© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Über eine Oszillographenkonstruktion.

Von

Hans Zickendraht.

Mehr und mehr hat sich der Oszillograph als Hilfsmittel der Experimentalvorlesung über angewandte Elektrizitätslehre eingeführt. Schon bei der Veranschaulichung verschiedener Gleichstromvorgänge, bei denen Stromstärke oder Spannung als Zeitfunktionen erscheinen und dann namentlich auf dem Gebiete des Wechselstroms leistet der Apparat unschätzbare Dienste. So manche Begriffe aus der Lehre vom Wechselstrome, die dem studierenden Anfänger zunächst einige Schwierigkeiten bieten — ich nenne nur gewisse Fragen über Kurvenformen, dann den Begriff der Phasenverschiebung — werden durch die präzisen Bilder auf Mattscheibe oder Photographenplatte dem Verständnis in kürzerer Zeit nahegebracht, als es der Vortrag des Dozenten zu tun vermag. Dies ist der Grund, weshalb auch mehrfach versucht wurde, einfache Oszillographen für den Unterricht zu bauen. Wie immer bei derartigen Problemen weisen die verschiedenen Lösungen wechselnde Vorzüge und Nachteile auf. Um ein Beispiel zu nennen: Der masselose, augenblicklich reagierende Kathodenstrahl der Braun'schen Röhre vermag auf dem besten Leuchtschirm doch nur verhältnismässig geringe Lichtintensitäten zu entwickeln; auf diesem Wege kann also keine Demonstration in grossem Raume vorgenommen werden, auch wird der Lichtfleck nur durch besondere Massnahmen genügend klein und scharf begrenzt erhalten. Dem gegenüber steht die grosse Lichtstärke des Schleifenoszillographen, dessen nie ganz zu überwindenden Nachteile Trägheit und Eigenperiode der Messchleife sind. Das Fehlen jeglicher Eigenperiode, das augenblickliche Ansprechen auch bei den höchsten Frequenzen infolge der Masselosigkeit hat dem Kathodenstrahl als Messystem die Aufmerksamkeit der Physiker eingetragen, die Bequemlichkeit der Handhabung, die Lichtstärke und die verhältnismässig kompendiöse Apparatur sicherten dem Schleifenoszillographen die Verwendung in der Technik. Dorther schöpften wohl auch

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Wehnelt[1]) und *Wittmann*[2]) die Anregungen zur Konstruktion ihrer Demonstrationsinstrumente, die eine wertvolle Bereicherung der Vorlesungsapparatur darstellen.

Der im Folgenden zu beschreibende Oszillograph geht direkt vom Wehnelt'schen aus; es wurde versucht, unter Anbringung einiger einfacher Modifikationen am Wehnelt'schen Modell im Zusammenbau mit der notwendigen Optik sowie einer kleinen Schalttafel für den bequemen Anschluss der Spannungs- und der Stromschleife an das zu untersuchende Objekt (Transformator, Lichtbogen und dergl.) eine Apparatur zu schaffen, die erstens jederzeit rasch für Vorlesungszwecke bereit ist und sich zweitens auch für Messzwecke mit und ohne photographische Aufnahme der Kurven eignet. Über den Grad der erreichbaren Messgenauigkeit später mehr.

