

Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke

Band: 20 (1929)

Heft: 6

Artikel: Fortschritte der Messinstrumententechnik in den letzten Jahren

Autor: Imhof, A.

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1060758>

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>

SCHWEIZ. ELEKTROTECHNISCHER VEREIN

BULLETIN

ASSOCIATION SUISSE DES ÉLECTRICIENS

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

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

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

XX. Jahrgang
XX^e Année

Bulletin No. 6

März II
Mars II 1929

Fortschritte der Messinstrumententechnik in den letzten Jahren.

Von Prof. A. Imhof, Winterthur.

Der Autor gibt einen Ueberblick über die neuere Entwicklung der Technik elektrischer Messungen. Behandelt werden die modernen Methoden zur Messung hoher Spannungen, die Stromwandler, das Induktionsdynamometer und seine Anwendungen, die Fernmessmethoden, die Messung dielektrischer Verluste, die Registrierung von Messgrössen, die trägeheitslosen Oszillographen und die Röhrenvoltmeter. Der Aufsatz ist mit vielen Literaturnachweisen versehen.

621.37 (09)
L'auteur donne un aperçu du développement le plus récent de la technique des mesures électriques. Il parle des méthodes modernes de mesure des hautes tensions, passe en revue les transformateurs d'intensité, le dynamomètre à induction et ses applications, les méthodes de mesure à distance, la détermination des pertes diélectriques, l'enregistrement des grandeurs mesurées, les oscilloscopes à inertie nulle et les voltmètres à triodes. L'article contient de nombreux renvois à la littérature technique.

Die letzten Jahre brachten eine Reihe achtbarer Fortschritte der Messinstrumententechnik und zeichneten Wege vor zu weiteren. Die Einflüsse der mächtig sich entfaltenden elektrischen Grosskraftübertragungen machten sich eben auch hier geltend. Einsteils sind es die sehr hohen Spannungen, welche Neuerungen verlangten, anderseits die bedeutenden Ströme, besonders die Kurzschlusströme, auf die man Rücksicht nehmen musste, und die grossen Maschineneinheiten forderten eine sorgfältig messende Kontrolle der elektrischen Grössen und der Temperaturen. Die Ueberwachung der Anlagen von zentralen Stellen aus brachte ein vermehrtes Bedürfnis nach Fernmessmöglichkeiten. Neue Instrumente verlangte auch die Hochfrequenztechnik.

Am augenfälligsten ist die Entwicklung der Hochspannungsmesstechnik gewesen und wird es in nächster Zeit noch sein. Es galt die Spannungswandler für Nennspannungen bis 220 kV zu entwickeln und allgemein die Messwandler für die Aufstellung im Freien zu bauen. Besondere Schwierigkeiten ergaben sich hierin nicht, nur steht der Aufwand an Material in keinem Verhältnis zu der kleinen, von diesen Transformatoren verlangten Sekundärleistung. Die Erbauer der Anlagen fragten immer wieder nach billigeren Messmöglichkeiten und einige solche haben sich geboten, wenn sie auch alle noch im Entwicklungsstadium sind.

Mit besonderem Nachdruck wurden in den letzten Jahren Apparate gesucht, welche die Spannungswandler ersetzen sollten. Drei Lösungen sind gefunden worden, die auf diesem Gebiete in den kommenden Jahren umwälzend wirken dürften. Diese Methoden beruhen alle darauf, zwischen Messleitung und Erde einen hohen Widerstand zu schalten und den durch diesen fliessenden, der Spannung proportionalen Strom oder eine Teilspannung zu messen, unterscheiden sich aber wesentlich.

in der Wahl der Widerstände und in der Art der Strom- und Spannungsmessung. Das älteste System benutzt den kapazitiven Widerstand. Der Ladestrom eines Kondensators, der der angelegten Spannung bei konstanter Frequenz proportional ist, wird mit Hilfe eines kleinen Stromwandlers gemessen. Als Kondensatoren dienen Kondensatordurchführungen; an einem der äussersten Metallbeläge derselben wird eine Messklemme zum Anschluss des Stromwandlers angebracht, dessen anderes Primär-Wicklungsende an Erde gelegt wird. Der Stromwandler übersetzt nach oben in der Grössenordnung 1 : 100. Verkettete Spannungen sind messbar durch Gegen schaltung zweier Wandler. Auch Leistungsmessungen sind möglich; da der Strom angenähert 90 Grad gegen die Spannung verschoben ist, sind Blindleistungsmesser zu verwenden. Die erreichbare Genauigkeit der Spannungsmessung wird zu 2 bis 3 % des Skalenendwertes angegeben, die der Leistungsmessung zu etwa 5 %. Wie genau die Durchführungen als Kondensatoren im Laufe der Zeit konstant bleiben, ist eine offene Frage; deren Kapazität ist auch eine Temperaturfunktion (Änderung ca. 2,5 % pro 10°C .); die C-Messung wird, um zuverlässig zu sein, wohl noch besondere Kondensatoren verwenden müssen, die aber für den vorgesehenen Zweck in genügend wirtschaftlicher Bauart noch zu schaffen sind. In Europa ist diese Kapazitätsmethode vermutlich zuerst, vor etwa zehn Jahren, von Ing. Carlo Crosti in Mailand praktisch angewandt worden, ist aber erst später unter dem Namen C-Messung als Fabrikat von Siemens & Halske (Patent Siemens-Schuckert vom Jahre 1924) bekannt und von G. Keinath¹⁾ ausführlich untersucht worden. In den Vereinigten Staaten, wo grosser Genauigkeit und grosser Sekundärleistung weniger Bedeutung beigemessen wird, ist die Methode schon lange bekannt und in neuester Zeit zu viel grösserer Bedeutung gelangt als in Europa, weniger zu Messzwecken als zur Synchronisierung in Unterstationen bei Höchstspannungen. Das System der Westinghouse Electric & Mfg. Co.²⁾ verwendet am Stromwandler sekundärseitig einen Resonanzkreis zur Erhöhung der ans Synchronoskop abgebaren Leistung, die General Electric Co. verwendet einen Glühkathoden-Röhrenverstärker³⁾.

Eine andere Lösung desselben Problems bedeutet der von Pfiffner erfundene Kaskadenspannungswandler⁴⁾. Der dielektrische Widerstand der vorhin genannten Methode ist hier ersetzt durch einen induktiven Widerstand. Das wesentliche ist, dass der induktive Widerstand nicht durch eine Drosselspule, sondern durch eine Serie einzelner Drosselspulen mit je für sich geschlossenen magnetischen Kreisen besteht und die einzelnen Eisenkerne gegeneinander isoliert sind. Solche Einheiten werden je nach Spannungshöhe in mehr oder weniger grosser Zahl in Serie geschaltet. Ausgleichswicklungen sorgen für gleichmässige Spannungsverteilung. Der ganze Apparat bekommt in der Bauart von Siemens & Halske die Form einer kräftigen Säule (68 cm Durchmesser). Das Gehäuse der Drosselspulen besteht aus Porzellan. Die Genauigkeit entspricht den Forderungen der Klasse E & F; die Gewichte sind ganz erheblich kleiner als diejenigen gewöhnlicher Wandler.

