

Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke

Band: 25 (1934)

Heft: 21

Artikel: Ueber ein tragbares elektrostatisches Voltmeter

Autor: Täuber-Gretler, A.

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1060178>

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: 17.02.2026

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

lich wirken soll, und zwar schädlich sowohl durch die zur Bereitstellung dieser Apparate erforderliche Zeit, als auch durch eventuelle verkehrte Manipulationen. Damit soll aber die Nützlichkeit die-

ser Apparate, besonders bei lange dauernder künstlicher Beatmung, nicht bestritten, sondern nur die praktische Uebung ihrer Anwendung gefordert werden.

Diskussion.

Der Vorsitzende spricht Herrn Sibler für die interessanten Ausführungen seinen besten Dank aus und eröffnet die Diskussion:

A. Kleiner, Generalsekretär des SEV und VSE: Drei Dinge wollen mir an den neuen Verordnungen nicht gefallen:

1. Die verlangten Aufschriften. Es gibt in den heutigen Anlagen neben den durchaus unentbehrlichen Aufschriften zur Kenntlichmachung von Anlageteilen viel zu viel Aufschriften, die sich auf den Betrieb, auf die Betätigung von Apparaten und auf Gefahren beziehen. Diese letztern wirken wie eine Litanie; man liest sie nicht oder liest sie mechanisch, ohne sich dabei viel zu denken. Warnungsaufschriften müssen daher stets mit Vorsicht angebracht werden, da ihr Schutzwert bedingt ist. Auf keinen Fall aber darf sich die Meinung bilden, durch das Anschlagen einer «Vorschrift» sei der Verantwortliche gegen alle Eventualitäten gedeckt.

2. Das Personal (VPOD) will Betriebsvorschriften ausgedändigt haben. Damit ist aber keine Gefahr vermieden. Wenn der Betriebsleiter glaubt, mit dem Aushändigen von Betriebsvorschriften habe er seine Pflicht getan und sich seiner Verantwortung entschlagen, so ist das ein verwerflicher Standpunkt.

3. Das «Schalten auf Zeit» ist allgemein nicht mehr zulässig. Dieses Vorgehen war bisher in grossem Umfang verwendet. Es gibt viele Fälle, wo eine andere Art, schriftliche, mündliche oder telefonische Uebermittlung von Meldungen über den Spannungszustand der Anlage, an der gearbeitet werden soll, infolge der örtlichen Verhältnisse einfach nicht möglich ist. Auch kann es vorkommen, dass die in der Verordnung verlangte schriftliche, mündliche oder telefonische Meldung, beispielsweise über das Wiedereinschalten der Anlage, nicht funktioniert; dann bleibt die Anlage unzulässig lang ausser Betrieb und es kann grosser Schaden entstehen. Denken wir nur daran, dass beispielsweise in einem Spital oder bei einem Arzt infolge zu langen Unterbrüchen der Energieversorgung ein Unglück geschehen kann. Vorläufig bleibt also nichts anderes übrig, als in Ausnahmefällen wie bisher auf Zeit zu schalten, wobei sich die ausführenden

Organe der Verantwortung und des Umstandes voll bewusst sein müssen, dass sie damit eigentlich gegen die Vorschriften verstossen. Streng vermieden werden muss aber, Schalten auf Zeit zu vereinbaren und doch noch Meldung zu machen; das würde gefährliche Verwirrung zur Folge haben.

E. Heusser, Ingenieur, Aarau: Die Ausführungen von Herrn Sibler, dass die Niederspannungsunfälle meistens tödlichen Ausgang haben, wogegen Hochspannungsunfälle weniger häufig zu direktem Tode führen, sind recht interessant. Wir vernahmen auch, dass in zwei Schweizer Städten Arbeiten an den Niederspannungskabelnetzen unter Spannung ausgeführt werden, unter Verwendung isolierter Werkzeuge. Für diese Technik scheint es keine obere Spannungsgrenze zu geben; denn ich sah vor 13 Jahren in Atlanta (USA) Monteure auf einem Bauplatz mit sinnreichen isolierten Werkzeugen an einer 110 000 V-Anlage arbeiten. Die Monteure behaupteten, dass sie sich sicherer fühlen, wenn sie mit guten Werkzeugen an einer unter Spannung stehenden Anlage arbeiten, als an einer Anlage, von der man ihnen versichert habe, sie sei spannungsfrei. Vielleicht könnte das schwierige Verordnungskapitel über das Arbeiten an elektrischen Anlagen vereinfacht werden durch ein Vorschrift, es dürfe nur mit zweckmässig isolierten Werkzeugen an elektrischen Anlagen gearbeitet werden.

