Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke

Band: 10 (1919)

Heft: 3

Artikel: Technische elektrostatische Apparate zur Messung sehr hoher Spannungen

Autor: Imhof, A.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-1061055

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 09.08.2025

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

Beitrag zur Vereinheitlichung der Betriebsspannungen in der Schweiz.

Von *A. Kesselring,* ing. électr., *La Chaux-de-Fonds.*

Die Normalisierung der Gebrauchsspannungen (wie auch der Oberspannungen) sollte so viel wie möglich auf internationaler oder wenigstens kontinentaler Grundlage geschehen. Es ist dies vom schweizerischen Standpunkte aus insbesondere deshalb wünschenswert, weil unsere Fabrikationsgesellschaften schon heute einen erheblichen Teil ihrer Produkte ins Ausland absetzen und ihren Export in Zukunft noch bedeutend erweitern können. Eine solche Entwicklung würde durch einheitliche Gebrauchsspannungen zweifellos erheblich gefördert. — Da die Kolonien sich in diesen Fragen wahrscheinlich nach ihren europäischen Mutterländern richten werden, so empfiehlt sich ein weiter Blick bei Festsetzung der Normalspannungen auch mit Rücksicht auf die zukunftsreichen überseeischen Absatzgsbiete.

In Deutschland ist die Frage der Normalspannungen noch nicht entschieden, wie schon vom Generalsekretariat bemerkt wurde; doch scheinen mir unter den gemachten Vorschlägen die Spannungsreihen

120 210 380 680 Volt, oder:
125 220 380 650 Volt

am meisten Aussicht zu haben, als Normalspannungen festgelegt zu werden.

Frankreich hat (für Drehstrom) als Normalspannungen festgelegt

115 200 500 1000 Volt.

Bei Berücksichtigung dieser Grundlagen und der vom Generalsekretariat veröffentlichten Statistik der Gebrauchsspannungen schweizerischer Elektrizitätswerke erscheinen mir als zweckmässige Normalspannungen für unsere Verhältnisse:

120 210 500 Volt.

Da eine Spannungsdifferenz von $\pm$ 5 % für die normalen Stromverbraucher keinerlei Veränderungen bedingt, welche die Massenfabrikation beeinträchtigen, so würde diese Spannungsreihe ohne weiteres auch den Verhältnissen der beiden vorgenannten Länder Rechnung tragen.

Es bleibt zu untersuchen, ob mit Rücksicht auf die mir nicht bekannten Verhältnisse anderer Länder (insbesondere England und Italien) eine Aenderung oder Komplettierung dieser Spannungsreihe geboten erscheint.

Ferner wäre zu prüfen, ob mit Rücksicht auf die zukünftige Entwicklung der elektrischen Küche und eventuell Heizung nicht noch eine Spannung zwischen 500 und 210 Volt einzuschieben wäre. Die erstere ist aus Sicherheitsgründen als Gebrauchsspannung zu hoch, die letztere mit Rücksicht auf die in Frage kommenden hohen Anschlusswerte etwas niedrig. Es käme hierfür entweder die Spannung 220/380 Volt mit geerdetem Nullleiter in Frage, oder es könnte auch die zwar nur wenig günstigere, aber stark verbreitete Spannung 145/250 Volt als Normalspannung festgelegt werden.

Technische elektrostatische Apparate zur Messung sehr hoher Spannungen.

Von *A. Imhof,* dipl. Ing.

Die gewöhnlichen elektrostatischen Spannungsmesser, deren Prinzip wir als bekannt voraussetzen, sind anwendbar bis zu Spannungen von etwa 5 ÷ 10 kV. Für höhere Spannungen kennt man sehr wenige technisch brauchbare Instrumente. Auf vier prinzipiell verschiedenen Wegen suchte man das Problem zu lösen:

1. Das „Mess-System", worunter wir zwei Elektroden, die eine fest, die andere beweglich, verstehen, steht unter der totalen Spannung.

2. Nur ein Teil der totalen Spannung entfällt auf das System, der übrige Teil auf vorgeschaltete Kondensatoren.

3. Die totale Spannung liegt an einer Serie-Kondensatorbatterie, das System ist zu einem Teil der Batterie parallel geschaltet (Schaltung nach Peuckert).

