

Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins
Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke
Band: 48 (1957)
Heft: 4

Artikel: Darstellung der Stossspannungsversuche im Deutschen Museum in München
Autor: Heindl, H.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1060591>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. 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. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

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. [Voir Informations légales.](#)

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. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 15.05.2025

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

vorzusehen. Damit erhalten wir für derartige Kohle-Schichtwiderstände nur folgende 4 Klimagruppen 424, 425, 434 und 435, welche zur Deckung der überwiegenden Anzahl Ansprüche ausreichen und den Fabrikanten eine rationelle Fabrikation gestatten. Zudem ist natürlich kein Fabrikant gezwungen, sämtliche 4 Typen in sein Fabrikationsprogramm aufzunehmen, sondern kann — wenn es ihm zweckmässig erscheint — sich auf eine beschränkte Anzahl der gängigsten Typen oder sogar auf nur einen einzigen Typ einstellen und die Fabrikation der übrigen Typen einer anderen Firma überlassen. In ähnlicher Weise, wenn auch nicht immer so einfach, lassen sich die Klimagruppen auch für andere Materialien zusammenstellen.

E. Zusammenfassung

Das durch das Comité d'Etudes Nr. 40 der CEI geschaffene System zur Kennzeichnung der Klimafestigkeit elektrischer Materialien (insbesondere Bauelemente der Elektronik) durch Verwendung eines 3ziffrigen Codes gestattet dem Abnehmer eines Materials, die Qualität der Klimabeständigkeit zu beurteilen und zwischen Lieferanten verschiedener Länder in qualitativer Hinsicht Vergleiche zu ziehen. Das Grundsystem der Kennzeichnung kann ohne grosse Schwierigkeiten auch auf Materialien angewendet werden, für welche noch keine speziellen Regeln oder Vorschriften bestehen, sofern die Fabrikanten die den Prüfungen zu Grunde gelegten mechanischen oder elektrischen Wertgrenzen in den Katalogen oder dergleichen angeben. Das kombinierte System hingegen, das ein Maximum an Informationen über die Qualität des Materials bietet, muss wegen der Vielfalt seiner Interpretationsmöglichkeiten auf fertig ausgearbeitete Regeln oder Vorschriften beschränkt bleiben.

Der hohe Wert des geschaffenen Systems liegt in der Verkopplung zwischen Garantiedaten, international genormten Prüfmethode und Prüfanforderungen. Es ist zu hoffen, dass hiedurch die vom Kunden nicht überblickbare Individualität der Materialbezeichnung und der -prüfung langsam ein Ende nimmt; so sollte die für unzählige Mate-

rialien verwendete Bezeichnung «tropenfest» oder dergleichen aus den Materialprospekten und Inseraten verschwinden oder zum mindesten durch die konkreten auf genormten Prüfmethode basierenden Daten der Klimafestigkeit ergänzt werden.

Das Prüfsystem ist so aufgebaut, dass die Betriebssicherheit des Materials, sofern es klimatisch nicht überbeansprucht wird, annähernd konstant und von den Garantiedaten der Klimafestigkeit unabhängig bleibt. Wird hingegen eine Verbesserung der Betriebssicherheit gewünscht, so sind andere, hier nicht näher zur Diskussion stehende Massnahmen zu ergreifen wie z. B. Überdimensionierung der verwendeten Materialien gegenüber den vorgesehenen Belastungen.

Gegen die Verwendung eines Codesystems könnte der Einwand erhoben werden, dass zur Entschlüsselung des Codes ein Schlüssel konsultiert werden muss, welcher nicht immer sofort greifbar ist. Es wurde bereits an verschiedenen Stellen von führenden Persönlichkeiten der Industrie gefordert, eine Kurzbezeichnung sei derart auszuführen, dass sie ohne Schlüssel gelesen werden kann. Wegen der ausserordentlichen Komplexität der mit vorliegendem Code verbundenen Anforderungen lässt sich dieser Wunsch praktisch jedoch kaum realisieren. Zudem besteht die Forderung, dass die Kurzbezeichnung auf das Material neben den sonstigen Daten aufgedruckt wird, was insbesondere bei Miniaturbauelementen schon bei vorliegendem Code zum Teil erhebliche Schwierigkeiten bereiten dürfte.

Literatur

- [1] Ganz, E. und K. Michel: Die Berücksichtigung klimatischer Einflüsse bei der Planung und Konstruktion elektronischer Geräte. Bull. SEV Bd. 47(1956), Nr. 10, S. 441...458.
- [2] Commission Electrotechnique Internationale: Spécification pour condensateurs au papier pour courant continu. Publ. Nr. 80, 1956. Genève: Bureau Central de la CEI 1956.
- [3] Commission Electrotechnique Internationale: Essais fondamentaux climatiques et de robustesse mécanique des pièces détachées. Publ. Nr. 68, 1954. Genève: Bureau Central de la CEI 1954.
- [4] Ganz, E. und O. Wälchli: Schimmelpilze in elektronischen Apparaten. Bull. SEV Bd. 46(1955), Nr. 6, S. 233...239.

