

D e r D r e h s t r o m .

Von

Dr. Max Reithoffer.

Vortrag, gehalten den 6. Februar 1901.

(Mit Skioptikon-Demonstrationen.)

Mit 3 Tafeln und 5 Abbildungen im Texte.

Im vorigen Jahre hatte ich die ehrende Gelegenheit, in dieser hochansehnlichen Versammlung über Wechselstrom zu sprechen und dabei zu erörtern, welche Eigenschaften den Wechselstrom berufen, eine ganz hervorragende, ja die wichtigste Rolle bei Lösung der elektrotechnischen Aufgaben der Zukunft zu spielen. Die Ausnützung von Wasserkraften für Zwecke der Industrie und des Verkehrs, der elektrische Betrieb von Fernbahnen, sowie die Versorgung ausgedehnter Großstädte mit elektrischer Energie aus Centralen außerhalb des Stadtgebietes verlangt die Anwendung hochgespannter Ströme. Denn nur mit solchen lassen sich in wirtschaftlicher Weise bedeutende Leistungen auf große Entfernungen übertragen. Je höher die Übertragungsspannung gewählt wird, um so geringer wird die für eine gegebene Leistung erforderliche Stromstärke, um so kleiner werden die Querschnitte der Leitungen und die Verluste in denselben. Ähnlich verhält es sich, wenn wir Druckwasser, Druckluft oder Dampf fortleiten. Je höheren Druck wir anwenden, um so geringer wird der secundliche Verbrauch an Wasser, Luft oder Dampf für gleiche Leistung ausfallen, um so kleinere Rohrquerschnitte können die Fortleitung übernehmen. Hoch-

spannung also ist die nothwendige Voraussetzung elektrischer Arbeitsübertragung über große Entfernungen.

Die Erzeugung von Hochspannung und die Umwandlung derselben in Niederspannung an der Verbrauchsstelle, wie es die Rücksicht auf die Sicherheit des Verbrauchers und seines Betriebes erfordert, ist aber nur mit Wechselstrom möglich. Die Eigenthümlichkeiten im Baue der Wechselstrommaschinen gestatten die directe Erzeugung hoher Spannungen, wie sie durch Gleichstrommaschinen nie erreicht werden können; wir besitzen aber auch in den Transformatoren einfache, ruhende Apparate, die keiner Bedienung und Wartung bedürfen, mit welchen wir die Spannungen in beliebiger Weise erhöhen und erniedrigen können.

Anfänglich blieb jedoch das vorwiegendste Anwendungsgebiet des Wechselstromes die elektrische Beleuchtung, während der Betrieb von Motoren mit Wechselstrom nicht in vollkommen befriedigender Weise möglich war. Da aber dadurch die elektrische Kraftübertragung über große Entfernungen überhaupt fraglich schien, so widmeten die Elektrotechniker einen großen Theil ihrer Kraft und Arbeit der Ausgestaltung des Wechselstromes und der Bekämpfung seiner Mängel, und als schönste Frucht dieses Strebens ist eine neue Anwendungsform des Wechselstromes zu betrachten, der Drehstrom.

Um die grundlegenden Eigenschaften des Drehstromes zu erkennen, müssen wir zurückgehen auf jene Grundgesetze, auf denen die Erzeugung elektrischer Ströme überhaupt beruht, auf das Inductionsgesetz.

Wenn wir vor den Polen eines Magneten — um einen besonders starken zu haben, nehmen wir einen Elektromagneten — einen Draht vorbeibewegen, dessen Enden durch einen Leiter geschlossen sind, so erhalten wir einen elektrischen Strom. Dieser kann zu Arbeitsleistungen im äußeren Stromkreise herangezogen werden, was ja thatsächlich mit dem Strome unserer Dynamomaschinen geschieht. Wollen wir keine äußere Arbeitsleistung erhalten, so können wir unseren Draht an seinen beiden Enden direct kurz verbinden, kurzschließen; dann wird der Strom nur in der so erhaltenen Windung selbst verlaufen. Jeder Strom entwickelt aber in dem Leiter, in dem er fließt, Wärme, gewissermaßen eine Folge von Reibung. Es wird also auch die kurzgeschlossene Windung, im Magnetfelde bewegt, Arbeit leisten, nämlich Wärme erzeugen.

