

Aufzeichnung
elektrischer Wechselströme.

Von

Prof. Dr. Max Reithoffer.

Vortrag, gehalten den 21. Februar 1906.

(Mit Experimenten.)

Mit 10 Abbildungen.

Von dem welterobernden elektrischen Brüderpaar, Gleich- und Wechselstrom, können wir dem Gleichstrom das Verdienst nicht strittig machen, daß er es war, welcher die Elektrotechnik stark, reich und groß gemacht hat, daß er durch seine in der Geschichte des Fortschrittes einzig dastehenden Erfolge der Elektrotechnik das Vertrauen der Kulturwelt errungen und sie selbst an die Spitze aller technischen Wissenschaften gestellt hat. Erst viel später, vor nicht viel mehr als anderthalb Jahrzehnten hat sich auch der Wechselstrom zu rühren begonnen, dann aber unter Mitwirkung ganz hervorragender Geister in kurzer Zeit eine Entwicklung genommen, welche die kühnsten Träume von einst übertraf. Es besteht darüber kein Zweifel, daß gerade der Wechselstrom berufen sein wird, die großen Aufgaben der nächsten Zukunft, nämlich Fern- und Vollbahnen elektrisch zu betreiben, einer sicheren und wirtschaftlichen Lösung zuzuführen. Wir in Wien werden in kurzer Zeit hiervon eine Probe zu sehen bekommen, da die elektrische Bahn Wien—Baden auf freier Strecke mit Wechselstrom betrieben werden und nur innerhalb der Stadtgrenzen von Wien und Baden selbst den bereits für Bahnzwecke eingerichteten Gleichstrom benützen wird.

Selbstverständlich sind diese Erfolge des Wechselstromes nur dadurch möglich geworden, daß man lernte, ihn genau zu beherrschen, und das macht wieder zur Voraussetzung, daß man ihn genau messen kann. Man hat es erreicht, Strom, Spannung und Leistung des Wechselstromes zu messen, obwohl alle diese Größen von Augenblick zu Augenblick veränderlich sind; man mißt eben nur Mittelwerte, und zwar solche, welche für die erzielten oder erhaltenen Wirkungen maßgebend sind. Aber vielfach hat es auch außerordentlichen Wert, diese Größen von Augenblick zu Augenblick zu verfolgen. Denn es ist nicht gleichgültig, wie die Änderungen des Wechselstromes vor sich gehen, ob sprunghaft oder regelmäßig nach einem reinen Schwingungsgesetz. Es äußert seinen Einfluß auf die Wirtschaftlichkeit eines Wechselstromsystems, auf die Sicherheit eines Kabelnetzes und auf das Arbeiten der Apparate und Maschinen. Die Elektrotechnik hatte daher besonderes Interesse, den zeitlichen Verlauf eines Wechselstromes messend und beobachtend verfolgen zu können, und es ist heute gelungen, die sich entgegenstellenden Schwierigkeiten zu überwinden.

Eine veränderliche Größe, die von einer anderen veränderlichen Größe, z. B. von der Zeit, abhängt, bringt man am besten in einem Schaubilde zur Darstellung. So führt uns z. B. die Statistik den Zuwachs der Bevölkerung in den einzelnen Jahren, die Zahl der Krankheitsfälle in den einzelnen Monaten und ähnliches, die Meteorologie die Schwankungen des Barometers am besten in einem solchen Schaubilde vor. Wir brauchen zu diesem Zwecke

nur auf einer wagrechten Linie eine gleichmäßige Teilung zu schaffen, deren Abstände uns gleiche Zeitintervalle vorstellen. (Fig. 1). In jedem Punkte der Teilung errichten wir uns nun eine lotrechte Gerade und tragen auf diese in irgend einem Maßstabe als Höhe den Wert der betreffenden veränderlichen Größe auf (also z. B. Barometerstand), welcher zu diesem Zeitpunkt gehört. Die Verbindung aller dieser Höhengipfel liefert einen Linienzug (Kurve), welcher die Art der Veränderlichkeit der betrachteten Größe recht anschaulich macht. Ebenso müßten wir bei Darstellung der Veränderlichkeit eines Wechselstromes verfahren und erhalten so die Kurve des Wechselstromes, wobei nur zu berücksichtigen ist, daß negative Werte — der Wechselstrom ist ja bald positiv, bald negativ — nach abwärts aufgetragen werden müssen. In diesem Sinne spricht man von der Strom-, Spannungs-, Leistungskurve eines Wechselstromes. In den Figuren 2—4 sehen wir solche Kurven, eine spitze, eine flache und eine nach reinem einfachen Schwingungsgesetz verlaufende.