Der Referent weist darauf hin, dass aus der Tatsache, dass gemäss Statistik Hochspannungsunfälle oft weniger folgenschwer verlaufen als Niederspannungsunfälle, nicht geschlossen werden dürfe, Hochspannungsübertritte seien etwa weniger gefährlich als Niederspannungsübertritte. Denn es kommen im Laufe eines Jahres unendlich viele Berührungen mit Niederspannung vor, aber nur die wenigen davon, die einen — meist tödlichen — Unfall nach sich ziehen, kommen zur Kenntnis des Starkstrominspektoreates, während sozusagen jede Berührung mit Hochspannung einen Unfall zur Folge hat. Sicher scheint nur, dass Niederspannungsunfälle mehr Herzschäden bewirken als Hochspannungsunfälle.

Der Vorsitzende dankt den Herren Diskussionsrednern bestens für ihre Mitwirkung.
Berichts folgt.)

(Fortsetzung des

Ueber ein tragbares elektrostatisches Voltmeter.

Von A. Täuber-Gretler, Zürich.

(Mitteilung aus dem Laboratorium der Firma Trüb, Täuber & Co., Zürich.)

621.317.725.082.15

Ausgehend von einer kurzen Erläuterung der Wirkungsweise elektrostatischer Voltmeter werden die konstruktiven Massnahmen diskutiert, welche die Ausführung von Instrumenten für Niederspannung ermöglichen. Es wird gezeigt, dass ein Voltmeter mit tunlichst kleinen Abmessungen einem solchen von der bei Kontrollinstrumenten üblichen Grösse hinsichtlich Gütefaktor und Einstelldauer wesentlich überlegen ist. Ein derartiges tragbares Voltmeter wird ausführlich beschrieben und daran anschliessend auf die mannigfachen Anwendungsmöglichkeiten an Hand von Beispielen hingewiesen.

Après une courte introduction sur le fonctionnement des voltmètres électrostatiques, l'auteur discute les mesures susceptibles de permettre l'exécution d'instruments pour les basses tensions. Un voltmètre de dimensions aussi restreintes que possible est supérieur à un instrument dont les dimensions correspondent à celles des instruments de contrôle courants, tant au point de vue du facteur de qualité que de l'amortissement. Une description détaillée d'un voltmètre portatif de ce genre et un exposé des multiples possibilités d'emploi de cet instrument terminent cet article.

I. Allgemeines.

Das elektrostatische Voltmeter kann im Hinblick auf sein Messprinzip mit dem eisenfreien Elektrodynamometer auf die gleiche Genauigkeitsstufe gestellt werden, denn es ist wie dieses unabhängig von Frequenz, Kurvenform und Schwankungen der

Umgebungstemperatur. Zudem besitzt es den für manche Messungen wesentlichen Vorteil, keine Energie zu verbrauchen.

Das elektrostatische Voltmeter ist aus dem Elektrometer entwickelt worden. Es besitzt eine oder mehrere auf der Drehaxe befestigte Nadeln und

eine entsprechende Anzahl symmetrisch zu ihr angeordnete Quadrantenpaare, welche, da die andern Quadrantenpaare, die das Elektrometer aufweist, hier fehlen, als Duanten bezeichnet werden. Der aktive Teil des Instruments ist demnach im Prinzip nichts anderes als ein Drehkondensator.

Werden Duanten und Nadel auf verschiedene Potentiale gebracht, so erfährt die Nadel ein Drehmoment im Sinne einer Verkürzung der elektrostatischen Kraftlinien. Die Gleichgewichtslage ist erreicht, wenn das elektrostatische Drehmoment durch das bei der Drehung der Nadel auftretende mechanische Drehmoment der Spiralfeder (oder des Torsionsbandes) kompensiert ist. Dieser Zustand wird analytisch durch die einfache Bezeichnung beschrieben:

$$\alpha T_f = \frac{dC}{d\alpha} \cdot \frac{U^2}{2} \quad (1)$$

wo:

α der Ausschlagwinkel, im Bogenmass gemessen
 $\frac{dC}{d\alpha}$ die Kapazitätszunahme zwischen Duanten und

Nadel bei der Ausschlagswinkeländerung $d\alpha$
 U der Effektivwert der Potentialdifferenz zwischen Duanten und Nadel.

Werden C und U in elektrostatischen Einheiten eingesetzt, so erhält man das Drehmoment in cmdyn. Ist im besonderen $\frac{dC}{d\alpha}$ über den ganzen Messbereich konstant, so ergibt sich eine rein quadratische Skala für U . Leider erhält man erst bei Messbereichen über 1000 Volt ein für technische Instrumente der üblichen Bauart und Grösse hinreichendes Drehmoment. Zwei Wege wurden eingeschlagen, um auch für Messbereiche bis hinunter auf etwa 130 Volt brauchbare Instrumente zu erhalten.

Um bei kleinstem Drehmoment Reibungsfehler zu vermeiden, ist an Stelle der Lagerung in Steinen die Aufhängung an einem Torsionsband anzuwenden. Zur weiteren Erhöhung der Empfindlichkeit lassen sich dann (da jetzt eine Gewichtsvermehrung keine Reibungsfehler mehr verursachen kann) mehrere Nadeln anbringen. Als erstes Instrument dieser Art ist das klassische Multicellularvoltmeter nach Lord Kelvin zu nennen. Nachteilig bei den meisten derartigen Instrumenten ist die lange Einstelldauer des Zeigers und die unständliche Handhabung.