Für die Vorversuche wurde zunächst vom Institutsmechaniker ein Wehnelt'scher Doppel-Oszillograph d. h. je ein vollständiges System aus Schleife und Elektromagnet gebaut und die beiden durch grosse Kugelgelenke allseitig beweglich gemachten Apparate übereinander an gemeinsamem Stative zu einem Ganzen vereinigt. Eine der Schleifen diente der Strom-, die andere der Spannungsmessung. Hierauf wurde ein schmales von einer kräftigen Bogenlampe kommendes Strahlenbündel durch zwei stark geneigte Beleuchtungsspiegel, der eine belegt, der andere unbelegt, so geteilt, dass zwei im Abstande der beiden Oszillographenspiegel einander parallel laufende Strahlenbündel entstanden. Durch passende Neigung der Beleuchtungsspiegel gelingt es bekanntlich, die Intensitäten beider Bündel gleich gross zu wählen. Je eine feine Lochblende und eine Linse bildeten die Vervollständigung der Optik. Es geriet, die scharfen Bilder der Lochblenden unter Vermittlung der beiden Oszillographenspiegel, die leicht zu einander geneigt wurden, auf einer beliebigen Stelle des Projektionsschirmes zur Deckung zu bringen. Schliesslich liess sich noch durch einen rotierenden Spiegel der Doppel-Lichtfleck zur horizontalen Linie auseinanderziehen, aus der dann beim Vibrieren der beiden Spiegel Strom- und Spannungskurve gemeinsam entstanden. Viel einfacher wird natürlich die ganze Anordnung, wenn es sich nur um die Darstellung einer einzigen Kurve handelt, aber die meisten Fälle des Unterrichtes verlangen gerade die gleichzeitige Darstellung von Strom- und Spannungskurve vornehmlich wegen gegenseitiger Verschiebungen, die ja meist auftreten.

Die oben gegebene Beschreibung der Versuchsdisposition lässt den hauptsächlichsten Mangel der Anordnung, ihre Unbequemlich-

---

[1]) Verhandlungen der Deutschen Physikalischen Gesellschaft 5 178 (1903).

[2]) Katalog des Phys. Mech. Instituts von Prof. Dr. M. Th. Edelmann & Sohn.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

keit, deutlich hervortreten. Da der ganze Fehler aber lediglich in dem zu grossen Abstande der beiden Oszillographenspiegel liegt, so lässt sich die ganze Optik unmittelbar durch Zusammenrücken beider Schleifen vereinfachen. Der Gedanke ist keineswegs neu, sondern beim Siemens'schen Oszillographen schon längst verwertet. So ergab sich die Zweiteilung des Magnetfeldes durch Zwischenschaltung eines Eisenklötzchens zwischen die Magnetpole und damit das Zusammenrücken der beiden Schleifen bis zu einem gegenseitigen Abstande der Schleifenaxen von 7 mm. Die Optik vereinfacht sich durch diese Massnahme beträchtlich, indem sie sich auf den Beleuchtungsapparat, bestehend aus Lichtbogen und Kondensor, eine Lochblende, ein Projektionsobjektiv, die vibrierenden und den drehenden Spiegel beschränkt.

Die Forderung, mit dem Apparate auch photographische Aufnahmen der Kurven machen zu können, bedingt den Einbau von Oszillograph, Drehspiegel und Objektiv in einen lichtdichten Kasten; in eine Wand desselben können Mattscheibe oder photographische Kassette eingeschoben werden. Die Lochblende sitzt verschiebbar auf einer einfachen optischen Bank ausserhalb der Kamera.

Damit sind die Grundlagen für den Bau des Instrumentes vorgezeichnet und wir gehen an Hand der Illustrationen zur kurzen Beschreibung über.[3]) (Fig. 1 auf der folgenden Seite.)

Ein Linsensystem wirft ein scharfes Bild des positiven Kraters einer Bogenlampe auf die Lochblende A, wobei die Öffnung des projizierenden Strahlenkegels vor der Blende tunlichst so zu wählen ist, dass das Objektiv B gerade eben erfüllt wird. Dieser Bedingung ist leicht zu genügen, indem man den Querschnitt des Strahlenkegels, der sich auf dem zugeklappten Objektivdeckel abzeichnet, passend einreguliert. Der Oszillograph C steht nun, an einer der geneigten Wände der Kamera befestigt, dem Objektive B in einem solchen Abstande gegenüber, dass der Querschnitt des hier sich verjüngenden Beleuchtungskegels eben noch beide Spiegel sicher deckt. Diese Anordnung gewährleistet günstigste Lichtausnutzung. Da das Einfallslot auf den Oszillographenspiegeln mit dem einfallenden Strahle einen Winkel von 32° bildet, so wird auch unter diesem Winkel das doppelte Strahlenbündel auf den Drehspiegel D geworfen. Es sind zwei solcher Drehspiegel vorgesehen, von denen jeder für sich in die Fassung eingesetzt werden kann. Die Demonstration der Kurven verlangt eine möglichst häufige Wiederholung des auf der Mattscheibe E erscheinenden Bildes; deshalb wurde für diese Zwecke eine zwölfteilige