4. Die totale Spannung liegt an den Enden eines sehr hohen Widerstandes (äusserst dünner Widerstandsdraht oder Elektrolyt-Fäden). Das System ist zu einem Teil parallel geschaltet.

Zu der ersten Gruppe gehören das Pressluft-Elektroskop, das Hochspannungsvoltmeter von Lord Kelvin, von Carpentier (Abraham & Villard) und andere im Prinzip dem Kelvin'schen Instrument nachgebildete Fabrikate. Die meisten dieser Instrumente sind mehr oder weniger Laboratoriumstypen, ihre Angaben sind zum Teil nicht unabhängig von der Umgebung oder zeitlich nicht konstant. Auch das zweite und dritte Prinzip wurde von einigen Firmen zum Bau solcher Apparate verwendet, die jedoch meist noch wenig vollkommen ausgebildet sind. In beiden Fällen ist das Anzeigeinstrument ein statisches Voltmeter, welches an und für sich bei wenigen kV voll ausschlägt. Dazu kommen die Serie- bezw. Parallelkondensatoren.

Der Verfasser hat sich bei der Firma Trüb, Täuber & Co., Hombrechtikon, namentlich mit der Konstruktion technischer Instrumente nach dem zweiten Prinzip befasst und glaubt, dass diesbezügliche Angaben interessieren werden, um so mehr, als dieser Gegenstand wenig bekannt ist. Da das Hauptanwendungsgebiet der statischen Voltmeter die Isolationskontrolle ist, wurden die Apparate zur Spannungsmessung zwischen Leiter und Erde ausgebildet.

Theorie des Instrumentes.

Werden n Kondensatoren mit den Kapazitäten $C_1, C_2 \cdots C_n$ in Serie geschaltet, so verteilt sich die Potentialdifferenz zwischen den äussersten Klemmen auf die einzelnen Kondensatoren nach der Gleichung:

$$V_1 : V_2 : V_3 : \cdot \cdot \cdot \cdot : V_n = \frac{1}{C_n} : \cdot \cdot \cdot \cdot \frac{1}{C_3} : \frac{1}{C_2} : \frac{1}{C_1}$$

Im einfachen Fall nur zweier Kondensatoren gilt:

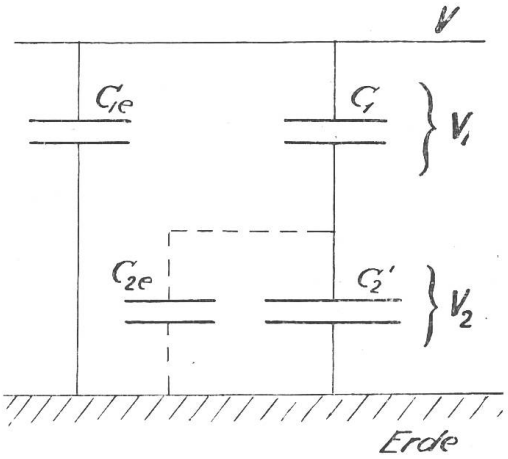

Fig. 1.

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{C_2}{C_1} \qquad 1)$$

C_1 = Kapazität des Vorschaltkondensators.
C_2 = Kapazität des Mess-Systems und der Systemzuführung gegen Erde.

In Fig. 1 sind sämtliche Kapazitäten eingezeichnet. Zwischen dem Spannung führenden Leiter und der Erde besteht immer eine Kapazität C_{1e}, welche als Nebenschluss zum ganzen Instrument keinen Einfluss hat. Die Kapazität C_2 setzt sich zusammen aus der Systemkapazität C^1_2 und der immer auch vorhandenen Kapazität C_{2e} der Systemzuführung gegen Erde. C^1_2 wächst mit zunehmender Spannung (resp. dem Ausschlag) nach einer Funktion, welche durch die Skalenform und die Aenderung des Systemdrehmomentes mit dem Drehwinkel bestimmt ist. Wir kommen später darauf zurück und konstatieren vorerst bloss, dass obige Funktion für ein und dasselbe Instrument dieselbe bleibt. C_{2e} ist ungesetzmässig variabel. Nähert sich z. B. eine geerdete Person, so wird diese Kapazität vergrössert, V_2 und somit der Zeigerausschlag verkleinert:

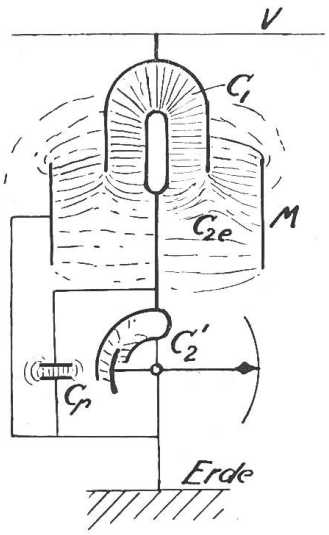

Fig. 2.

$$V_2 = V_1 \frac{C_1}{C_2}$$

$$C_2 = C^1{}_2 + C_{2e}$$

C_{2e} = unregelmässig variabel.

Man kann nun künstlich C_{2e} konstant machen durch einen geerdeten Schutzmantel M nach Fig. 2.

Die Regulierung auf Zeiger-Endausschlag bei der maximalen Spannung ist auf zwei Arten möglich. Die Spannung V_2 am System ist unveränderlich gegeben; sie wird bei sämtlichen Instrumenten gleich gewählt. V_1 muss also auf den Wert $V - V_2$ eingestellt werden. Man kann entweder C_1 oder C_2 regulieren. Einfacher ist der zweite Weg: zum System ($C^1{}_2$) wird ein kleiner Regulierkondensator (C_p) parallel geschaltet (Fig. 2). An diesem liegt nur die relativ kleine Spannung V_2. C_p ist regulierbar, nach Einregulierung konstant.

$$V_2 = V_1 \frac{C_1}{C^1{}_2 + C_{2e} + C_p} = V_1 \frac{C_1}{C_2} \qquad 2)$$

Wir haben stillschweigend die Isolationswiderstände des Apparates unendlich gross angenommen. Die Praxis lehrte aber, dass die grössten Schwierigkeiten in der Erreichung eines genügenden ohmschen Isolationswerts liegen, sofern man mit technischen Isoliermaterialien auskommen will. Trotz der Verwendung von schellackiertem Ebonit, Stabilit und besten Mikartarohres war die Isolation in feuchtem Lokal ungenügend, bis dann durch geeignete Behandlung und Prüfung jeden Materials, namentlich aber auch durch besondere Aufbauformen eine bessere Konstanz der Zeigerausschläge erreicht wurde. Die elektrischen Verhältnisse bei Berücksichtigung der Isolationswiderstände sind sehr interessant und sollen deshalb hier behandelt werden. Es bedeute:

Z_1 = Scheinbarer Widerstand zwischen den Punkten M und N (Siehe Fig. 3 des Ersatzschemas.)
Z_2 = Scheinbarer Widerstand zwischen den Punkten N und O

$$Z_1 = \frac{R_1}{1 + R_1 \omega C_1} \qquad Z_2 = \frac{R_2}{1 + R_2 \omega C_2}$$

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{Z_1}{Z_2} = \frac{R_1 (1 + R_2 \omega C_2)}{R_2 (1 + R_1 \omega C_1)} = \lambda \qquad 3)$$

Sobald die Isolationswiderstände R_1 und R_2 nicht genügen, sind die Zeigerausschläge statischer Voltmeter mit Vorschaltkondensator also abhängig von der Kreisfrequenz ω. Abbildung 3 zeigt das Ersatzschema für den Apparat. Dasselbe reduziert sich auf Abbildung 1, wenn die Widerstände unendlich gross angenommen werden, was erstrebt werden muss. Die kleine Kapazität C^1 wird im folgenden durch einen Widerstand ersetzt gedacht; der damit begangene Fehler ist klein. Aus der Formel für λ folgt, dass diese Grösse bei abnehmendem Isolationswiderstand R_1, resp. R_2 gegen den Wert $\frac{R_1}{R_2}$ konvergiert. Damit das Voltmeter in allen Fällen richtig zeigt, muss λ konstant bleiben, oder vielmehr, wie noch gezeigt wird, nach ein und derselben Funktion variieren. Dies ist für alle Frequenzen der Fall, wenn $R_1 = R_2 = \infty$, ferner bei allen Isolationszuständen, sofern $\frac{R_1}{R_2} = \lambda$. Praktisch ist es unmöglich, die letztere

