zur Prüfung der Windungsisolation wurde kürzlich von amerikanischer Seite eine Schaltanordnung angegeben, die eine schärfere Windungsbeanspruchung mit Stosspannung (Ladewelle) ermöglichen soll[5]). Nach Angaben der Verfasser steht

[2]) G. Courvoisier: Ueber Sprungwellenbeanspruchung von Transformatoren (Bull. SEV 1922, S. 445.

[3]) Vgl. Regeln für die Bewertung und Prüfung von Transformatoren, RET 1923, angenommen auf der Jahresversammlung 1922, § 48.

[4]) Die im Jahre 1923 vorgeschriebene Spannung von $1{,}3\ U_n$ wurde im Jahre 1925 auf $1{,}1\ U_n$ herabgesetzt.

[5]) V. M. Montsinger & J. F. Peters: Surge vs. Impulse Tests for Transformers, El. World, 1929, Juni 29, S. 1275.

diese Beanspruchungsart der im Betriebe bei Gewitterüberspannungen vorkommenden näher als diejenigen, welche durch die beiden oben beschriebenen Prüfmethoden erzeugt werden.

In Fig. 3 ist die Schaltung für diese Stossprüfung an einem Dreiphasen-Transformator dargestellt. Nachdem der Kondensator C bis auf die an der Funkenstrecke EF eingestellte Spannung aufgeladen wird, erfolgt ein Ueberschlag zwischen den Kugeln und die Kondensatorspannung erscheint an der Klemme der zu prüfenden Wicklung. Eine Ladewelle mit steiler Stirn zieht in die Wicklung hinein.

Im erwähnten Aufsatz sind auch vergleichende Messungen mit Kugelfunkenstrecken über die Spannungsverteilung längs der Transformatorenwicklungen bei den drei beschriebenen Methoden angeführt und die Notwendigkeit einer vorschriftsmässigen Isolationsprüfung nach Fig. 1 und 2 besprochen. Die Verfasser kommen dabei zu der Schlussfolgerung, dass die Ladewellen infolge Gewitterüberspannungen viel höhere Wicklungsgefährdung bedingen als die Entladewellen, verursacht durch Ueberschläge an Isolatoren. Eine Prüfung nach Anordnung 3 sollte bei Verwendung höherer Prüfspannungen den Betriebsbeanspruchungen eher entsprechen; wegen der Beschädigung bzw. zu grossen Gefährdung der Isolation empfehlen die Verfasser, diese Methode nur für Studienzwecke zu verwenden. Ihre Anwendung bezweckt somit nicht eine Kontrolle von sämtlichen Transformatoren bzw. jeder einzelnen Wicklung, sondern ist als Typenprüfung, zur Bestimmung der nötigen Isolationsstärke für die im Betriebe auftretenden maximalen Beanspruchungen aufgefasst.

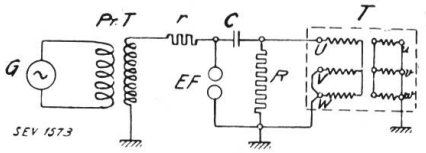


Fig. 3.
Anordnung zur Wicklungsprüfung mit Ladewellen, nach Montsinger und Peters.
G = Generator, $Pr.T$ = Prüftransformator, T = Transformator, C = Kapazität, r, R = Widerstände, EF = Erregerfunkenstrecke.

Die Erforschung der Ausgleichsvorgänge mittels Kathodenstrahloszillograph hat in der letzten Zeit viel wertvolles Material zutage gebracht. Auch der Frage der Isolationsbeanspruchung durch Sprungwellen wurden viele Arbeiten gewidmet. Im folgenden soll über einige Untersuchungen berichtet werden, welche einen Vergleich der drei oben besprochenen Schaltanordnungen an Hand der mit dem Kathodenstrahloszillograph gewonnenen, sowie unter Verwendung von Funkenstrecken erhaltenen Messwerte ermöglichen.

II. Versuche an einem Dreiphasen-Transformator von 60 kVA, 11000 V.

Die Beanspruchung der Windungs-, Lagen- und Spulenisolation wurde bei Sprungwellenversuchen mit den drei Schaltungen nach Fig. 1 – 3 mittels Kathodenstrahloszillograph untersucht.

Der Transformator besitzt Scheibenwicklung und hat oberspannungsseitig 1440 Windungen pro Phase, verteilt auf drei Doppelspulen zu je 2×240 Windungen.

1. Messungen mit der Schaltung nach Fig. 1b.

Um den Einfluss der Grösse des Erdungswiderstandes auf die Beanspruchungsart klarzulegen, wurde zunächst eine Messreihe mit $R = 40000$ Ohm durchgeführt. Eine zweite Messreihe wurde alsdann bei überbrücktem Widerstand aufgenommen ($R = 0$). Der Transformator entladet sich bei dieser Prüfanordnung über die Erregerfunkenstrecke EF in Schwingungen verschiedener Art und Amplituden. Fig. 4 bis 10 zeigen z. B. die beim Ueberschlag der Funkenstrecke auftretende Beanspruchung e zwischen der Eingangsklemme U und dem Eisengestell, sowie über einige Windungen, Lagen und Spulen. Diese Oszillogramme wurden auf zweierlei Arten aufgenommen: bei der einen zeichnet der Kathodenstrahl auf dem Photofilm in bekannter Weise die Spannung bei einer proportionalen geradlinigen Zeitablenkung auf (Fig. 4a); ist eine raschere Ablenkung gewünscht, so wird der aufzunehmende Vorgang einer sinusförmigen Nullinie von 110000 Per/s überlagert, die mittels eines Hochfrequenzgenerators erzeugt wird, wie man dies in

Fig. 4b und c sehr schön dargestellt sieht. Im Oszillogramm 4a ist der Zusammenbruch der Spannung an der Klemme U beim Ueberschlag an der Funkenstrecke bei geradliniger Zeitablenkung und $R = 40\,000$ Ohm abgebildet. Den gleichen Vorgang in grösserem Zeitmasstab sieht man im folgenden Bild 4b. Dieses Oszillogramm weist eine Hochfrequenzschwingung mit $4{,}2 \cdot 10^6$ Per/s deutlich auf, welche nach rund 10 Perioden ausklingt. Eine Aufnahme mit kurzgeschlossenem Widerstand ($R = 0$) und etwas grösserer Erregerspannung, sonst aber bei genau gleicher Versuchsanordnung, zeigt Fig. 4c. Auch hier hat die Eingangsschwingung eine Frequenz von ca. $4{,}2 \cdot 10^6$ Per/s und ihr Verlauf ist identisch mit demjenigen der Fig. 4b, obwohl der Nullpunktwiderstand R kurzgeschlossen wurde. Die Oszillogramme 5a und b zeigen den Spannungsverlauf zwischen der 480. Windung der Säule U und Erde bei $R = 40\,000$ Ohm[6]). Das folgende Bild 6a und b bringt die dabei auftretende Schwingung der ersten Doppelspule ($U - 480\ U$) und in Oszillogramm 7 ist die Schwingung der letzten Doppelspule ($960\ U - 1440\ U$) wiedergegeben. Bemerkenswert sind die Aufnahmen 8 und 9, welche den Spannungsverlauf über die erste Windung ($U - 1\ U$) und die ersten 10 Windungen ($U - 10\ U$) zeigen. Die Oszillogramme 10 a, b, c sind aufgenommen bei kurzgeschlossenem Widerstand ($R = 0$) und stellen in kleinerem Zeitmasstab die Schwingungen über die erste Spule ($U - 240\ U$), über die zweite Spule ($240\ U - 480\ U$) und über die ganze erste Doppelspule ($U - 480\ U$) dar. Auf diese Bilder kommen wir noch weiter unten zurück.