Den zweiten Weg zur Herstellung eines zuverlässigen elektrostatischen Voltmeters für niedrige Spannungen und zudem eines solchen mit Steinlagerungen und kurzer Einstelldauer weist die Erfahrungstatsache, dass im allgemeinen ein elektrisches Messinstrument um so weniger empfindlich gegen mechanische Einflüsse wie Lagerreibung und Erschütterungen bei Transport wird, je kleiner es ist. Beim elektrostatischen Voltmeter sind die kleinstmöglichen Abmessungen in erster Linie gegeben durch die Spiralfeder, welche natürlich nicht für ein beliebig kleines Drehmoment her-

stellbar ist; ausserdem kann für die Teile, aus welchen sich das Drehsystem zusammensetzt, Material unter einer gewissen Dicke aus Festigkeitsgründen nicht mehr verarbeitet werden.

Von diesen Einschränkungen zunächst abgesehen, lässt der Vergleich zwischen zwei Instrumenten, A und B, deren lineare Abmessungen sich zueinander verhalten wie n zu 1, bei Betrachtung des bezüglichen mechanischen Gütefaktors und der Formel für die ungedämpfte Schwingung leicht beurteilen, was durch eine allgemeine Verkleinerung der Abmessungen zu gewinnen wäre.

Es sollen bedeuten:

G das Gewicht des Drehsystems in g,

p einen Erfahrungsexponenten,

T das Drehmoment in cmg für eine Zeigerablenkung von 90° aus der Gleichgewichtslage,

D das Drehmoment in cmdyn für eine Zeigerablenkung vom Winkel 1 (im Bogenmass ausgedrückt),

$\gamma = \frac{10T}{G^p}$ das mechanische Güteverhältnis¹⁾,

m die Masse des Drehsystems,

r der Trägheitsradius,

$K = mr^2$ das Trägheitsmoment bezogen auf die Drehaxe,

τ die Zeitdauer in Sekunden für die freie Schwingung.

1 und 2 als Indices: Hinweis auf Grössen, die für Instrument A bzw. B gelten.

Dann ist:

$$\gamma_1 = \frac{10T_1}{G_1^p} \text{ bzw. } \gamma_2 = \frac{10T_2}{G_2^p} \quad \text{und} \quad (2)$$

$$\tau_1 = 2\pi \sqrt{\frac{K_1}{D_1}} \text{ bzw. } \tau_2 = 2\pi \sqrt{\frac{K_2}{D_2}} \quad (3)$$

sowie nach Voraussetzung

$$G_2 = \frac{G_1}{n^3}; \quad T_2 = \frac{T_1}{n^2}; \quad D_2 = \frac{D_1}{n^2}$$

$$K_2 = m_2 r_2^2 = \frac{m_1}{n^3} \cdot \frac{r_1^2}{n^2} = \frac{1}{n^5} \cdot m_1 r_1^2$$

woraus folgt:

$$\frac{\gamma_2}{\gamma_1} = \frac{n^{3+p}}{n^2} = \underline{n^{1+p}} \quad (4)$$

$$\frac{\tau_2}{\tau_1} \sqrt{\frac{n^2}{n^5}} = \underline{\frac{1}{n^{3/2}}} \quad (5)$$

Für $n = 3$ und $p = 1,5$ ergibt sich

$$\begin{aligned} \gamma_2 &= 15,6 \gamma_1 \text{ und} \\ \tau_2 &= 0,19 \tau_1 \end{aligned}$$

Man sieht, dass eine Verkleinerung der linearen Abmessungen auf $\frac{1}{3}$ den mechanischen Gütefaktor ganz erheblich verbessert und auch eine nennenswerte Verkürzung der Schwingungsdauer ergibt, immer vorausgesetzt, dass alle Abmessungen im selben Verhältnis reduziert werden können.

¹⁾ Nach der Definition von Keinath, Technik elektrischer Messgeräte, 1928, Bd. I, S. 28.

Vergleich zweier Probeinstrumente.

Tabelle I.