Bei sehr langsam wechselnden Strömen könnten wir zur Aufnahme der Kurve etwa so verfahren. Wir schicken den Strom durch einen Strommesser (Ampèremeter) für Gleichstrom mit Skala nach beiden Seiten. Der Zeiger zeigt den jeweiligen Strom an, und zwar nach der rechten Seite, wenn der Strom in dem einen Sinne fließt, und nach der linken Seite bei entgegengesetztem Stromflusse. Wir nennen den einen Sinn, z. B. den erstgenannten positiv, den anderen negativ und haben dies

bei Ausführung des Schaubildes sinngemäß zu berücksichtigen. Wir lesen jetzt in gleichen Zeitintervallen den Zeigerstand ab und können dann aus den Beobachtungen

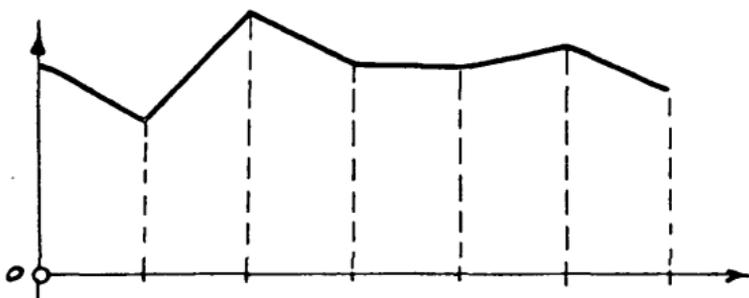


Fig. 1.

die Kurve aufbauen. Da die Wechselstromgrößen periodisch wiederkehren, so genügt es, eine einzige solche Periode aufzunehmen, deren eine Hälfte positiv, deren

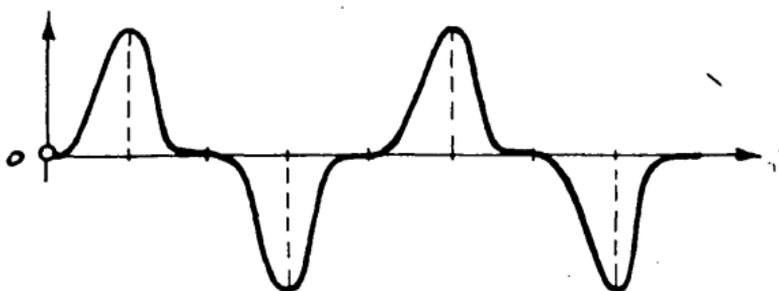


Fig. 2.

zweite Hälfte negativ verläuft. Die Aneinanderreihung solcher Perioden beschreibt den ganzen zeitlichen Verlauf der Erscheinung.

Nun ist es klar, daß das so geschaffene Bild um so wahrer und getreuer wird, je kürzer die Intervalle der

Beobachtung gewählt werden, und daß es am richtigsten wäre, wenn die Aufzeichnung stetig erfolgen würde. Welche Schwierigkeiten hier entstehen, erkennt man

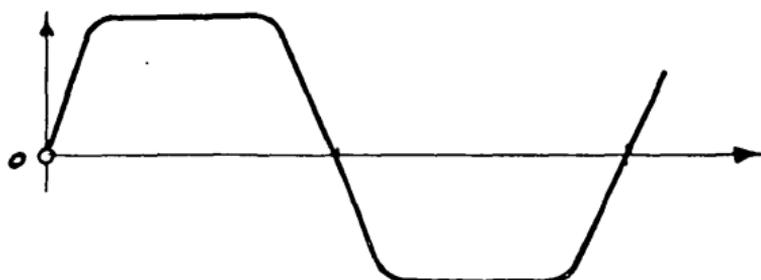


Fig. 3.

sofort, wenn man sich vor Augen hält, daß die Dauer einer solchen Periode bei den industriellen Wechselströmen $\frac{1}{100}$ bis $\frac{1}{50}$ Sekunde beträgt. So spielen sich bei dem

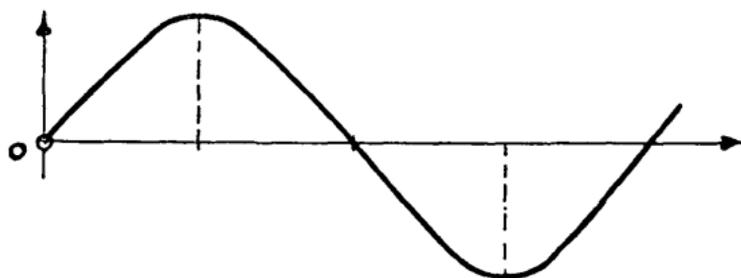


Fig. 4.