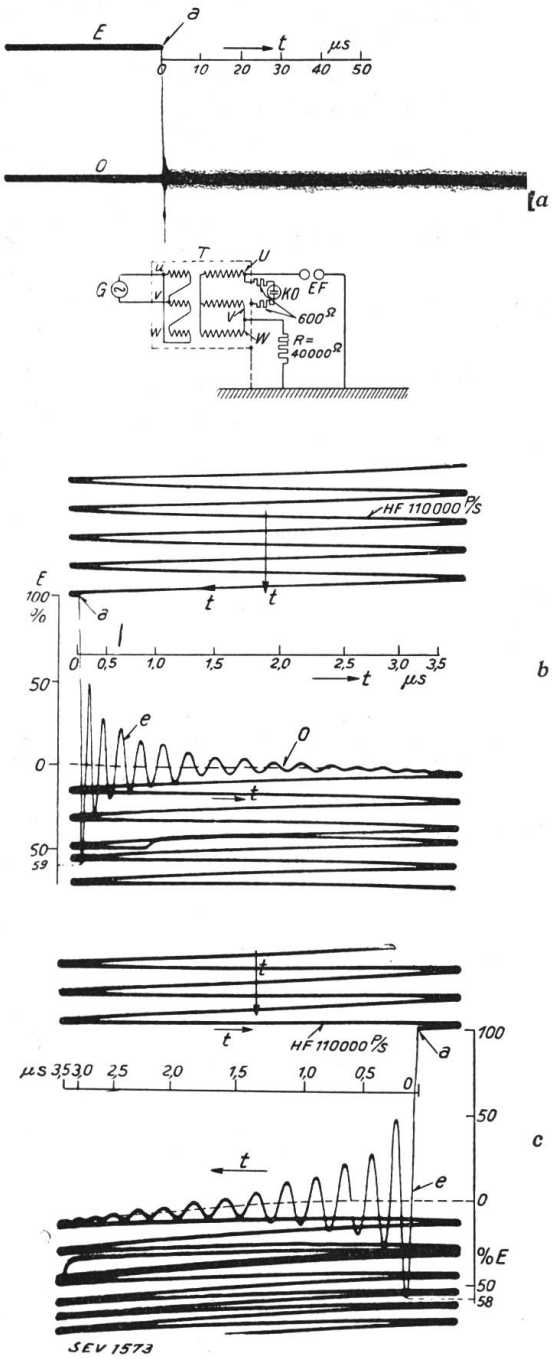
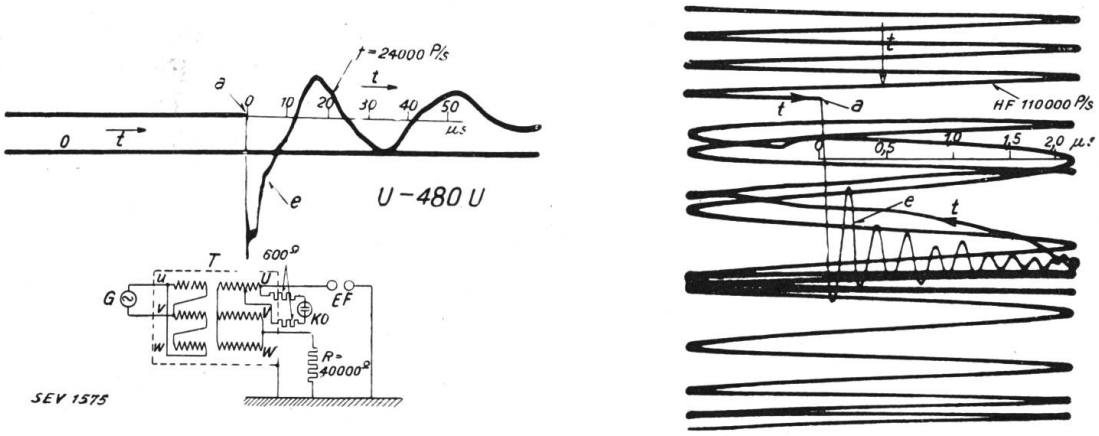


Fig. 4.
3-Phasen-Transformator, 60 kVA, 11 kV. Kathodenstrahloszillogramme der Spannungsbeanspruchung Klemme U-Erde bei Sprungwellenprüfung nach SEV-Methode (Fig. 1 b).
a) und *b)*: $R = 40\,000$ Ohm,
c): $R = 0$.
a = Augenblick des Ueberschlages an der Funkenstrecke EF, E = Prüfspannung. e = Spannungsverlauf zwischen Klemme U und Erde. 0 = Nullinie. HF = Hilfsfrequenz zur Zeitablenkung, $f = \frac{1}{2}110\,000$ Per/s. KO = Kathodenstrahloszillograph.

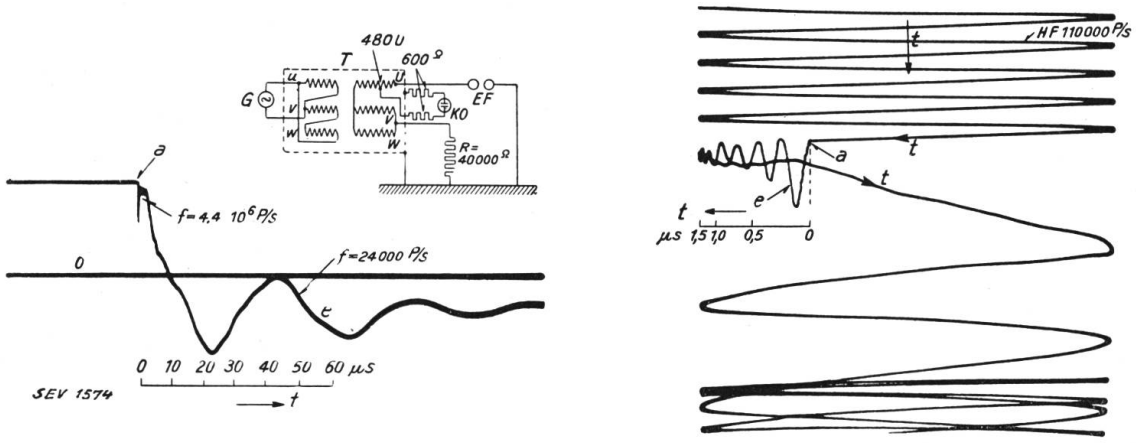
Aus den Kathodenstrahloszillogrammen können folgende Vorgänge bei der Sprungwellenprobe klar ersehen werden: Die Eingangskapazität des Transformators entladet sich zunächst über die Induktivität des Enladekreises, über die Erregerfunkenstrecke EF nach Erde in einer Schwingung, deren Frequenz in diesem Falle $4{,}2 \cdot 10^6$ Per/s beträgt. Der Transformator wirkt dabei als Kapazität, weil für diese sehr hohe Frequenz seine Induktivität eine praktisch unendlich grosse Impedanz dar-

[6]) Der angezapfte Punkt der Wicklung ist durch die Windungszahl bis zum Phasenanfang und durch die Bezeichnung der betrachteten Phase (U, V, W) angegeben.



a Fig. 5. b

3 Phasen-Transformator, 60 kVA, 11 kV. Kathodenstrahloszillogramme der Spannung zwischen der 480. Windung der Säule U und Erde bei Sprungwellenprobe nach SEV-Methode (R = 40 000 Ohm).



a Fig. 6. b

Wie Fig. 5. Kathodenstrahloszillogramme der Spannung an der ersten Doppelspule (U—480 U) bei R = 40 000 Ohm. SEV-Methode.

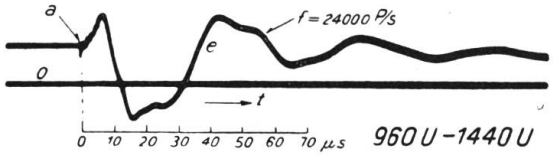
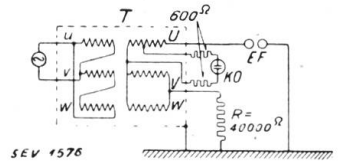


Fig. 7.

Wie Fig. 5. Kathodenstrahloszillogramm der Spannung an der letzten Doppelspule (960 U—1440 U) bei R = 40 000 Ohm. SEV-Methode.



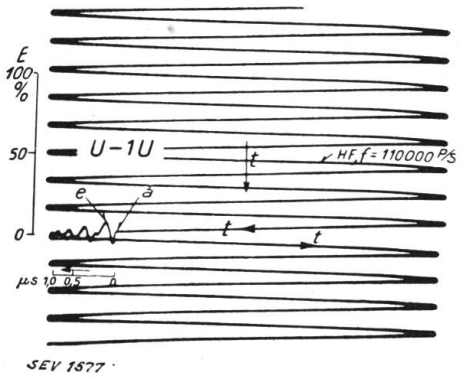


Fig. 8.

Wie Fig. 5. Kathodenstrahloszillogramm der Spannung über die erste Windung bei Sprungwellenprobe nach SEV-Methode, R = 40 000 Ohm.

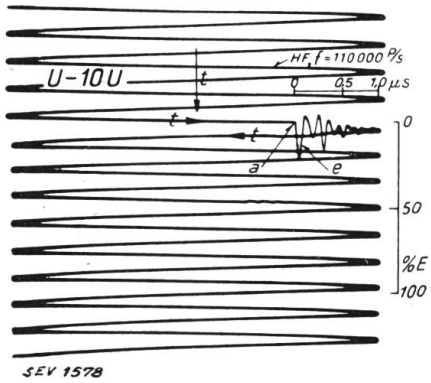


Fig. 9.