Instrument	Zeigerlänge mm	Dicke mm	Nadel-Länge mm	Drehmoment für 90° cmg	Schwingungsdauer s	Beruhigungszeit s	Gewicht des Drehsystems g	Mech. Güteverhältnis γ
A	90	0,1	100	0,041	7	8	3,1	0,075
B	36	0,04	35	0,0052	2	2	0,35	0,25

Welches der praktische Gewinn in dieser Beziehung ist, geht aus Tabelle I hervor, welche die hier interessierenden Daten zweier eigens zu diesem Zwecke hergestellter Instrumente (beide für den gleichen Messbereich von 300 Volt) enthält. Den Kolonnen 6 und 9 ist zu entnehmen, dass

$$\gamma_2 = 3,3 \gamma_1 \text{ und } \tau_2 = 0,29 \tau_1$$

Wie zu erwarten war, erwies sich das Voltmeter A auch bei vertikaler Axenlagerung der Reibungsfehler wegen als unbrauchbar, während Voltmeter B bei verhältnismässig rascher Zeigereinstellung keine wahrnehmbaren Reibungsfehler zeigte. Der Umstand, dass die Dicke der Nadel nichts zum Drehmoment beiträgt, lässt gerade beim elektrostatischen Voltmeter durch eine allgemeine Reduktion der Abmessungen diese wesentlichen Vorteile erzielen. Die Nadel von 0,04 mm Dicke ist bei einer Länge von 35 mm immer noch mindestens so widerstandsfähig gegen mechanische Beanspruchungen, die der Transport mit sich bringt, als diejenige von 0,1 mm Dicke bei einer Länge von 100 mm.

Seitdem die Nachfrage nach Instrumenten zur Messung hochfrequenter Spannungen erheblich gestiegen ist, sind kleine elektrostatische Voltmeter verschiedenster Provenienz auf dem Markt erschienen. Da sich diese Instrumente aber auch zur Messung von Spannungen technischer Frequenzen, von Gleichspannungen und Potentialen eignen, so dürfte es sich rechtfertigen, ausgehend von der näheren Beschreibung eines bestimmten Fabrika-

gelten je nach dem Messbereich, für welches es geeignet werden kann, die in Tabelle II enthaltenen charakteristischen Daten.

Für die Konstruktion waren die folgenden Gesichtspunkte massgebend:

Dielektrische Festigkeit und Schutzwiderstand. Ein Ueberschlag zwischen Duanten und Nadel ist

Fig. 1.

Elektrostatisches Voltmeter in Pressmaterialgehäuse von 117×120×47 mm mit Spiegelskala.



gleichbedeutend mit einem direkten Kurzschluss und würde unter Umständen nicht nur eine gründliche Zerstörung des Instrumentes bewirken, sondern auch den Beobachter gefährden. Der Kurzschlußstrom wird auf einen das Voltmeter

Daten des elektrostatischen Voltmeters TTC.

Tabelle II.

Messbereich V	Drehmoment für 90° cmg	Gewicht des Drehsystems g	Zahl der Nadeln	Berechnete wirksame Kapazität in pF ¹⁾		Gemessene Gesamtkapa- zität in pF ¹⁾ am Skalen- ende	Beruhigungs- zeit s	Gütefaktor γ
				am Skalen- anfang	am Skalen- ende			
125	0,0017	0,28	2	4	38	54	3	0,11
200	0,0028	0,35	2	3	19	36	2 1/2	0,14
300	0,0052	0,35	2	2	15	32	2	0,25
600	0,0072	0,29	1	2	7	19	1 1/2	0,46
1000	0,011	0,29	1	1	5	17	1 1/2	0,70

¹⁾ pF = Picofarad = 10^{-12} Farad; p = pico = $10^{-12} = \mu\mu$.

tes, die ausserordentlich vielseitigen Anwendungsmöglichkeiten des elektrostatischen Voltmeters für Niederspannung zu behandeln.

II. Beschreibung des TTC-Instrumentes.

Für das in Fig. 1 und 2 abgebildete elektrostatische Voltmeter (Fabrikat Trüb, Täuber und Co.)

nicht schädigenden Wert durch den Einbau eines sogenannten Schutzwiderstandes begrenzt. Bei der Messung von Gleich- und niederfrequenten Spannungen kann der Schutzwiderstand 0,5 bis 1 Megohm betragen, ohne zusätzliche Messfehler wegen des auftretenden Spannungsabfalles in Kauf nehmen zu müssen. Um auch Spannungen mit

hohen Scheitelwerten messen zu können, ist ein hinreichender Abstand zwischen Duanten und Nadel zu wählen. Die mittlere elektrische Feldstärke wurde so festgelegt, dass ein Ueberschlag erst bei sinusförmigen Spannungen von mindestens dem



Fig. 2.

Meßsystem eines elektrostatischen Voltmeters für 300 Volt, mit 2 Nadeln und eingebautem Schutzwiderstand.

doppelten Skalenwert erfolgt. Eine Ausnahme musste beim Voltmeter für 125 Volt gemacht werden, wo die Grenzbeanspruchung etwa bei der 1½fachen Spannung des Skalenendwertes liegt.