Nach dem unumstößlichen Gesetze von der Erhaltung der Arbeit ist es unbedingt nothwendig, dass diesem Gewinn an Arbeit in unserer Windung irgend ein Verbrauch an Arbeit gegenüberstehen muss. Durch die Bewegung der Windung im Magnetfelde wird Wärme erzeugt, die Bewegung der Windung vor den Magnetpolen muss demnach von einer Arbeitsleistung begleitet sein. Es muss ein Aufwand von Arbeit, somit ein Aufwand von Kraft erforderlich sein, um die Windung zu bewegen. In der That sehen wir in unseren Centralstationen, dass es großer Antriebsmaschinen (Dampfmaschinen, Turbinen) bedarf, um die Windungen vor den Magnetpolen vorbeizubewegen. Der inducierte Strom in den Windungen

widersetzt sich der Bewegung, klammert sich an die Magnetpole und bremst so die eigene Bewegung. Diese Wirkung wird auch bei Bremsung unserer Motorwagen nutzbar verwendet. An einem einfachen Versuche können wir diese Erscheinung zeigen.

Sie sehen hier einen kräftigen hufeisenförmigen Elektromagneten (Fig. 1). Auf die Pole desselben lege ich zwei prismatische Eisenstücke und schraube dieselben in einer Lage fest, dass zwischen ihnen nur ein schmaler Spalt von 1 *cm* Breite bleibt. Solche Eisenstücke auf Magnetpolen nennt man Polschuhe; sie werden selbst magnetisch und bilden jetzt gewissermaßen die Pole des Elektromagneten. Ich habe noch keinen Strom in den Windungen, der Magnet ist noch nicht erregt, wie wir sagen, also noch fast ganz unmagnetisch.

Durch den schmalen Spalt lassen wir nun ein kreisbogenförmiges, massiges Stück Kupfer als Pendel schwingen. Durch gute Lagerung ist die Reibung recht klein gehalten, die Masse des Pendels ist schwer, daher schwingt das Pendel, einmal in Bewegung gebracht, lange fort. Ich setze es in Bewegung; es schwingt zwischen den Polen des unerregten Magneten, wie in freier Luft. Nun errege ich plötzlich den Magneten, indem ich Strom durch seine Windungen schicke. Sofort bleibt das früher kräftig schwingende Pendel stehen. (Der Versuch wird vorgeführt.) Das Pendel ist nicht im Stande, vor den Magnetpolen weiter zu schwingen; denn dabei werden in der Kupfermasse Ströme erzeugt, welche der Bewegung entgegenwirken und es daher aufhalten.