Wie Fig. 5. Kathodenstrahloszillogramm der Spannung über die ersten 10 Windungen, bei Sprungwellenprobe nach SEV-Methode. R = 40 000 Ohm.

stellt. Diese Schwingungen sind naturgemäss nur durch die Gestaltung des Entladekreises, wie Leitungslänge zwischen Transformatorklemme und Erregerfunkenstrecke, bestimmt und insbesondere *von der Grösse des Widerstandes R unabhängig,* welcher durch die sehr hohe Transformatorinduktanz vom Schwingungskreis getrennt ist. Ein vereinfachtes Ersatzschema ist in Fig. 11 dargestellt, wo mit l die Induktivität des Entladekreises, mit L die Transformatoreninduktivität und mit c die Eingangskapazität der Transformatorwicklung bezeichnnt sind[7]). Die Spannung, welche über die Eingangswindungen auftritt, kann offenbar durch lokale Schwingungen, bedingt durch die Windungs- bzw. Lageninduktivität und Erdkapazität der Windungen, noch erhöht werden.

Beanspruchung über verschiedene Wicklungsteile bei Sprungwellenversuchen in % der Schaltspannung. Tabelle I.

Gemessene Wicklungsteile		Säule U													Säule W
Schaltung Nr.	Widerstand R in Ohm	U-1 U	1 U-2 U	U-2 U	U-10 U	10 U-20 U	U-20 U	U-120 U	120 U-240 U	U-240 U	240 U-480 U	U-480 U	480 U-960 U	960 U-1440 U	240 W-W
1	40 000	8,4	5,8	10,5	20,8	16,8	26,4	66	39	101	67	121	63	53	16
1	0	7,3			21,3			72	40	103	72	119	61	57	18
2	—	5,5			23,4			64	48	100	75	113	63	58	14
3	100 000	6,5			24,4	18,0		82	46	120	66	134		55	12
3	∞							78		120					
3	300							60							

Neben diesen Schwingungen über die Windungskapazität quer zu den Windungen wird die Wicklung bei Ankunft der Entladewelle noch durch die Entladeschwingungen der bedeutend grösseren Kapazität des Transformatorinnern beansprucht, Schwingungen, die auch wegen der grösseren Induktivität viel niedrigere Frequenz ($f = 22000$ bis 135000) aufweisen. Wie die Oszillogramme 6a und 10c und insbesondere die weiter unten angegebenen Kurven und Tabelle I zeigen, wird die erste massgebende Amplitude dieser Schwingungen durch den Widerstand R nicht oder jedenfalls ganz unwesentlich beeinflusst.

2. *Messungen mit der Schaltung nach Fig. 2b.*

Bei den Versuchen wurde ein Pol an Erde gelegt und nur eine Funkenstrecke, sowie ein Kondensator $C = 0{,}007\ \mu$F verwendet. Die Primärwicklung wurde in Dreieck geschaltet, wie dies auch bei Anwendung der Schaltung nach Fig. 1b gemacht wurde. Aus dem Oszillogramm Fig. 12 ist z. B. die Beanspruchung der Klemme U gegen Erde ersichtlich, die eine Hochfrequenzschwingung mit $f = 4{,}85 \cdot 10^6$ Per/s, etwa gleich, wie ihn Fig. 4 b und c darstellt. Auch andere Aufnahmen zeigen bei dieser Schaltanordnung gleichartige und gleichgrosse Beanspruchung der Wicklungsisolation wie bei den Messungen nach Schaltung Fig. 1 b. Diese Tatsache ist deutlich aus den weiter unten angegebenen Kurven und Tabellen ersichtlich, so dass auf eine Wiedergabe zahlreicher Aufnahmen verzichtet werden kann.

Für die ersten sehr rasch verlaufenden Vorgänge bildet ja die Kapazität C einen Kurzschluss, so dass sie in erster Annäherung als nicht vorhanden betrachtet werden darf, weswegen der Verlauf der für die Windungsisolation massgebenden, sehr rasch verlaufenden Vorgänge ganz gleich wie bei der Schaltung nach Fig. 1 ist. Das Ersatzschema für den Schwingungskreis kann deshalb auch in diesem Fall durch Fig. 11 dargestellt werden, wobei $R = 0$ zu setzen ist. Während des Funkenspieles ladet sich die Kapazität C relativ langsam auf und bewirkt lediglich

[7]) Ueber die Bestimmung der Eingangskapazität vergl. z. B. K. B. Mc. Eachron: Cathode ray Osc. Study of the Operation of Choke Coils on Transmission Lines, GER Vol. 32, No. 12, p. 668.

nach einer gewissen Zeit gegenüber der ersten Schaltung etwas andere Spannungen an der Wicklung gegen Erde, ohne die eigentlichen Windungs- und Spulenbeanspruchungen zu beeinflussen.

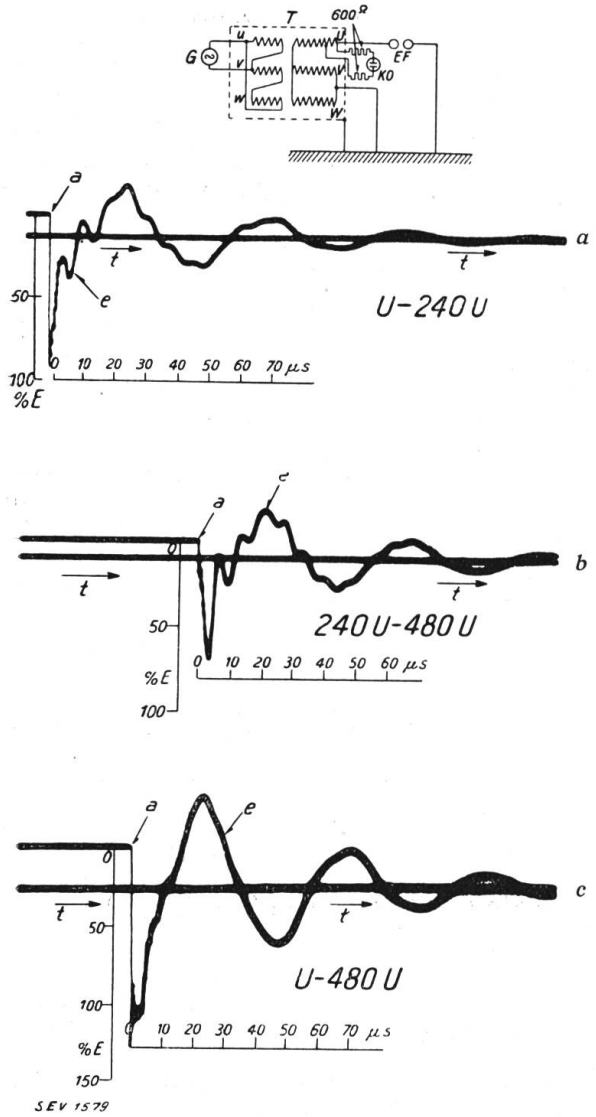


Fig. 10.
Wie Fig. 5. Kathodenstrahloszillogramm der Spannung über die erste ($U - 240\ U$) und zweite ($240\ U - 480\ U$) Spule und über die erste daraus gebildete Doppelspule ($U - 480\ U$). Anordnung entsprechend SEV-Methode, jedoch $R = 0$.

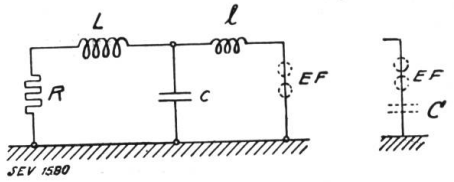


Fig. 11.
Sprungwellenprobe nach SEV-Methode. Ersatzschema für den Schwingungskreis.

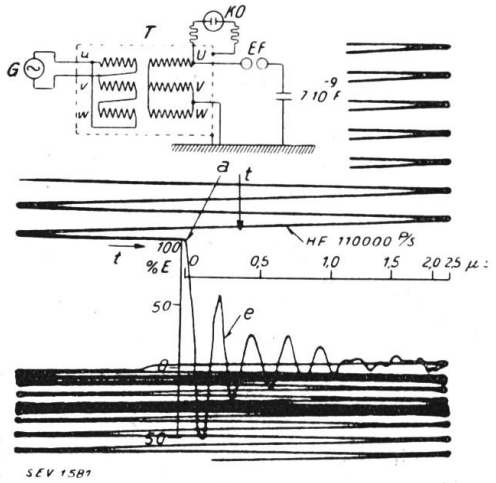


Fig. 12.
Kathodenstrahloszillogramm der Spannung zwischen Klemme U und Erde bei Sprungwellenprobe nach VDE-Methode. $C = 7 \cdot 10^{-9}$ F.
Anordnung nach Fig. 2 b.