[3]) Der Apparat kann durch die Firma Fr. Klingelfuss in Basel, welche die Herstellung übernommen hat, bezogen werden.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

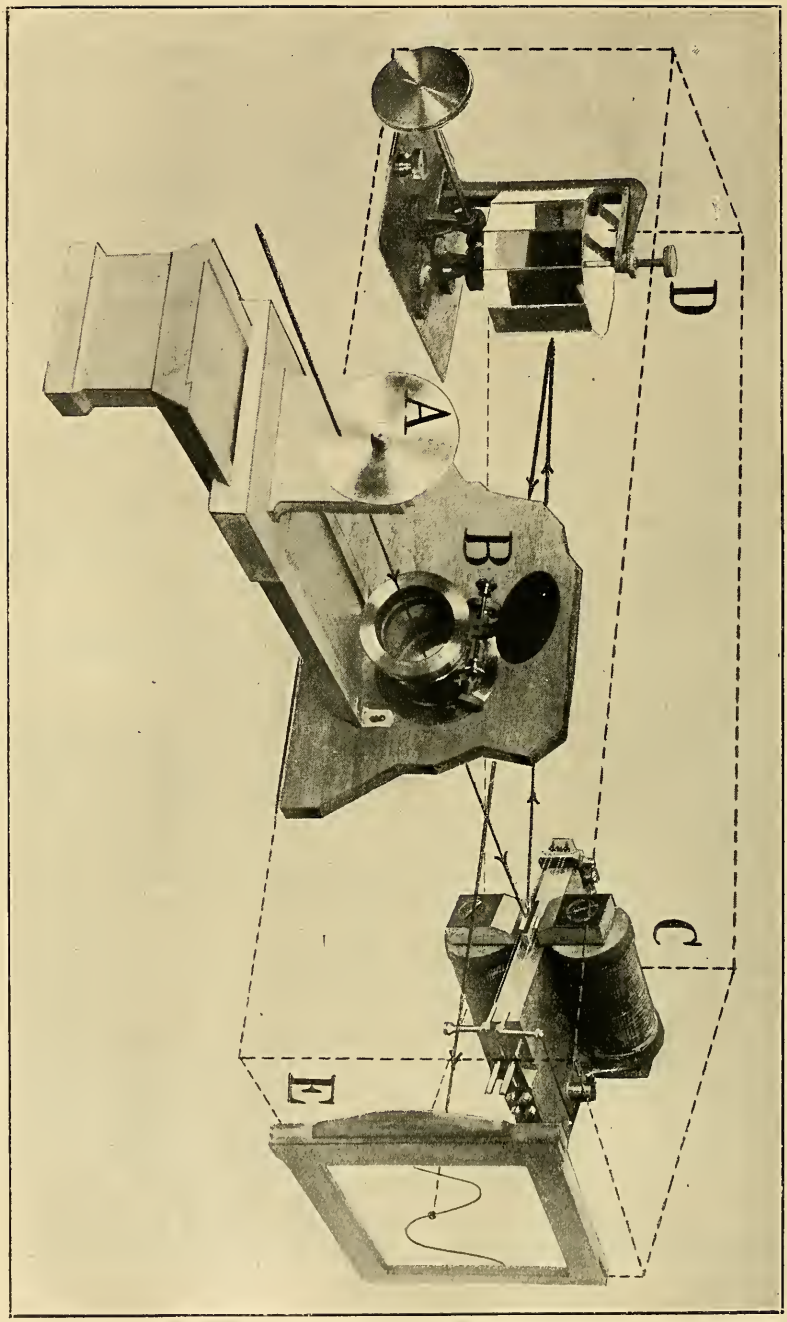

Fig. 1.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Spiegeltrommel gewählt. Die Trommel läuft zwischen Spitzen und erhält ihren Antrieb vermittels Schneckenrades von aussen. In Figur 1 ist auch die ausserhalb der Kamera liegende Schnurscheibe, welche dem motorischen Antrieb der Spiegeltrommel dient, dargestellt. Zum Zwecke der photographischen Kurvenaufnahme ersetzt man die Spiegeltrommel, die sich leicht herausnehmen lässt, durch einen einzigen auf der Vorderseite versilberten Spiegel, der bei einer Umdrehung um seine vertikale Axe nur eine Kurve auf der Mattscheibe entstehen lässt. Selbstverständlich muss der Moment, in welchem die Projektion der Kurve auf die an Stelle der Mattscheibe tretende photographische Platte erfolgt, von aussen erkennbar sein. Um dies zu ermöglichen, treffen bei der Spiegeldrehung einige in das Schneckenrad eingelassene Stifte eine kleine Feder und geben so mehrere kurze aussen hörbare Tonsignale. Während des Vorbeipassierens der Kurve auf der Platte bleiben die Signale aus, der Beobachter hat also während dieser Pause den Objektivdeckel offen zu halten und ist sicher, in diesem Zeitraume nur eine einzige Kurve auf der Platte aufgenommen zu haben. Der Lichtkreis auf dem geschlossenen Objektivdeckel bürgt dabei für die richtige Einstellung der Beleuchtungsvorrichtung.

Der Oszillograph C selbst soll noch in einigen Einzelheiten beschrieben werden. Sein Elektromagnet ist verhältnismässig kräftig angelegt, die Wicklung hat bei Zimmertemperatur 5,3 Ohm Widerstand. Versuche mit Gleichstrom in einer Schleife bei verändertem Magnetisierungsstrom ergaben, dass sich bei 2 Ampères in den Magnetwicklungen eine Annäherung an die Sättigung bereits deutlich bemerkbar macht. Ein dreizelliger Akkumulator direkt an die Magnetwicklung angelegt, erwies sich als günstigste Stromquelle.