Durch Trüb, Täuber & Co. wurde nach Vorschlägen des Verfassers⁵⁾ ein Wider standsspannungswandler entwickelt. Derselbe besteht aus gewickelten Präzisions widerständen in einem säulenförmigen, ölgefüllten Isoliergefäß, die mit einem einpolig geerdeten Stromwandler in Reihe geschaltet sind. Die Widerstände führen bei sehr hohen Spannungen einen Strom von normalerweise nur 5 mA (wenn Nennspannung), bei niedrigeren Spannungen 7,5 ÷ 10 mA (Fig. 1). Das Gewicht eines solchen für Freiluftaufstellung bestimmten Wandlers zu 220 kV beträgt inklusive Oelfüllung nur ca. 450 kg, d. h. wenig mehr als eine Kondensatordurchführung für dieselbe Spannung. Wegen der völlig gleichmässigen Spannungsverteilung über die ganze Länge ist die Ueberschlagssicherheit eine ausserordentlich hohe, wegen dem rein Ohmschen Widerstand auch die Sprungwellensicherheit. Die Apparate gestatten sowohl Spannungsmessungen gegen Erde, wie auch, bei Zusammenschaltung zweier Wandler, gleichzeitige Messung verketteter Spannungen. Die Leistung

¹⁾ Die Zahlenhinweise beziehen sich auf das Literaturverzeichnis am Schlusse des Aufsatzes.

wird, entsprechend dem Bedarf der anzuschliessenden Geräte, normalerweise nicht über 15 VA pro Säule gesteigert, die Genauigkeit entspricht der Klasse F. Da die anzuschliessenden Messgeräte Stromwicklungen besitzen, Vorschaltwiderstände also wegfallen, ist auch deren Eigenverbrauch klein, weshalb die angegebene Leistung fast immer ausreicht. Die Leistungsmessung erfolgt mit Wirkleistungsmessern, die Parallelschaltung mit Synchronoskop oder Nullvoltmetern.

Es lag auf der Hand, die elektrostatischen Kräfte für Hochspannungsmessungen vermehrt heranzuziehen, wenn auch ältere Versuche wenig ermutigend waren. Insbesondere für die Erdchlusskontrolle und für den Gebrauch in Laboratorien sind tatsächlich brauchbare Lösungen gefunden worden, die sich durch niedrige Kosten und kleinen Raumbedarf auszeichnen. Die Fortschritte⁶⁾ hierin sind folgende: Bei den Instrumenten mit Vorkondensatoren wurde erkannt, dass die Oberflächenisolation von Kondensator und Messsystem eine hervorragende Rolle spielt und die Streukapazitäten gegen Erde wurden berücksichtigt, indem man sie konstant machte. Den elektrischen Anlagen angepasste Bauformen wurden entwickelt, die Durchschlagsfestigkeit wurde soweit erhöht, dass eine der früheren Schwächen elektrostatischer Instrumente, einen unsicheren Punkt der Isolation zu bilden, nicht mehr besteht. Als Sicherungen werden sehr hochohmige Widerstände verwendet, oder für hohe Spannungen Goldfadensicherungen, bestehend aus einem auf Porzellan gebrannten Goldstreifchen, das, trotzdem es bei normaler Strombelastung etwa $\frac{1}{2}$ A aushält, in Serie mit einem Funken schon bei 1 mA durchbrennt. Für Laboratorien wurden einige bemerkenswerte statische Voltmeter ohne Vorkondensatoren bekannt: Als absolutes Präzisionsinstrument, verwendbar bis zu einigen hundert kV, die Druckgasspannungswage von Hartmann & Braun⁷⁾, bei welcher das Messsystem in auf 10–12 Atmosphären komprimiertem Stickstoff steht. Das Gegendrehmoment wird elektrodynamisch erzeugt; man benutzt das Instrument so, dass immer das System in die Nullage gebracht wird. Die Ablesung ist optisch. Das Voltmeter von Trüb, Täuber & Co., eine wesentliche Verbesserung des Voltmeters von Abraham & Villard darstellend, für direkte Zeigerablesung gebaut bis 400 kV, für beliebige höhere Spannungen mit der Fernmessvorrichtung von Täuber-Gretler ausgerüstet. Dieses Instrument hat neuerdings Eingang gefunden zur Dosierung der Röntgenstrahlen. Eine an zwei Bändern aufgehängte leichte Schale wird von einer Gegenelektrode angezogen. Der Thomssonsche Schutzring ist sehr gross ausgebildet (Fig. 2). Aehnlich ist das Instrument von Starke und Schroeder⁸⁾. Interessant ist auch das Voltmeter von Koch & Sterzel. Unter den elektrostatischen Dreiphasenerdschluss-Zeigern hat der mit drei Messsystemen ausgerüstete, bei Spannungen über 6 kV mit Vorkondensatoren versehene Dreizeigerapparat von Trüb, Täuber & Co. vielfache Verwendung gefunden. Bei Nennspannung und Symmetrie weisen alle drei Zeiger gegen den Instrumenten-Mittelpunkt, bei Ablenkung der Symmetrie entfernen sie sich daraus und die drei Spannungen sind einzeln ablesbar. Gegenüber andern Erdchlusszeigern ist dieses System ausserordentlich viel billiger, hat aber den Nachteil, keine Fernübertragung der Anzeige zu erlauben (Fig. 3).

Für Hochspannungslaboratorien wurde allgemein von Nadelfunkenstrecken abgesehen und Kugelfunkenstrecken wurden eingeführt, die in Anbetracht der sehr hohen Spannungen beträchtliche Dimensionen annehmen können, so dass Präzisionskugeln von 750 und 1000 mm Durchmesser vorkommen. Am häufigsten ist die vertikale Axanordnung mit Distanzablesung an einer mit der geerdeten Kugel ver-

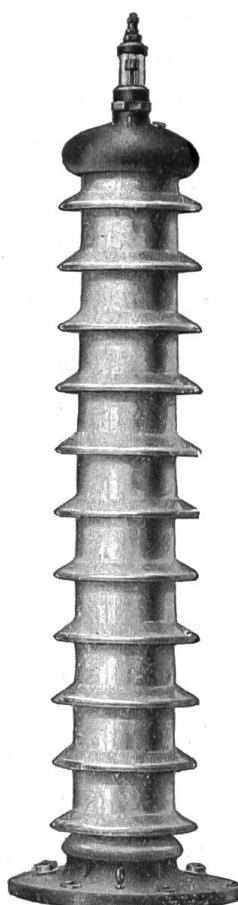


Fig. 1.
Ansicht eines Widerstandsspannungswandlers für 135 kV.