Instrumente, die zur Messung hochfrequenter Spannungen verwendet werden sollen, lassen sich wegen der grösseren Stromaufnahme durch hochohmige Widerstände ohne beträchtliche Messfehler

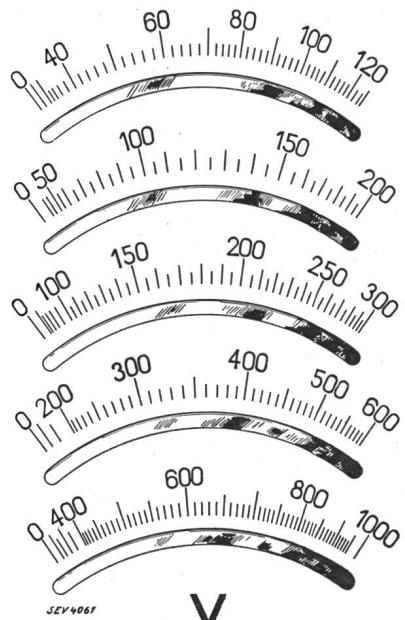


Fig. 3.
Skalen von elektrostatischen Voltmetern.
Naturgrösse.

nicht ausreichend schützen. Solche Voltmeter erhalten daher zweckmässigerweise eine dritte, direkt mit der Nadel verbundene Klemme. Als bedingter Schutz ist ein äusserer Widerstand in Reihe mit einer passenden Schwachstromsicherung zu empfehlen. Ueber die Grösse des von Fall zu Fall zu wählenden Widerstandes orientiert Fig. 4.

Die Isolation. Um das elektrostatische Voltmeter auch zu Potential- und Ladungsmessungen benutzen zu können, ist höchstmögliche Isolation zwischen Nadel und Duanten unerlässlich. Hiefür eignet sich Bernstein immer noch am besten. Die Halbwertzeit für die Entladung eines auf den Skalenendwert aufgeladenen Instrumentes sollte selbst bei feuchter Witterung mindesetens eine Stunde betragen.

Abschirmung gegen elektrostatische Fremdfelder. Bei kleinen Instrumenten bewirkt eine vollständige Abschirmung eine wesentliche Vergrösserung der Streukapazität und damit der bei der Messung allenfalls zu berücksichtigenden Gesamtkapazität. Die Fremdfeldbeeinflussung wächst mit der Messempfindlichkeit und ist daher bei Instru-

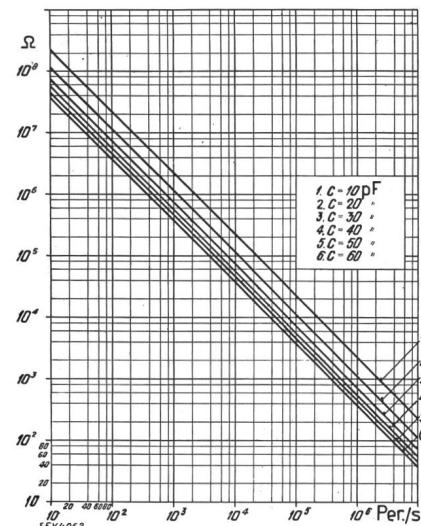


Fig. 4.
Ohmwerte der Schutzwiderstände, die im Frequenzbereiche von 10 bis 10^6 Per./s bei 10 bis 60 pF wirksamer Kapazität einen zusätzlichen Messfehler von -1% bewirken.

$$(p = 10^{-12}; 1 \text{ pF} = 10^{-12} \text{ F})$$

menten mit niedrigerem Messbereich grösser als bei solchen mit höherem Messbereich.

Im Hinblick auf die stets anzustrebende höchstmögliche Messgenauigkeit ist eine erheblich grössere Kapazität infolge der Abschirmung meistens ohne weiteres annehmbar.

Weitere Störungseinflüsse: Der Kippfehler. Eine im Verhältnis zur Nadellänge zu kurze Drehsystemaxe bewirkt bei Instrumenten mit niedrigen Messbereichen Kippfehler; wegen der unumgänglichen «Axenluft» entsteht je nach der Neigung der Axe ein entsprechend veränderliches elektrisches Drehmoment. Um solche Kippfehler tunlichst zu vermeiden, ist man an eine Mindesthöhe des Meßsystems gebunden, welche noch ganz wesentlich zu vermindern sonst möglich wäre und erwünscht sein könnte.

Aenderung der Konstanten der Spiralfeder. Geeignete Qualität der Spiralfeder vorausgesetzt, ändert sich deren Elastizität mit der Raumtemperatur so wenig, dass keine merkbaren Messfehler auftreten. Bei der Messung hochfrequenter Span-

nungen kann dagegen die Spiralfeder durch den aufgenommenen Strom derart erwärmt werden, dass selbst eine dauernde Änderung ihres Drehmomentes möglich ist. Die Verwendung des Instruments für Hochfrequenzmessungen ist daher begrenzt durch die Stromaufnahme, bedingt durch wirksame Kapazität und Frequenz.

Die Dämpfung. Das Drehsystem kann magnetisch oder durch Luft gedämpft werden. Der Luftdämpfung ist hier der Vorzug zu geben, da bei den sehr schwachen Drehmomenten selbst geringste Spuren magnetischen Materials im Dämpfersegment störende Drehmomente erzeugen.