3. Messungen mit der Schaltung nach Fig. 3.

Die Messreihen wurden unter Anwendung einer Kapazität $C = 0{,}007\ \mu$ F und verschieden grosser Widerstände $R = 300$ bis ∞ Ohm durchgeführt. Bei dieser Prüfanordnung hat die Transformatorwicklung, infolge des parallelgeschalteten Widerstandes R, vor dem Ueberschlag an der Funkenstrecke praktisch keine Spannung gegen Erde, weil die Versuchsspannung an der Kapazität C liegt. Im Augenblick des Ansprechens der Erregerfunkenstrecke wird die Spannung des aufgeladenen Kondensators C plötzlich an den Transformator gelegt; da der Kondensator aus dem schon für Schaltung 2 erwähnten Grund wiederum einen Kurzschluss für die massgebenden Hochfrequenzschwingungen bildet, ist auch die Sprungwellenbeanspruchung der Windungsisolation die gleiche wie in den beiden bereits besprochenen Anordnungen. Der einzige Unterschied besteht hier darin, dass die Spannung am Wicklungsanfang plötzlich von 0 auf den Wert der Prüfspannung steigt, statt von

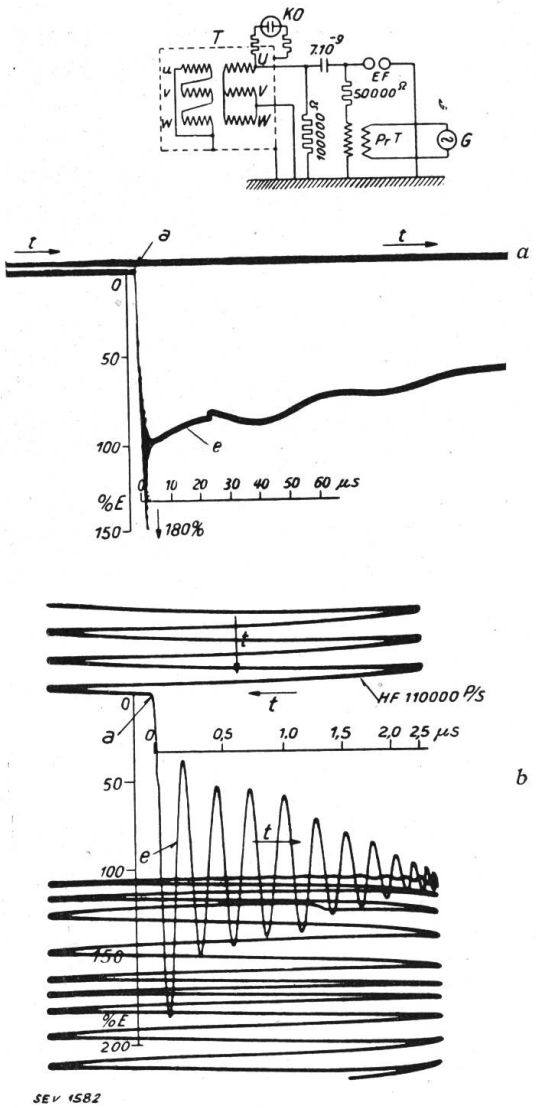
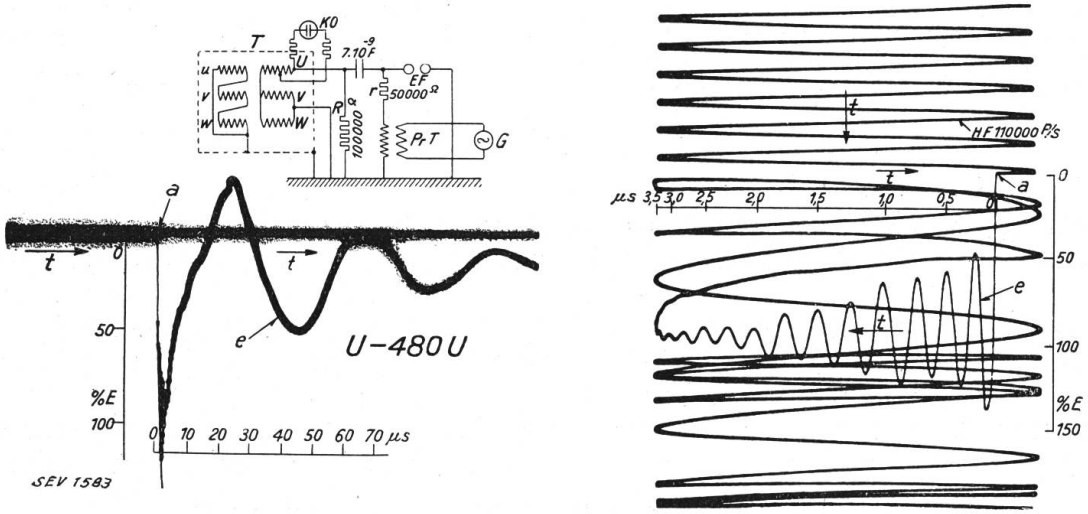


Fig. 13.
Kathodenstrahloszillogramm der Spannung zwischen Klemme U und Erde bei Stossprüfung nach Fig. 3.
Ueberschwingen der Klemmenspannung bis 180% E.
$C = 7 \cdot 10^{-9}$ F, $R = 100\,000$ Ohm, $r = 50\,000$ Ohm.
$Pr.T$ = Prüftransformator. Hochfrequenzschwingung mit $f = 4{,}2 \cdot 10^6$ Per/s.

diesem Wert auf 0 herunter zu sinken. Bei den Prüfanordnungen nach Fig. 1 und 2 erzeugt man eine Entladewelle, hingegen bei der Schaltung nach Fig. 3 eine Ladewelle, wodurch die Beanspruchung gegen Erde am Wicklungsanfang wegen des Ueberschwingens bzw. der Wellenreflexion theoretisch bis auf den doppelten, praktisch bis auf den 1,8-fachen Wert erhöht wird, die Spannungen zwischen Windungen und Lagen jedoch unbeeinflusst bleiben. Bei Entladewellen tritt ein Ueberschwingen ebenfalls auf, jedoch schwingt die Wicklung ins Negative aus, so dass gegen Erde keine Ueberbeanspruchung stattfindet.

In Fig. 13 bis 17 sind einige Kathodenstrahloszillogramme der Spannungen gegen Erde, sowie des Spannungsverlaufes zwischen Windungen und Spulen dargestellt. Die Aufnahmen 13 *a* und *b* zeigen die Ladewelle und ihr Ueberschwingen, beim Anschluss des Kathodenstrahloszillographen zwischen der Klemme U und Erde. Die Hochfrequenzschwingung weist auch hier eine Frequenz von $4{,}2 \cdot 10^6$ Per/s auf. Die Fig. 14 und 15 geben die Spannungsbeanspruchung der ersten und der letzten Doppelspulen der Säule U und die Oszillogramme 16 und 17 die Beanspruchung der ersten Windung ($U - 1\ U$) bzw. der ersten 10 Windungen ($U - 10\ U$) wieder. Diese Aufnahmen zeigen deutlich, dass auch bei der Schaltanordnung nach Fig. 3, 4 bis 10 und 12 die gleichen Erscheinungen auftreten wie in den Oszillogrammen. Die Eingangsschwingungen weisen gleich grosse Frequenz wie bei den andern Schaltanordnungen auf. Auch hier kann das Ersatzschema entsprechend der Fig. 11 dargestellt werden. Wegen der Span-



a Fig. 14. *b*
Kathodenstrahloszillogramm der Spannung über die 1. Doppelspule ($U - 480\ U$) bei Prüfung nach Schaltung Fig. 3
$R = 100\,000$ Ohm, $r = 50\,000$ Ohm, $C = 7 \cdot 10^{-9}$ F.

nung, welche an den Klemmen des Kondensators vor dem Funkenüberschlag herrscht, hat die Hochfrequenzschwingung in der Spannung der Eingangsklemme gegen Erde als Null-Linie nicht das Erdpotential, sondern die zunächst konstante Kondensatorspannung. Der Kondensator entladet sich verhältnismässig langsam über die Funkenstrecke, den Widerstand R und die Transformatorwicklung. Der Hochfrequenzvorgang ist etwas weniger gedämpft, wahrscheinlich infolge der unvermeidlichen kleinen Unterschiede in der Messanordnung. Dieser Einfluss hätte übrigens ebensogut in der anderen Richtung wirken können.

Die Schwingungen niedriger Frequenz treten hier in gleicher Weise wie bei den andern Schaltungen auf. Es sei noch hinzugefügt, dass die dämpfende Wirkung des Widerstandes R, bis zu ziemlich niedrigen Werten desselben, vernachlässigbar ist.

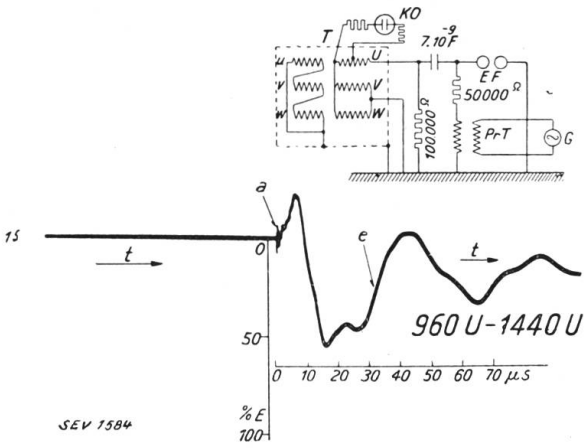


Fig. 15.
Wie Fig. 14. Spannung über die letzte Doppelspule (960 U – 1440 U).

