15. Die genaue Controle der Wechselzahl eines Wechselstromes; von J. Zenneck.

Die Frage, inwieweit die Wechselzahl eines Wechselstromes Schwankungen unterworfen ist, hat zwar in erster Linie für den Techniker Wichtigkeit, der sich über den Gang seiner Maschine und die Leistungsfähigkeit seiner Regulatoren so genau als möglich unterrichten will. Sie interessirt aber auch den Physiker, der bei seinen Versuchen den Wechselstrom einer Centrale benutzt und wissen möchte, wie weit er sich auf die „100 Wechsel pro Secunde“ verlassen kann.

Fig. 1.

Fig. 2.

Fig. 3.

Zweck des folgenden ist, eine einfache und sehr genaue Methode zur Entscheidung der Frage mitzutheilen.

Das *Princip* der Methode ist folgendes. Bringt man in ein von dem Wechselstrom erzeugtes Drehfeld eine Braun'sche Kathodenstrahlenröhre¹⁾ mit der Axe senkrecht zur Ebene des Drehfeldes, so beschreibt der Lumineszenzfleck auf dem Schirm der Röhre einen Kreis, wenn, etwa durch eine Influenzmaschine, fortgesetzt Kathodenstrahlen erzeugt werden. Das Bild, das auf dem Schirme erscheint, ist; wenn die Umdrehungszahl so gross ist, dass das Auge der Bewegung des Fleckes nicht mehr zu folgen vermag, ein hellleuchtender Kreis (Fig. 1).

Wird dagegen nur in einzelnen, gleichmässigen Intervallen, etwa n mal in der Secunde, eine Entladung durch die Röhre

¹⁾ F. Braun, Wied. Ann. **60**. p. 552. 1897; Elektrotechn. Zeitschr. XIX. Jahrg. p. 204. 1898.

geschickt, und ist die Umdrehungszahl des Drehfeldes ein ganzzahliger Theil von n , etwa $= n/2$, so ist das Bild dasjenige von Fig. 2. Durch jede Entladung wird ein Lumineszenzfleck erzeugt und dieser fällt, da die Richtung des Drehfeldes in dem betreffenden Momente stets dieselbe ist, auch immer auf dieselbe Stelle des Schirmes: es sind also auf dem Schirm zwei leuchtende, ruhig stehende Flecke sichtbar (Fig. 2).

Ist die Umdrehungszahl des Feldes nicht genau $= n/2$, so werden die beiden Flecke, welche bei einer bestimmten Umdrehung etwa die Lage A_1 bez. B_1 (Fig. 3) hatten, bei der nächsten Umdrehung auf A_2 bez. B_2 , bei der folgenden auf A_3 bez. B_3 zu liegen kommen. Ist die Umdrehungszahl

Fig. 4.

nur ganz wenig verschieden von $n/2$ und selbst sehr gross, so werden die Flecke allmählich die Lagen $A_1 A_2 A_3$ bez. $B_1 B_2 B_3$ annehmen: die beiden leuchtenden Flecke scheinen sich auf der Kreisperipherie fortzubewegen.

War also die Umdrehungszahl des Feldes ursprünglich $= n/2$, so wird die geringste Erhöhung derselben eine Rotation der Flecke in der Umdrehungsrichtung des Feldes, die geringste Verringerung eine Rotation der Flecke in umgekehrter Richtung zur Folge haben. Die Bewegung der Flecke liefert also unmittelbar ein sehr anschauliches Bild für die Schwankungen der Umdrehungszahl des Feldes und damit der Wechselzahl des Wechselstromes.

Zur Ausführung der Methode bemerke ich folgendes. Wie man das Drehfeld herstellt und ob es genau kreisförmig ist oder nicht, ist gleichgültig. Am einfachsten geschieht es in der von F. Braun¹⁾ beschriebenen Weise, indem man den

1) F. Braun, Elektrotechn. Zeitschr. XIX. Jahrg. p. 204. 1898.

Wechselstrom bez. eine Phase eines Drehstromes durch eine oder zwei einander gegenüberstehende Spulen, aus welchen Eisenhaken hervorragen, hindurchschickt. Die Beleuchtung der Röhre besorgt ein Inductorium (*J* Fig. 4), dessen primärer Kreis durch einen gut functionirenden Stimmgabelunterbrecher (*S* Fig. 4) unterbrochen wird. Man regulirt die Schwingungszahl der Stimmgabel durch verschiebbare und anschraubbare Gewichte — z. B. Klemmen für die Kohlen von Bunsenelementen — solange, bis sie gleich irgend einem ganzen und zwar möglichst kleinen Vielfachen der Umdrehungszahl des

Fig. 5.

Fig. 6.

Drehfeldes ist, bis also die Lumineszenzflecke ihre Lage nicht mehr ändern.

Bei meinen Versuchen benutzte ich als Wechselstrom eine Phase des von der hiesigen Centrale gelieferten Dreiphasenstromes von „180 Volt und 100 Wechseln in der Secunde“. Vorgeschaltet waren zwei 16 kerzige Glühlampen und eine kleine Drosselspule. Zur Erzeugung des Drehfeldes dienten zwei einander gegenübergestellte Spulen von je 265 Windungen und $0,24 \Omega$ Widerstand, jede mit einem Eisenhaken versehen. Fig. 5 zeigt eine photographische Aufnahme der Bahn, welche der Lumineszenzfleck bei dieser Anordnung beschreibt, wenn die Röhre mit einer Influenzmaschine betrieben wird — entsprechend Fig. 1 —. In Fig. 6 — entsprechend Fig. 2 — sind die beiden stillstehenden Flecke bei einregulirter Stimmgabel sichtbar. Zum Betrieb des Stimmgabelunterbrechers

wurden 4—6 Accumulatoren, zur Erzeugung der Kathodenstrahlen ein Inductorium mittlerer Grösse (Länge = 40 cm) oder ein grosser Funkeninductor verwendet.

Die ausserordentliche Empfindlichkeit der Methode zum Nachweis kleiner Schwankungen ist in die Augen fallend: wenn die Umdrehungszahl des Feldes gegenüber derjenigen, auf welche die Stimmgabel einregulirt ist, um eine Umdrehung zurückbleibt oder vorseilt, so hat das schon zur Folge, dass die Flecke die ganze Curve durchlaufen. Andererseits lassen sich fünf Umläufe der Flecke in der Secunde, wenn nur zwei vorhanden sind, noch verfolgen: das entspricht einer Aenderung der Umdrehungszahl des Feldes um ± 5 , einer Aenderung der Wechselzahl um ± 10 . Die Methode zeigt sich damit der akustischen, — welche demselben Zwecke dienen kann — Beobachtung der Schwebungen, welche ein unter dem Einfluss des Wechselstromes schwingender Körper mit einer Stimmgabel giebt, sowohl bezüglich der Empfindlichkeit als auch bezüglich des Bereiches der Verwendbarkeit überlegen und besitzt ausserdem den Vorzug grosser Anschaulichkeit.

Strassburg i. E., Physikalisches Institut.

(Eingegangen 3. Mai 1899.)