Der Skalencharakter²⁾. Die Skala hat im wesentlichen quadratischen Charakter. Durch geeignete Formgebung von Duanten und Nadel lässt er sich weitgehend beeinflussen. Ein Erweitern der Teilung am Skalenanfang erhöht zwar den Verwendungsbereich³⁾ nach unten hin, hat aber eine erhebliche Einbusse an Drehmoment zur Folge, so dass Bandaufhängung des Drehsystems unumgänglich wird, womit die Vorteile der raschen Zeigereinstellung und die Handlichkeit verloren gehen. Ein Zusammendrängen der Intervalle gegen das Skalenende hin erhöht die Einstellsicherheit an dieser Stelle. In Fig. 3 sind die Skalen, die für die Messbereiche der Tabelle II gelten, wiedergegeben.

Die Messgenauigkeit ergibt sich aus der Summe aller Störungseinflüsse, die oben erörtert wurden, zuzüglich der möglichen dauernden Änderungen mechanischer Natur, nämlich der Schwerpunktsverlagerungen und Deformationen der Nadel. Die ersten stören nur dann, wenn das Instrument nicht in horizontaler Lage verwendet wird; die zweiten sind, selbst sorgfältigste Herstellung und Montage der Nadel und Duanten (Vermeidung innerer Materialspannungen) vorausgesetzt, trotzdem noch als Ursache für den grössten Teil des gesamten Messfehlers zu betrachten.

Zusammenfassend lässt sich die Messgenauigkeit unter den genannten Voraussetzungen für kleine elektrostatische Voltmeter bei den niedrigeren Messbereichen (bis 200 V) auf $\pm 2\%$ und bei höheren Messbereichen auf $\pm 1\%$, je bezogen auf den Skalenendwert, veranschlagen.

Voltmeter für mehrere Messbereiche. Für Messungen von Gleich- und niederfrequenten Spannungen eignet sich ein induktionsfrei gewickelter hochohmiger Spannungsteiler (0,5 bis 1 Megohm) mit Abzweigungen, etwa bis zum Höchstwert von 1000 V. Gute Isolation vorausgesetzt, bringt ein Ohmscher Spannungsteiler nur den Nachteil eines gewissen Energieverbrauches mit sich.

Ausschliesslich für Wechselspannungsmessungen geeignet sind kapazitive Spannungsteiler, die aber bei dem gleichen Anspruch an Genauigkeit nicht so leicht herstellbar sind wie Widerstandsspannungsteiler. Nur der Vollständigkeit halber sei erwähnt, dass Spannungswandler mit kleinem Eigen-

verbrauch auch zur Erweiterung des Messbereiches nach unten dienen können.

III. Die Verwendungsmöglichkeiten des elektrostatischen Voltmeters.

Potential- und Ladungsmessungen. Bei bestmöglichster Isolation der Duanten und der zugehörigen Anschlussklemme lassen sich viele Messungen ausführen, welche sonst nur mit dem Elektrometer möglich sind. Alle Schulversuche zum Nachweise der Grundgesetze der Elektrostatik mit Hilfe des Elektroskopos können mit dem elektrostatischen Voltmeter quantitativ vorgezeigt werden. Nachstehend sind hierfür drei Beispiele gegeben, die gleichzeitig auch praktische Bedeutung haben:

1. Ausmessung des elektrostatischen Feldes über dem Erdboden. Bekanntlich beträgt der Spannungsgradient in der untersten Schicht der Atmosphäre im Mittel ca. 100 V/m. Mit Hilfe eines Wasserkollektors⁴⁾, der heute noch in einzelnen meteorologischen Observatorien in Verbindung mit registrierenden Elektrometern zur dauernden Aufzeichnung des Luftpotentials verwendet wird, lässt sich dieses auch mit einem kleinen Zeigerinstrument ausmessen. Der Wasserkollektor besteht im wesentlichen aus einem Behälter mit feiner Ausflussöffnung, der hier auf einer 2 bis 3 m langen Stange zu tragen ist. Der mit Wasser gefüllte Behälter, gegen die Stange durch ein Zwischenstück aus Bernstein isoliert, wird mit der Duantenklemme leitend verbunden. Die Nadelklemme wird durch Berühren mit der Hand auf Erdpotential gehalten. Mit dieser einfachen Einrichtung kann nicht nur zu Demonstrationszwecken das Luftpotential nachgewiesen werden, sondern es lassen sich auch Senken in den Aequipotentialflächen, seien diese nun eine Folge von unterirdischen Wasseradern oder möglicherweise von Erdstrahlen, feststellen. Ausserdem ist die Messung des Luftpotentials in Abhängigkeit von Witterung, Jahreszeit und Ort von Interesse.