In den Fig. 18 und 19 sind die Spannungsbeanspruchungen verschiedener Windungen und Spulen oder Teilspulen nach der Auswertung von 350 Kathodenstrahloszillogrammen, in Form von Kurven für die verschiedenen Prüfmethoden 1 bis 3 wiedergegeben[8]). Die Tabelle I enthält ausserdem die wichtigsten Ergebnisse der drei vergleichenden Messungen.

Wie ersichtlich, sind alle drei Schaltungen, was die Windungs- und Spulenbeanspruchung anbelangt, bei gleicher Prüfspannung gleichwertig. Nur die Anordnung der Anlage kann event. die Hochfrequenzschwingungen beeinflussen.

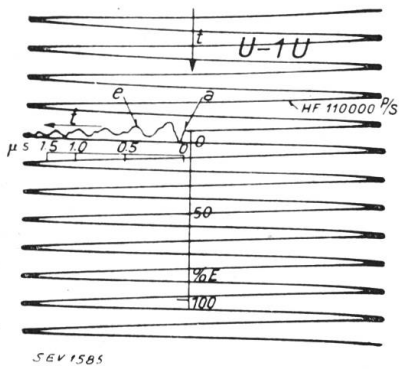


Fig. 16.
Wie Fig. 14. Spannung über die 1. Windung U–1 U.

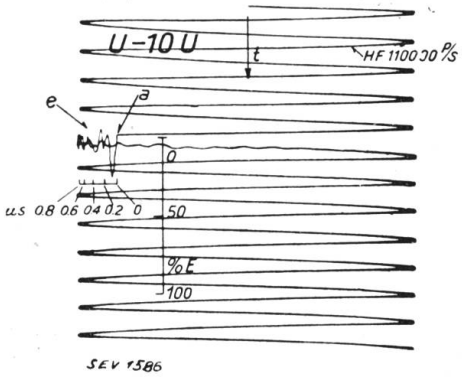


Fig. 17.
Wie Fig. 14. Spannung über die ersten 10 Windungen U – 10 U.

Der Nachteil einer Prüfmethode wie diejenige nach Fig. 3 besteht darin, dass der Transformator infolge der Ladewellen meistens über die Schaltspannung überschwingen wird, wodurch event. unzulässig hohe Spannungen gegen das Eisengestell bzw. Erde auftreten können.

Im übrigen sind die steilsten Wellen, welche im Betrieb vorkommen, Entlade- und nicht Ladewellen. Die in der letzten Zeit in den Höchstspannungsnetzen (220 kV) aufgenommenen Kathodenstrahloszillogramme der Ladewellen bei Gewittern zeigen als höchste Wellensteilheit ca. 300 kV/μs[9]). Bei Sprungwellenprüfung mit Entlade-

[8]) Bei der Aufnahme und Auswertung der Kathodenstrahloszillogramme war uns Herr Dipl.-Ing. Martinelli behilflich, wofür ihm an dieser Stelle gedankt sei.

[9]) Vergl. J. H. Cox, Actual Lighthing Surges Recorded, El. World, Bd. 94, 1929, S. 776.

wellen bekommt man z. B. für die Windungsbeanspruchung eines 220 kV-Transformators einen Spannungsgradienten von 1850 kV/μs, wobei die Erregerfunkenstrecke wie üblich auf 1,3 U_n eingestellt angenommen wurde.

Die Aenderung der Transformatorgrösse bzw. -Type kann natürlich im allgemeinen einen nicht zu unterschätzenden Einfluss auf die Art und die Grösse der Wicklungsbeanspruchung durch Sprungwellen ausüben. Die Vorgänge bleiben jedoch

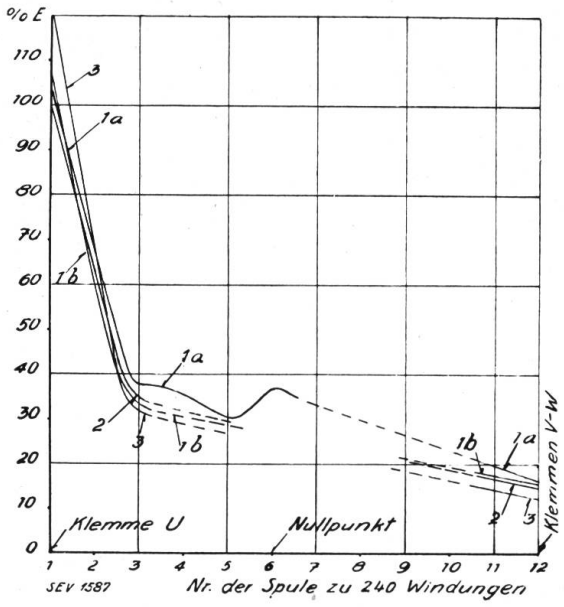


Fig. 18.
3 Phasen-Transformator, 60 kVA, 11 kV. Verteilung der Spulenbeanspruchungen über die Wicklungssäule bei verschiedenen Prüfanordnungen. Nach Auswertung von 350 Kathodenstrahloszillogrammen.
1 a = Schaltung nach Fig. 1 b, R = 40 000 Ohm
1 b = Schaltung nach Fig. 1 b, R = 0
2 = Schaltung nach Fig. 2 b, C = 7 · 10-9 F
3 = Schaltung nach Fig. 3, C = 7 · 10-9 F
R = 100 000 Ohm

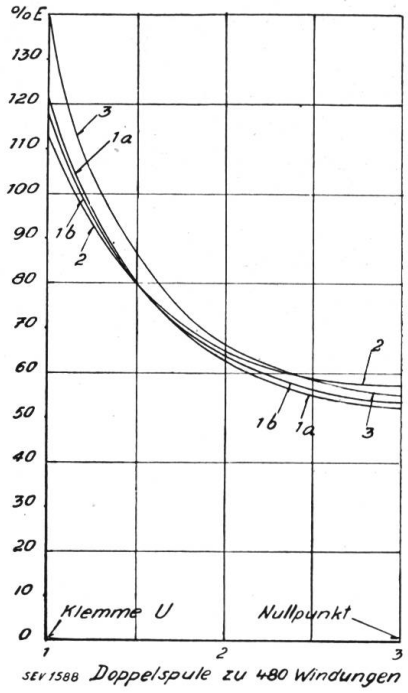


Fig. 19.
3 Phasen-Transformator, 60 kVA, 11 kV. Doppelspulenbeanspruchung bei verschiedenen Prüfmethoden.
1 a = Schaltung nach Fig. 1 b, R = 40 000 Ohm
1 b = Schaltung nach Fig. 1 b, R = 0
2 = Schaltung nach Fig. 2 b, C = 7 · 10-9 F
3 = Schaltung nach Fig. 3, C = 7 · 10-9 F
R = 100 000 Ohm

bei den drei untersuchten Versuchsschaltungen prinzipiell die gleichen, da es dabei immer auf die Zusammenwirkung von gleichen Kapazitäten, Induktivitäten und Widerständen, d. h. auf den gleichen Schwingungskreis, ankommt und weil der die Sprungwelle einleitende Spannungsstoss bei allen Schaltanordnungen, physikalisch betrachtet, identisch ist. Vergleichsmessungen an anderen Transformatoren würden zweifellos zu den ähnlichen Messergebnissen und *jedenfalls zu den gleichen Schlussfolgerungen führen.* Die Frequenz der Schwingungen ist immer so hoch, dass die Resonanz mit der Eigenfrequenz der Transformatorenwicklungen ausgeschlossen ist. Die Annahme von Ledoux (vgl. RGE vom 3. 12. 1927, S. 942), dass bestimmte Transformatoren durch Resonanzschwingungen bei Sprungwellenprobe viel schärfer beansprucht werden als die anderen, scheint in keiner Weise begründet zu sein. Die Erfahrung bestätigt im übrigen diese Feststellung. Einige Messwerte über Untersuchungen an einem grösseren Transformator seien noch im folgenden wiedergegeben.

III. Messungen an einem Dreiphasen-Transformator von 6000 kVA 57000/5400 V.

Bei diesen Versuchen wurde mit Kugelfunkenstrecke die Spulenbeanspruchung bei Sprungwellenprobe unter Benützung der Schaltanordnungen nach Fig. 1 und 2 gemessen. Der Transformator besitzt einfach-konzentrische Zylinderwirkung. Die

Messungen wurden an der Oberspannungswicklung durchgeführt, welche pro Säule 43 Spulen mit total 1160 Windungen hat. Die Halbspulen 1 und 43 besitzen je 12 Windungen, die Doppelspulen 2 bis 42 je 26 oder 28 Windungen.