Adresse des Autors:

E. Ganz, Physikalisches Laboratorium der A.-G. Brown, Boveri & Cie., Baden (AG).

Darstellung der Stoßspannungsversuche im Deutschen Museum in München

Von H. Heindl, München

069.2(43-2.6) : 621.317.333.82

Als Abschluss der bisherigen Veröffentlichungen über die Ausgestaltung der Abteilung Starkstromtechnik im Deutschen Museum in München [1...20]¹⁾ wird nochmals über die Stoßversuche der Hochspannungsanlage berichtet, wobei vor allem auf die Stoßspannungstechnik eingegangen wird, die für einen technisch reiferen Besucherkreis gedacht ist. Ausgehend von der für das Deutsche Museum entwickelten Demonstration von Stoßwellen in der Zusammenarbeit zwischen einem Repetitionsstossgenerator und einem Kathodenstrahl-oszillographen werden nach einer kurzen Erläuterung des Messkreises die grundsätzlichen Oszillogramme der Stoßversuche am Blitzmodell gezeigt.

1. Allgemeines

Bei der Gestaltung des Vorführungsprogrammes der 1-MV-Stossanlage in der Abteilung Starkstromtechnik im Deutschen Museum wurde davon aus-

Pour terminer la série de publications au sujet de l'aménagement de la Section de la technique du courant fort au Deutsches Museum de Munich [1...20]¹⁾, l'auteur fait à nouveau un exposé des essais de chocs de l'installation à haute tension, en considérant toutefois ceux des essais qui sont destinés à un public mieux au courant de la technique. Partant de la démonstration d'ondes de choc, mise au point pour le Deutsches Museum, au moyen d'un générateur de chocs répétés et d'un oscillographe cathodique, il décrit brièvement le circuit de mesure, puis présente les oscillogrammes typiques des essais de chocs avec la maquette servant à démontrer les effets de la foudre.

gegangen, sowohl einen grossen Personenkreis mit weniger technischer Vorbildung durch einfache und klare Versuche anzusprechen, als auch darüber

¹⁾ siehe Literaturverzeichnis am Schluss der Arbeit.

hinaus technisch versierten Besuchern etwas zu bieten. Die Gedankengänge, die im einzelnen zur Auswahl des gesamten Versuchsprogrammes geführt haben, sollen hier nicht mehr erörtert werden; es sei hiezu auf frühere Veröffentlichungen [5; 6] verwiesen. Als Ergebnis der damaligen Überlegungen wurde der Aufbau eines «Blitzmodells» mit einer Kirche, einem Haus mit Brunnen, einer Hochspannungsfreileitung und einem 60-kV-Stützer gewählt und folgende Programmfolge festgelegt:

1. Einschlag in die gut geerdete Kirche.
2. Einschlag in die schlecht (über 40 Ω) geerdete Kirche mit einem weiteren Überschlag vom Kirchendach auf das daneben stehende gut geerdete Haus.
3. Einschlag in das gut geerdete Haus.
4. Einschlag in das schlecht geerdete Haus mit Überschlag auf den vor dem Haus befindlichen gut geerdeten Brunnen.
5. Einschlag in das schlecht geerdete Haus mit Überschlag auf die gut geerdete «Wasserleitung» innerhalb des Hauses mit anschliessendem Brand.
6. Einschlag in das gut geerdete Erdseil der Hochspannungsleitung.
7. Einschlag in das schlecht geerdete Erdseil der Hochspannungsleitung mit rückwärtigem Überschlag von der Masttraverse zu einem der drei Leiterseile.
8. Überschlag an einem 60-kV-Stützer.
9. Zerspalten eines Fichtenholzstabes von 20×20 mm² Querschnitt und 1 m Länge.
10. Verdampfen eines Konstantandrahtes von 0,15 mm Durchmesser.

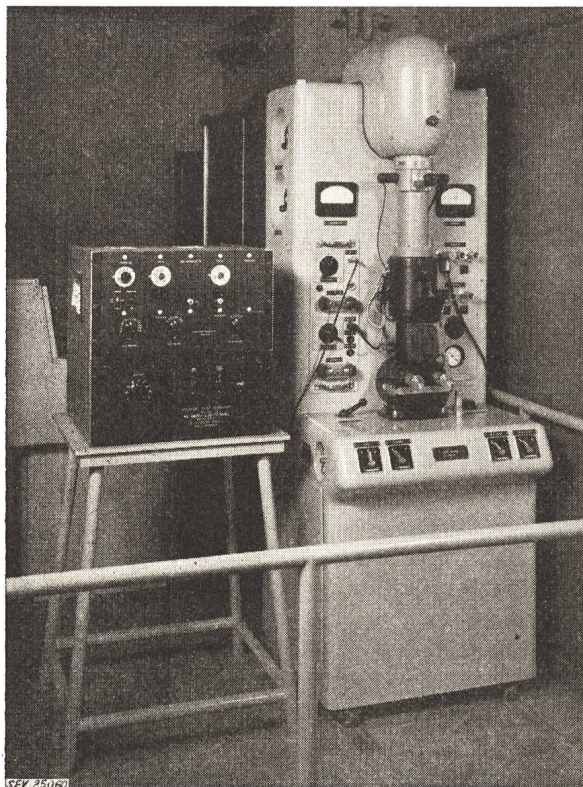


Fig. 1

Kathodenstrahloszillograph (Trüb, Täuber & Co. A.-G., Zürich) und Repetitionsstossgenerator (E. Haefely & Cie. A.-G., Basel)

Aus diesem Programm sollten jene Versuche der tieferen Einführung in die Hochspannungstechnik und insbesondere in die Stoßspannungstechnik dienen, die nach der eingehenden Demonstration

der Wirkung von guten und schlechten Erden bei Gebäuden die Auswirkung des Erdungsverhaltens an einer Freileitung zeigen. Vor allem aber sollte das bessere Verständnis für die gezeigten Stoßspannungsversuche durch das Vorführen der Spannungswellen ermöglicht werden. Es wurde hiezu, wie bereits früher erwähnt [6], der Hochspannungsanlage ein Kathodenstrahloszillograph mit kalter Kathode angegliedert.