bundenen Skala, oder einer uhrförmigen Ablesevorrichtung mit beleuchteter Skala. Wo nach oben genügend Raum zur Verfügung steht, kann aber auch die horizontale Anordnung über dem Prüftransformator zweckmässig sein, mit Distanzablesung⁹⁾

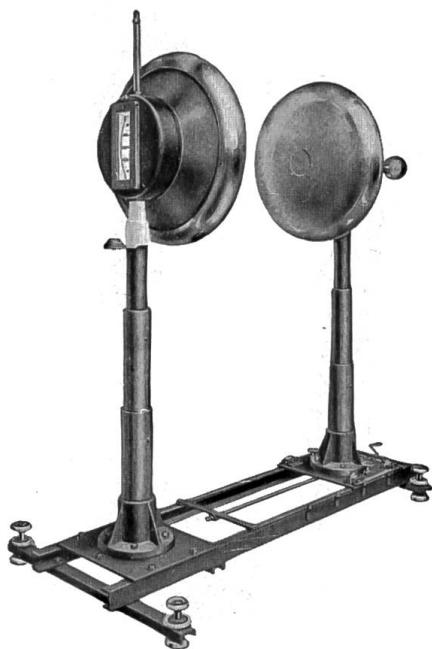


Fig. 2.
Elektrostatisches Voltmeter für
400 kV ohne Vorkondensator.

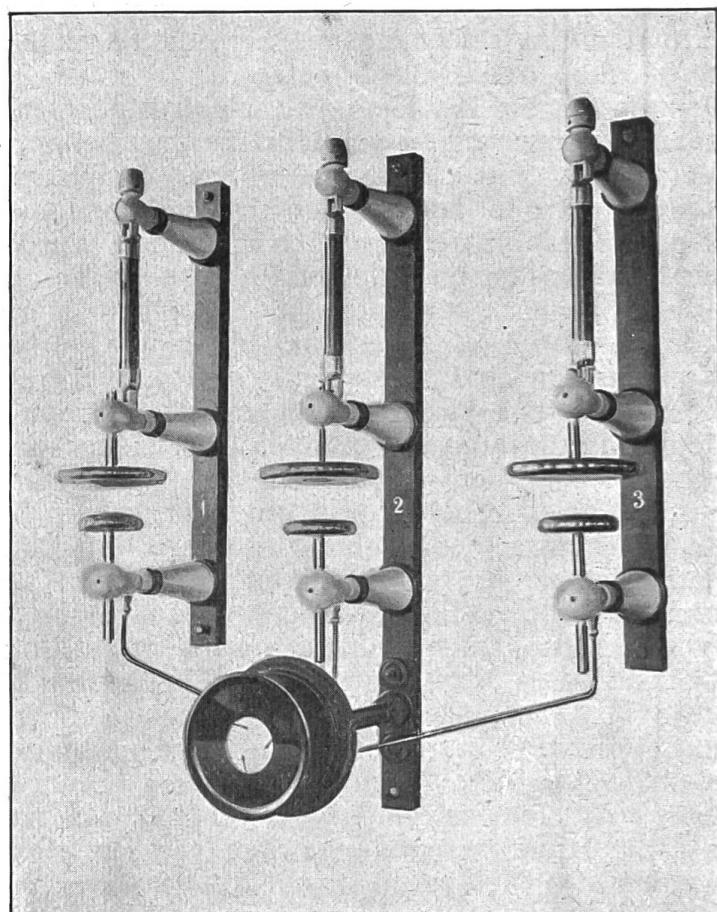


Fig. 3.
Statischer Dreiphasen-Erdschlusszeiger.

durch Projektion einer wandernden, als Diapositiv dienenden Skala und einer von der Funkenstrecke genügend entfernten Lichtquelle.

Zur Strommessung fanden die Stabstromwandler mehr und mehr Eingang, da sie sich bei den Höchstspannungen gut mit Kondensatordurchführungen zusammenbauen lassen. Während früher Stromstärken von etwa 500 A die unterste Grenze bildeten, ermöglichen die neuern Eisen-Nickel-Legierungen¹⁰⁾ mit stark erhöhter Anfangs-Permeabilität, wesentlich tiefer zu gehen. Als solche Bleche kommen in Betracht die unter dem Namen μ -Metall, Permalloy und Hypernic bekannt gewordenen Erzeugnisse englischen und amerikanischen Ursprungs. Schon bei etwa 3000 Gauss werden die Magnetisierungskurven flach und schneiden diejenigen des normalen Eisens. Die Fabrikation wird allerdings erschwert durch das Erfordernis einer sehr heikeln Temperaturbehandlung. Die zu grosser Vollkommenheit entwickelten Kondensatordurchführungen sind für den Zusammenbau mit Stromwandlern besonders geeignet. Aber auch bei Niederspannung werden von Siemens & Halske Stromwandler-Ampèremeter in Zusammenbau, mit hoher Eisensättigung, gebaut, um dieselbe Unempfindlichkeit gegen sehr hohe Ueberströme zu erreichen.

Die hohen Spannungen haben aber auch im Stromwandlerbau einige interessante Neuerungen gebracht. Durch Verwendung von Kondensatordurchführungen als Isolation zwischen Eisenkern und Wicklung lassen sich gelegentlich bemerkenswerte kleine Bauarten erreichen. Bemerkenswert ist der Querlochdurchführungsstrom-

wandler von Koch & Sterzel, der, ohne ein Einleiterwandler zu sein, kurzschlussfest ist. Verwendet wird ein Mantelkern; die Sekundärwicklung ist direkt um diesen gewickelt, darum herum schliesst sich eine Porzellanhülle, um welche, im Innern einer Porzellandurchführung, die Primärwicklung geschlungen ist. Deren eine Zuleitung kommt von der einen, die zweite von der andern Seite her in die Durchführung. Als Füllung zur Verhinderung des Glimmens eingeschlossener Luft dient graphitierter Quarzsand. Von derselben Firma und in ähnlicher Konstruktion (von Pfiffner) stammen die mehrstufigen Stromwandler, von denen die Sekundärwicklung des ersten Wandlers die Primärwicklung des zweiten speist, u.s.f. Wo Einstabwandler zu kleiner Ströme wegen nicht mehr anwendbar sind, dürften die Kaskadenwandler für hohe Spannungen am aussichtsreichsten sein.

Von verschiedenen Seiten, besonders eingehend aber durch Trüb, Täuber & Co., wurde das Induktionsdynamometer¹¹⁾ für praktische Zwecke weiter entwickelt. Dieses zu empfindlichen Wechselstrommessungen geeignete System erwies sich als sehr mannigfaltig verwendbar, so als Anzeigeinstrument in der Wechselstrombrücke, als Phasenindikator, Frequenzmesser, vermöge seiner hohen Empfindlichkeit auch als Anzeigeinstrument zum magnetischen Spannungsmesser. Besonders bedeutungsvoll ist die höchst einfache damit mögliche Fernübertragung von Zeigerstellungen geworden, wie sie zuerst mit Zuhilfenahme einer Kunstschaltung aus Kondensator und Drosselpulen im Drehspulenkreis durch H. Abraham (1911) vorgeschlagen wurde, in neuester Zeit von Täuber-Gretler¹²⁾ wesentlich vereinfacht und vervollkommen worden ist.