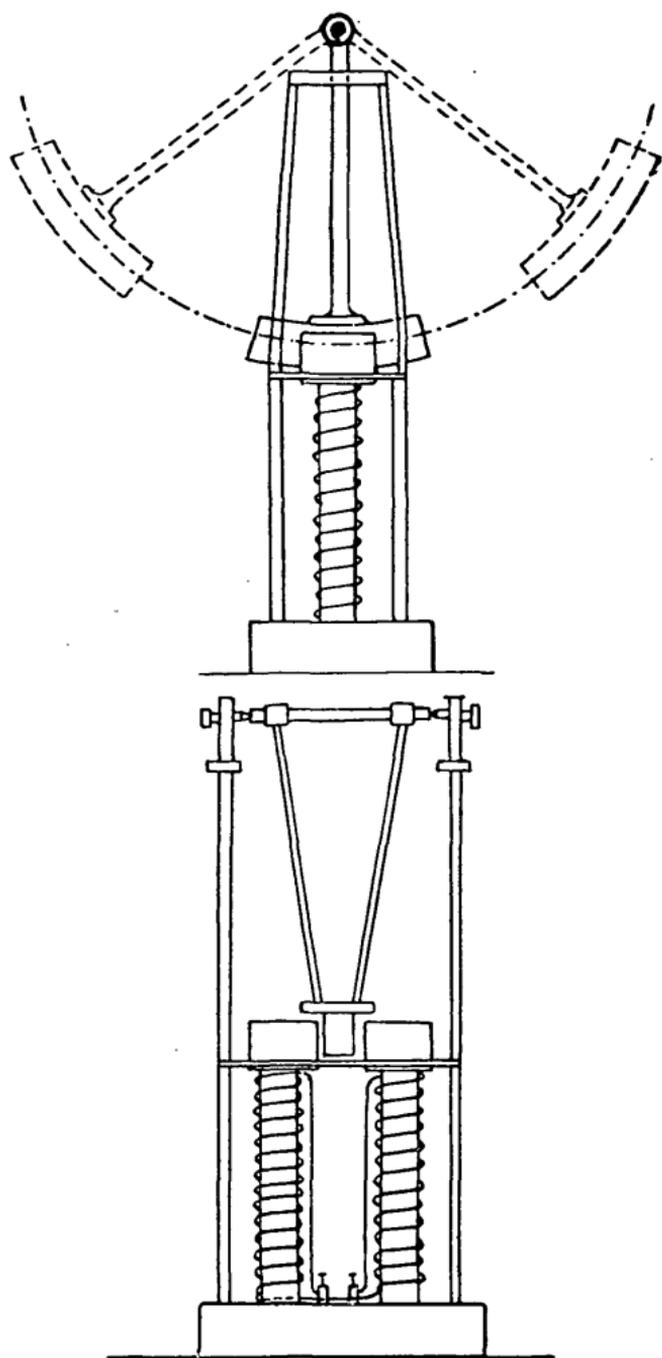


Fig. 1.

Diese Ströme haben hier keinen so regelmäßigen Verlauf wie in einer einfachen Wirkung; sie fließen in der Kupfermasse und bilden Wirbel um die Kraftlinien; man nennt sie daher auch Wirbelströme. Die magnetischen Kraftlinien, die von einem Magnetpole zum anderen gehen, die Träger der magnetischen Kraft, bieten dem Versuche, sie mit dem Kupfer zu durchschneiden, einen Widerstand. Es ist so, wie wenn unsichtbare elastische Fäden von einem Pol zum anderen gespannt wären. Man kann das auch fühlen, wenn man das Pendel mit der Hand durch den Raum zwischen den Magnetpolen, durch das magnetische Feld bewegt. Dieser Apparat, bekannt unter dem Namen Waltenhofen'sches Pendel, zeigt uns deutlich, dass zwischen Magnetpolen und davor bewegten elektrischen Leitern durch die Bewegung ein elastisches, kuppelndes Kraftband entsteht.

Es ist selbstverständlich der Versuch auch umgekehrt ausführbar. Machen wir den Magneten schwingend und das Kupferstück fest, so klammern sich auch jetzt die Kraftlinien der Pole an den elektrischen Leiter, und der Magnet kommt zur Ruhe.

Aber nicht bloß als Bremskraft lässt sich dieses elastische kuppelnde Band zwischen Magnetpolen und Leitern verwenden, sondern auch als Antriebskraft.

Denken wir uns vor der äußeren Zone einer drehbaren Kupferscheibe einen Magnetpol bewegt, so wird wieder das unsichtbare Kraftband entstehen, die ruhende Kupferscheibe sucht die Bewegung des Magneten aufzuhalten. Wenn wir aber unter Aufwendung mechanischer Kraft

den Magneten doch durchzwingen, so wird die Kupferscheibe selbst mitgerissen und dem Magneten nacheilen. Drehen wir den Magneten im Kreise herum, so wird sich auch die Kupferscheibe drehen, und zwar wird sie streben, so schnell zu laufen wie der Magnet selbst; denn dann erst wird die Spannung des kuppelnden elastischen Bandes, der Kraftlinien verschwinden. Wir erkennen aber, dass die Geschwindigkeit der Kupferscheibe nie die des Magneten wird erreichen können, weil eben dann keine ziehende Kraft mehr bestünde, und eine solche braucht die Kupferscheibe zu ihrer Bewegung, um die Reibung zu überwinden und ihre Drehung zu erhalten. Sie wird also etwas zurückbleiben müssen; wir nennen das die Schlüpfung.