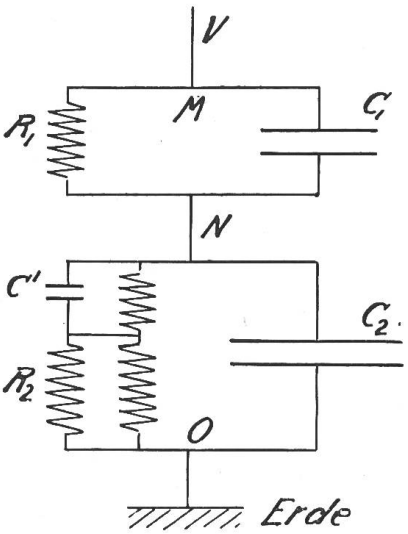

Fig. 3.

Bedingung auch nur angenähert zu erfüllen. Die Isolationswiderstände müssen also sehr hoch gemacht werden, und zwar um so höher, je kleiner die Frequenz. Für $R_1 = R_2 = \infty$ wird $\lambda = \frac{C_2}{C_1}$. Praktisch dasselbe Resultat erhält man für nicht unendliche, aber sehr grosse Widerstände. Bei $\omega = 0$ aber gilt die letzte Gleichung nur noch für so ausserordentlich hohe Widerstände, wie sie nicht mehr ausführbar wären (insbesondere wegen der Oberflächenleitung). Und da Isolationen in ihrem Widerstandswert auch nie konstant bleiben, *gibt es also eine untere Grenze der Frequenz, bis zu der statische Voltmeter mit Vorschaltkondensatoren anwendbar sind.* Je grösser die Kapazität C_1 und C_2, desto niedriger ist diese Grenze.

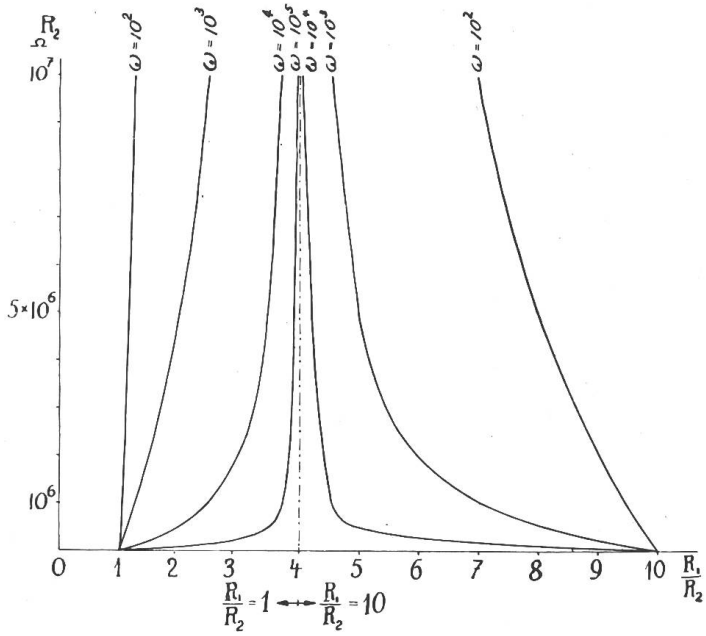

Fig. 4.