[4]) Der Anschluss geschieht wie bei den beiden Schleifen durch unverwechselbare Stecker von aussen (vergl. Fig. 2). Die Schleifen selbst bestehen aus Silberdraht von ca. 10 cm Länge und 0,01 cm Durchmesser. Sie können einzeln mittels einfacher Schraubvorrichtung angespannt werden, ausserdem ist es möglich, die beiden Drähte jeder Schleife gegeneinander zu verdrillen. So gewinnt man nämlich eine gute Justiermöglichkeit für die kleinen, vorne versilberten Oszillographenspiegel. Durch einen einfachen, von aussen ausführbaren Handgriff lassen sich die beiden Lichtpunkte auf der Mattscheibe, die der Strom- und der Spannungsschleife entsprechen, entweder zur Deckung bringen, etwa wenn es sich um die Aufnahme von Phasenverschiebungen handelt, oder trennen, wenn man Strom und

---

[4]) 2 Ampères erwärmten die Magnetwicklung bei Dauerversuchen etwas zu viel. 3 Akkumulatoren liefern etwa 1,2 Ampères Magneterregung.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Spannungskurve gesondert zeigen will. Wie schon beim Magneten erwähnt, führen die Enden der beiden Schleifen zu zwei Steckdosen auf der Aussenseite der Kamera. Der Oszillograph selbst ist mit seinem Grundbrette, einer Kastenwand, jederzeit leicht herausnehmbar und damit bequem zugänglich. Desgleichen lässt sich die von Objektiv und Spiegelantrieb durchsetzte Wand entfernen, was jeweils beim Übergang von der Projektion mittels Spiegeltrommel zur Photographie mittels des Einzelspiegels nötig wird. Die drehenden Spiegel können entweder durch einen Wechselstrom-Synchronmotor oder auch durch einen Gleichstrommotor angetrieben werden. Durch Einregulierung der Tourenzahl des Motors sorgt man bei Verwendung der Spiegeltrommel für ein möglichst ruhiges Bild der Kurven auf der Mattscheibe.