Der drehenden Scheibe können wir auch irgend eine mechanische Arbeit auferlegen und erhalten dann eine unsichtbare Arbeitsübertragung. Wir drehen den Magneten, und ohne dass eine sichtbare Verbindung besteht, dreht sich die Scheibe mit. Freilich einen Elektromotor könnten wir das nicht nennen, denn was wir an mechanischer Leistung gewinnen, müssen wir bei der Drehung des Magneten selbst mechanisch aufwenden, sogar etwas mehr, da die Geschwindigkeit, mit der wir die kuppelnde Kraft überwinden, größer ist als diejenige, mit welcher diese Kraft arbeitet. Der Unterschied erscheint als Wärme in der Scheibe, die nothwendige Begleiterscheinung fließender Ströme, ist also ein Verlust. Wir folgern daraus schon jetzt, dass nur bei kleiner Schlüpfung ein wirtschaftliches Arbeiten möglich ist.

Nehmen wir statt einer Kupferscheibe einen regelmäßig bewickelten Eisenkörper, in welchen die Entstehung geeigneter Ströme noch günstiger vor sich geht, einen Anker, ähnlich wie in unseren Dynamomaschinen, so erhalten wir schon einen leistungsfähigeren Apparat. Noch immer ist es aber kein Elektromotor. Aber solche Apparate wurden vorgeschlagen zur Bewegungsübertragung. Erschweren wir die Entstehung von Strömen im Anker durch Einschaltung von Widerständen, so bedarf es zu ihrer Erzeugung einer größeren Schlüpfung. Ein solcher Apparat schien geeignet zur Veränderung der Drehzahl des Angetriebenen trotz gleichbleibender Tourenzahl der Antriebsmaschine, insbesondere für Automobile. Wir wissen jetzt, dass das in größeren Grenzen nur mit einem ganz unbrauchbaren Wirkungsgrade möglich wäre.

Aus dem beschriebenen Apparate wird erst ein Elektromotor, wenn es uns gelingt, die Drehung der Magnetpole elektrisch statt mechanisch zu bewirken. Wir erreichen dies auf folgende Weise:

Am Umfange des Ankers ordnen wir gleichmäßig vier Elektromagnetpole derart an, dass je zwei gegenüberliegende als zusammengehörig zu betrachten sind und von den zwei anderen nicht abhängen. Dazu sind zwei getrennte elektrische Stromkreise nothwendig, jeder zur Erregung eines gegenüberliegenden Paares von Magnetpolen (Fig. 2).

Wird nun Strom von oben durch die Wicklung I geschickt, während Wicklung II stromlos ist, so werden

die beiden verticalen Pole magnetisch, die Kraftlinien, die wir uns immer vom Nordpol ausgehend denken, durchsetzen den Anker in der Richtung des Pfeiles 1. Nun unterbrechen wir den Strom in der Wicklung I und schicken Strom in die Wicklung II von rechts. Jetzt werden die horizontalen Pole erregt, die Kraftlinien

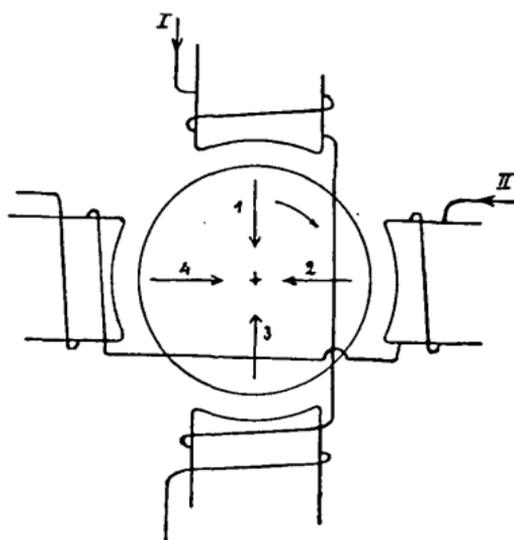


Fig. 2.