In Fig. 4 ist die Grösse $\lambda = \frac{V_1}{V_2}$ in Funktion des Isolationswiderstandes aufgetragen für $\frac{R_1}{R_2} = 1$ und $\frac{R_1}{R_2} = 10$. Die Frequenz ist Parameter. Dabei wurde der bei Voltmetern mit relativ hoher Kapazität praktisch etwa zu verwirklichende Fall angenommen: $C_1 = 10^{-4}$ *MF*; $C_2 = 4\,C_1$, also $\lambda = 4$. Die Kurven sind Hyperbeln, welche die Ordinate durch $\lambda = 4$ als eine Asymtote haben, im Schnittpunkt mit der Abszisse verlieren sie die reelle Bedeutung. Man sieht, dass die genügende Isolation um so schwerer erreichbar ist, je kleiner die Frequenz. Bei $\omega = 10^5$ würden ganz schlechte Isoliermaterialien genügen. Ist $\frac{R_1}{R} < \lambda_{R=\infty} = \frac{C_2}{C_1}$, so gehen die Kurven nach der Seite des Nullpunktes, ist $\frac{R_1}{R_2} > \lambda_{R=\infty}$, so gehen sie nach der Seite der wachsenden Abszisse. Dies gibt gute Mittel in die Hand, um bei ungenügender Isolation sofort zu erkennen, wo diese verbessert werden muss. Die vorangehenden Betrachtungen zeigen auch, dass man grosse Voltmeterkapazitäten erstreben muss, sobald Vorschaltkondensatoren zur Anwendung gelangen. Mehr als früher erwartet, bot die Isolation anfänglich ernste Schwierigkeiten. Die Kontrollen erfolgten zur Sicherheit bei 85 ÷ 90 % relativer Feuchtigkeit.

Würde man die Isolationswiderstände R_1 und R_2 mit grosser Sorgfalt äusserst hoch bemessen, so könnte ein solches statisches Voltmeter vorzüglich zur schnellen Prüfung von Isolationsmaterialien dienen, indem man diese dem System parallel schalten würde. Ich benützte die ersten Apparate tatsächlich mit gutem Erfolg, um Isolationsmaterialien auf die Verwendbarkeit für weitere solche Apparate zu prüfen. Durch Anbringung bekannter Widerstände

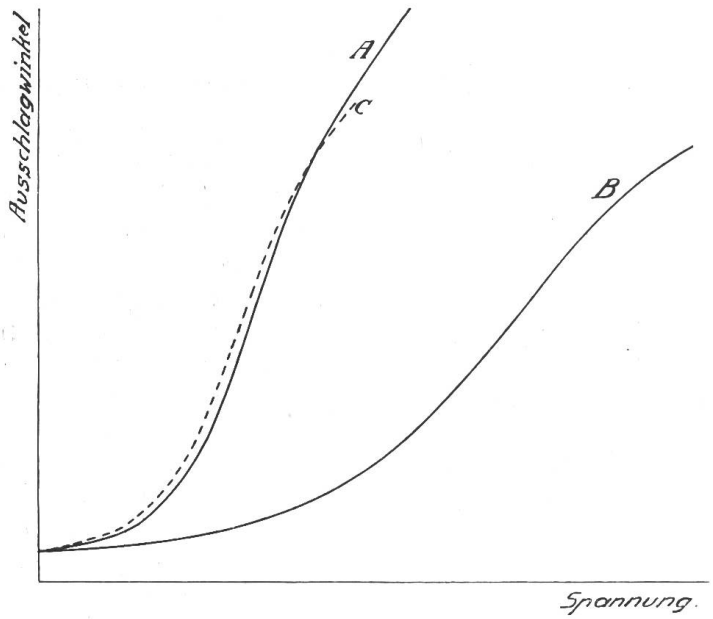

Fig. 5.

parallel zu Kondensator und System liesse sich der Apparat auch geradezu als Zeigerfrequenzmesser für hohe Frequenzen verwenden. Ueber diese Anwendungsgebiete soll später Näheres mitgeteilt werden.

Beeinflussung der Skalenform durch den Vorschaltkondensator.

Wäre die Kapazität C_2 des Mess-Systems konstant über den ganzen Zeigerausschlag, den wir mit φ bezeichnen, so müsste nach Gleichung 1, bezw. 3 die Skalenkurve $\varphi = F(V_2)$ durch affine Umformung aus derjenigen hervorgehen, welche mit dem Vorschaltkondensator erhalten wird. $\left(\text{Affinitätsverhältnis} = \frac{C_2}{C_1}\right)$ Dies ist nicht der Fall:

Die Kapazität C^1_2 des Systems verändert sich nach der Funktion

$$C^1_2 = C^1_0 + C_y$$

C^1_0 = konstant = Systemkapazität bei $\varphi = 0$

$C_y = f(\varphi)$ ergibt sich aus der Skalenform.