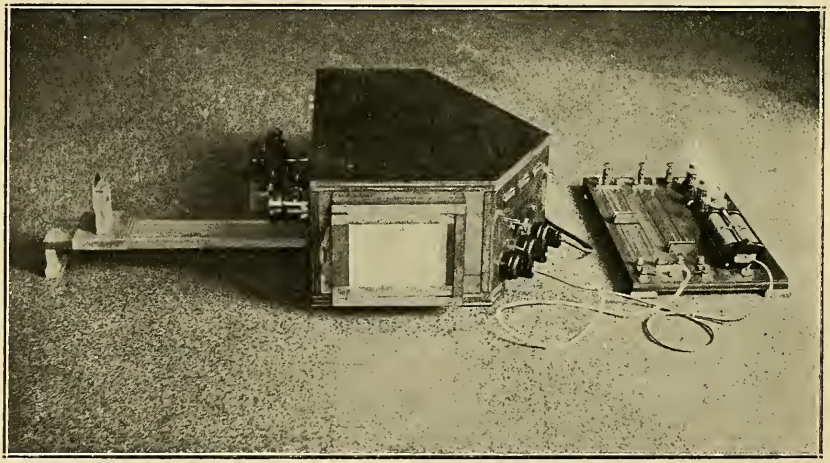

Fig. 2.

Der Bequemlichkeit der Handhabung wegen wurde schliesslich noch ein einfaches Schaltbrett angefertigt, welches den richtigen Anschluss von Strom- und Spannungsschleife erleichtern soll. Auf dem Brette befinden sich drei Schieberheostaten und drei Glühlampenfassungen zur Aufnahme verschiedener Lampenwiderstände. Die Schaltung versteht sich beinahe von selbst. Über die zwei dickdrähtigen Schieberheostaten, die vom Hauptstrome durchflossen werden, ist die Stromschleife im Nebenschluss gelegt. Diese Rheostaten sind praktisch als induktionsfrei zu betrachten. Der dritte feindrähtige Schiebewiderstand bildet mit den drei Lampen den Vorschaltwiderstand zur Spannungsschleife. Da der Rheostat etwas Selbstinduktion besitzt, so ist der Vorschaltwiderstand zur Span-

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

nungsschleife tunlichst durch die drei Lampen zu bilden und der Rheostat nur zur Zwischenregulierung zu benutzen. Jede Lampe lässt sich einzeln kurz schliessen und dadurch ausschalten.

Da die vorliegende kurze Abhandlung sich zunächst nur auf eine allgemeine Beschreibung des Oszillographen beschränken soll, so mögen hier nur noch einige vorläufige Betrachtungen über das Messen mit dem Apparate Platz finden:

Die Voraussetzungen für das korrekte Arbeiten eines Oszillographen sind bekanntlich

grosse Empfindlichkeit der Schleifen,
kurze Eigenschwingungsdauer und
gute Dämpfung.

Die ersten beiden Anforderungen bekämpfen sich leider, indem bei Verkleinerung der Eigenschwingungsdauer durch Anspannen der Schleife notwendig eine Verringerung der Empfindlichkeit eintreten muss. Als Dämpfungsmittel wurden vorderhand mit recht gutem Erfolge Watteunterlagen in gleichmässiger Verteilung unter den stark gespannten Schleifen versucht.

Ein Mass für Empfindlichkeit und Eigenfrequenz ist durch die folgenden Aufnahmen gegeben:

Fig. 3.