Wechselstrom des städtischen Elektrizitätswerkes, mit dem ich heute die Versuche vorführen werde, rund 50 Perioden in einer Sekunde ab. Hieran scheitert die früher angeführte Methode. Denn weder könnte ich in Zeitintervallen, die Bruchteile von $\frac{1}{50}$ Sekunde betragen, Beobachtungen

anstellen, noch auch kann der Zeiger des Instrumentes rasch genug den Veränderungen folgen. Der Zeiger wird überhaupt ruhig stehen bleiben, weil er zu träge ist. Er hat noch nicht begonnen, dem positiven Impulse zu folgen, kommt schon der negative, ihn zurückhaltend.

Um da herauszukommen, hat Joubert ein Verfahren ersonnen, das in vielen Fällen sehr gute Dienste leistet, die Kontaktmethode oder die Methode der punktförmigen Aufnahme. Da wir uns mit derselben heute nicht befassen wollen, so möge hier ein kurzer Hinweis genügen. Bei dieser Methode wird dem Instrumente zur Einstellung und dem Beobachter zur Ablesung dadurch Zeit gewonnen, daß durch eine mit dem Wechselstrom synchron, d. h. taktgleich arbeitende Kontakteinrichtung während einer längeren Reihe von Perioden ein einziger Augenblickswert, und zwar stets der gleiche, aus der Wechselstromperiode herausgegriffen und der Messung zugeführt wird. Durch fortschreitende Verlegung dieses Augenblickes können auf diese Weise beliebig viele Punkte der Kurve aufgenommen werden.

So nützlich und bestechend dieses Verfahren ist, so hat es den Nachteil, daß es beträchtliche Zeit erfordert und dort versagt, wo nicht eine große Zahl von einander gleichen Perioden abläuft. Als beste Lösung blieb also nach- wie vorher, die Methode der stetigen Aufnahme anzustreben. Da ein hierfür geeigneter Apparat in seinen Angaben den außerordentlich rasch wechselnden Werten folgen soll, so muß das bewegliche System sehr kleine Trägheit und kleine Schwingungsdauer besitzen. Es sind

nun hiezu zwei ganz verschiedene Wege eingeschlagen worden. Blondel hat in seinem Oszillographen wirklich ein Instrument nach Art eines Galvanometers geschaffen, bei welchem der bewegliche Teil diesen Bedingungen genügt, während Braun die Kathodenstrahlen als schwerlosen Galvanometerzeiger benützt. Mit dieser Methode wollen wir uns zunächst beschäftigen.

In einer stark evakuierten Glaskugel mit zwei eingeschmolzenen Elektroden treten bei Durchleitung hochgespannter Elektrizität, etwa von einer Influenzmaschine oder einem Induktor geliefert, eine eigentümliche Art von Strahlen auf, ausgehend von der negativen Elektrode, der Kathode, welche man Kathodenstrahlen nennt. Es sind negativ geladene Partikelchen, die durch den Raum geradlinig fliegen und dort, wo sie auf einen festen geeigneten Körper auftreffen, leicht Fluoreszenz hervorrufen. Ein solcher Kathodenstrahl als Träger bewegter Elektrizität folgt ganz den Gesetzen eines stromführenden Leiters, er läßt sich durch genäherte Magnete oder durch stromdurchflossene Spulen ablenken und besitzt dabei den hier ganz besonders ins Gewicht fallenden Vorteil äußerst geringer Masse. Dem Zwecke entsprechend hat Braun der Kathodenröhre eine besondere Form gegeben (Fig. 5), welche als Braunsche Röhre bezeichnet wird. Die Kathode befindet sich an der Spitze eines engen Rohres. Durch ein Diaphragma aus Metall mit einem kleinen Loch wird aus dem Bündel von Kathodenstrahlen ein kleiner zentraler Teil ausgesiebt und trifft auf einen Fluoreszenzschirm in einem angeschmolzenen evacuierten