haben die Richtung des Pfeiles 2. Schicken wir wieder den Strom durch die Wicklung I, diesmal aber entgegengesetzt, nämlich von unten, so erhalten wir die Kraftlinienrichtung 3, schicken wir den Strom durch Wicklung II entgegengesetzt, von links, die Kraftlinienrichtung 4. Durch diesen fortwährenden Wechsel des Stromes in der geschilderten Weise erhalten wir ein Drehen der magnetischen Kraftlinien, gerade so, wie wenn außen zwei Magnetpole um den Anker liefen. Das Wirkungs-

gebiet eines Magneten nennen wir sein magnetisches Feld. Durch unsere Anordnung erhalten wir ein sich drehendes Feld, ein Drehfeld.

Verfolgen wir noch den Verlauf der beiden Ströme I und II, am besten, indem wir sie durch eine Zeichnung darstellen, so erhalten wir folgendes Bild (Fig. 3). Erst ist Strom I positiv, dann ist er für eine Weile, während welcher der Strom II positiv ist, ausgeschaltet, wird

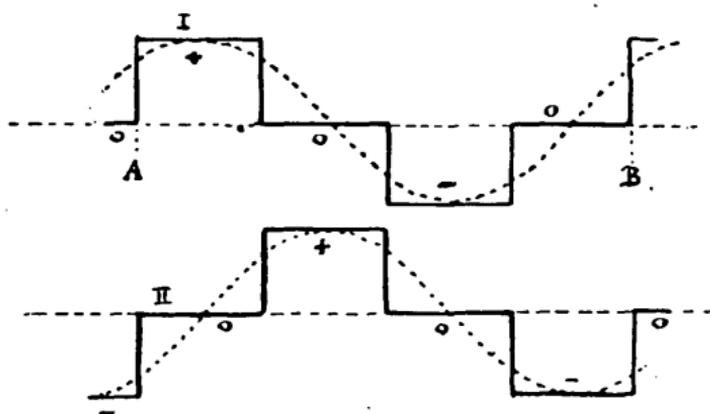


Fig. 3.

dann negativ, ist dann wieder eine Weile Null, während Strom II dieselbe Veränderung, aber etwas verspätet durchmacht.

Nun verschwinden und entstehen aber Ströme nie sofort, gerade so wie Geschwindigkeiten nicht mit einem Schlage entstehen und verschwinden können, sondern es finden allmähliche Übergänge statt, deren Art von den gegebenen Verhältnissen abhängt. Die eckigen Linien in Fig. 3, welche den Verlauf der Ströme darstellen, werden mehr oder weniger in eine den punk-

tierten Linien ähnliche Form übergehen. Das ist aber nur günstig für die Bewegung unseres Drehfeldes, weil dadurch auch die sprunghafte Bewegung desselben mehr oder weniger in eine gleichförmige übergeht. Denn bevor Strom und Magnetismus in I verschwunden sind, und bevor diese beiden in II den Vollwert erreicht haben, haben sie in beiden Polen Mittelwerte, deren Zusammenwirkung Zwischenstellungen des magnetischen Feldes geben. Da nun die Componente von I allmählich abnimmt, die von II allmählich zunimmt, so wird die Resultierende allmählich von I nach II wandern und so weiter. Durch eine derartige Anordnung sind wir in der Lage, ohne mechanische Drehung von Magnetpolen ein sich drehendes Magnetfeld zu erzeugen, und können damit einen diesem Felde ausgesetzten Anker mit geeigneten Kurzschlusswindungen in Bewegung versetzen.

Hier habe ich derartige Einrichtungen. Durch geeignete Spulen kann ich zwei aufeinander senkrechte Felder erzeugen, in welche ein Anker gestellt ist. Durch Schließen, Öffnen und Richtungswechsel der Ströme in den Spulen in der früher angegebenen Weise erhalte ich ein magnetisches Drehfeld. Und in der That beginnt der Anker zu rotieren. (Der Versuch wird vorgeführt.)