2. Kapazitätsmessung durch Ladungsteilung. Steht ein gut isolierter Kondensator zur Verfügung, dessen Kapazität C_N bekannt und von der gleichen Größenordnung ist wie diejenige des zu messenden Kondensators, so ergibt sich die gesuchte Kapazität C_x folgendermassen:

Der Vergleichskondensator wird auf eine bestimmte Spannung U_1 — mit dem elektrostatischen Voltmeter zu messen — aufgeladen, nachher der zu messende Kondensator beidpolig mit jenem verbunden, wobei die Spannung auf den Wert U_2 zurückgehen möge.

Aus der Gleichung für die Ladung Q ,

$$Q = C_N U_1 = (C_N + C_x) U_2 \text{ folgt dann}$$

$$C_x = C_N \frac{U_1 - U_2}{U_2} \quad (6)$$

Vorausgesetzt ist auch, dass der zu messende Kondensator keine merkliche Ableitung zeige und dass die Kapazität C_v des Voltmeters gegenüber C_N vernachlässigt werden könne.

Nach der gleichen Methode kann die Kapazität C_v des Voltmeters selbst für jeden beliebigen Ausschlag durch Vergleich mit der Kapazität einer Metallkugel von 20 bis 30 cm Durchmesser, die hinreichend weit von andern auf Erdpotential befindlichen Körpern isoliert aufzuhängen ist, bestimmt werden. Die Kugelkapazität ist dann, abgesehen von einer kleinen Korrektur wegen des Aufhängefadens, gleich ihrem Radius.

3. Messung sehr grosser Widerstände. Die Methode beruht auf der Messung der Entladearbeit eines auf eine gewisse Spannung aufgeladenen Kondensators mit vernachlässigbarer Eigenentladung über den zu messenden Widerstand R_x . Je nach der Kapazität C des Kondensators lassen sich Widerstände von 10^6 bis 10^{12} Ohm messen. Beträgt die zwischen den Ladezuständen U_1 und U_2 verflossene und mit der Stoppuhr gemessene Zeit t Sekunden, so ist:

²⁾ Imhof, Bull. SEV 1919, S. 47 und 266.
³⁾ Palm, Z. techn. Physik 1934, Nr. 3.

⁴⁾ Der Flammerkollektor eignet sich weniger gut und der Radiumkollektor ist zu kostspielig.

$$R_x = \frac{t}{(C + C_v) \ln \frac{U_1}{U_2}} \quad (7)$$

Ist C_v gegenüber C nicht zu vernachlässigen, so genügt es jedenfalls, für C_v den Wert einzusetzen, welcher dem halben Zeigerausschlag entspricht.

Will man sich über die Güte eines Isoliermaterials ein rohes Bild machen, so braucht man mit demselben nur die Duantenklemme des aufgeladenen Voltmeters zu berühren. Die meisten Preßstoffprodukte zeigen, verglichen mit Hartgummi, mit welchem sie etwa, nach dem Aussehen beurteilt, verwechselt werden könnten, eine bedeutend geringere Isolation.

4. *Messung von Gleichspannungen.* Gleichspannungen lassen sich außer nach der Kompensationsmethode nur mit dem elektrostatischen Voltmeter ohne Stromverbrauch messen. Obwohl die erreichbare Genauigkeit nicht an diejenige des Kompensationsapparates heranreicht, ist doch die Verwendung des elektrostatischen Instrumentes dieser Eigenschaft wegen manchmal zu empfehlen. Anderseits ist die Möglichkeit, dasselbe mit Gleichspannung nacheichen zu können, von Nutzen.

5. *Messung von Wechselspannungen technischer Frequenzen.* Die Stromaufnahme des elektrostatischen Voltmeters beträgt bei 50 Per./s einige μA , so dass es zur Messung von Spannungsabfällen an Ohmschen, induktiven und kapazitiven Widerständen benutzt werden kann, ohne seine eigene Kapazität berücksichtigen zu müssen. Ist der Ohmsche Widerstand bzw. die Kapazität, deren Spannungsabfall gemessen wird, bekannt, so kann daraus auch der Strom der im betreffenden Kreise fließt, berechnet werden. Auf folgende Anwendungen des elektrostatischen Voltmeters sei noch hingewiesen:

6. *Aufsuchen des geerdeten Leiters in einem Licht- oder Kraftverteilungsnetz.* Die Duantenklemme wird der Reihe nach mit den Leitern verbunden, die Nadelklemme mit der Hand berührt (es genügt dabei, die Isolierkappe der Klemme zu berühren). Der geerdete Leiter ist daran zu erkennen, dass bei seinem Anschluss kein Ausschlag am Instrument wahrgenommen wird.