Glaszylinder, dort einen hellen Lichtfleck erzeugend. Nähert man einen Magnetpol, so wird der Strahl abge-

lenkt, und zwar nach der einen oder anderen Seite, je nachdem es ein Nord- oder Südpol ist. Ebenso wirkt eine seitlich angebrachte, vom Gleichstrom durchflossene Spule. Schickt man durch diese einen Wechselstrom, so fliegt der Lichtfleck rasch hin und her und beschreibt eine gerade Linie. Daß hinter dieser Geraden eine schwingende Bewegung steckt, davon kann man sich leicht überzeugen, wenn man beim Hinsehen den Kopf schüttelt oder wenn man sie, wie es Braun gemacht hat, durch einen bewegten Spiegel betrachtet. Sie löst sich in eine Kurve auf. Wir können aber auch direkt die Kurve auf dem Fluoreszenzschirm erscheinen lassen. Dazu ist nur notwendig, zwei Spulen anzuordnen, eine so, daß sie den Lichtpunkt in der lotrechten Richtung bewegt und eine zweite, welche ihn wagrecht verschiebt. In die erste schicken wir den zu untersuchenden Wechselstrom, in die zweite einen Strom, welcher der Zeit proportional ist; einen solchen zu erzeugen macht keine Schwierigkeit. Man



Fig. 5.

erhält dann die Stromwerte in ihrer Abhängigkeit von der Zeit, die Wechselstromkurve.

Man kann aber auch mit dieser Einrichtung die Abhängigkeit irgend zweier wechselnder magnetischer oder elektrischer Größen von einander verfolgen.

Da ist besonders interessant die sogenannte Hysteresiskurve. Magnetisieren wir ein Bündel weicher Eisendrähte oder Bleche mit einem Strome, den wir zwischen einem positiven und gleich großen negativen Höchstwert stetig wechseln lassen, so zeigt sich erstens, daß der Magnetismus nicht gleichmäßig mit dem Strome wächst, sondern später langsamer als anfangs, und zweitens, daß denselben Stromwerten beim Abnehmen des Stromes infolge einer Nachwirkung des früheren Zustandes stärkerer Magnetismus entspricht als beim Wachsen desselben. Würden wir diese Abhängigkeit in einer Zeichnung darstellen wollen, so müßten wir den jeweiligen Strom auf einem Kreuz zweier Geraden (Koordinatenkreuz) als Länge wagrecht auftragen und den dem Strome entsprechenden Magnetismus als Höhe dazu. Die Endpunkte dieser Höhen kennzeichnen den jeweiligen Zusammenhang. Beim Wachsen des Stromes liefern diese Endpunkte eine Kurve, ebenso beim Abnehmen desselben. Infolge der erwähnten Erscheinung der Hysterisis wird aber die zweite Kurve nicht mit der ersten zusammenfallen. Die beiden Kurven gehen vielmehr auseinander und schließen eine mehr oder weniger breite Fläche ein, welcher die Bedeutung eines Arbeitsverlustes für eine zyklische Magnetisierung zukommt.

Dies ist für den Wechselstromtechniker sehr wichtig, er muß darüber hinsichtlich der von ihm verwendeten

Bleche vollkommene Klarheit besitzen, um seine Konstruktionen richtig zu bemessen. Der Kathodenstrahl der Braunschen Röhre zeichnet uns sofort die Kurve dieses Hysteresisverlaufes, wenn wir nur durch geeignete Schaltung den Lichtpunkt lotrecht durch den erzielten

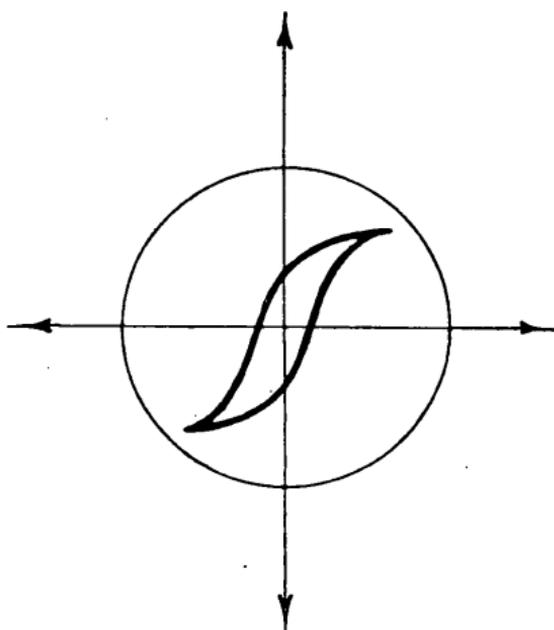


Fig. 6.