Die gemessenen Spannungen sind in Fig. 20 wiedergegeben; Kurve 1 wurde bei Schaltung nach Fig. 1 aufgenommen mit einem Widerstand $R = 70\,000$ Ohm, die Kurven 2*a* und 2*b* unter Anwendung der Schaltung nach Fig. 2*a* bei ungeerdetem resp. geerdetem Nullpunkt der drei Kondensatoren, deren Kapazität $C = 0{,}01\,\mu F$ pro Phase beträgt. Die Kurven 3*a* und 3*b* wurden bei Schaltanordnung nach Fig. 21 mit einer Kapazität $C = 0{,}01\,\mu F$ aufgenommen, wobei die erste ohne, die zweite mit geerdeter Klemme des Transformators, wie dies in Fig. 21 punktiert angedeutet ist. Diese Anordnung Fig. 21 entspricht der Schaltung nach Fig. 2*b*. Die Kurve 4 stellt die Beanspruchung der Spulen bei Erdschluss an den Transformatorklemmen nach Schaltung Fig. 22 dar, bei welcher der Transformator nicht geerdet, sondern betriebsmässig an einer 11 km langen Freileitung angeschlossen ist. Bei dieser Anordnung wurde die Hochspannungswicklung des Transformators samt der angeschlossenen Freileitung mittels einer am Nullpunkt angelegten Fremdspannung bis zum Ueberschlag an der Funkenstrecke gebracht. Die Entladewellen pflanzen sich von der Ueberschlagsstelle in beiden Richtungen fort, so dass nach der Reflexion am isolierten Ende der Freileitung eine rücklaufende Welle mit negativem Vorzeichen zu der Funkenstrecke zurückkehrt und das Ansprechen der Funkenstrecke beeinflussen kann. Bemerkenswert ist es, dass die Messung der Spulenbeanspruchung bei dieser Anordnung (Kurve Nr. 4) verhältnismässig tiefliegende Werte ergibt.

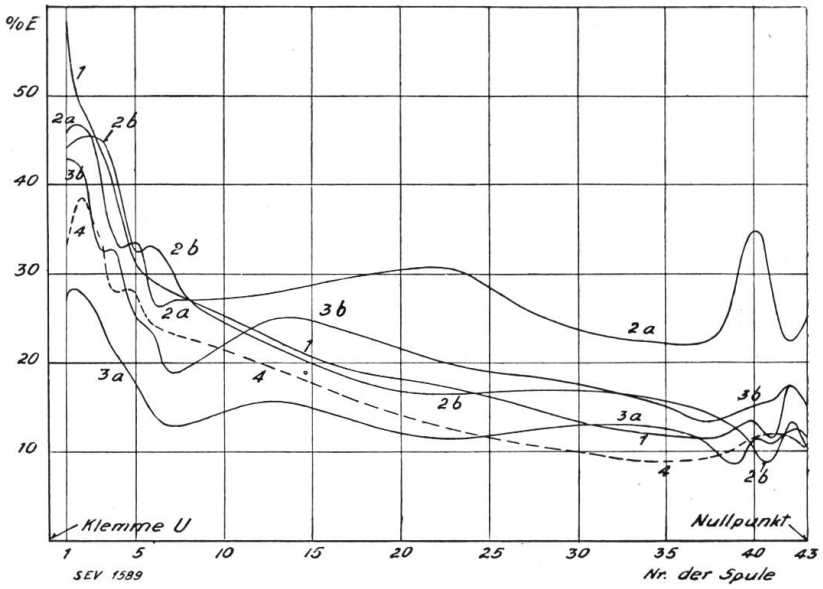


Fig. 20.
3 Phasen-Transformator, 6000 kVA, 45 kV. Spulenbeanspruchung bei verschiedenen Prüfmethoden.

1 = Schaltung nach Fig. 1 b
2a = Schaltung nach Fig. 2 b, Nullpunkt der 3 Kondensatoren isoliert
2b = Schaltung nach Fig. 2 b, Nullpunpt der 3 Kondensatoren geerdet
3a = Schaltung nach Fig. 21, Klemme *W* isoliert
3b = Schaltung nach Fig. 21, Klemme *W* geerdet
4 = Schaltung nach Fig. 22, Erdschlussversuch

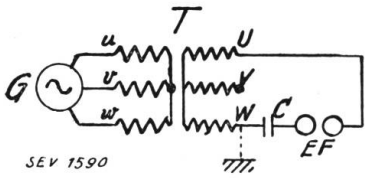


Fig. 21.
Anordnung zur Sprungwellenprobe nach VDE-Methode.

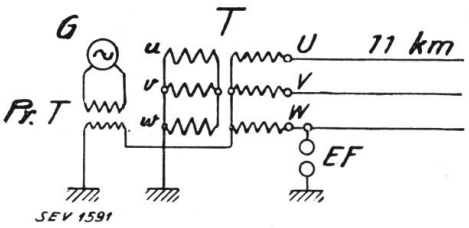


Fig. 22.
Erdschlussversuch mit 3 Phasen-Transformator, 6000 kVA, angeschlossen an eine 11 km lange Freileitung. *Pr.T* = Prüftransformator.

Die Spulenspannungen einer Phase sind vermutlich bei der Schaltung nach Fig. 2*a*, Kurven 2*a*, 2*b* der Fig. 20 durch die Schwingungen der anderen Phasen

beeinflusst. Der Unterschied zwischen den Kurven ist wahrscheinlich hier auch teilweise durch die bei den verschiedenen Schaltungen nicht genau gleiche Leitungsführung zu erklären. Es ist auch möglich, dass bei einem andern Transformator die Verhältnisse umgekehrt gewesen wären.

Die nähere Betrachtung der aufgenommenen Kurvenschar führt zu folgenden Schlüssen: Mit Ausnahme der Kurve 3*a* zeigen sämtliche Messwerte am Wicklungsanfang einen sehr ähnlichen Verlauf, wobei die höchste Beanspruchung (58 % von *E*) an der ersten Spule bei Anwendung der Schaltanordnung nach Fig. 1 festgestellt wurde. Gegen die Wicklungsmitte hebt sich die Kurve 2*a* ab, während die Kurven 1, 2*b* und 3*b* in ihrem Verlauf sehr nahe beieinander bleiben. Eine Reflexionserscheinung am Nullpunkt bewirkt bei Anordnung nach Fig. 2*a* eine Erhöhung der Spulenbeanspruchung in der Gegend des Nullpunktes.

Diese Feststellungen sind somit im Einklang mit den oben angeführten Messungen am 60 kVA-Transformator und zeigen, dass die Beanspruchung am Wicklungsanfang bei Sprungwellenprobe durch die Art der Versuchsanordnung praktisch nicht beeinflusst wird.

Zusammenfassend kann somit gesagt werden, dass *die Prinzipschaltungen nach Fig. 1, 2 und 3, was die Beanspruchungen der Windungs- und Lagenisolation anbetrifft, als gleichwertig bezeichnet werden müssen. Die Grösse des Widerstandes R in der Anordnung nach Fig. 1 hat auf die Spulenspannungen praktisch keinen Einfluss.* Die ungeerdeten Schaltungen nach Fig. 2*a* und 21 bringen gegenüber den geerdeten gewisse Unterschiede in den Beanspruchungen mit sich, welche durch verschiedene Leitungsanordnungen einerseits und andere Potentialverteilung an der Wicklung vor dem Ueberschlag anderseits, bedingt werden können. *Was die Beanspruchung der Isolation gegen Erde anbelangt, so kann sie bei der Schaltanordnung nach Fig. 3 um 1,8 mal höhere Werte erreichen, gleiche Erregerspannung vorausgesetzt, was bei der Sprungwellenprüfung als unerwünscht bezeichnet werden muss.*

IV. Die Zweckmässigkeit der Sprungwellenprobe.

In der Fachliteratur wurde wiederholt die Frage der Zweckmässigkeit der Sprungwellenprobe gemäss den SEV- oder VDE-Vorschriften mit 1,3 bzw. 1,1facher Nennspannung aufgeworfen und die angewandten Schaltanordnungen sowie die Höhe der Prüfspannung besprochen [10]). Hie und da wurde dabei auch die Meinung vertreten, dass die Prüfspannung vergrössert werden sollte, wenn man den im Betrieb und ganz besonders bei Gewittern vorkommenden Beanspruchungen gerecht sein will.

Die im oben erwähnten Aufsatz von Montsinger und Peters angeführten vergleichenden Messungen sollten ausserdem die geeignetste Schaltungsart zutage bringen, obwohl die Verfasser stets nur die totale Spannung vom Wicklungsanfang bis zum jeweils angezapften Wicklungspunkt anstelle der Windungs-, Lagen- oder Spulenspannung, mit Funkenstrecke gemessen haben.