Da nun das Erkennen von einmaligen Stoßvorgängen auf dem Leuchtschirm des Kathodenstrahl-Oszillographs (KO) für Ungeübte etwas schwierig ist, sollten «stehende Stosswellen», wie sie durch sich rasch wiederholende Vorgänge entstehen, die bei den Versuchen mit der 1-MV-Anlage zu erwartenden Formen und damit zugleich verschiedene Begriffe der Stoßspannungsmesstechnik, wie Stirn, Rücken und Scheitel erläutern. Um diese «stehenden Stosswellen» zu bekommen, wurde zum KO noch ein Repetitionsstossgenerator vorgesehen. Die Zusammenarbeit zwischen beiden Geräten wurde für das Deutsche Museum besonders entwickelt. Fig. 1 zeigt eine Aufnahme des KO und des Repetitionsstossgenerators, die neben der Hochspannungsanlage aufgebaut sind.

Nachfolgend soll zunächst auf diese Zusammenarbeit zwischen KO und Repetitionsstossgenerator eingegangen werden; daran anschliessend wird ein Überblick über den Aufbau des Messkreises bei den Aufnahmen der Versuchoszillogramme gegeben, und abschliessend werden verschiedene dieser Oszillogramme gezeigt.

2. Zusammenarbeit zwischen Repetitionsstossgenerator und Kathodenstrahloszillograph

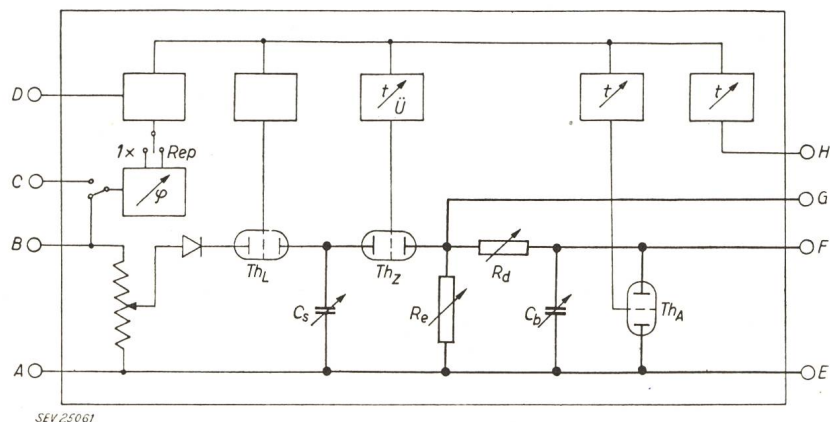
Der Aufbau und die Wirkungsweise eines Oszillographen mit kalter Kathode wird als bekannt vorausgesetzt, so dass auf Erläuterungen hiezu verzichtet werden kann. Dagegen soll vor der Beschreibung der Zusammenarbeit von KO und Repetitionsstossgenerator dessen Aufbau und Arbeitsweise dargelegt werden.

Dieser Generator, dessen Blockscheema in Fig. 2 dargestellt ist, stellt eine Stoßspannungsquelle dar, die im eigentlichen Stosskreis aufgebaut ist wie ein Hochspannungsgenerator, nämlich aus der Stosskapazität C_s , der Belastungskapazität $C_b = \frac{1}{10} C_s$, dem Dämpfungswiderstand R_d und dem Entladewiderstand R_e . Die Schaltfunkenstrecke ist durch ein im Einsatz steuerbares Thyatron Th_z ersetzt. Da alle diese Stosskreiselemente variabel sind, können somit die Stirnzeit und die Rückenhalfwertzeit in bestimmten Grenzen geändert werden, und zwar die Stirnzeit von 0,125 μ s bis 70 μ s und die Rückenhalfwertzeit von 6 μ s bis 100 μ s. Zur Erzeugung abgeschnittener Stosswellen ist dem Stosskreis ein weiteres Thyatron Th_A parallel geschaltet, wobei dessen Einsatz ebenfalls (unabhängig vom Zündthyatron) zu steuern ist. Die Änderung des Scheitelwertes der erzeugten Stosswelle wird durch verschiedene Einstellung der Ladespannung (maximal 500 V) erreicht. Während des Stossvorganges ist die Speisespannung durch das Ladethyatron Th_L abgeschaltet.

Die von diesem Stosskreis erzeugten Wellenformen stehen nun durch die Steuerbarkeit des Zünd-einsatzes der Thyatronen in verschiedenen zeitlichen Varianten zur Verfügung. Es können die Steuerimpulse im Takte der Netzfrequenz erzeugt

gegebenen Pfeile beziehen sich auf die Steuerimpulse.