Das Induktionsdynamometer ist ein ferrodynamisches Instrument, also ein Dynamometer mit eisengeschlossenen magnetischen Kreisen, und weil für Wechselstrom bestimmt, mit lamelliertem Eisen. Der von den Feldspulen in der Drehspule induzierte Strom wird zur Erzeugung des Richtmomentes verwertet. Konstruktiv liegt der Schwerpunkt eines guten Instrumentes in der zweckmässigen Gestaltung des Eisenkörpers, um bei bequemer Herstellung einen möglichst streufreien Kraftlinienweg zu erzielen. Dies wird am besten erreicht durch einen konzentrisch zum Kern angeordneten lamellierten Eisenring, in dessen Nuten die Feldwicklung eingesetzt ist. Wo die Unterbringung einer grossen Windungszahl wesentlich ist, wird trotz bedeutender Streuverluste die Hufeisenform gewählt.

Unter den Anwendungen des Induktionsdynamometers hat besonders die Widerstandsbrücke mit induktiven Zweigen technische Bedeutung erlangt, um die Temperatur von unter Hochspannung stehenden Wicklungen elektrischer Maschinen und Transformatoren zu messen. Fig. 4 stellt das Prinzipschema dar. Es handelt sich um eine Brückenschaltung, in welcher zwei der Brückenzweige durch die beiden sekundären Wicklungshälften eines kleinen Transformators gebildet werden, während die beiden andern Zweige je einen kleinen Transformator T und S enthalten. Beide sind elektrisch und magnetisch genau gleich. Der sogenannte Schutztransformator T speist sekundär das Messelement M , welches dadurch von der Brücke elektrisch isoliert ist. Das Messelement ist ein Widerstand, der z.B. in die Wicklung eines Hochspannungstransformators eingebaut werden kann, der Schutztransformator ist lediglich dementsprechend zu isolieren. S , als Vergleichstransformator aufzufassen, hat als sekundäre Belastung einen Widerstand R_2 aus

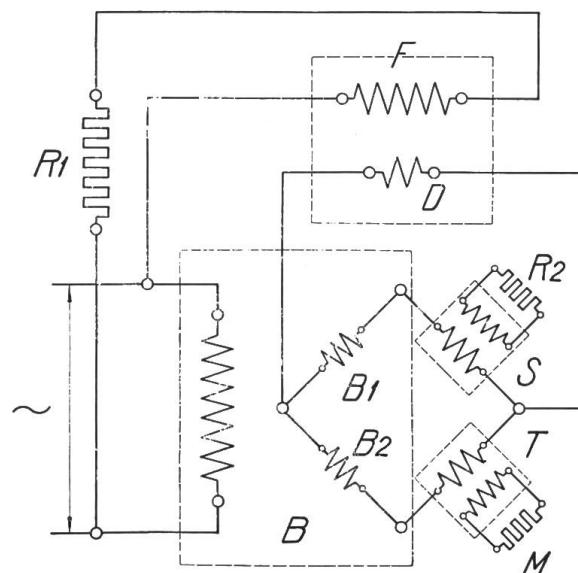


Fig. 4.
Prinzipschema einer Wechselstrom-Temperaturmessvorrichtung für Hochspannung.

Manganin- oder Konstantandraht, dessen Betrag gleich ist dem Widerstand des Mess-elementes für die mittlere zu messende Temperatur. Die Schaltung kann als ein Wechselstromdreileiter-system aufgefasst werden, in dessen Mittelleiter die Sekundärwicklung eines Transformators, nämlich die Drehspule D des Induktionsdynamometers, eingeschaltet ist. F ist die über den Vorschaltwiderstand R_1 gespeiste Feldwicklung des Induktionsdynamometers.

Eine weitere interessante Anwendung des Induktionsdynamometers in der Wechselstrombrücke ergibt sich, wenn statt des Schutztransformators und des Vergleichstransformators zwei einfache Drosselpulen verwendet werden. Wird die Induktivität der einen Drosselpule durch eine kurz geschlossene Spule verändert, so wird der Zustand der Brücke geändert. Der Apparat kann daher als empfindlicher Windungsschlussprüfer verwendet werden.

Als Frequenzmesser werden Feldwicklung und Drehspule parallel an die Spannung gelegt, wobei jeder Zweig noch eine Kapazität und einen Ohmschen Widerstand in Serie enthält und die Drehspule durch einen induktiven Widerstand ge-shuntet ist.

Seit kurzem folgten sich in der Literatur von verschiedenen Seiten Mitteilungen über Fernmessmethoden; es scheint, dass hiefür ein allgemeines Interesse erwacht ist. Diese Methoden gestatten auch die Summenmessung, z. B. die Summierung einzelner Wattmeterangaben und Anbringung des Ablesegerätes an entfernter Stelle. Das zuerst von Trüb, Täuber & Co.¹³⁾ (1922) herausgebrachte Fallbügelsystem wurde von Siemens & Halske¹⁴⁾ weiter entwickelt und mit dem sog. Erinnerungszeiger vervollkommen. Durch einen Fallbügel wird der mit einem Kontakt ver-sehene Zeiger des Geberinstrumentes periodisch auf einen Widerstand gedrückt, auf diesem ein dem Ausschlag entsprechendes Stück abgreifend. Der Erinnerungszeiger wird immer dann gegen den Widerstand gedrückt, wenn der Hauptzeiger wieder frei schwebend eine neue Stellung einnimmt. Die Empfangsgeräte sind Kreuzspul- oder Drehspulinstrumente, die in Funktion des abgegriffenen Widerstandes ausschlagen. Die Messung ist eine punktweise und daher nur beschränkt anwendbar. Von den Aronwerken wurde das mit Telewatt¹⁵⁾ bezeichnete Fernmess-system entwickelt, das den Vorteil der kontinuierlichen und wohl auch genaueren Messung hat und keiner Hilfsspannung bedarf. Das Geberinstrument, sei es ein Strom-, Spannungs- oder Leistungsmesser, ist als fortlaufend rotierendes, also motorisches System gebaut und treibt einen hochempfindlichen Gleichstromgenerator an, der das Empfangsinstrument über die Fernleitung speist. Auch mit diesem System sind Summierungen durch Hintereinanderschaltung mehrerer Geberinstrumente mögl. Jedoch lassen sich damit nicht alle Fernmessprobleme lösen, da sich nicht jedes Messsystem zur Hervorbringung einer rotierenden Bewegung eignet. Am allgemeinsten verwendbar ist wohl das von Trüb, Täuber & Co.^{11, 12)} entwickelte Induktionsdynamometersystem. Geber und Empfangsinstrumente sind Induktions-dynamometer, wie das weiter oben beschriebene. Deren Feldspulen sind an dieselbe Wechselspannung angeschlossen, die Enden der einen Drehspule sind mit denjenigen der andern verbunden. Wird das eine System um einen Winkel $\mp \delta$ abgelenkt, so besteht für das andere System eine Gleichgewichtslage beim Ausschlag $a = \pm \delta$. Eine Rückwirkung auf das mechanisch abgelenkte System ist nicht vorhanden, sich selbst überlassen, verharren beide Systeme in dieser Lage. Durch Hintereinanderschaltung der Drehspulen mehrerer Geber können Summierungen vorgenommen werden. In den Uebertragungsleitungen fliessen nur während der Zeigerstellungsänderungen Ströme. Jedes beliebige Messsystem kann mit einem Gebersystem gekuppelt werden. Ein System der deutschen Telephonwerke und Kabel-Industrie A.G. arbeitet nach dem sogenannten Impuls-Zeit-Verfahren¹⁷⁾. Weitere Systeme sind unter¹⁸⁾ und¹⁹⁾ beschrieben. Um gerecht zu urteilen, muss betont werden, dass die Amerikaner die meisten Fernmess-Systeme erheblich vor den europäischen Firmen geschaffen haben und die zahlreichen Systeme der letztern grösstenteils bewusste oder unbewusste Nachahmungen und Vervollkommnungen darstellen. Es