Magnetismus, wagrecht durch den magnetisierenden Strom bewegen lassen (Fig. 6).

Auch die Erzeugung eines Drehfeldes, d. i. eines sich drehenden Magnetfeldes durch die zwei oder drei Ströme eines Zwei-, beziehungsweise Dreiphasensystems kann man mit der Braunschen Röhre zeigen und Form und Reinheit des Feldes daran studieren (Versuch).

Diese wenigen Versuche mögen genügen, die Anwendung und Eignung der Braunschen Röhre für den besprochenen Zweck zu verdeutlichen, und ich wende mich nunmehr zur Vorführung des Oszillographen.

Der Aufbau desselben entspricht ganz dem eines Deprez-Galvanometers. Zwischen den Polen eines kräftigen Hufeisenelektromagnetes ist ein schmaler Bügel (Schleife) aus dünnem Metallband (Lahn genannt) gespannt, auf welchem ein kleiner Spiegel befestigt ist. Die beiden freien Enden der Schleife sind mit festen Stromzuführungsklemmen verbunden, während die Bügelmitte von einer kräftigen Feder gehalten wird.

Jeder stromführende Draht erfährt in einem Magnetfelde eine Bewegung, und zwar entsprechend der Stärke und dem Sinne des Stromes. Wird nun durch die Schleife Strom geschickt, so wird der eine Draht z. B. vor, der andere zurückbewegt, was eine Winkeldrehung des aufgeklebten Spiegels zur Folge hat. Läßt man ein paralleles Strahlenbündel einer kräftigen Lichtquelle auf den Spiegel treffen, so erhält man an dem reflektierten Strahl einen Zeiger, welcher in seiner Bewegung genau den Veränderungen des Stromes folgt, soferne nur die Trägheit und Schwingungsdauer des beweglichen Systems klein genug gewählt worden war. In den Apparaten, die Blondel und nach ihm Dudell und die Siemens und Halske-Aktiengesellschaft gebaut haben, ist dies nun erreicht. Es wird gesagt, daß das ganze bewegliche System nur $\frac{1}{2}$ bis 1 Milligramm wiege, und die Schwingungsdauer beträgt $\frac{1}{10000}$ bis $\frac{1}{5000}$ Sekunden. Die Breite des

Metallbandes beträgt nach meinen Messungen 0.13 mm , die Dicke 0.02 mm . Damit lassen sich nun allerdings Wechselstromkurven sehr genau mit ins kleine gehenden Einzelheiten aufnehmen. Für die Aufnahme ist nur noch eine gleichmäßig bewegte Trommel mit Papier notwendig, auf welche wie bei den registrierenden Barometern der Zeiger schreibt. Da unser Zeiger ein Lichtstrahl ist, bietet sich von selbst das photographische Verfahren als das zur Aufzeichnung der Spiegelbewegung geeignetste. Zu diesem Zwecke rotiert eine mit lichtempfindlichem Papier bespannte Trommel in einem lichtdichten Kasten, in welchem nur dem messenden Lichtstrahl durch einen Spalt Eintritt gewährt wird.

Für Projektionszwecke, um die Kurve einem größeren Kreise vorzuführen, benützt man statt der rotierenden Trommel einen gleichmäßig rotierenden Spiegel, dessen Achse rechtwinkelig zur Achse des schwingenden Spiegels der Schleife steht. So wird dann der Lichtpunkt von dem einen Spiegel in der einen Richtung entsprechend den Stromwerten, vom anderen in einer dazu rechtwinkelligen Richtung proportional der Zeit bewegt und das Ergebnis ist eben die gewünschte Kurve. Ich führe nun solche Kurven vor, und zwar sowohl mit dem genau zeichnenden Oszillographen von Siemens & Halske, als auch mit einem einfachen Apparat (Fig. 7), der zwar nicht gerade den höchsten Ansprüchen an Präzision genügt, aber immerhin noch befriedigende Ergebnisse liefert und den Vorzug der Billigkeit, sowie des übersichtlichen Aufbaues besitzt. Seine Empfindlichkeit ist immerhin noch so groß,

daß man damit die oszillatorische Entladung von Kondensatoren unter gewissen Umständen deutlich zeigen kann.

