

Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins
Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke
Band: 13 (1922)
Heft: 10

Artikel: Einfluss der Kurvenform bei Versuchen an Hängeisolatoren
Autor: Dahl, M.F.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1059786>

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: 16.02.2026

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

Einfluss der Kurvenform bei Versuchen an Hängeisolatoren.

Von Obering. M. F. Dahl, Mannheim.

Anhand von Versuchsergebnissen zeigt der Autor, dass die Form der Prüfspannung einen wesentlichen Einfluss auf die Beurteilung der elektrischen Eigenschaften von Porzellan-Hängeisolatoren ausübt. Er betont die Notwendigkeit bei vergleichenden Versuchen die Kurvenform der Prüfspannung zu ermitteln und nicht ohne weiteres einen sinusförmigen Verlauf der Prüfspannung anzunehmen.

Se basant sur des essais faits sur des isolateurs à suspension, l'auteur démontre que la forme du courant d'essai influe beaucoup sur les résultats obtenus.

Il s'en suit la nécessité de toujours déterminer cette forme et de ne pas simplement admettre à priori qu'on essaie avec une tension de forme sinusoidale.

Bei genauen Untersuchungen an Hochspannungsisolatoren ist die Kenntnis der Amplitudenwerte der Prüfspannung unbedingt erforderlich. Zur Messung dieser Prüfspannungen bedient man sich meistens Voltmeter, welche die Unterspannung des Prüftransformators messen und auf entsprechend umgeeichter Skala die Oberspannungswerte anzeigen. Andere Messinstrumente auf elektrostatischem Prinzip aufgebaut, messen die Oberspannung direkt oder mittels Zwischenschaltung von Kondensatoren. Die Ablesung an diesen letzteren Voltmetern kann wegen der hohen Spannungen nur aus entsprechender Entfernung vorgenommen werden und es ist deshalb bei den elektrostatischen Voltmetern eine genaue Ablesung in dem Moment des eintretenden Ueberschlags bzw. Durchschlages nicht möglich.

Ebenso bietet die Verwendung von Druckluft¹⁾ bei statischen Hochspannungsvoltmetern zwar wesentliche Vorteile, doch besteht schliesslich die Gefahr eines Ueberschlags und der vollständigen Zerstörung des Instrumentes; ausserdem ist eine druckdichte Einführung der Anschlussklemmen nicht leicht herzustellen und auch das Sichtbarmachen der Ausschläge bereitet die grössten Schwierigkeiten. Selbst bei Verwendung des stärksten Fensterglases lässt sich keine Skalenöffnung schaffen, die eine der Höhe der Spannung und des bei der Beobachtung einzuhaltenden Respektabstandes entsprechend grosse Skala frei lässt.

Die oben erwähnten Spannungsmesser zeigen die Effektivwerte an. Instrumente, die eine unmittelbare Ablesung des Scheitelwertes ermöglichen, können nach Art des Oszillographen gebaut werden und enthalten wie dieser schnell schwingende Systeme mit optischer Anzeigevorrichtung.²⁾ Viel verwendet werden Funkenstrecken, die auf den Scheitelwert durch Ueberschlag ansprechen. Ueber die Verwendbarkeit der Nadel- und Kugelfunkenstrecken haben namentlich die Amerikaner weitgehende Versuche unternommen.³⁾

Die eigentliche Funkenstrecke besteht hier aus Stahlähnadeln, deren Spitzen nach Tabellen eingestellt beim auftretenden Ueberschlag den Prüfspannungswert anzeigen sollen. Die Versuche haben gezeigt, dass nach jedem Ueberschlag die Nadeln ausgewechselt werden müssen, wenn die Messresultate halbwegs genau sein sollen.

Auch mit den Kugelfunkenstrecken erhält man keine relativ genaueren Resultate. Es erübrigt sich zu sagen, dass die Kugeln äusserst genau bearbeitet sein müssen und dass die sphärometrisch kontrollierte Krümmung nicht mehr als ein Prozent vom Sollwert abweichen darf.

Die Messgenauigkeit der Funkenstrecken ist nun in erheblichem Masse von der Luftfeuchtigkeit, dem Barometerstand, dem Zustand der Oberfläche der Nadelspitzen bzw. Kugeloberflächen abhängig. Die kleinsten Unreinigkeiten genügen schon um eine derartige Feldverschiebung in das Oberflächenpotential hineinzubringen, dass die Messresultate ungenau werden. Auch in der Nähe fremder Felder erhält man

¹⁾ Die Technik der elektrischen Messgeräte von Dr. Ing. Georg Keinath.

²⁾ Keinath a. a. O.