sei diesbezüglich besonders auf den „Annual Report of the Committee on Instruments and Measurements“²⁰⁾ vom Jahre 1928 hingewiesen, der auch eine Bibliographie über messtechnische Literatur enthält.

Unter neueren Instrumenten für einzelne Sondermessungen ist das elektrodynamische Wattmeter zur Messung dielektrischer Verluste nach Täuber-Gretler¹⁶⁾ bemerkenswert. Die Messeinrichtung ist gekennzeichnet durch die Verwendung eines hochempfindlichen elektrodynamischen Wattmeters mit zwei festen Wicklungen und einer an einem Bronzeband aufgehängten Drehspule. Die eine der Feldspulen liegt über passende Vorwiderstände (mit induktiven, ohmschen und kapazitiven Beträgen) an den Klemmen der Unterspannungswicklung des Prüftransformators, währenddem die andere über einen veränderlichen induktionsfreien Widerstand R (Fig. 5) geschlossen ist. Beide Feldwicklungen sind induktiv sehr stark gekoppelt. Die Drehspule liegt in Reihe wahlweise mit einem verlustfreien Kondensator und dem Prüfobjekt. Die Messung der Leistungsaufnahme des Prüfobjektes und des Verlustwinkels geschieht durch Verändern des Widerstandes R . Zunächst wird der Fehlwinkel des Prüftransformators kompensiert, indem der Wattmeterzeiger durch Verändern von R in die Nullstellung gebracht wird. Nach Umschaltung auf das Prüfobjekt zeigt das Wattmeter die von ihm aufgenommene Leistung. Wird der Ausschlagwinkel dann durch verkleinern von R zum Verschwinden gebracht, so kann der Verlustwinkel aus dem eingestellten Wert für R und den Instrumentenkonstanten berechnet werden.

Auf dem Gebiete der elektrischen Registrierinstrumente suchte man wirtschaftlicher vorzugehen, einmal durch Einführung kleinerer Registrierbreiten, wo dies zulässig ist, ferner durch Einführung der Doppelregistersysteme. Dieselben besitzen nur ein Uhrwerk mit Papierführung, jedoch zwei oder mehr Messsysteme. So z. B. werden Wirk- und Blindleistung oder Spannung und Frequenz auf demselben Papierband nebeneinander kontinuierlich registriert. Allerdings steht der einzelnen Messgrösse nur die halbe Registrierbreite zur Verfügung. Verzichtet man auf den Vorteil der kontinuierlichen Registrierung, so kann punktweise auf der ganzen Breite des Papiers gezeichnet werden. Mit den Doppelsystemen erreicht man nicht nur grössere Billigkeit, sondern es ist manchmal sehr erwünscht, zwei Messgrössen auf demselben Streifen verfolgen zu können, so namentlich Wirk- und Blindleistung. Die Unterscheidung zweier Kurven wird auch durch Siemens & Halske vorgenommen, indem das Verhältnis der Schreibzeiten beider Messsysteme verschieden gewählt wird.

Die letzten Jahre brachten ganz bedeutende Fortschritte im Bau der *Oscillographen*, namentlich der trägeheitslosen Apparate, deren die Hochspannungstechnik bedarf.

Der Glimmlichtoscillograph wurde von Engelhardt & Gehrke bei der PTR im Jahre 1925 zusammen mit den Glühkathodenverstärkern verwendet, um den Nachteil seiner geringen Empfindlichkeit zu vermeiden. Damit wurden Klangkurven und

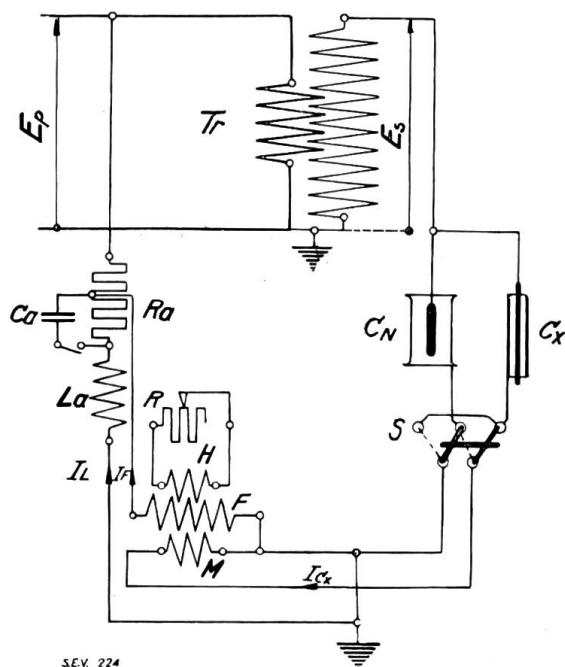


Fig. 5.
Schema zur Messung dielektrischer Verluste nach Täuber-Gretler.

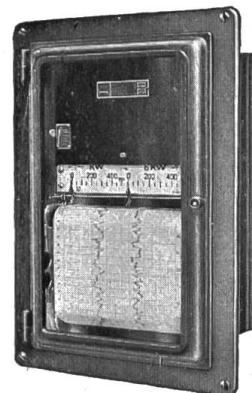


Fig. 6.
Registrierinstrument
für Wirk- und Blindleistung.