$C^1_2 = C^1_0 + f(\varphi)$.

Aus der Gleichung:

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{C_2}{C_1} = \frac{C^1_0 + f(\varphi)}{C_1}$$

und weil φ eine Funktion von V_2 ist, folgt, dass sich der Skalencharakter wegen dem Vorschaltkondensator umsomehr ändert, je kleiner die konstante Kapazität C^1_0 und je grösser $\frac{C_1}{C_2}$. C_y wächst mit zunehmendem Ausschlag φ, weshalb der Skalenanfang durch den Kondensator gezogen wird. Da es bei statischen Voltmetern nur mit Einbusse an dem ohnehin schon geringen Drehmoment des Systemflügels gelingt, die Skala am Anfang auseinanderzuziehen, hat also der Kondensator in dieser Beziehung einen guten, leider kleinen Einfluss. Ein im statischen Laboratorium der Firma Trüb, Täuber & Co. gemachten Skalenvergleich an einem 25 kV-Instrument zeigt Fig. 5. Die Kurve B müsste nach affiner Reduktion mit Kurve A zusammenfallen. Sie verläuft am Anfang steiler, am Schluss weniger steil.

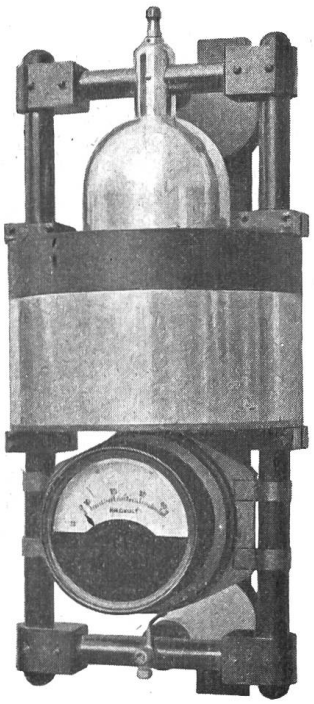

Fig. 6.

Die auf Seite 49 unter 3) genannten Apparate sind, was deren Theorie anbetrifft, durchaus identisch mit den behandelten.

Praktische Ausführung.

Fig. 6 zeigt ein statisches Voltmeter mit Vorschaltkondensator für 25 000 Volt (Ausführung von Trüb, Täuber & Co.). Die oben aus dem weiten Zylinder ragende Glocke ist der Kondensator, unter diesem das Systemgehäuse (ein komplettes statisches Voltmeter für 4 000 Volt), um den Kondensator greift der geerdete, nach innen stark isolierte Schutzmantel. Das Ganze wird gehalten durch ein Isoliergestell aus Mikartarohren. Der Spannungsanschluss ist oben bei D, der Erdungsanschluss unten bei E. Der lange Isolationsweg längs den Mikartarohren genügt bei

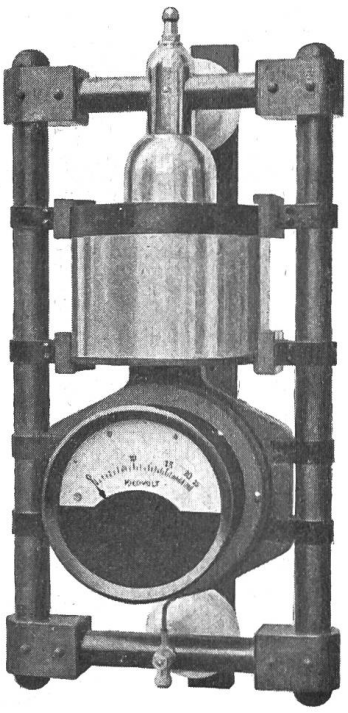

Fig. 7.

grosser Feuchtigkeit nicht; hinten über dem Systemgehäuse ist eine auf die Rückwand montierte Hartgummiisolation. Der Vorschaltkondensator besteht aus einer metallenen Glocke, welche die äussere Elektrode darstellt, und einer zylinderischen Innenelektrode, welche von dem erwähnten Isolationskörper gehalten wird. Das Dielektrikum ist Luft, weil diese den höchsten Isolationswiderstand verbindet mit gleichbleibender Dielektrizitätskonstanten. Den Regulierkondensator sieht man in der Abbildung nicht; er ist an den Systemanschlussbolzen befestigt. Durch blosse Verstellung von dessen Elektrodendistanz mittelst Spindeln und Muttern lässt sich das Instrument für die gewünschte Spannung auf Endausschlag einregulieren.