³⁾ Standardisation Rules of the American Institute of Electrical Engineers, Revised 1918.

eine wesentliche Differenz zwischen der tatsächlich auftretenden Ueberschlagsspannung und dem aus der Tabelle entnommenen theoretisch ermittelten Spannungswert. Aus diesem Grunde eignen sich die Nadelfunkenstrecken nur bis zu Prüfspannungen von etwa 60 kV. Darüber hinaus erhält man überhaupt keine praktisch verwendbaren Werte mehr und man kann hier nur noch mit den Kugelfunkenstrecken bei entsprechenden Abmessungen der Kugeln brauchbare Werte erzielen. Die nach jedem Ueberschlag notwendig werdende Erneuerung bzw. Reinigung ist für die Versuche selbst auch äusserst zeitraubend. Man hat nun versucht, durch Ionisierung (Bestrahlung der Elektroden durch ultraviolettes Licht) die Genauigkeit zu erhöhen und besonders den Entladungsverzug zu beheben, jedoch nur die Anfangsspannung beeinflussen können. Die Versuche haben gezeigt, dass bei grösseren Schlagweiten, und diese kommen ja nur in Frage, die Wirkung der Bestrahlung rasch abnimmt. Es bietet also auch dieses Hilfsmittel keine dauernde und vor allen Dingen gleichbleibende Unterlage.

Die eingangs erwähnte Messmethode mittels Unterspannungsvoltmeters zeigt nur bei bestimmten Kurvenformen die richtige Spannung an; hierbei sind erhebliche Messfehler unvermeidlich, denn der Ausschlag des Voltmeters erfolgt in Funktion des effektiven Spannungswertes, während der zu messende kritische Prüfspannungspunkt durch den Amplitudenwert der Spannungsform gegeben ist. Die Messungen können also ganz verschiedene Resultate zeitigen, wie dieses auch gelegentlich einer Isolatorenabnahme einwandfrei festgestellt wurde. Verläuft z. B. die Form

der Prüfspannung nach Fig. 1, so wird das Voltmeter den Effektivwert messen, während tatsächlich eine wesentlich höhere Spannung den zu prüfenden Gegenstand beansprucht hat und eventuell den Durch- oder Ueberschlag hervorrief. *Man würde dann auf Grund der Voltmeterablesung leicht zu dem Trugschluss neigen, dass das untersuchte Material von schlechter Qualität sei.*

Diese Beweggründe führen zu dem Bestreben, die Form der Prüfspannung selbst zu ermitteln, obwohl man sich bei technischen Isolatorabnahmen im allgemeinen mit der Annahme einer sinusförmigen Prüfspannung begnügt. Es soll ein Zweck

dieser Arbeit sein, zu zeigen, inwieweit diese Annahme von der praktischen Wirklichkeit abweicht und dass man tatsächlich nicht mit dem $\sqrt{2}$ fachen Wert der Effektivspannung zu rechnen haben wird, sondern zum Teil ganz erheblich höhere Werte findet. Für den Auftraggeber ist die Annahme des $\sqrt{2}$ fachen Wertes insofern günstig, als er weiß, dass die von ihm abgenommenen Isolatoren unter Berücksichtigung dieses Wertes die elektrische Prüfung in ausreichendem Masse bestanden haben. Man muss sich jedoch dabei klar sein, dass die bei der Abnahme geprüften Isolatoren unter Umständen unnötigerweise erheblich höheren Prüfspannungen unterworfen werden, was letzten Endes doch nur eine unnötige Beanspruchung des Porzellans darstellt, denn man geht bei Maschinen und sonstigen elektrotechnischen Konstruktionen auch nicht gerne über das vorgeschriebene Belastungsmass hinaus. Besonders bei Abnahmeprüfungen an Hewlettisolatoren kann eine derartige Ueberbeanspruchung zum Durchschlag führen, da die Durchschlagsfestigkeit bei diesen Isolatoren in der Nähe der Ueberschlagsspannung liegt.

Dass andererseits die Kurvenform bei sonst gleicher Periodenzahl und Stromstärke je nach ihrer Art verschiedene Beeinflussungen hervorruft, dürfte bekannt sein. Sie ist ein wichtiger Faktor für den Wirkungsgrad der Generatoren und Motoren. Auch auf den andern Gebieten der Elektrotechnik spielt die Kurvenform eine grosse Rolle. So ist z. B. für den Lichteffekt von Bogenlampen eine flache, breite Spannungskurvenform viel günstiger, als eine spitze; dagegen ist z. B. bei Transformatoren hinsichtlich der Verluste im Eisen eine spitze Spannungskurvenform günstiger als eine flache. Auch die Angaben der Induktionsmessgeräte und Elektrizitätszähler sind von der Kurvenform abhängig, was dem Einfluss der höhern Harmonischen zuzuschreiben ist.

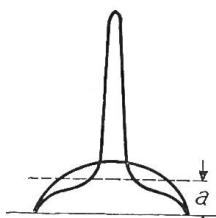


Fig. 1

Um nun das Wesen der Spannungsformen eingehend untersuchen und jeden Momentanwert des Spannungspunktes in der Kurvenform ermitteln zu können, nimmt man die jeweiligen Prüfspannungsformen oszillographisch auf. Durch den Oszillographen erhält man weitgehenden Einblick in das elektrische Verhalten der einzelnen Körper, in diesem Falle z. B. der Hochspannungs-Freileitungsisolatoren.

Zur Durchführung der hier beschriebenen Versuche dienten die folgenden Prüfmaschinen und Apparate:

Antriebsmotor: Drehstromasynchronmotor, Fabrikat A E G, 38 kW, 380 Volt, 50 Perioden pro Sekunde, Tourenzahl 960 pro Minute.

Prüfgenerator: Einphasengenerator, Fabrikat A E G, 120 kVA, 500 Volt, 50 Perioden pro Sekunde.