7. *Nachweis von Hochspannung ohne metallische Berührung mit den betreffenden Leitern.* Man verfährt hierzu ähnlich wie zur Messung von Luftpotentialen. Ein metallischer Schirm, bestehend aus einem Blech von etwa 30×30 cm Fläche, an einer Stange befestigt und von dieser gut isoliert, wird mit der Duantenklemme leitend ver-

bunden. Die Nadelklemme wird durch Berühren mit der Hand auf Erdpotential gebracht. Bei der Annäherung des Schirmes an eine unter Spannung stehende Leitung erhält man bei noch sicherer Entfernung einen Zeigerausschlag. Bei ca. 1 m Entfernung von einem gegen Erde unter 20 kV Spannung stehenden Leiter ist beispielsweise ein Ausschlag von ca. 150 V zu beobachten. Liegen Hin- und Rückleitung einer einphasigen Spannungsquelle oder die drei Phasenleitungen eines Drehstromsystems nahe beisammen, so ist die Wirkung nach aussen proportional der Differenz der Abstände der einzelnen Leiter vom Schirm. Bei einer Drehstromhochspannungsleitung von beispielsweise 150 kV verketteter Spannung erhält man daher bei 20 m Abstand vom nächsten Draht nur einen Ausschlag von ca. 100 V.

Das Experiment beruht auf der kapazitiven Spannungsteilung: Schirm und Draht bilden den Vorkondensator zum Instrument.

8. *Messung der Spannung gegen Erde von isolierten metallischen Körpern, die im Bereich des elektrischen Feldes einer Hochspannungsleitung stehen.* Es kommt dieser Messung, die grundsätzlich dasselbe ist, wie die unter 7 beschriebene, eine praktische Bedeutung zu, da schon beobachtet wurde, dass sich nicht geerdete Blechbedachungen von Häusern in der Nähe von Hochspannungsleitungen bei trockener Witterung aufladen. Mit dem elektrostatischen Voltmeter lässt sich der Potentialunterschied gegen Erde messen.

9. *Die Messung von Mittel- und Hochfrequenzspannungen.* Wie erwähnt, ist der Schutzwiderstand nach der Stromaufnahme zu bemessen. Der graphischen Tabelle Fig. 4 sind für Kapazitäten von 10 bis 60 pF⁵⁾ die Ohmwerte der Schutzwiderstände für Frequenzen von 10 bis 10^7 Per./s zu entnehmen, welche zusätzliche Messfehler von 1 %, bezogen auf den jeweiligen Sollwert, verursachen.

Der höchstzulässige Strom, den die Spiralfeder ohne Änderung ihrer Konstanten aushält, beträgt für das beschriebene Instrument ca. 60 mA. Danach ergibt sich je für den Skalenendwert unter Zugrundelegung der Kapazitätswerte nach Kolonne 6, Tabelle II, eine Frequenz von ca. $2 \cdot 10^6$ Per./s und für je den halben Endwert eine solche von ca. $8 \cdot 10^6$ Per./s. Eine Ueberschlagsrechnung wird von Fall zu Fall nötig sein, um zu ermessen, ob bei einer gewissen, ungefähr bekannten Spannung ein verfügbares elektrostatisches Voltmeter ohne Bedenken verwendet werden darf.

⁵⁾ pF = Picofarad = 10^{-12} Farad; p = pieo = $10^{-12} = \mu\mu$.

Messung von Hochfrequenzbestandteilen der Radioapparate bei Massenherstellung.

Von J. M. Unk, Eindhoven.

621.317.33 : 621.396.66

Es wird ein Messinstrument für das Messen von Selbstinduktion, Kapazität und Verluste von Hochfrequenzkreisen beschrieben. Die Messung beruht auf der «Brückenschaltung». Die Frequenz des Generators ist von der gleichen Größenordnung wie diejenige, auf welche die zu untersuchenden Hochfrequenzkreise abgestimmt sind. Spezielle Aufmerksamkeit ist dem Eliminieren von «parasitischen Impedanzen» gewidmet, damit eine grössere Messgenauigkeit erreicht werden kann. Das Messinstrument ist speziell für schnelle und genaue Messung in Massenfabrikation geeignet.

I. Einleitung.

Die Messung von Hochfrequenzbestandteilen von Radio-Apparaten muss in einer Fabrik schnell und mit grosser Genauigkeit durchgeführt werden können, besonders bei Apparaten, deren Selektivität und Empfindlichkeit hauptsächlich von den abgestimmten Hochfrequenz-Kreisen (bei der soge-

L'auteur décrit un instrument propre à la mesure de l'inductivité, de la capacité et des pertes dans des circuits à haute fréquence. Cet instrument est en somme un pont. La fréquence du générateur est du même ordre de grandeur que celle pour laquelle les circuits à mesurer sont accordés. Il a été accordé une attention particulière à l'élimination d'«impédances parasites», afin d'augmenter l'exactitude des mesures. L'instrument se prête spécialement aux mesures rapides et exactes lors de fabrication en grandes séries.

nannten Geradeausschaltung) bestimmt werden. Es sind u. a. folgende genaue Untersuchungen nötig:
a) Gleichheit der Kapazitäten (C) der Kondensatoreneinheit in verschiedenen Positionen sowie der HF-Verluste (P_v) dieser Kapazitäten (es ist zweckmäßig, diese Messungen bei dem fertig montierten Chassis zu wiederholen).