Bei der Zusammenarbeit der beiden Geräte nach Variante a) hat es sich nun gezeigt, dass für ein exaktes Einsetzen der Zeitablenkung des KO ein



SEV 25061

werden oder im Takt einer getrennt zugeführten Steuerfrequenz (Eingang C), wobei in beiden Fällen noch die Phasenlage des Stosses zur Steuerfrequenz einstellbar ist. Daneben kann die Auslösung auch einmalig erfolgen, wobei die Abhängigkeit von der Phasenlage gewahrt bleibt. Weiterhin kann die Steuerung auch von fremd aufgedrückten Impulsen (Eingang D) abhängig gemacht werden. Nach der Festlegung der «Frequenz» des Hauptsteuerimpulses besteht die Möglichkeit, den Stoss-einsatzimpuls, den Abschneideeinsatzimpuls und den Einsatz eines getrennten Oszillographenimpulses (Ausgang H) gegenüber dem Hauptsteuerimpuls im Spielraum von 8 μ s bis 150 μ s zu verzögern. Damit kann eine nach beliebiger Zeit abgeschnittene, gegen die Auslösung des Aufnahmeoszillographen zeitlich einstellbare Stossquelle erzeugt werden. Es kann dadurch z. B. ein Verzögerungskabel in der Verbindungsleitung zu den Messplatten des Oszillographen entfallen.

Um ein vollständiges Bild über die Arbeitsmöglichkeiten des Generators zu geben, sei noch erwähnt, dass dieser mit seiner grössten Stosskapazität von 3,2 μ F zur Auslösung einer Hochspannungsstossanlage verwendet werden kann. Die Spannung wird dabei direkt am Zündthyatron abgenommen (Ausgang G). Durch die zeitlich einstellbare Auslösung kann auch hier eine Verzögerungsleitung zu den Messplatten entfallen.

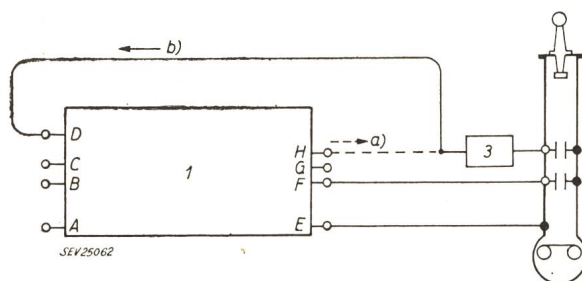
Auf Grund dieser kurz geschilderten Betriebsmöglichkeiten des Repetitionsstossgenerators ergeben sich für die Zusammenarbeit mit dem Kathodenstrahloszillographen folgende Varianten:

a) Der Generator wird einmalig oder repetierend ausgelöst. Der Oszillographenimpuls des Generators steuert die Auslösung des KO.

b) Der Generator wird durch einen vom KO gelieferten Steuerimpuls ausgelöst. Die Steuerimpulse werden vom KO beim Ansprechen der Zeitablenkung geliefert (einmalig oder repetierend).

Aus Fig. 3 sind die Schaltungen der beiden Varianten zu entnehmen, wobei die Bezeichnung der Generatoranschlüsse Fig. 2 entspricht. Die an-

kräftiger Spannungsschoss notwendig ist, der vom Generator nur bei einer sehr empfindlichen Einstellung durch den Oszillographenimpuls geliefert werden kann. Es stellen sich jedoch hierbei sehr leicht Fehlauslösungen bzw. nicht gleichmässig einsetzende Auslösungen ein, so dass für die Vorführung im Deutschen Museum ein leicht einstellbares und «robustes» Betriebsverhalten hiemit nicht zu erreichen war. Es hätte hierzu eines nunmehr ebenfalls zur Verfügung stehenden weiteren Auslösegerätes bedurft, das die relativ kleinen Spannungen des Oszillographenimpulses in kräftige Stösse verwandelt.



SEV 25062

Fig. 3

Schaltung: Repetitions-Stossgenerator mit Kathodenstrahl-Oszillograph

- 1 Repetitions-Stossgenerator; 2 Kathodenstrahl-Oszillograph;
3 Zeitablenkung; D Eingang Fremdimpuls; E Ausgang Erde;
F Ausgang Stossquelle; H Ausgang Oszillographimpuls

a) Variante a; b) Variante b

Weitere Bezeichnungen siehe in Fig. 2

Für die Vorführungen im Deutschen Museum hat sich dagegen die Betriebsmöglichkeit b) als sehr zweckmässig erwiesen, da der vom KO gelieferte Impuls den Repetitionsstossgenerator exakt auslösen lässt und somit entsprechend der vom KO gelieferten Impulszahl die eingestellten Stosswellen für ein stehendes Bild der Welle auf dem Leuchtschirm liefert.

Für die Vorführung der nicht abgeschnittenen Stosswellen ist es entsprechend den bisherigen Ausführungen am günstigsten, wenn die Eigenverzögerung des Generators zwischen ankommendem Auslöseimpuls und abgehender Stossquelle so klein als

möglich gehalten wird. Um dies zu erreichen, wurde in das Steuerorgan des Zündthyratrons ein Überbrückungsschalter eingebaut, der die Gesamtverzögerung auf $4\ \mu\text{s}$, gegenüber $8\ \mu\text{s}$ ohne Überbrückung, herabsetzt. Sollen nun abgeschnittene Stösse vorgeführt werden, so ist zu unterscheiden, ob das Abschneiden vor $4\ \mu\text{s}$ oder nach $4\ \mu\text{s}$ erfolgen

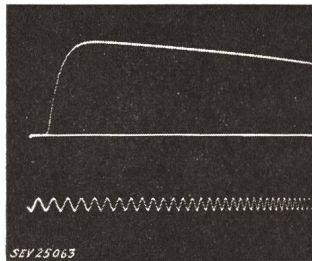


Fig. 4
Vollwelle des
Repetitions-Stossgenerators
Eichfrequenz 2 MHz

soll. Ein Abschneiden nach $4\ \mu\text{s}$ lässt sich in der geschilderten Betriebsweise mit Überbrückung der Zündsteuerung ohne weiteres erreichen, da die Minimalverzögerung der Abschneideauslösung $8\ \mu\text{s}$ beträgt. Für das Vorführen von abgeschnittenen Stosswellen unter $4\ \mu\text{s}$ Dauer muss dagegen die Überbrückung des Zündsteuerorganes wieder aufgehoben werden.