Gleichstromerreger: Gleichstromnebenschluss Dynamo, Fabrikat A E G, 3,5 kW, 110 Volt.

Prüftransformator: Einphasentransformator, Fabrikat S S W, 200 kVA, max. Spannung primär 500 Volt, max. Spannung sekundär 500 000 Volt zwischen Klemmen.

Oszillograph nach Siemens-Blondel mit auswechselbaren Systemen zur Aenderung der Eigenschwingungszahl, sowie die notwendigen Strom-, Spannungs- und Frequenzmesser.

Der Antrieb des Einphasengenerators erfolgte durch den Drehstrommotor. Auf gemeinsamer Welle befindet sich zwischen beiden Maschinen ein Ilgner Schwungrad von 1000 kgm² Schwungmoment, ferner der Gleichstromerreger. Die Transformatorspannung wurde bei allen Versuchen durch Flachbahnwiderstandserreger im Nebenschlusskreis der Gleichstromerregermaschine und die Feinregulierung durch einen Regulierwiderstand, der parallel zu den Flachbahnwiderständen liegt, reguliert.

Ueber die einzelnen Transformatorschaltungen geben nachstehende Schaltungsschemata mit Tabelle Aufschluss. Bei Ueberschlags- und Oel-durchschlagsprüfungen kommt die Transformatorschaltung I mit Uebersetzungsverhältnis 1 : 1000 zur Anwendung. Bei Spannungsverteilungsmessungen wurde ein Pol, welcher mit der, die Masttraverse darstellenden Aufhängetraverse verbunden ist, geerdet. Hierfür gilt die Schaltung nach II mit dem Uebersetzungsverhältnis 1 : 500.

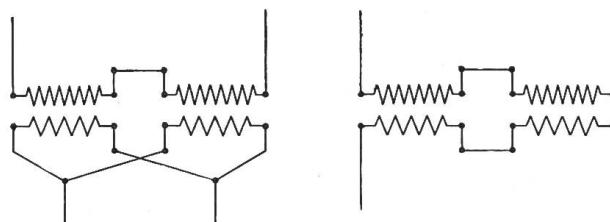


Fig. 2a
Schaltung I

Fig. 2b
Schaltung II

Schaltungen des Prüftransformators.

Tabelle I.

Schaltung	Hochspannung			Niederspannung		
	Spannung	Strom	Leistung	Spannung	Strom	Leistung
I	500 kV	0,4 A	200 kVA	500 V	400 A	200 kVA
II	250 kV	0,4 A	100 kVA	500 V	200 A	100 kVA

Die vorgenommenen Versuche zeigen nun tatsächlich anhand der Oszillogramme, dass bei Verwendung der gleichen Prüfmaschinen und Prüfobjekte eine geringe Aenderung in der Leitungszuführung oder Anordnung des Versuchsstückes auf die Spannungsform einen ganz erheblichen Einfluss hat. Je nachdem die Oberwellen verschiedener Grössenordnung frei werden, wird die Spannungsform, die ursprünglich sinusförmig war, vollständig verzerrt. Damit ändert sich aber auch der Wert des Scheitelfaktors, das heisst die ursprüngliche Zahl von 1,414 steigt bis zu etwa 1,7

an. So zeigte beim Prüfen eines Hochspannungsisolators auf Durchschlag und eintretendem Durchschlag das Voltmeter etwa 138 kV, während der wirkliche Spannungswert unter Berücksichtigung des aus dem Oszillogramm ermittelten Scheitelfaktors 152 kV betrug. Als Ergebnis der angestellten Versuche ist also zu sagen, dass man praktisch überhaupt nicht mit reiner Sinusform rechnen kann, besonders nicht bei Prüfspannungen und somit der $\sqrt{2}$ fache Wert nie erreicht werden dürfte.

Die oszillographischen Aufnahmen ermöglichen es weiterhin, gleiche Fabrikate verschiedenem Ursprungs auf eine einheitliche Versuchsbasis zu bringen und somit einen Qualitätsvergleich durchzuführen, der dem projektierenden Ingenieur ein klares, objektives Bild gibt.

Um nun einen Ueberblick über die Einwirkungen zu erhalten, welche die Prüfspannungsformen verzerrend beinflussen, ist in Fig. 3 eine Reihe von Oszillo-

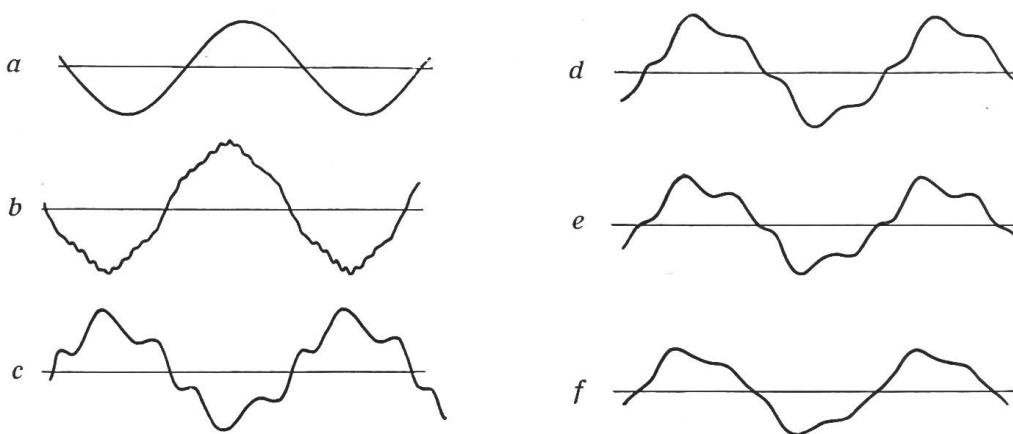


Fig. 3, a-f

Versuch a: Netzspannung unbelastet.
 „ b: Prüfgenerator überlastet (Einphasenstrom)
 „ c: Prüftransformator bei offenen Klemmen