Einer der Wechselstromgeneratoren der physikalischen Anstalt[5]) wurde auf eine Frequenz von 83 pro Sekunde bei einer Spannung von 100 Volt eingestellt und mittels der gedämpften Schleife I die Kurve aufgenommen; der infolge von Erschütterungen vibrierende Spiegel der Schleife II zeichnete dann eine wellenförmige Null-

[5]) Vgl. die Abhandlung von *A. Hagenbach* in dieser Zeitschrift Bd. XXVIII (1917). Daselbst auch weitere Oszillogramme.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

linie, an welcher aus der bekannten Periodendauer der Wechselstromkurve die Eigenfrequenz gemessen werden konnte. Eine Gleichstromeichung der Ablenkungen bei einer Magneterregung von 1,5 Ampères gibt die Empfindlichkeit der Anordnung an.

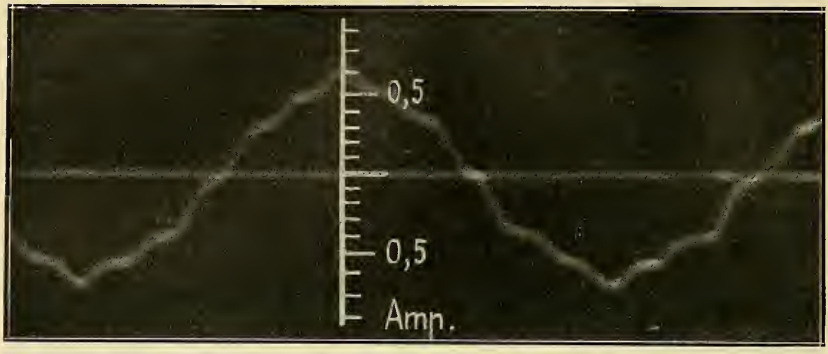

Fig. 4.

Auf der Mattscheibe resp. der Photographenplatte stellt also dar:
1 cm Ablenkung 0,48 Amp. Gleichstrom in der Schleife.[6])
Ferner ist die:

Zahl der Eigenschwingungen der Schleife II 913 pro Sekunde.
Eigenschwingungsdauer „ „ 0,00109 Sekunden.

Noch genauere Resultate lieferte eine photographische Aufnahme der Stromkurve eines Stimmgabelunterbrechers. Bei beiden ungedämpften Schleifen wurden dabei die Eigenschwingungen erregt, die sich bei der einen Schleife der Stromkurve überlagerten. So wurde ermittelt

Eigenschwingungszahl der Schleife I 845 Schw. pro Sek.
Schwingungsdauer 0,00118 Sek.
Eigenschwingungszahl der Schleife II 896 Schw. pro Sek.
Schwingungsdauer 0,00112 Sek.

Berücksichtigt man, dass bei der ersten Messung an Schleife II die etwas unsichere Angabe des technischen Frequenzmessers an der Wechselstrommaschine als Grundlage diente, so ist die Übereinstimmung zwischen den beiden Ergebnissen für die Schleife II als befriedigend zu erachten.

---

[6]) Vgl. hierüber die Wertung der Gleichstromeichung weiter unten.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Hier ein Vergleich der Eigenschwingungsdauern T anderer Oszillographen:[7])

Doppelter Hochfrequenzoszillograph von Duddell
T = 0,000125 bis 0,000100 Sek.
Einfacher Oszillograph mit Permanentmagnet von Duddell
T = 0,000200 Sek.
Oszillograph von Siemens und Halske
T = 0,000250 bis 0,000167 Sek.
Oszillograph von Blondel mit kurzem Al.-Band
T = 0,000100 bis 0,000067 Sek.
Demonstrations-Oszillograph von Wehnelt T = 0,003 Sek.

Bei allen Untersuchungen mit technischen Wechselströmen, deren Frequenz in der Gegend von 50 und darunter liegt, wird also der oben beschriebene Oszillograph vollauf genügen; auch bei 80 Perioden machen sich zufolge der guten Dämpfung die Eigenschwingungen noch nicht geltend. Es möge hier noch bemerkt werden, dass bei den verhältnismässig starken Schleifenströmen die Erwärmung der Schleifendrähte zu einer Vergrösserung der Eigenschwingungsdauer durch thermische Ausdehnung führt. Die Drähte erschlaffen etwas, infolgedessen nimmt die Empfindlichkeit der Anordnung mit steigender Stromstärke in der Schleife zu.