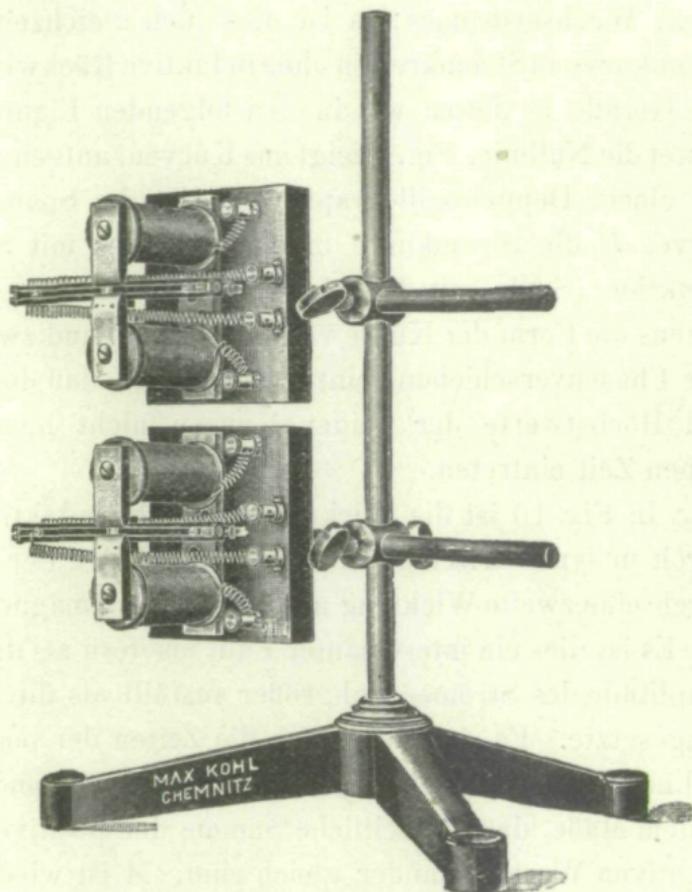


Fig. 7.

Lassen wir den rotierenden Spiegel sich drehen, aber die Oszillographenschleife stromlos, so erscheint eine wagrechte Lichtgerade; bewegt sich nur der Spiegel des Oszillographen, so erscheint eine lotrechte Ge-

rade. Durch das Zusammenarbeiten beider erhalten wir die gewünschte Kurve.

Wir sehen in Fig. 8 die Spannungskurve des städtischen Wechselstromes; es ist dies auch gleichzeitig die Stromkurve in Stromkreisen ohne induktive Rückwirkung. Die Gerade in dieser wie in den folgenden Figuren bedeutet die Nulllinie. Fig. 9 zeigt uns Kurven, aufgenommen mit einem Doppeloszillographen. *A* ist die Spannungskurve, *B* die Stromkurve in einem Kreise mit Selbstinduktion (Spule mit Eisen). Wir ersehen daraus, daß erstens die Form der Kurve verändert wird, und zweitens eine Phasenverschiebung eintritt, das heißt, daß die Null- und Höchstwerte der beiden Kurven nicht mehr zur selben Zeit eintreten.

In Fig. 10 ist die Wirkung der Selbstinduktion dadurch unsymmetrisch gemacht, daß das Eisen der Spule durch eine zweite Wicklung mit Gleichstrom magnetisiert ist. Es ist dies ein interessanter Fall, insofern als die eine Amplitude des Stromes viel größer ausfällt als die entgegengesetzte. Es sind aber auch die Zeiten der positiven und negativen Halbwelle verschieden geworden, und zwar in dem Maße, daß die zeitliche Summe der positiven und negativen Werte einander gleich sind. *A* ist wieder die Spannungskurve. In Fig. 11 ist der Ladestrom dargestellt, den man erhält, wenn man einen Kondensator (ein Apparat nach Art der Leydener Flaschen zur Ansammlung von Elektrizität) mit dem Wechselstrom ladet. Die Kurve erscheint ganz zerhackt, ein Beweis, daß der verwendete Wechselstrom keine reine, einfache Schwingungs-

form besitzt, sondern Obertöne höherer Ordnung enthält; die Ladung eines Kondensators ist, wie sich auch mathematisch zeigen läßt, ganz besonders geeignet, diese Obertöne heraustreten zu lassen, während im Gegensatz hierzu Spulen mit vielen Windungen und mit Eisenkern alle Spitzen und Zacken der Obertöne abschleifen.

Auch oszillatorische Entladungen von solchen Kondensatoren lassen sich mit dem Oszillographen zeigen, sofern die Periodendauer der hiebei auftretenden elektrischen Schwingungen nicht gar zu klein ist, nicht etwa unter 0·0005 bis 0·001 Sekunden liegt (Versuch).