Versuch d: Glimmlicht bei ca. 300 kV an einer Hängekette
 „ e: Büschellicht an einer Hängekette
 „ f: Prüftransformator-Zuleitung-Oelbottich

grammen zusammengestellt. Zum besseren Vergleich für die spätere Deformierung dient der Versuch a. Hier wurde die Netzspannung der benachbarten Ueberlandzentrale oszillographisch aufgenommen. Die Spannungskurve verläuft nahezu sinusförmig, wie später anhand der Rechnung noch gezeigt werden wird, wäre also der ideellen Spannungsform sehr nahe. Der Versuch b zeigt bereits Störungen in der Kurvenform. Dieses Oszillogramm wurde am leerlaufenden, übererregten Einphasengenerator aufgenommen. Die Zacken sind durch die Nuten des Generators hervorgerufen und es lässt sich an der Originalaufnahme die Nutenzahl direkt ablesen. Der Versuch c bringt schon erhebliche Verzerrungen gegenüber der Sinusform. Er gibt das Verhalten der Oberspannung an den offenen Klemmen des Prüftransformators wieder. Eine weitere Aenderung der Prüfspannungsform ist aus dem Oszillogramm des Versuches d ersichtlich, hervorgerufen durch die Zuleitung zu dem Untersuchungsobjekt, dem Objekt selber (einer Kappenhängesolatorkette) und dem bei zirka 300 kV eingetretenen Glimmlicht. Das bei Steigerung der Prüfspannung auftretende Büschellicht, Versuch e, an der gleichen Hängekette verschiebt bereits wiederum, wenn auch nur geringfügig, die Spannungsform und ändert damit ebenfalls den Wert des Scheitelfaktors, wie noch später gezeigt werden wird. Eine schon merkbare Formänderung bringt die Anordnung des Versuches f mit sich. Durch die kapazitive Beeinflussung des Oelbottichs werden die Einsenkungen ausgeebnet und die Kurve verflacht.

Für die Auswertung der Oszillogramme bedient man sich im vorliegenden Fall nur einer Kurvenhälfte, da beide Kurvenhälften spiegelbildlich verlaufen. (Fig. 3 a-f).

Es genügt also, um den Charakter der Prüfspannungsform eindeutig zu bestimmen, die Ermittlung des Formfaktors und des Scheitelfaktors.

Der Formfaktor f bedeutet hier das Verhältnis des Effektivwertes zum Mittelwert der Prüfspannung, bezogen auf die Momentanwerte. Es kann somit folgende Gleichung aufgestellt werden, wenn der Mittelwert der Momentanspannungen

$$= \frac{1}{\tau} \int_0^\tau e \, dt \quad \text{ist und } t = 0, \text{ sowie } t = \frac{\tau}{2} \text{ die Halbkurve begrenzen:}$$

$$f = \frac{\sqrt{\frac{2}{\tau} \int_0^{\frac{\tau}{2}} e^2 \, dt}}{\frac{2}{\tau} \int_0^{\frac{\tau}{2}} e \, dt} \quad \text{verläuft } e \text{ sinusförmig, dann wird } f = \frac{e/\sqrt{2}}{2e/\tau} = 1,111$$

Wie die Auswertung der Oszillogramme ergeben wird, weichen die ermittelten Werte bei dem grössten Teil der Kurven nur ganz unwesentlich von der Zahl 1,111 des Formfaktors der Sinuskurve ab. Der Formfaktor ist jedoch von untergeordneter Bedeutung für die Beurteilung des kritischen Höchstspannungswertes.