Es wurde bereits öfters darauf hingewiesen [11]), dass bei Vorgängen in Transformatoren, welche durch Sprungwellen ausgelöst werden, die Spannungen an verschiedenen Teilen der Wicklung nicht nur ihrer Phase, sondern auch ihrer Frequenz nach verschieden sind. Bei Bildung ihrer Summe können sie sich wegen verschiedenen Vorzeichen gegenseitig aufheben. Diese Tatsache kann z. B. sehr schön aus den Zahlen der Tabelle I abgeleitet werden: Zwischen Anfang und der 10. Windung ($U - 10\ U$) hat man 20,8 %, zwischen 10. und 20. Windung 16,8 %

[10]) Bull. Soc. Franc. des Electr., 1924, T. IV, S. 877 bis 904; 1925, T. V, S. 1061 bis 1087; 1926, T. VI, S. 1269, 1273 bis 1276; 1927, T. VII, S. 70 bis 88. El. World 1929, S. 1275. Bull. SEV 1930, No. 3, S. 99, 106, 108.

[11]) Vergl. z. B. Bull. Soc. Franc. des Electr. 1925, T. V, S. 1086. Rogowski: Sprungwelle, Spule und Kathodenstrahloszillograph, Arbeiten aus dem El. tech. Institut Aachen, 1928, S. 73. Jacobs: Spulen, Wanderwellen und Kathodenstrahloszillograph. Arbeiten aus dem El. tech. Inst. Aachen, 1928, S. 201. A. f. E., Bd. 22, 1929, S. 257.

der Prüfspannung E gemessen. Die totale Spannung zwischen Anfang und der 20. Windung beträgt jedoch nur 26,4 % von E.

Auch die Messung der Spannung ($U-240\ U$) hat bei verschiedenen Anordnungen . . . . . 101, 103, 100, 120 % der Erregerspannung E ergeben. Bei gleichen Versuchen konnte zwischen den Anzapfungen 240 U und 480 U eine Spannung von . . . . . 67, 72, 75, 66 % von E gemessen werden. Ueber die erste Doppelspule ($U-480\ U$) wurde jedoch nur eine Spannung von . . . 121, 119, 113, 134 % von E festgestellt, die, wie ersichtlich, um . . . . . 28, 32, 35, 28 % kleiner ist als die Summe der beiden Teilspannungen. Die drei Oszillogramme 10*a*, *b*, *c* veranschaulichen z. B. den Verlauf der Summenspannung und der beiden Teilspannungen und zeigen, dass die letztern noch Schwingungen höherer Frequenz aufweisen. Diese haben in den Aufnahmen *a* und *b* verschiedene Phasenlage, so dass bei der Bildung der Summe (Bild 10*c*) sie sich grösstenteils aufheben. Die Messung der totalen Spannungen kann aus diesen Gründen keinen Aufschluss über die lokalen Beanspruchungen geben. Nur eine direkte Messung der Spannung zwischen den in Betracht gezogenen Punkten erlaubt, einwandfreie Resultate zu gewinnen.

Die von den gleichen Autoren ausgesprochene Behauptung über die Abnahme der Windungsbeanspruchung bei zunehmendem Widerstand R in der Prüfanordnung nach Fig. 1 steht im Widerspruch mit den in den Kapiteln II und III angeführten Messergebnissen. Was die Höhe der Prüfspannung anbelangt, so stellen sich Montsinger und Peters auf den Standpunkt, dass die in Europa vorgeschriebenen Werte gegenüber denjenigen, die in Hochspannungen auftreten können, unzulänglich sind. Die Versuchsanordnung nach Fig. 3 soll es ermöglichen, die Wicklungsisolation unter Anwendung bedeutend schärferer Prüfspannungen zu untersuchen. Das Ueberschwingen der Wicklung auf 1,8-fachen Wert der Prüfspannung, wie es in unsern Aufnahmen deutlich zum Vorschein kommt, wäre dabei zu berücksichtigen. Weil aber, wie erwähnt, eine solche Prüfung für die Isolation schädliche Schwächung der am meisten ausgesetzten Teile zur Folge haben kann, wird unserer Meinung nach mit Recht durch die Autoren empfohlen, diese Methode nur für Studienzwecke zu verwenden.

Im übrigen sind die im Betriebe in einer Wicklung auftretenden Beanspruchungen ihrer Gattung nach so mannigfaltig, dass auch die Anwendung einer Sprungwellenprobe mit höherer Prüfspannung keine Gewähr dafür bieten könnte, dass ein Transformator, welcher die Probe mit bestem Erfolg bestanden hat, auch sämtlichen Ueberspannungen im Betriebe, deren Höhe noch zu wenig erforscht ist, ohne Störungen standhalten wird. Beispielsweise können bei Resonanz mit Eigenfrequenz der Wicklung theoretisch ganz beträchtliche Ueberspannungen im Innern der Wickungssäule auftreten [12]), welche die Windungsisolation und besonders die Isolation gegen Erde einer grundsätzlich verschiedenen Beanspruchungsart aussetzen. Bemerkenswert ist daher die Tatsache, dass trotz diesen Ueberspannungen, die theoretisch ein Mehrfaches der verketteten Spannung erreichen können, die Anwendung der üblichen Spannungsprüfung mit Betriebsfrequenz nach der Formel $2\,U + 1000$ V gute Betriebserfahrungen zeitigt.

Einer Verschärfung der Sprungwellenprobe stehen auch einige Schwierigkeiten im Wege. Die Wahl der Höhe sowie der Dauer der Prüfung muss äusserst sorgfältig getroffen werden, damit die untersuchte Isolation nicht eine schädliche Schwächung durch die Probe erleidet. Es wäre zunächst zu untersuchen, welche Beziehung zwischen der Durchschlagsspannung fester und flüssiger Isolierstoffe und der Beanspruchungsdauer bestehe, da bekanntlich bei kurzdauernden Spannungsstössen die elektrische Festigkeit dieser Stoffe grössere Werte aufweist.

[12]) Vergl. z. B. RGE 1927, T. XXI, S. 853.

In einigen Veröffentlichungen ist die Abhängigkeit der Durchschlagsspannung von der Beanspruchungsdauer in Luft[13]) und in einigen flüssigen und festen Dielektrika[14]) unter Anwendung verschiedener Prüfmethoden bereits untersucht worden.

Auch die Abhängigkeit der Durchschlagsspannung von der Frequenz der Schwingungen ist für Glimmer, Glas und Porzellan behandelt worden[15]). Aus diesen Untersuchungen, die in ihrer Mehrzahl an sehr dünnen Schichten und dazu nicht an den in der Praxis meistens vorkommenden zusammengesetzten (z. B. flüssigen und festen) Isolatoren durchgeführt wurden, können wohl gewisse Schlussfolgerungen gezogen werden; ihr Gültigkeitsbereich wird jedoch bis zur Ausdehnung der Forschung auf die in der Praxis üblichen Verhältnisse sehr beschränkt bleiben. Diese weitere Erforschung soll ermöglichen, die zweckmässige Zahl und die Höhe der Spannungsstösse festzulegen. Die Durchführung der Sprungwellenprobe könnte z. B. unter Anwendung einer Anordnung nach Fig. 23 oder einer ähnlichen Schaltung erfolgen, da hierdurch die Spannungsgrösse (Entladewelle) in beliebiger Zeitfolge durch Vorschaltung geeigneter Widerstände R im Ladekreis des Kondensators C bequem erzeugt werden können. Durch die Speisung mit dem Generator G_1 sollen die Windungsschlüsse ausgebrannt und erkenntlich gemacht werden. In dieser Anordnung wurde beispielsweise ein 10 kV-Transformator mit einer Spannung gleich 3 U_n bei 20 Stössen (in 5 s) geprüft, ohne dass dabei Windungsdefekte auftraten. Diese Schaltung stellt gegenüber der Prüfanordnung nach Fig. 1 eine wesentliche Komplikation des Versuchsverfahrens dar, da das Glühventil für den doppelten Wert der Prüfungsspannung isoliert sein muss. Ihre Einführung als allgemeine Kontrollmethode sämtlicher Transformatoren ist jedenfalls durch die heute vorliegenden Betriebsergebnisse auch nicht gerechtfertigt.

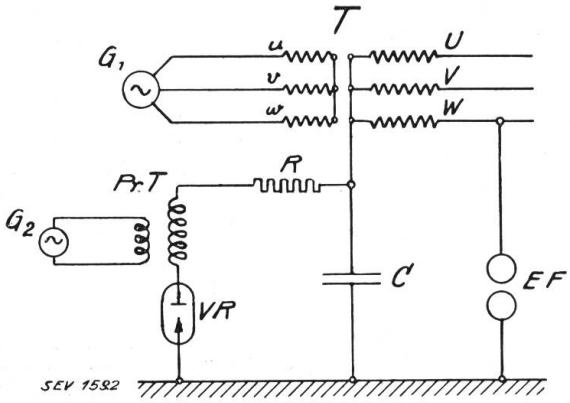


Fig. 23.
Anordnung zur Prüfung mit Entladewellen hoher Spannung. VR = Ventilrohr.