Durchschlagvorgänge beobachtet, mit Schwingungszahlen bis hinauf zu etwa 50000 Per/sec²¹⁾. Rogowski & Flegler²²⁾ haben ihren Kathodenstrahl-Oscillographen ähnlich wie bei dem Dufour-Oscillograph mit einem Metallgehäuse versehen, in das die Entladungsrohre mündet und in das die photographischen Platten oder Filmstreifen gebracht werden. Das Filmband wird elektromagnetisch weitergeschaltet, so dass erst nach 20 Aufnahmen 6 mal 6 cm die Röhre neu gepumpt werden muss. Dieser Oscillograph wurde bis ins vergangene Jahr soweit entwickelt, dass er sich zu Forschungsarbeiten auf dem Gebiete der Wanderwellen und Durchschlagsvorgänge eignet.

Bemerkenswert ist auch der von Gabor²³⁾ entwickelte Kathodenstrahl-Oscillograph mit drehbarer Wechselkassette, die durch Drehen eines Schliffes von aussen abwechselnd vier photographische Platten und einen Leuchtschirm vor die Entladungsrohre bringt und durch ein besonderes Elektronen-Kipprelais den Kathodenstrahl trägeheitslos ein- und ausleitet. Damit ist es erst möglich geworden, den Kathodenstrahl rechtzeitig in Bewegung zu setzen, wenn z. B. infolge einer atmosphärischen Entladung eine Ueberspannung auf einer Freileitung auftritt. Im Auftrag des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins (S.E.V.) hat sich K. Berger²⁴⁾ erfolgreich mit der Verbesserung des Kathodenstrahl-Oscillographen von Dufour abgegeben, um die Aufnahme von Gewittererscheinungen zu ermöglichen (Fig. 7). Durch ein Elektronenrelais wird ähnlich wie durch Gabor der Kathodenstrahl beim Auftreten der zu untersuchenden Erscheinung auf die photographische Platte gelenkt. Strahlsperrung und Filmkassette, vor allem aber das Entladerohr, haben wesentliche Verbesserungen erfahren. Die Filmtrommeln können ein Filmband von 15 cm Breite und 30 m Länge aufnehmen, so dass bei 15×10 cm Bildgrösse 300 Oscillogramme Platz finden. Die Sperrung ist derart vollkommen, dass z. B. ein Vorgang, der sich in weniger als einer zehntausendstel Sekunde abgespielt hat, auf dem Oscillogramm noch deutlich wahrgenommen werden kann, wenn der Oscillograph während einer halben Stunde vorher aufnahmebereit war. Das neue Entladerohr von Busch besitzt eine Abdeckung der innern Glaswand durch ein Metallrohr mit Anoden-Potential und vermeidet hiendurch starke Glaserwärmungen und äussere Feldeinflüsse

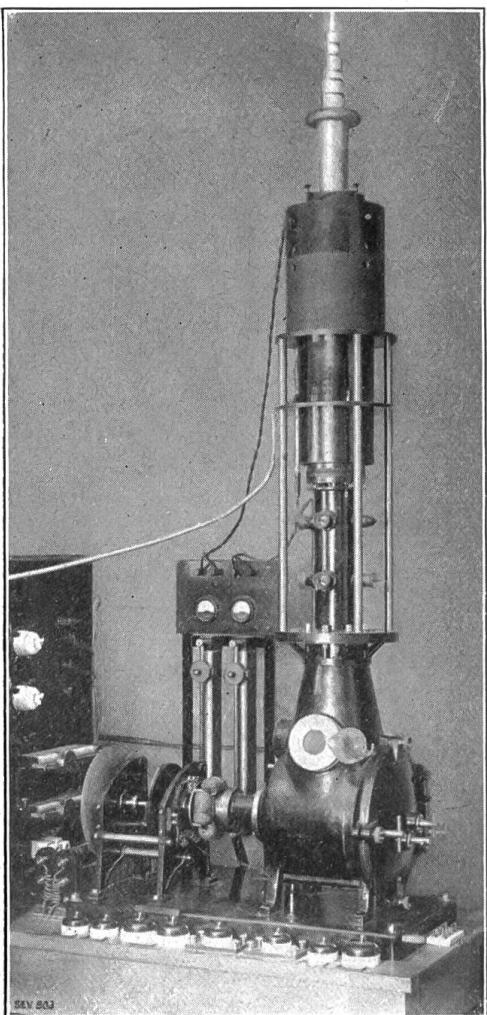


Fig. 7.
Kathodenstrahloscillograph des S. E. V.

und die Entladung ist stabiler. Das Entladerohr von Berger bedeutet insofern eine Verbesserung desjenigen von Busch, als es für mehrmals höhere Spannungen anwendbar ist, in der derzeitigen Ausführung bis 60 kV²⁵⁾. Durch Verwendung von Glühkathoden²⁶⁻²⁸⁾ suchte man andernorts die Leistungsfähigkeit soweit zu steigern, dass die photographische Platte nicht mehr ins Vakuum gebracht werden müsste. Wegen der grossen Strahlenabsorption in der Glaswandung der Röhre ist man jedoch nicht ans Ziel gelangt.

Zur Messung sehr kurzzeitiger Ueberspannungen wurde der Klydonograph²⁹⁾ (Wellenschreiber) weiter entwickelt. Er beruht auf den Erscheinungen der altbekannten Lichtenbergschen Figuren (1777). Bei den heutigen Klydonographen der Westinghouse Co. läuft ein photographisches Filmband langsam über eine Metall-

walze. Durch den Deckel treten die Elektroden ein, welche als Spitzen über dem Film enden. Mit einem Spannungsteiler, der als Luftkondensator oder Kondensatordurchführung ausgebildet ist, wird die Spannung auf Höchstbeträge von etwa 18 kV heruntergesetzt. Die eine Elektrode gibt die positive, die andere die negative Lichtenbergsche Figur auf der photographischen Platte. Mit dem Apparat können folgende Feststellungen gemacht werden (aus Keinath, 3. Aufl., S. 434):

1. Die Zeit des Auftretens der Ueberspannung aus der Lage der Markierung auf dem Filmstreifen.
2. Polarität der Ueberspannung aus dem Charakter des Bildes.
3. Höhe der Ueberspannung aus der Länge der Strahlen.
4. Form der Wellenstirn.
5. Laufrichtung der Wanderwelle aus dem Vorzeichen der induzierten Wellen.
6. Zeitdifferenz zwischen zwei unmittelbar sich folgenden Entladungen aus der Begrenzungslinie zweier nacheinander aufgezeichneter Figuren. Zeitdifferenzen bis zu etwa 10–12 Sekunden.

Die Genauigkeit der Messungen beträgt nur etwa $\pm 25\%$, aber gleichwohl ist der Apparat zur Erforschung der Ueberspannungserscheinungen ausserordentlich wertvoll geworden.