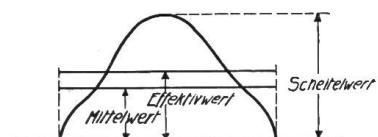


Fig. 4

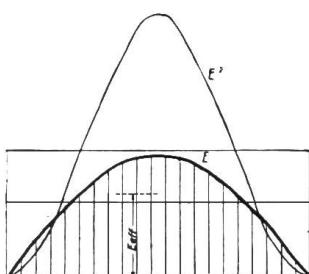


Fig. 5a

Versuch a: Netzspannung (unbelastet)
 $f = 1,120$ $f_s = 1,420$

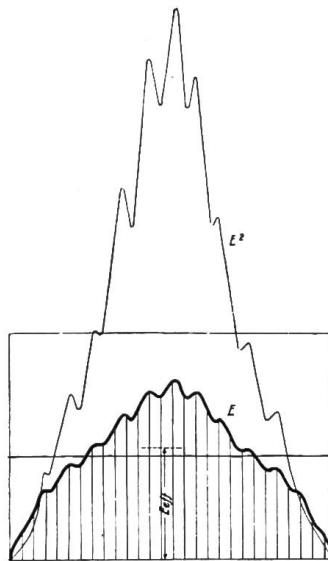


Fig. 5b

Versuch b: Einphasengenerator
 übererregt
 $f = 1,090$ $f_s = 1,570$

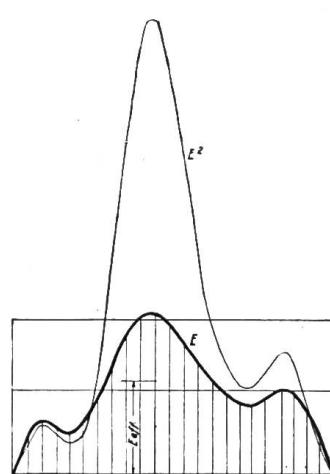


Fig. 5c

Versuch c: Versuchstransformator
 mit offenen Klemmen
 $f = 1,105$ $f_s = 1,700$

Ausschlaggebend für die Feststellung der wirklichen Höchstspannungsziffer, mit welcher der Prüfgegenstand belastet wird, ist die Errechnung des jeweiligen Scheitelfaktors, wobei man unter dieser Bezeichnung das Verhältnis des Scheitelpunktwertes der Prüfspannung zum Effektivwert versteht. (Fig. 4). Er ist für sinusförmigen Verlauf der Prüfspannungskurve:

$$f_s = \frac{e}{e/\sqrt{2}} = 1,414$$

Die Charakteristik der einzelnen Prüfspannungsformen zeigen die Fig. 5a-f, während Fig. 6a, b, c und 6d, e, f die Polarkurven darstellen. Zum besseren Vergleich sind in der Fig. 5 die flächengleichen Rechtecke eingetragen. Die errechneten Werte für den Formfaktor und den Scheitelfaktor sind nachfolgend tabellarisch zusammengestellt, um die durch die Spannungsformänderung hervorgerufenen wechselnden Werte der beiden Faktoren besser übersehen zu können.

Form- und Scheitelfaktoren bei verschiedenen Messanordnungen.

Tabelle II.

	Sinus-form	Versuch a	Versuch b	Versuch c	Versuch d	Versuch e	Versuch f
Formfaktor	1,111	1,120	1,090	1,105	1,170	1,155	1,135
Scheitelfaktor	1,414	1,420	1,570	1,700	1,610	1,600	1,530

Die Spannung a (Netzspannung) hat einen Scheitelfaktor, der nahezu dem Sinuswert entspricht. Die Spannung b zeigt eine leichte Deformierung durch eine fünfte Oberwelle und durch Nutenoberwellen. Hier wird man aus der Voltmeterablesung nicht mehr auf einen richtigen Scheitelwert schliessen können. Die Spannung c

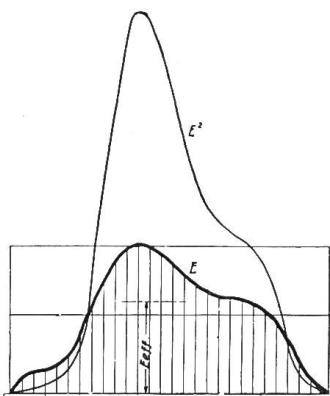


Fig. 5d.
Versuch d: Glimmlicht bei ca. 300 kV an einer Hängeisolatorenkette.
 $f = 1,170$ $f_s = 1,610$

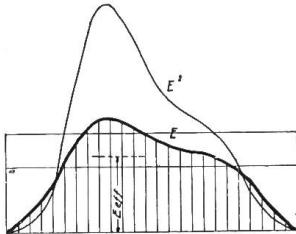


Fig. 5e
Versuch e: Büschellicht an einer Hängekette
 $f = 1,155$ $f_s = 1600$

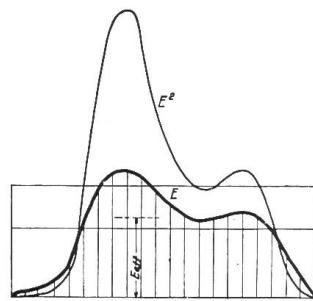


Fig. 5f
Versuch f: Prüftransformator-Zuleitung-Oelbottich
 $f = 1,135$ $f_s = 1,530$

hat einen Scheitelfaktor von 1,7. Setzt man hier an Stelle der Spannungskurve eine Sinuskurve, so würde man eine um zirka 21 Prozent zu niedrige Scheitelspannung errechnen. Die Spannungen d, c und f kommen für die praktischen Versuche wie Isolatorenuntersuchungen und Abnahmen am häufigsten vor. Hier erreicht der

Scheitelfaktor einen Wert bis zu 1,61. Der wirkliche Scheitelwert weicht also um 14,1 Prozent vom Scheitelwert einer Sinuskurve mit gleichem Effektivwert ab.