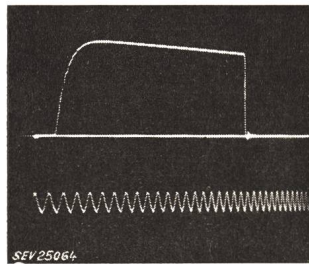


Fig. 5
Nach $9\ \mu\text{s}$ abgeschnittene
Stosswelle
Eichfrequenz 2 MHz

Einen Eindruck von diesen Vorgängen und Möglichkeiten des Repetitionsstossgenerators in seiner Zusammenarbeit mit dem KO geben die Fig. 4...6. Fig. 4 zeigt die Vollwelle 1|50 bei überbrückter Stossauslösung in der unter b) geschilderten Arbeitsweise. Die Eichfrequenz beträgt wie auch bei den folgenden Oszillogrammen 2 MHz. Fig. 5 zeigt eine nach etwa $9\ \mu\text{s}$ abgeschnittene Stosswelle 1|50 ebenfalls bei eingeschalteter Überbrückung, wäh-

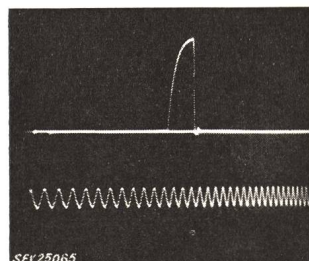


Fig. 6
Nach $1\ \mu\text{s}$ abgeschnittene
Stosswelle
Eichfrequenz 2 MHz

rend Fig. 6 das Abschneiden nach etwa $1\ \mu\text{s}$ ohne überbrückte Stossauslösung zeigt. Aus dem Vergleich der Fig. 5 und 6 ist das zeitlich verschiedene Einsetzen des Stosses durch den Einfluss der Überbrückung zu erkennen, da in beiden Fällen die Auslösung des KO-Strahles unabhängig von der getroffenen Wahl bei der Auslösung des Stosses sich vollzieht.

Mit den gezeigten 3 Oszillogrammen werden im Deutschen Museum, wie bereits eingangs erwähnt, den Besuchern an Hand der «stehenden» Stosswellen die Begriffe der Stoßspannungstechnik klar gemacht und weiterhin werden sie damit auf die bei den Hochspannungsversuchen zu erwartenden Kurvenformen hingewiesen.

3. Meßschaltung bei den Stossversuchen

Der bereits in früheren Veröffentlichungen [5; 6] eingehend beschriebene 1-MV-Stossgenerator besitzt eine Stosskapazität von $20\ \text{nF}$ und damit eine Energie von $10\ \text{kWs}$, wobei am Stossgenerator der für die Stossweite 1|50 notwendige Entlade-widerstand und ein Teil des Dämpfungswiderstan-

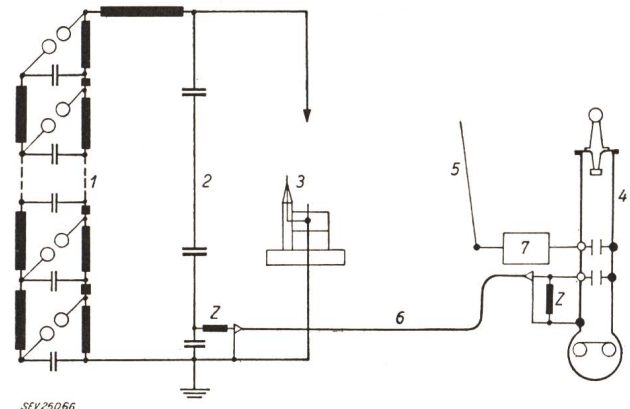


Fig. 7
Schaltung: Hochspannungs-Stossgenerator mit
Kathodenstrahl-Oszillograph

1 Stossgenerator; 2 Spannungsteiler; 3 Blitzmodell; 4 Kathodenstrahl-Oszillograph; 5 Stabantenne; 6 Verzögerungskabel (Z Wellenwiderstand); 7 Zeitablenkung

des angebaut sind. Der restliche Dämpfungswiderstand liegt in der Verbindung zu dem rein kapazitiven Spannungsteiler von $0,8\ \text{nF}$. Die Niederspannungskapazität des Teilers besitzt eine Grösse von $1,1\ \mu\text{F}$. An den Spannungsteiler wird ein Verzögerungskabel mit einem Wellenwiderstand von $30\ \Omega$ über einen Vorwiderstand der gleichen Grösse angeschlossen. Das Kabel ist beim Anschluss an die Ablenkplatten des Oszillographen mit dem Wellenwiderstand abgeschlossen. Einzelheiten der gesamt-