Einige Bedeutung haben in den letzten Jahren insbesondere für Hochfrequenzmessungen die Röhrenvoltmeter erlangt. Als neuesten Vertreter eines solchen beschreibt M. v. Ardenne ein empfindliches Röhrenvoltmeter für Hochfrequenz³⁰⁾), das nur eine Kapazität von 7,4 cm besitzt und noch Scheitelspannungen bis zu 0,03 V und mit Anodenstromkompensation noch Scheitelspannungen bis zu 0,003 V zu messen gestattet. Die Gleichrichtung erfolgt durch eine Röhre mit kleinem Durchgriff, deren Anodenwiderstand aus einem Widerstand von einigen Millionen Ohm und einem parallel liegenden Kondensator besteht. Das Röhrenvoltmeter von Hohage, das auf der Gleichrichtung eines Wechselstromes, der als Anodenspannung an eine Glühkathodenröhre angelegt wird, beruht, so aber wenig Anwendung erfahren hat, wurde in der Firma E. Haefely & Co. A.-G.³¹⁾ für Hochspannungsmessungen verwendbar gemacht durch Hintereinanderschaltung der Röhre mit einer isolierten Kalotte der geerdeten Kugel einer Messfunkenstrecke, also mit einem Hochspannungskondensator kleiner Kapazität. Durch eine zweite Röhre, die in entgegengesetztem Sinne angeschaltet ist, erfolgt die Entladung der Kugel-Kalotte, während der nicht ausgenützten Halbwelle. Als Anzeigegerät dient ein Drehspulmilliampermeter. Das Instrument misst Scheitelwerte. Zur Prüfung der Freileitungisolatoren im Betrieb dient ebenfalls ein neues Röhrengesetz, das unter dem Namen „Hesco-Messtange“ weite Verbreitung gefunden hat³²⁾). Im weitern sei noch das Röhren-Elektrometer „Mekapion“ für selbsttätige Einzel- und Dauermessungen, sowie Registrierungen erwähnt³³⁾.

In der rein äusserlichen Aufmachung der Messinstrumente kann konstatiert werden, dass sich die Profilgehäuse allgemein stark durchgesetzt haben. Immer mehr werden gefallsüchtige, mit Nickelrändern versehene Zierleisten verpönt und machen einfachen schwarzen, gediegen wir-



Fig. 8.
Hesco-Messtange.

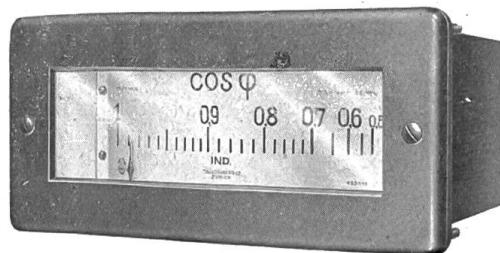


Fig. 9.
Cos φ -Meter in Flachprofilgehäuse.

kenden Umrahmungen Platz. Säuleninstrumente sind nicht mehr häufig. Ein Vorschlag der Voigt & Haeffner A.-G.³⁴⁾ geht auf die Verwendung von Instrumenten ohne Frontrahmen, wie sie für Manometer und dergleichen längst üblich sind. Hiermit soll an Raum gespart werden. Hartmann & Braun brachten Instrumente in den Handel, bei denen die Profilskala und die Zeigerfahne gross auf eine Wand projiziert werden³⁵⁾. Für viel zu liefernde tragbare Instrumente wird immer mehr ein Gehäuse aus Press-Isoliermaterial verwendet, da hierdurch die Fabrikation verbilligt und das Aussehen besser wird. Für die Messsysteme kommen in steigendem Masse Spritzguss- und Pressteile zur Anwendung.

In einigen Staaten sind die Messgeräte nach zulässigen Messfehlern in bestimmte Gruppen klassifiziert worden.

Literatur-Verzeichnis.

1. *G. Keinath.* Die Verwendung von Kondensatordurchführungen zu Messzwecken. Siemens-Zeitschrift, Heft 10, S. 496, 1927.
Ferner: Wechselspannungsmessung mit Messkondensatoren. Wissenschaftliche Veröffentlichungen aus dem Siemens-Konzern Bd. 5, 2. Heft, 1926.
2. *E. E. Spracklen, D. E. Marshall and P. O. Langguth.* Condenser-type bushing, used with synchronizing equipment. Presented at the Winter Convention of the A.I.E.E., New York, Feb. 1928.
3. *T. A. E. Belt and N. Hoard.* Vacuum Tube Synchronizing Equipment. Presented at the Winter Convention of the A.I.E.E., New York, Feb. 1928.
4. *G. Keinath.* Die Technik der elektrischen Messgeräte. 3. Aufl., S. 575; ferner E.T.Z. 1926, S. 44; ferner Siemens Zeitschrift 1928, No. 11, S. 629. Spannungswandler in Kaskadenschaltung für höchste Spannungen.
5. *A. Imhof.* Ein neuer Spannungswandler. Bull. S.E.V. 1928, No. 23, S. 741.
A. Imhof. Ein neuer Spannungswandler für Höchstspannungen. E. & M. 1928, No. 46, S. 1074.
6. *A. Imhof.* Neue elektrostatische Hochspannungsmessgeräte. S.T.Z. 1926, S. 497.
7. *G. Keinath.* Die Technik der elektrischen Messgeräte. 3. Aufl., S. 332.
8. *H. Starke und R. Schroeder.* Ein Elektrometer für Messung sehr hoher Gleich- und Wechselspannungen. Archiv für Elektrotechnik. 20. Bd., 1928, S. 115.
9. Eine optische Distanz-Messvorrichtung für Messfunkenstrecken. S.T.Z. 1928, S. 201.
10. Stromwandler mit Nickel-Eisen-Kernen. E.T.Z. 43, S. 1575, 1927; ferner 42, S. 137.
11. *Täuber-Gretler*, Zürich. Das Induktionsdynamometer. Fachschriften-Verlag & Buchdruckerei A.-G. 1926. Ferner: Dissertation. Ferner Bull. S.E.V. 1926, No. 12, S. 545.
12. *Täuber-Gretler.* Ein Beitrag zur elektrischen Fernmessung. S.T.Z. 1928, S. 273.
13. *A. Imhof.* S.T.Z. 1926, S. 503.
14. Siemens-Zeitschrift, 1928, S. 422.
Bull. S.E.V. 1928, No. 3, S. 100 und No. 5, S. 180.
M. Schleicher. Die neue Fernmess-Einrichtung der Siemens & Halske A.-G.
15. *W. Stern.* Die Fernmessung elektrischer Einzel- und Summenwerte. E.T.Z. 1928, S. 282.
16. *Täuber-Gretler.* Bull. S.E.V. 1927, No. 9, S. 543.
17. *Kurt Wilde.* Eine neue Fernmess-Methode für Ueberlagerung auf bestehenden Kraft- und Nachrichtenleitungen. E. & M. 1928, S. 1060.
18. *G. Keinath.* Einiges über elektrische Fernmessung. E. & M. 1928, S. 1058.
19. *M. Schleicher.* Die Fernmessung über hochspannungsseitig beeinflusste Schwachstromleitungen. E. & M. 1928, S. 1044.
20. Annual Report of the Committee on Instruments and Measurements, presented at the Summer Convention of the A.I.E.E. Denver, Colo., June, 25th to 29th 1928.
21. Zeitschrift für techn. Physik. 1925, S. 153 und 438 und 1926, S. 146.
22. Archiv für Elektrotechnik. Bd. 18, 1927, S. 510. E.T.Z. 1928, S. 227.
23. Archiv für Elektrotechnik. Bd. 18, 1927, S. 48.
Ferner: Sonderheft der Forschungshefte der Studiengesellschaft für Höchstspannungsanlagen. 1927.
Ferner: Forschungsheft 1 der Studiengesellschaft für Höchstspannungsanlagen, S. 38 – 42 u. 47 – 55.
24. *K. Berger.* Ueber die Weiterentwicklung des Kathodenstrahl-Oscillographen von Dufour, zur Ermöglichung der Aufnahme von Gewittererscheinungen, sowie anderer Vorgänge kürzester Dauer. Bull. S.E.V. 1928, No. 9, S. 292.
25. *K. Berger.* Der Kathodenstrahl-Oscillograph als Registrierinstrument, speziell für raschverlaufende Vorgänge. Bull. S.E.V. No. 21, 1928, S. 688.
26. Archiv für Elektrotechnik. Bd. 15, 1925, S. 377.
27. *W. Rogowski, E. Sommerfeld und W. Wohnau.* Empfindlicher Glühkathoden - Oscillograph für Innenaufnahmen in einem Vorvakuum. Archiv für Elektrotechnik. Bd. 20, 1928, S. 619.
28. *E. Sommerfeld.* Ueber einen Kathoden-Oscillographen hoher Spannungsempfindlichkeit. Archiv für Elektrotechnik. Bd. 20, 1928, S. 607.
29. *H. Müller.* Hescho-Mitteilungen 1926, Heft 27, S. 813.
E. S. Lee and C. M. Foust. J.A.E.E. 1927, S. 149.