Zum Schluss soll noch die Frage der praktischen Bedeutung der Sprungwellenprobe nach bestehenden Vorschriften gestreift werden. Die Zweckmässigkeit einer Kontrollmethode kann im allgemeinen nur an Hand einer umfangreichen und genauen Statistik beurteilt werden. In den Werkstätten der A.-G. Brown, Boveri & Cie. in Baden wird eine solche Fehlerstatistik über auftretende Isolationsfehler sorgfältig geführt. Es kamen seit April 1923 bis Ende März 1930 bei Isolationsprüfungen von rund 8000 Transformatoren 19 Fehler zum Vorschein, welche bei der Anwendung der Sprungwellenprobe als typische Windungsschlüsse aufgedeckt wurden.

13) O. Burawoy: Archiv für Elektrotechnik, Bd. 16, S. 215.
J. J. Torok & W. Ramberg: Impulse Flashover of Insulators J. A. I. E. E. 1928, S. 864.

14) Sorge: Archiv für Elektrotechnik, Bd. 13, 1924, H. 3.
Toryama: Untersuchungen an Transformatorenöl, Bd. 19, 1927, H. 1.
R. Näher: Archiv für Elektrotechnik, Bd. 21, 1928, S. 169.
G. Güllner: Zum Durchschlag fester Isolatoren, Arbeiten aus dem Elektrotechn. Inst. Aachen, 1928, S. 135.
Nikuradze: Ueber Spitzenentladungen in Transf. Oelen A. f. E., Bd. XX. 1928, S. 403.
Dmitriew und Walther: Durchschlag von Papierisolation, A. f. E., Bd. 21, 1939, S. 488.
Jost: Die Durchschlagsfestigkeit einiger fester Isolierstoffe. A. f. E., Bd. 23, 1930, S. 305.
Inge & Walther: Durchschlag von festen Isolatoren in homog. und nicht homog. el. Feldern bei Beanspruchungen von langer und kurzer Dauer, A. f. E., Bd. XXII, 1929, S. 410.
Inge & Walther: Durchschlag von flüssigen Isolatoren, A. f. E. Bd. 23, 1930, S. 279.
C-L. Fortescue: Flashover Characteristics of Insulating Structures, El. Journal, Vol. 27, No. 4, p. 219.

15) Vergl. Inge und Walter: Durchschlag von festen Isolatoren bei Hochfrequenz, A. f. E., Bd. 21, 1928, S. 209.

Obschon diese Fehler bei kleineren Transformatoren bis 160 kVA Nennleistung aufgetreten sind, kann behauptet werden, dass manche Betriebsstörungen durch Anwendung sämtlicher Prüfungen nach SEV-Vorschriften vermieden wurden. Bemerkenswert ist ferner, dass die früher im Betriebe festgestellten Windungsschlüsse an den während der letzten 6 Jahre gebauten stationären Leistungstransformatoren mit einer Totalleistung von 6 000 000 kVA nie mehr beobachtet wurden.

Die Erkenntnis der Vorgänge bei der Sprungwellenprobe bietet dem Konstrukteur ein wertvolles Kontrollmittel fertiger Fabrikate, dessen Anwendung grosse Dienste geleistet hat und noch leisten wird, unabhängig davon, ob man diese Prüfmethode in den Vorschriften beibehalten oder fallen lassen wird.

Technische Mitteilungen. – Communications de nature technique.

Stand der Bauarbeiten am Grimselwerk der Kraftwerke Oberhasli A.-G. [1]).

621.311.21(494)

Die Arbeiten an den beiden Grimsel-Staumauern, der Spitallammsperre (Inhalt 340000 m³, Höhe über Fundamentsohle 114 m, Kronenlänge 248 m) und der Seeufereggsperre (Inhalt 66 000 m³, Höhe 40 m, Kronenlänge 290 m) sind soweit fortgeschritten, dass mit dem Stau vor einiger Zeit begonnen werden konnte. Der neue See (Nutzinhalt bei Fertigstellung $100 \cdot 10^6$ m³ reicht bereits bis an die Zunge des Aaregletschers. Das alte Grimselhospiz ist vollständig im Wasser verschwunden. Der Stau steht gegenwärtig auf Kote 1892, d. h. 20 m unter dem Maximalstau. Der See enthält bereits ca. $55 \cdot 10^6$ m³, mit welchen rund $60 \cdot 10^6$ kWh erzeugt werden können.

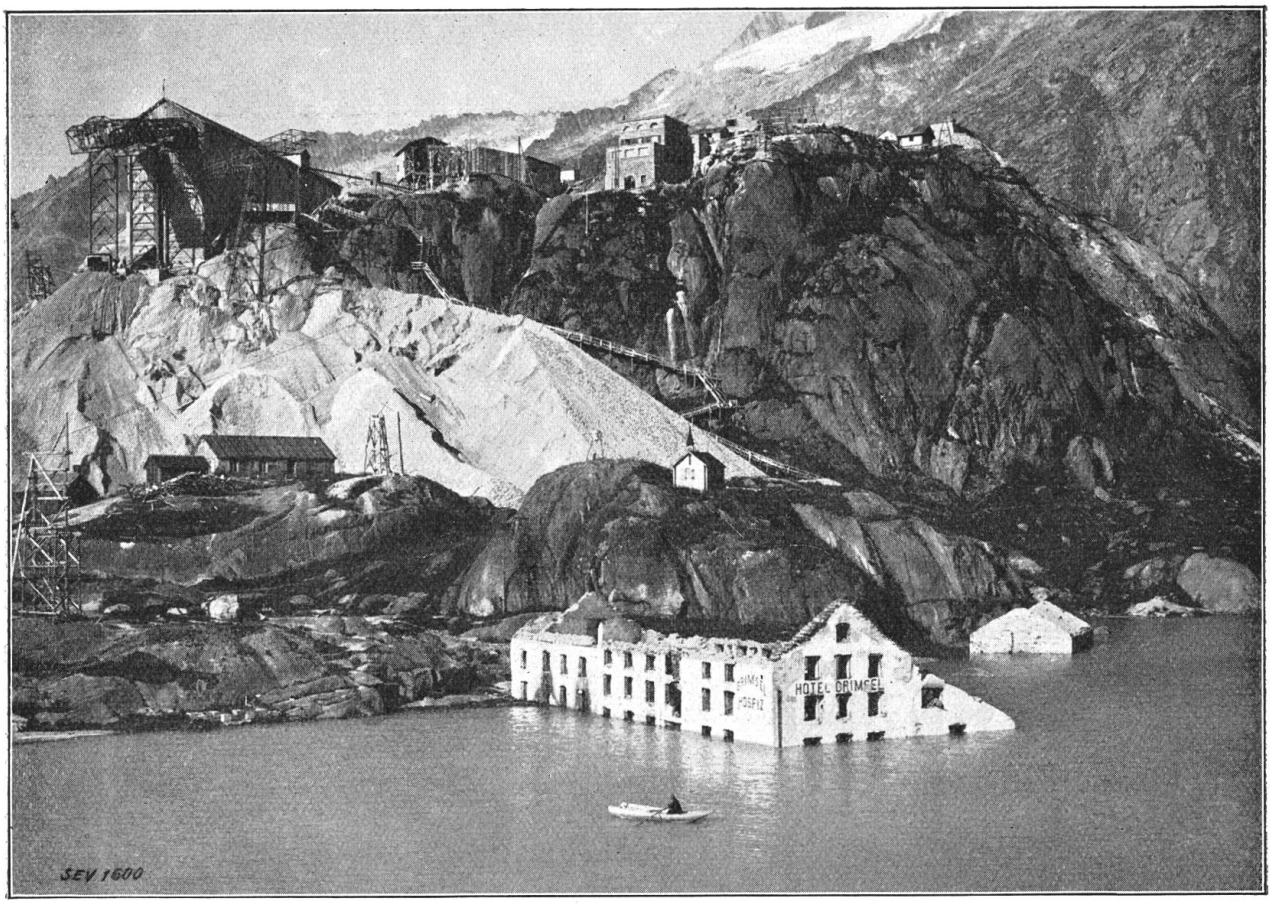


Fig. 1. Stand des grossen Grimselsees am 2. August 1930.

Am Gelmersee, der gewissermassen das Wasserschloss für die Anlage Handeck bildet, wurde die Staumauer von ca. 88 000 m³ bei einer Kronenlänge von 370 m bekanntlich schon letztes Jahr beendigt. Das Maschinenhaus Handeck wurde im Rohbau ebenfalls im vergangenen Jahre fertiggestellt und mit drei der vorgesehenen vier Maschinen von je 22 000 kW und

[1]) S. Bull. SEV 1928, Nr. 8, S. 258, und Nr. 22, S. 740; 1929, Nr. 6, S. 179, und Nr. 18, S. 643.