Nun wäre das eine umständliche und unangenehme Sache, wenn wir gezwungen wären, den Richtungswechsel des Stromes durch fortwährendes Umkehren eines Gleichstromes zu erzielen. Wir können dies einfacher machen, indem wir dazu jene Stromgattung benutzen, welche die Eigenthümlichkeit hat, bald positiv,

bald negativ zu sein, und dabei in stetiger Weise alle Zwischenwerte zu durchlaufen, den Wechselstrom. Aus Maschinen gewinnen wir sogar leichter den Wechselstrom als Gleichstrom. Es wird sich nur die Nothwendigkeit ergeben, zwei solche Wechselströme zu erzeugen, welche im Takte verschoben sind, derart, dass der eine seinen Höchstwert besitzt, während der andere Null ist. Da wir die Augenblickswerte eines solchen

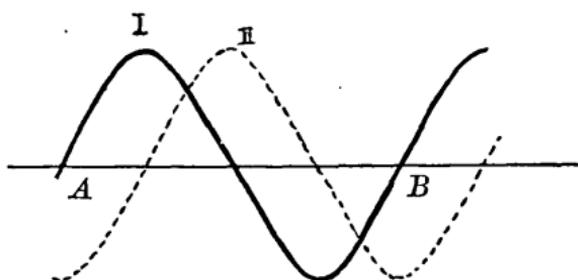


Fig. 4.

periodischen Vorganges die Phase nennen, so werden wir zwei solche Wechselströme als phasenverschoben bezeichnen.

Stellen wir den Verlauf eines solchen Wechselstromes durch eine Zeichnung dar, so erhalten wir eine Linie von ähnlicher Form wie I in Figur 4. Ein zweiter Wechselstrom, der die von uns gewünschte Phasenverschiebung gegenüber dem ersten besitzen soll, müsste den Verlauf wie II in derselben Figur zeigen. Da wir den Abschnitt von A bis B, aus dessen fortlaufender Wiederholung sich die periodische Erscheinung zusammensetzt, als die Periode der Erscheinung bezeichnen, so

erkennen wir, dass unsere zwei Wechselströme eine Phasenverschiebung von $\frac{1}{4}$ Periode besitzen müssen.

Als Vorbild einer periodischen Bewegung kann uns eine Speiche eines sich drehenden Rades dienen. Eine Periode umfasst die Drehung um 360° . Daher sprechen wir auch von den Winkeln der Phasenverschiebung, indem wir den Vorgang als Kreisprozess betrachten. Ein Viertel einer Periode entspricht 90° ; daher können wir unsere Ströme auch zwei um 90° verschobene Wechselströme nennen.

Durch diese Ströme können wir ein magnetisches Drehfeld erzeugen und einen in dieses Drehfeld hineingelegten Anker mit Kurzschlusswindungen zur Drehung und Arbeitsleistung veranlassen. Jetzt haben wir einen richtigen Elektromotor, denn die mechanisch gewonnene Energie wird hier nur elektrisch hineingesteckt. Auch jetzt werden sich die in dem Anker erzeugten Ströme an das enteilende Magnetfeld, an die sich drehenden Kraftlinien anklammern und dadurch den Anker mitreißen und in Drehung versetzen, gleichzeitig wird aber die Aufrechthaltung der Drehung des Magnetfeldes erschwert, und es bedarf auch jetzt eines Arbeitsaufwandes hiefür, der aber elektrischer Natur ist. Wieder wird der Anker um einen gewissen Betrag hinter dem Drehfelde zurückbleiben müssen, um die Schlüpfung, die für die Beurtheilung des Wirkungsgrades eine wichtige Rolle spielen wird.

Um einzusehen, wie solche Wechselströme erzeugt werden, brauchen wir bloß den Bau einer Wechselstrom-

maschine zu betrachten. Ein Rad trägt auf seinem Umfange eine große Zahl von Polen, abwechselnd Nord- und Südpolen, die durch eine Gleichstromwicklung magnetisiert werden, und dreht sich im Innern eines eisernen Kranzes (Fig. 5). In Bohrungen dieses Kranzes liegen nun Drähte, welche durch geeignete Verbindungen vorne und rückwärts zu einer fortlaufenden Wicklung werden.