Als Beispiel möge dienen, dass eine Anzahl Hewlettisolatoren gemäss den V. D. E. Bestimmungen mit 60 kV (Voltmeterwert) geprüft werden sollen. Bei einem Scheitelfaktor von 1,6 wird eine Scheitelspannung von 96 kV auftreten, eine unzulässige und gefährliche Beanspruchung, da der ga-

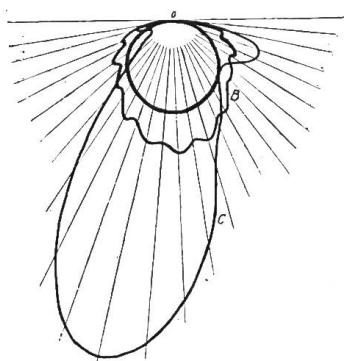


Fig. 6a, b, c
Versuch a: Netzspannung (unbelastet)
" b: Einphasengenerator, überregt
" c: Versuchstransformator mit offenen Klemmen

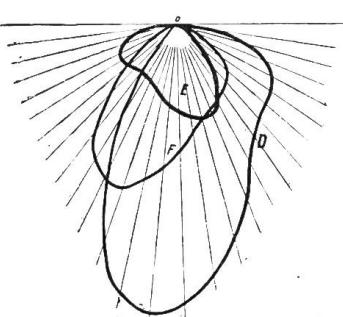


Fig. 6d, e, f
Versuch d: Glimmlicht bei 300 kV an einer Hängeisolatorenkette
" e: Büschellicht an einer Hängekette
" f: Prüftransformator - Zuleitung - Ölboottich

garantierte Durchschlagswert schon bei 90 kV liegt. Es ist fast mit Sicherheit anzunehmen, dass bei dieser Beanspruchung infolge der ungünstigen Kurvenform der Isolator durchgeschlagen wird. Bei Kappenisolatoren liegen die Verhältnisse etwas günstiger. Die Prüfspannung nach den V. D. E. Normen beträgt 75 kV, die garantierte

Durchschlagsspannung etwa 130 kV. Der Isolator würde also unter Annahme obiger Prüfspannungsform mit 120 kV beansprucht werden, trotzdem ebenfalls unnötig hoch.

Um nun Grösse und Anzahl der störenden Einflüsse ermitteln zu können, werden die Prüfspannungsformen analytisch untersucht und zwar wird hierbei von der Ueberlegung ausgegangen, dass jede beliebige, periodische Kurvenform durch Anwendung der Fourierschen Reihe von unendlich grosser Gliederzahl in eine unend-

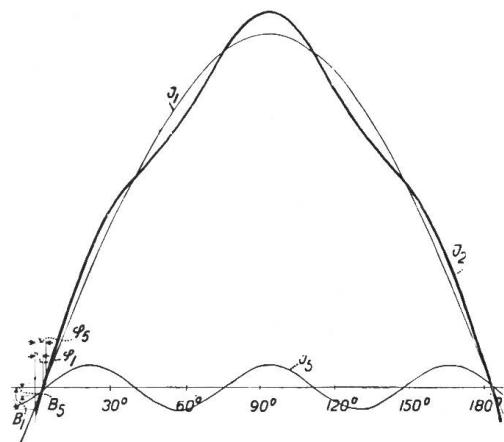


Fig. 7b
 $\varphi_1 = 30^\circ$, $\varphi_3 = 40^\circ$

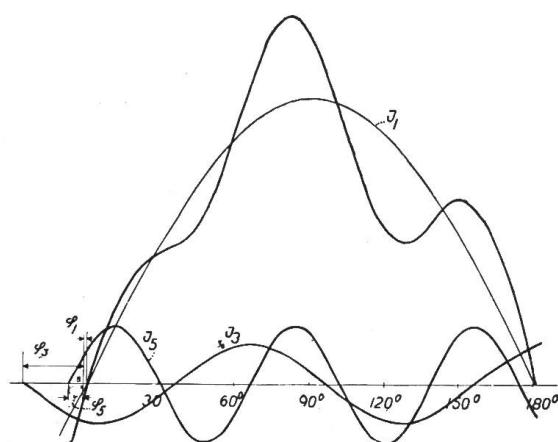


Fig. 7c
 $\varphi_1 = 10^\circ$, $\varphi_3 = 240^\circ$, $\varphi_5 = 6,40^\circ$

liche Anzahl sinusförmiger Schwingungen zerlegt werden kann. Zur genaueren Analyse und Konstruktion der in der Praxis vorkommenden technischen Wechselströme kommt man jedoch schon mit einer Fourierschen Reihe von endlicher Gliederzahl aus; da einerseits die beiden Kurvenhälften spiegelbildlich verlaufen, andererseits nur die Kenntnis einer gewissen Anzahl ungerader Oberschwingungen von Wichtigkeit ist, weil die ungeraden Harmonischen höherer Ordnung meist so klein sind, dass sie praktisch vernachlässigt werden können. Sie üben also nur einen ganz verschwindend kleinen Einfluss auf die Verzerrung der Kurvenform aus und werden überdies schon durch geringe kapazitive Belastungen ausgelöscht. Es wird die Kurve also ausgedrückt durch folgende Summe:

$$S = J_1 \sin(\omega t + a_1) + J_3 \sin(3\omega t + a_3) + J_5 \sin(5\omega t + a_5) +$$

Da nun zwecks Analyse die Amplituden gewisser Zeitabschnitte ermittelt werden, ist ganz allgemein:

$$J = \sum A_n \sin n \omega \left(t + \frac{\tau}{2} \right) + \sum B_n \cos n \omega \left(t + \frac{\tau}{2} \right)$$

und unter Berücksichtigung von $n = 1, 3, 5, 7 \dots$ werden

$$A_n = \frac{4}{\tau} \int_0^{\frac{\tau}{2}} i \sin n \omega t \, dt$$

$$B_n = \frac{4}{\tau} \int_0^{\frac{\tau}{2}} i \cos n \omega t \, dt$$

Die auf Grund der Analyse ermittelten Amplituden- und Phasenwinkelwerte dienten zur Rekonstruktion der einzelnen Prüfspannungsformen. Die Fig. 7 b - f lassen deutlich die Abweichungen von den jeweils eingezeichneten Sinusformen erkennen.