Insbesondere aus den letzten Versuchen läßt sich erkennen, mit welcher Feinheit und Sicherheit der Apparat arbeitet und welch' wichtiges Hilfsmittel er dem Elektrotechniker bildet, namentlich wenn es sich um die Beobachtung und Erforschung von Erscheinungen handelt, die rasch verlaufen und nicht periodisch wiederkehren.

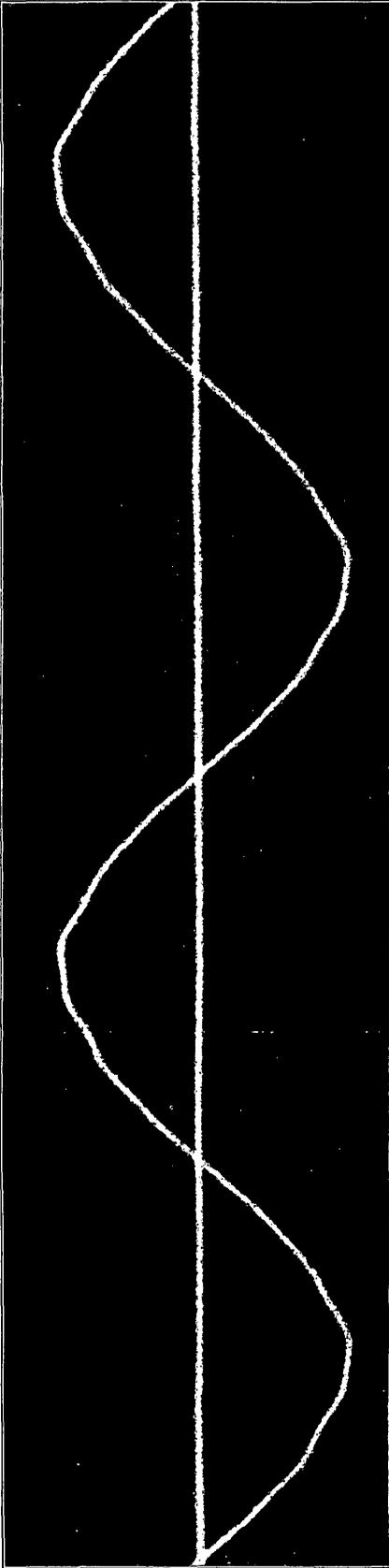


Fig. 8.

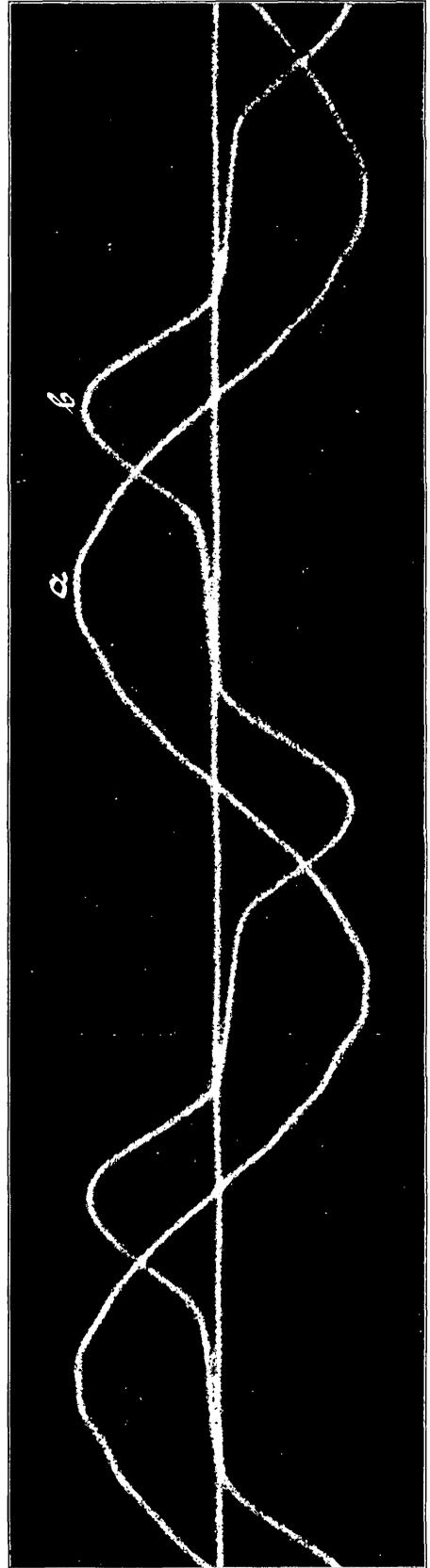


Fig. 9.