- Müller-Hillebrand.* Siemens-Zeitschrift 1927, S. 547.
G. Keinath. 3. Aufl., S. 426.
H. Müller. Hescho-Mitteilungen 1927, Heft 34.
Lee and Foust. General Electric Review, 1927, S. 135 – 145.
30. *Manfred von Ardenne.* Ein empfindliches Röhren-Voltmeter für Hochfrequenz. E.T.Z. 1928, S. 565.
31. Schweizer Patent No. 110309, Kl. 66a. 1925.
32. Druckschrift der Hermsdorf-Schomburg-Isolatoren G.m.b.H. Die Hescho - Messtange (D.R.P.) zur Ermittlung fehlerhafter Glieder in Isolatorenketten während des Betriebes.
33. *Siegmund Strauss.* Das Röhren-Elektrometer „Mekapion“ für selbsttätige Einzel- und Dauermessungen sowie -Registrierungen. E. & M. 1928, S. 1083.
34. *Fr. Lindenstruth.* Neue Gesichtspunkte für die konstruktive Durchbildung von Schaltwänden und Schaltpulten. E.T.Z. 1928, S. 574.
35. Weitsichtsdarstellung von Messgrössen durch Lichtzeiger. Elektro-Journal 1928, S. 334.

Fortschritte der Hochspannungstechnik in den letzten Jahren.

Von Prof. A. Imhof, Winterthur.

537.2(09)+621.319.37(09)+621.319.34(09)+621.319.4(09) + 621.3(0068)

Der Autor erwähnt die neueren Durchschlagstheorien, macht Angaben über die Isoliermaterialien und geht auf die Hochspannungskabel und ihre Zubehörden ein. Ferner behandelt er die Neuerungen an Durchführungen, Stütz- und Hängeisolatoren und die modernen Einrichtungen von Hochspannungsprüflaboratorien. Am Schluss wird eine Uebersicht über die einschlägige Literatur gegeben.

L'auteur mentionne les théories modernes sur la décharge disruptive, donne des indications sur les matières isolantes, puis passe aux câbles à haute tension et à leurs accessoires. Il traite ensuite les innovations apportées aux traversées, aux isolateurs d'appui et de suspension pour lignes aériennes, enfin les installations modernes des laboratoires d'essai à haute tension. L'article se termine par une liste d'ouvrages et d'articles relatifs à ce domaine.

Die Bezeichnung „Hochspannungstechnik“ ist eine sehr allgemeine, sie umfasst ausser den Hochspannungs-Isolatoren und -Kabeln auch viele Maschinen und Apparate. An dieser Stelle müssen wir das Thema enger begrenzen, da den genannten Einzelgebieten der Elektrotechnik im Bulletin des S.E.V. besondere Ueberblicke gewidmet sind. Wir befassen uns in der Hauptsache mit Fortschritten in konstruktiver Hinsicht und insbesondere mit den Grundelementen der Hochspannungsanlagen, Maschinen und Apparaten, wie Kabel, Durchführungen, Stützisolatoren, Hochspannungs-Isolierstoffen, Prüfvorrichtungen der Laboratorien und Spezialfabriken. Neuerungen der Hochspannungs-Messtechnik sind im ersten Artikel dieser Nummer behandelt.

1. Forschungsarbeiten über den elektrischen Durchschlag.

Auf diesem Gebiete herrschte in den letzten Jahren eine rege Tätigkeit. Die Wagnersche Wärmetheorie¹⁾ mit Annahme leitend werdender Kanäle im Dielektrikum hat einer allgemeineren Erkenntnis Platz gemacht, dass auch ein Wärmedurchschlag stattfinden kann, wenn keine Unhomogenitäten im Material bestehen, dass aber auch in vielen Fällen ein Ionisationsdurchschlag erfolgt. Der neueren Wärmetheorie liegt folgende Idee zu Grunde: Die an den Isolator angebrachte Spannung ruft in ihm dielektrische Verluste hervor, wobei eine entsprechende Wärmemenge ausgeschieden wird. Die dadurch verursachte Erwärmung hat eine Vergrösserung der Verluste zur Folge, was eine erhöhte Ausscheidung von Wärme und ein weiteres Anwachsen der Temperatur des Isolators bedingt. Wird der Isolator von aussen gut gekühlt und ist die angelegte Spannung nicht allzu hoch, so kann sich ein stationärer Zustand einstellen, bei dem die ganze im Isolator ausgeschiedene Wärmemenge nach aussen abgeleitet wird und keine weitere Temperaturerhöhung stattfindet. Im Gegenfalle wächst die Temperatur unbegrenzt und der Isolator wird durchschlagen. Bei gegebenen Abkühlungsverhältnissen gibt es stets eine kritische Spannung, bei welcher der geschilderte Wärmedurchschlag erfolgt.

¹⁾ Literaturnachweise sind am Schluss des Aufsatzes zusammengestellt.