Die rekonstruierten Kurvenformen decken sich mit den oszillographisch aufgenommenen bis auf einen geringen Rest und zeigen somit, dass hauptsächlich die dritte und fünfte, weniger die siebente, neunte und dreizehnte Harmonische die Kurvenform beeinflussen.

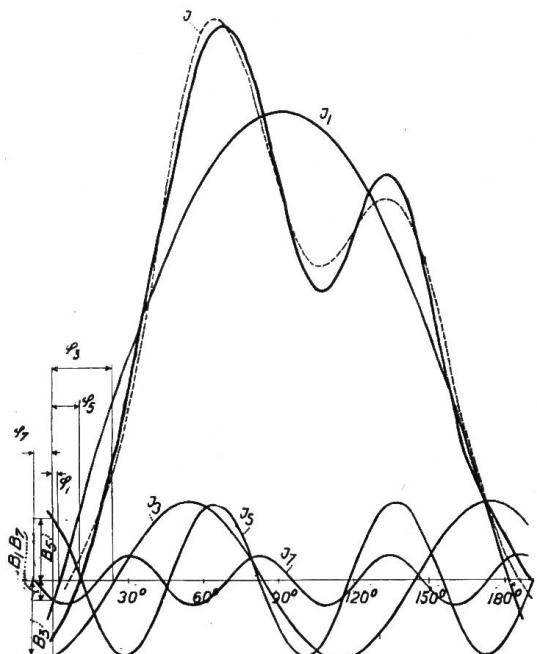
Während bei dem Versuch *b* (Fig. 7 *b*) nur die fünfte von wesentlichem Einfluss ist, verzerren beim Versuch *c* (Fig. 7 *c*) die dritte und fünfte Harmonische die Kurvenform erheblich und bedingen eine hohe Scheitelspannung, die aber vom Voltmeter nicht angezeigt wird.

Bezeichnen wir die Effektivwerte der Grundwelle und der dritten und fünften Harmonischen mit E_1 und E_3 bzw. E_5 , so ist der resultierende Effektivwert

$$E = \sqrt{E_1^2 + E_3^2 + E_5^2}$$

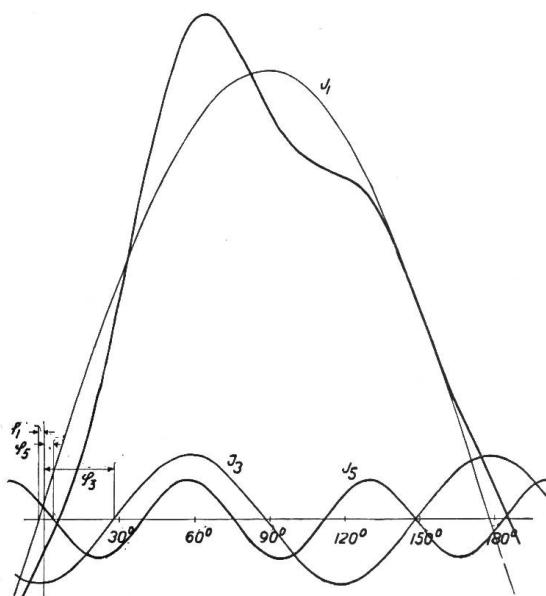
Nur diesen Wert, der meist nur wenig vom Effektivwert der Grundwelle abweicht, zeigt das Voltmeter an.

Durch das auftretende Glimmlicht und spätere Büschellicht bei den Versuchen *d* und *e* (Fig. 7 *d* und 7 *e*) wirken besonders die dritte und fünfte Harmonische,



$$\begin{aligned} \varphi_1 &= 20 \\ \varphi_3 &= 240 \\ \varphi_5 &= 110 \\ \varphi_7 &= 7,40 \end{aligned} \quad \begin{aligned} B_1 &= 0,8 \\ B_3 &= -3 \\ B_5 &= 2,5 \\ B_7 &= 0,8 \end{aligned}$$

Stromkurve *J* ohne Berücksichtigung der 7. Harmonischen



$$\varphi_1 + 20^\circ, \varphi_3 = 280^\circ, \varphi_5 = 3,60^\circ$$

dann aber auch die siebente wieder ganz erheblich auf die Prüfspannungsform ein und erzeugen grosse Scheitelwerte. Der Versuch *f* (Fig. 7 *f*) zeigt wiederum die stark glättende Wirkung einer grösseren Kapazität (Oelbottich) auf die Oberwellen. Die Scheitelspannung erreicht auch hier erhebliche Werte, die von dem Voltmeter nicht gemessen werden, dagegen den Durchschlag des Isolators früher herbeiführen, als man nach den Angaben des Voltmeters geneigt wäre, anzunehmen.