Untersucht man, wie an anderer Stelle näher erläutert werden soll, den Drehwinkel des Schleifenspiegels bei konstantem Magnetfeld als Funktion der Stromstärke in der Schleife, so findet man bei kleinen Stromstärken nahezu Proportionalität zwischen Stromstärke und Drehwinkel; gleichzeitig bemerkt man aber mit wachsender Schleifenbelastung die oben erwähnte Empfindlichkeitssteigerung, indem beim Gleichstromversuch schon bei etwa 0,5 Ampères eine zunehmende Erwärmung der feinen Silberdrähte und damit ein Kriechen des Spiegels bis zu einem gewissen Gleichgewichtswert eintritt. Die Drehwinkel des Spiegels wachsen dann rascher als proportional mit der Stromstärke.

Beispiel: Magneterregung von 1,45 Ampères. Schleife ohne besondere Dämpfung:

Strom in der Schleife II	0,32	0,44	0,60	0,83	Amp.
Drehwinkel „ „	1° 9′	1° 40′	2° 18′	3° 53′	

Wird die Schleife von Wechselstrom durchflossen, so entsteht in kurzer Zeit ein gewisser mittlerer Gleichgewichtszustand bezüglich

[7]) Vgl. *E. Orlich.* Aufnahme und Analyse von Wechselstromkurven. (Braunschweig 1906) p. 52.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

der Erwärmung; es stellt sich, da die Schleifentemperatur den Momentanstromstärken nicht folgen kann, eine mittlere Empfindlichkeit her, die von Stromstärke, Frequenz und Kurvenform des untersuchten Wechselstromes abhängig ist und somit von der Gleichstromeichung abweichen muss. Auch diese Verhältnisse werden sich am beschriebenen Oszillographen näher untersuchen lassen.

Schliesslich ist noch die Frage nach der optischen Übertragung der Spiegeldrehungen φ auf die Mattscheibe resp. Photographenplatte als Ordinaten der Kurve kurz zu beleuchten. Eine einfache geometrische Betrachtung liefert die Kurvenordinaten als Funktion der Spiegeldrehung φ, der Neigung α des beleuchtenden Einfallsstrahls bis zum Oszillographenspiegel (vergl. Fig. 1) und der Abstände Oszillograph—Drehspiegel D_1 und Drehspiegel Mattscheibe D_2. Die Rechnung mit den diesbezüglichen Daten des ausgeführten Apparates ergab für das im obigen Beispiel angeführte Intervall von 0 bis 4^0 Spiegelneigung an den Oszillographenschleifen noch nahezu vollständige Proportionalität zwischen Kurvenordinate und Spiegelneigung.

Die Kurven sind also umsoweniger verzerrt, je geringer die Schleifenstromstärke gewählt wird.

Innerhalb der zulässigen Schleifenstromstärken (bis etwa 0,5 Amp.) sind die Drehwinkel der Schleifenspiegel und die Kurvenordinaten dem Schleifenstrome nahezu proportional.

Bei Wechselstrom liegen die Verhältnisse, welche eine getreue Kurvendarstellung bedingen, wegen der gleichmässigen Schleifentemperatur und damit der konstanten Empfindlichkeit günstiger als es bei der Gleichstromeichung erscheint. Die letztere ist somit für die Momentanstromstärken beim Wechselstrome nicht ohne weiteres massgebend.

Physikalische Anstalt Basel, Abteilung für angewandte Physik
1. Februar 1917.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Verhandlungen der Naturforschenden Gesellschaft zu Basel

Jahr/Year: 1917

Band/Volume: 28_1917

Autor(en)/Author(s): Zickendraht Hans

Artikel/Article: Über eine Oszillographenkonstruktion 1255-1264