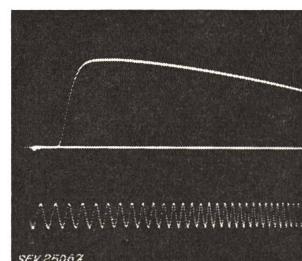


Fig. 8
Vollwelle des
1-MV-Stossgenerators
Scheitelwert 1020 kV
Eichfrequenz 2 MHz

ten Meßschaltung sind aus dem Schaltbild Fig. 7 zu entnehmen. Bei der Aufnahme von Stosswellen mit der beschriebenen Messanordnung ist dabei die Entladung der Niederspannungskapazität des Teilers über den Vorwiderstand und das Kabel zu beachten. Die Zeitkonstante dieser Entladung beträgt nach den obigen Angaben $66\ \mu\text{s}$. Nach $8\ \mu\text{s}$ ergibt dies ein Absinken des Sollwertes nach der

$e^{-\alpha t}$ -Funktion um 11,5 %. Berücksichtigt man noch die Abnahme der Stosswelle selbst, so verringert sich die Abweichung auf etwa 10,2 %²⁾. Bei der Nachprüfung dieser Abweichung in den Oszillogrammen von nach 8 μ s abgeschnittenen Stosswellen, ergibt sich eine gute Übereinstimmung mit dem Rechenwert, denn um den angegebenen Wert wird beim Spannungszusammenbruch die Nulllinie unterschritten, da die (negative) Stirn des Abschneidens wieder in voller Grösse übertragen wird.

Zur Auslösung des KO ist noch zu bemerken, dass diese über eine in der Nähe des Stossgenerators aufgebaute Antenne erfolgt.

4. Aufnahme der Stossversuche am Blitzmodell

Um die Ausführungen über die Stoßspannungsmessungen nicht zu weit auszudehnen, seien in den Fig. 8...12 nur die Versuche wiedergegeben, bei denen sich bemerkenswerte Unterschiede abzeichnen. Diese Oszillogramme werden auch den Besuchern

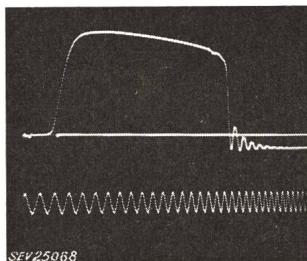


Fig. 9
Nach 8 μ s abgeschnittene
Stosswelle des
1-MV-Stossgenerators
Scheitelwert 1130 kV
Eichfrequenz 2 MHz

des Deutschen Museums vorgeführt. Fig. 8 zeigt die vom Hochspannungsgenerator gelieferte Vollwelle 1/50, wobei die Spannung so gewählt ist, dass am Blitzmodell noch kein Überschlag auftritt. Der Scheitelwert der Spannung beträgt hierbei etwa 1020 kV. Wird die Spannung bis zum Überschlag am Blitzmodell gesteigert, so ergibt sich eine im Rücken abgeschnittene Stosswelle, wie sie Fig. 9 zeigt. Der Scheitelwert der Stoßspannung beträgt etwa 1130 kV. Der Spannungszusammenbruch erfolgt nach etwa 8 μ s. Die Überschlagsstrecke von der Blitzelektrode zum nächsten geerdeten Punkt betrug hierbei 149 cm. Die Aufnahmen der Stosswellen der verschiedenen «Blitzeinschläge» in das Modell zeigten unabhängig von der «guten und

schlechten» Erdung der Objekte die gleiche Kurvenform, so dass diese Oszillogramme eine Wiederholung der Fig. 9 darstellen. Eine von diesen Aufnahmen abweichende Kurvenform ergibt sich dagegen beim Überschlag des 60-kV-Stützers, wie Fig. 10 zeigt. Da hier die Überschlagslänge nur etwa 60 cm beträgt, findet der Spannungszusammenbruch bereits nach 1 μ s, im Scheitelwert der Stosswelle statt. Abgesehen von den Schwingungen ist

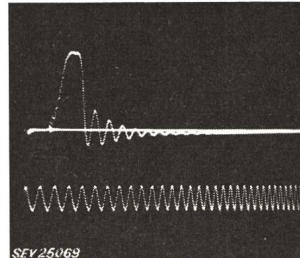


Fig. 10
Stosswelle des
Stützerüberschlages
Eichfrequenz 2 MHz

bei diesem Oszillogramm noch kaum eine Unterschreitung der Nulllinie beim Spannungszusammenbruch zu bemerken.

Bei den im Vorführprogramm noch folgenden Demonstrationen, dem «Holzspalten» und dem «Drahtverdampfen», ergeben sich grössere Abweichungen vom bisherigen Verhalten. Fig. 11 zeigt den Holz-

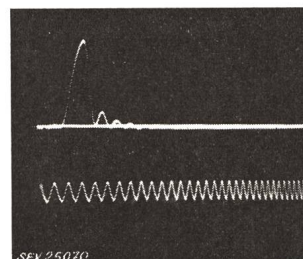


Fig. 11
Stosswelle des Holzspaltens
Eichfrequenz 2 MHz

spaltversuch. Es ist dem Oszillogramm zu entnehmen, dass die Stosswelle kurz vor dem Scheitelwert in der Stirn abgeschnitten wird, dass die Spannung jedoch nicht sofort auf Null zurückgeht, sondern etwas langsamer, so dass die auch hier noch gedämpft auftretenden Einschwingvorgänge die Nulllinie nicht mehr unterschreiten. Es ist daraus zu