Eine im wesentlichen ganz gleiche Ausführung für 45 000 Volt Endausschlag zeigt Fig. 7.

Da man mit dem Luftdielektrikum und den Glockenkondensatoren bei sehr hohen Spannungen zu grossen Dimensionen des Schutzmantels gelangt (bei genügender Sicherheit gegen Ueberspannungen), werden seit einiger Zeit Versuche gemacht, in solchen Fällen ein festes Dielektrikum oder Kondensatoren anderer Form zu verwenden.

Leitfähigkeitsmessungen bei der elektrodenlosen Ringentladung.

Von *A. Hartmann,* Zürich.

Einleitung.

Während früher die verschiedenen Arten von Gasentladungen nur vom rein wissenschaftlichen Standpunkt aus Interesse boten und hauptsächlich in theoretischer Hinsicht zu manch wertvoller Erkenntnis geführt haben, so sind sie im Laufe der letzten Jahre auch in der Technik zu grosser Bedeutung gelangt. Ich erinnere nur an das Moore-Licht, die Metalldampflampen, die Quecksilber-Gleichrichter u. a. m. Und wenn man erst an die grosse Wendung denkt, die sich in der drahtlosen Telegraphie durch Einführung des Audions, der sogenannten Elektronenrelais vollzogen hat, so erkennt man, was für eine wichtige Rolle die Vakuumentladungen heute schon in der Technik spielen, und man kann mit Sicherheit erwarten, dass ein fortgesetztes sorgfältiges Studium dieser Erscheinungen noch weitere Anwendungsgebiete von nicht weniger grosser Bedeutung erschliessen wird. Es dürfte deshalb nicht unerwünscht sein, wenn ich im folgenden einige Resultate mitteile, die sich bei meinen Untersuchungen über die elektrodenlose Ringentladung ergeben haben. Aus den Ausführungen geht auch hervor, wie bei quantitativen Untersuchungen auf diesen Gebieten äusserste Vorsicht geboten ist, damit die Messungen nicht durch unerwartete Fehlerquellen vollkommen illusorisch gemacht werden.

Legt man um eine evakuierte Glaskugel eine Spule von wenigen Windungen und schickt man durch diese einen intensiven Hochfrequenzstrom, so wird durch die induzierte EMK in der Kugel bei geeignetem Gasdruck eine helle, ringförmige Leuchterscheinung erregt, die in der Physik unter dem Namen der *elektrodenlosen Ringentladung* bekannt ist.[1]) Man hat sich den Vorgang etwa so zu erklären: durch das statische Feld in unmittelbarer Nähe der Spule wird das Gas schwach ionisiert. Die Ionen erlangen dann unter Einfluss der elektrodynamisch induzierten Kraft solche Geschwindigkeiten, dass sie durch Stoss weitere Ionen erzeugen, und so entsteht längs der Spule ein leuchtender Ring, eine in sich geschlossene „positive Säule". Der elektrodenlose Ringstrom ist also ein Hochfrequenz-Induktionsstrom in einem ionisierten Gas.

Evakuiert man die Glaskugel sukzessive, so setzt die Entladung etwa bei einem Druck von 1 mm Hg. ein. Sie ist anfangs sehr schwach, wird dann bei weiter abnehmendem Druck immer intensiver, erreicht bei zirka 0,04 mm ein Maximum an Helligkeit und verschwindet bei Drucken unter 0,02 mm.

In der vorliegenden Arbeit handelt es sich darum, *die Leitfähigkeit des Gases bei verschiedenen Drucken zu bestimmen.* Da die Untersuchung durch eine Publikation

[1]) Zuerst untersucht von J. J. Thomson, Phil. Mag. (5) *32,* p. 321 und 445, 1891.