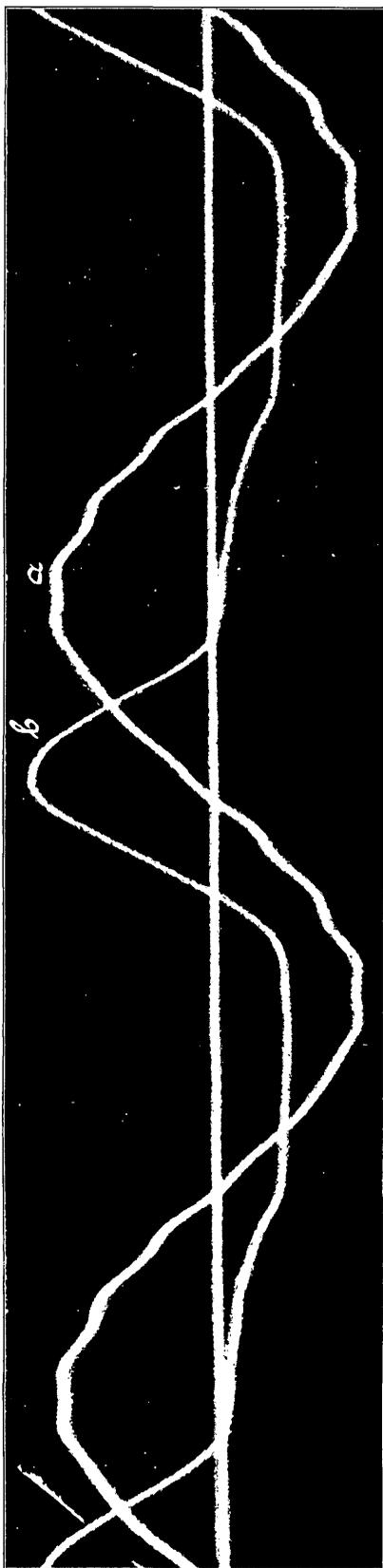


Fig. 10.

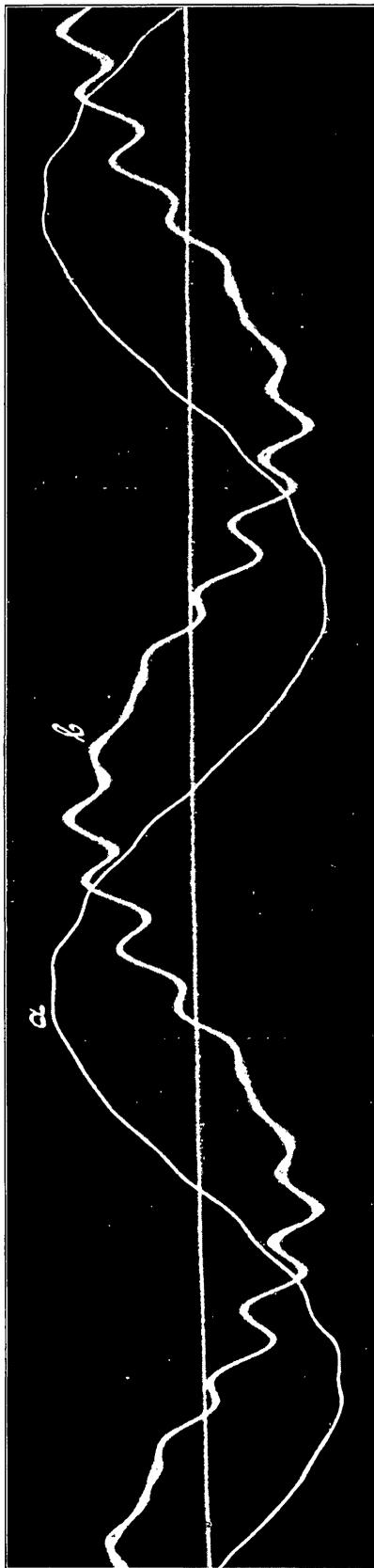


Fig. 11.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Schriften des Vereins zur Verbreitung naturwissenschaftlicher Kenntnisse Wien](#)

Jahr/Year: 1906

Band/Volume: [46](#)

Autor(en)/Author(s): Reithoffer Max

Artikel/Article: [Aufzeichnung elektrischer Wechselströme. \(2 unpaginierte Falttafel.\) 421-437](#)