Es sei noch kurz erwähnt, dass ausser der bisher beschriebenen Methode, bei welcher die einzelnen Amplitudenwerte unter Anwendung des rechtwinkligen Koordinatensystems ermittelt wurden, eine weitere Art der geometrischen Darstellung der Momentanwerte einer Wechselstromgrösse in der Aufstellung des Polardiagramms gegeben ist. Form- und Scheitelfaktor werden ebenfalls durch ausplanimetrieren der Polarfläche errechnet. Aus den Fig. 6 *a* - *f* sind die einzelnen Polardiagramme

der beschriebenen Versuche zu ersehen, wobei der Uebersicht halber jeweils das dritte Diagramm in einem grösseren Maßstabe gezeichnet ist. Besonders beachtenswert ist in Fig. 6 c die starke Abweichung von der Kreislinie.

Wenn auch im allgemeinen den Porzellanfirmen die Scheitelfaktoren der einzelnen Maschinen und Versuchsanordnungen bekannt sein dürften, empfiehlt sich trotzdem eine oszillographische Untersuchung der Prüfspannungsform durch den betreffenden Abnahmeingenieur. Die angeführten Oszillogramme, ihre Analyse und die Rekonstruktion der Spannungskurven geben ein deutliches Bild über den Einfluss des jeweiligen Scheitelfaktors, der sich mit jeder Prüfungsanordnung ändert.

Schaltversuche an selbsttätigen Luftschaltern.

Von W. Schächlbin, Genf.

Der Autor untersucht zunächst die beim Oeffnen der Kontakte von Luftschaltern auftretenden Strombahnen und gibt darauf Mittel an, durch welche das seitliche Abblasen des Lichtbogens in einfacher Weise vermieden werden kann.

L'auteur examine quel chemin poursuit le courant dans les différentes positions de l'interrupteur et indique comme il est possible d'empêcher l'arc de s'échapper latéralement.

Die bedeutende Entwicklung der elektrischen Traktion erforderte, neben der Ueberwindung einer Reihe von Schwierigkeiten, ein sorgfältiges Studium der für sie in Betracht kommenden elektrischen Apparate. Dieselben sollen bei kleinsten Dimensionen auch im schwersten Betrieb ein absolut sicheres Arbeiten gewährleisten. Bei den immer grösser werdenden Leistungen der Schaltapparate sind es, neben dem mechanischen Aufbau derselben, die Kontakte, welche die grösste Aufmerksamkeit erfordern. Wie weit dabei die magnetische Funkenlöschung mittels zusätzlicher Blasspule notwendig ist, hängt einerseits von der Kontaktanordnung, anderseits von den Betriebsbedingungen ab, denen der Schalter unterworfen ist, wie z. B. Abschaltleistung, bezw. dem Verhältnis von Spannung zur Stromstärke usw. In der vorliegenden Arbeit soll diese Frage speziell für Einphasen-Wechselstrom von 16 Perioden pro Sekunde näher untersucht werden.

Einfluss der Kontaktform auf das Verhalten des Abschaltlichtbogens.

Zündet man zwischen zwei Elektroden, wie in Fig. 1 angedeutet, einen Lichtbogen, so wird derselbe, abgesehen von äusseren Einflüssen,

wie Luftbewegung usw., bei nicht zu grosser Elektrodendistanz und genügend hoher Spannung stehen bleiben. Ein Einfluss des eigenen magnetischen Feldes auf den Lichtbogen ist infolge der Elektrodenanordnung unmöglich.



Fig. 1

Es ist daher naheliegend, die Kontakte so auszubilden, dass eine möglichst grosse Einwirkung des magnetischen Eigenfeldes auf den Lichtbogen erfolgt. Dieses ist bei den sogenannten Schlaufenkontakten verwirklicht (Fig. 4 a). Dabei ist jedoch wichtig, dass der Lichtbogen durch das Feld immer in bestimmter Richtung gegen die Kontaktspitzen gedrückt wird und dort abreißt.

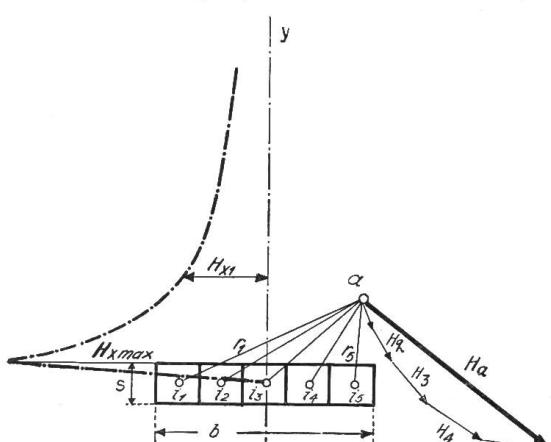


Fig. 2

Grösse des magnetischen Eigenfeldes.

Das auf den Lichtbogen einwirkende Magnetfeld wird, wie bekannt, von den beiden Teilen I und II der Stromschlaufe erzeugt (siehe Fig. 4 a und 4 b). Die