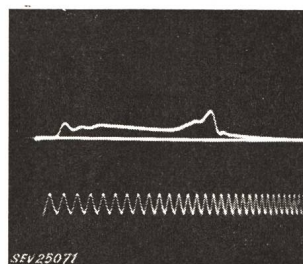


Fig. 12
Stosswelle des
Drahtverdampfens
Eichfrequenz 2 MHz

entnehmen, dass der Holzstab geraume Zeit der Stoßspannung einen gewissen Widerstand darbietet. Fig. 12 zeigt den Spannungsverlauf beim Verdampfen des Drahtes. Infolge des geringen Widerstandes, den der Draht darstellt, findet keine Ausbildung einer üblichen Stosswelle mehr statt, sondern die Spannung steigt nur noch bis auf etwa 20 % des Scheitelwertes an, um bis zu etwa 8 μ s auf diesem Wert zu bleiben und nach einem nochmaligen

²⁾ Die $e^{-\alpha t}$ -Funktion entspricht der Übertragung des Einheitsstosses, für den sich in Operatorenfunktion ergibt $\frac{p}{\alpha + p}$.

$\frac{C_h}{C_h + C_n}$, wenn C_h die Hochspannungskapazität und C_n die Niederspannungskapazität des Teilers bedeuten. In der angegebenen Schaltung ist $\frac{1}{\alpha} = 2 Z (C_h + C_n)$, mit Z als Vorwiderstand. Die Stosswelle 1/50 in ihrer Operatorenfunktion $U \cdot 1,035$

$\left(\frac{p}{\beta + p} - \frac{p}{\gamma + p} \right)$ mit $\frac{1}{\beta} = 69,1 \mu$ s und $\frac{1}{\gamma} = 0,397 \mu$ s wird durch Multiplikation des Ergebnisses des Einheitsstosses berücksichtigt, womit sich ein Spannungsverlauf im Oberbereich von

$U(t) = U \cdot 1,035 \left(\frac{e^{-\alpha t} - e^{-\beta t}}{\alpha - \beta} - \frac{e^{-\alpha t} - e^{-\gamma t}}{\alpha - \gamma} \right)$ ergibt. Für den Verlauf der Abweichung gilt daher

$\frac{\Delta U}{U}(t) = \frac{\alpha}{\alpha - \beta} (e^{-\alpha t} - e^{-\beta t}) - \frac{\alpha}{\alpha - \gamma} (e^{-\alpha t} - e^{-\gamma t})$,

woraus sich nach 8 μ s der angegebene Wert von 10,2 % ergibt.

Anstieg auf Null zurückzugehen. Dieser Spannungsverlauf lässt auf das Entstehen eines Lichtbogens beim Verdampfen des Drahtes schliessen, wobei sich beim Abreissen noch eine geringfügige Widerstandserhöhung und damit verbunden eine Spannungsaufschaukelung ausbildet.

5. Zusammenfassung

Bei der Programmgestaltung der Blitzversuche in der Abteilung Starkstromtechnik im Deutschen Museum wurden Überlegungen angestellt, wie die Stoßspannung technisch interessierten Besuchern nahe gebracht werden könnte. Hiefür dienen zum Teil die Versuche selbst. Des weiteren sollte auf die Messtechnik bei Stoßspannungsversuchen eingegangen werden. Um die Darstellung von Stoßspannungen leichter verständlich zu machen, wurde die Zusammenarbeit zwischen einem Repetitionsstoss-generator und einem Kathodenstrahloszillographen mit kalter Kathode so entwickelt, dass sich ein stehendes Bild auf dem Leuchtschirm des KO ergibt. Aufbauend auf das Verständnis dieser grundsätzlichen Vorgänge werden dann die einzelnen Versuche mit dem KO vorgeführt. Die wesentlichsten Oszillogramme sind dabei in der vorliegenden Arbeit angegeben, wobei vorher kurz auf die Gestaltung des Messkreises und insbesondere auf den Fehler des gesamten Aufbaues, wie er durch den rein kapazitiven Teiler gegeben ist, näher eingegangen wurde.

Literatur

- [1] *Leininger, H.*: Das Deutsche Museum in München und die Elektrizitätswirtschaft. Elektr.-Wirtsch. Bd. 52(1953), Nr. 9, S. 221...225.
- [2] *Prinz, H., A. Wissner und H. Heindl*: Eröffnung der neuen Abteilung Starkstromtechnik im Deutschen Museum. ETZ-A Bd. 74(1953), Nr. 9, S. 253...255.
- [3] *Wissner, A.*: Die neue Abteilung Starkstromtechnik. Deutsches Museum, Abhandlungen und Berichte Bd. 21(1953), Nr. 3, S. 29...35.
- [4] *Prinz, H., Th. v. Keller und A. Wissner*: Die Elektrizitätswirtschaft im Deutschen Museum München. Elektr.-Wirtsch. Bd. 53(1954), Nr. 7, S. 171...174.
- [5] *Prinz, H.*: Die Hochspannungsanlage der Abteilung Starkstromtechnik im Deutschen Museum. ETZ-A Bd. 75(1954), Nr. 2, S. 41...45.
- [6] *Prinz, H. und H. Heindl*: 1-Million-Volt-Blitzmodellanlage im Deutschen Museum München. Elektr.-Wirtsch. Bd. 53(1954), Nr. 9, S. 266...271.
- [7] *Prinz, H., A. Wissner und H. Heindl*: Die Darstellung des Drehfeldes im Deutschen Museum München. E u. M Bd. 71(1954), Nr. 17, S. 413...417.
- [8] *Prinz, H., A. Wissner und H. Heindl*: Das Starkstromkabel im Deutschen Museum. Elektro-Post Bd. 7(1954), Nr. 30, S. 525...526.
- [9] *Prinz, H., H. Meyer und H. Heindl*: Die Starkstrom-Freileitung im Deutschen Museum. ETZ-B Bd. 6(1954), Nr. 11, S. 405...407.
- [10] *Mörtzsch, F.*: Die Beteiligung der AEG an der neuen Abteilung Starkstromtechnik des Deutschen Museums in München. AEG-Mitt. Bd. 44(1954), Nr. 7/8, S. 280...285.
- [11] *Thommen, H. W.*: Das Deutsche Museum in München und die schweizerische Elektrotechnik. Elektr.-Verwertg. Bd. 27(1952/53), Nr. 4, S. 138...141.
- [12] *Anonym*: Starkstromtechnik im Deutschen Museum. Kontakt Bd. 4(1953), Nr. 3, S. 91...94.
- [13] *Prinz, H. und A. Wissner*: Die Abteilung Starkstromtechnik im Deutschen Museum München. Elektr.-Verwertg. Bd. 29(1954/55), Nr. 8/9, S. 202...205.
- [14] *Prinz, H. und W. Schneider*: Die elektrische Blindstromkompensation im hydraulischen Analogon im Deutschen Museum München. Elektr.-Wirtsch. Bd. 53(1954), Nr. 23, S. 737...740.
- [15] *Prinz, H. und A. Wissner*: Historical Electrical Equipment. Heavy Current Engineering Section of the Deutsches Museum, Munich. Electr. Rev. Bd. 156(1955), Nr. 12, S. 476...478.
- [16] *Prinz, H. und A. Wissner*: La sezione «Tecnica delle correnti forti» nel Museo Tedesco di Monaco. Energia elettr. Bd. 32(1955), Nr. 1, S. 42...44.
- [17] *Prinz, H. und A. Wissner*: German Museum shows Progress of Industry. Electr. Wld. Bd. 143(1955), Nr. 17, S. 48...51.
- [18] *Prinz, H. und A. Wissner*: La section de la technique des courants forts au Deutsches Museum de Munich. Rev. gén. Electr. Bd. 64(1955), Nr. 5, S. 233...238.
- [19] *Prinz, H., A. Wissner und H. Heindl*: Kraftwerk und Schaltanlage im Deutschen Museum. Elektr.-Wirtsch. Bd. 54(1955), Nr. 9, S. 277...283.
- [20] *Prinz, H. und A. Wissner*: Die Elektrizität im Deutschen Museum. Bayerland Bd. -(1955), Sonderausg. Elektrizität, S. 31...36.

Adresse des Autors:

Obering. Dr. H. Heindl, Institut für Elektrische Anlagen und Hochspannungstechnik, Technische Hochschule München, Arcisstrasse 21, München 2.

Technische Mitteilungen — Communications de nature technique

Die Reaktoren der Welt

[Nach Sonderheft der «Atomwissenschaft», Bd. 1(1956), Nr. 7/8, 9, 10]

I. Einteilung

Die Klassierung von Reaktoren ist ein lang angestrebtes Ziel der Techniker; sie ist aber wegen der vielen vorkommenden Parameter (Verwendungszweck, Brennstoffart, Moderator usw.) nicht so einfach durchzuführen. Für die Praxis scheint z. Z. eine Zweiteilung aller Reaktoren am zweckmässigsten zu sein: Forschungsreaktoren (die der Forschung und Entwicklung dienen) und Leistungsreaktoren (für die Energieerzeugung und Produktion von Spaltmaterial).

In die Kategorie der *Forschungsreaktoren* fallen:

1. Graphitreaktor mit natürlichem Uran und schwacher Kühlung.

Dieser Typ war der erste in der Geschichte der Reaktoren. Er ist heute nicht mehr von grosser Bedeutung, da sich der Betrieb wegen der hohen Kosten der Sauggebläse relativ teuer stellt. Auch der Neutronenfluss ist niedrig.

2. Schwerwasser- (D_2O -) Reaktor mit natürlichem Uran und schwacher Kühlung.

Dieser Reaktor ist einfach zu bauen und fordert nur geringe Mengen von Uran. Der Neutronenfluss ist nicht viel höher als beim Graphitreaktor. Die Kühlung erfolgt durch schweres Wasser, das auch als Moderator dient.

3. Schwerwasser (D_2O -) Reaktor mit starker Kühlung.

Charakteristisch für diesen Reaktor ist, dass das Kühlmittel entlang der Uranstäbe geführt und dadurch die Wärmeübertragung verbessert wird. Das Kühlmittel kann aus Schwer- oder Leichtwasser bestehen.

4. Swimmingpool-(Schwimmbad-)Reaktor.

Dieser Typ eignet sich besonders als Forschungsreaktor für Hochschulen. Betrieben wird er mit angereichertem Uran. Als Moderator dient leichtes Wasser, welches gleichzeitig als Abschirmungsmittel verwendet wird. Bei forcierter Kühlung kann ein beträchtlicher Neutronenfluss erreicht werden.

5. Materialprüfreaktor mit leichtem Wasser.

Dieser Reaktor ist als kompliziert und teuer bekannt. Er arbeitet mit hoch angereichertem Uran. Als Kühlmittel und Moderator dient leichtes Wasser. Der Neutronenfluss ist sehr hoch. Wegen schnellen Verbrauchs des Urans sind die Betriebskosten beträchtlich.