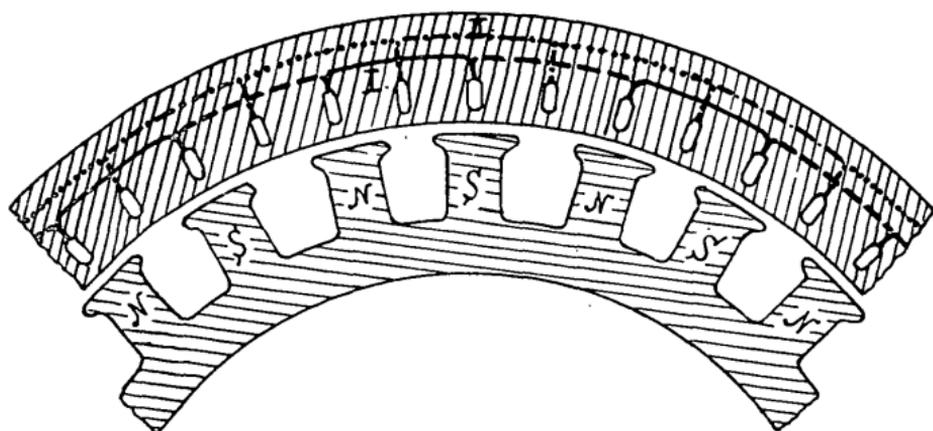


Fig. 5.

Anfang und Ende dieser Wicklung bleiben offen und bilden die Klemmen der Maschine. Betrachten wir die Wicklung (I) in der Figur, so sehen wir die Verbindungen vorne durch einen ausgezogenen Strich (—), rückwärts durch einen unterbrochenen (---) angedeutet. Bei der Drehung der Magnetpole inducieren dieselben Strom in den Drähten des Kranzes, die Nordpole in der einen, die Südpole in der anderen Richtung. Man sieht jedoch sofort, dass sich diese Inductionen durch die gezeichnete Hintereinanderschaltung addieren. Während

der Zeit, welche ein Nordpol braucht, um an Stelle des nächsten Nordpoles zu kommen, spielt sich eine Periode ab. Haben wir 50 Pole, 25 Nord- und 25 Südpole, so kommt das bei einer Umdrehung 25mal vor; macht die Dampfmaschine, welche das Rad dreht, 120 Umdrehungen in der Minute, so erhalten wir $120 \times 25 = 3000$ Perioden in einer Minute oder $\frac{3000}{60} = 50$ Perioden in einer Secunde, eine Periodenzahl, die sich häufig findet und auch für unser städtisches Elektrizitätswerk geplant ist. Die Entfernung von einem Nordpol bis zum nächsten Südpol wird in einer halben Periode zurückgelegt, die Hälfte dieser Strecke entspricht einer Viertelperiode. Legen wir in den Kranz außer der Wicklung I noch eine zweite gleiche Wicklung, um dieses Stück versetzt, so erhalten wir auch aus ihr einen Wechselstrom, der jedoch gegen den ersten in der Phase um eine Viertelperiode verschoben ist, wie wir es ja brauchen. (.....)

Wir haben bis jetzt betrachtet, wie zwei um 90° verschobene Wechselströme erzeugt und zum Betrieb höchst einfacher Motoren verwendet werden. Als Wechselströme lassen sie sich beliebig transformieren; sie werden hochgespannt fortgeleitet und in der Regel niedergespannt der Arbeit zugeführt. Ein solches System nennt man Zweiphasenstromsystem, indem man diese zusammengehörigen Ströme als einen Strom mit zwei Phasen betrachtet.

Aber wir können beliebig viele in der Phase verschobene Ströme mit einer Wechselstrommaschine er-

zeugen und dieselben zum Betrieb von Motoren verwenden. Zu diesem Zwecke theilen wir an der Stromerzeugmaschine die Bogenlänge des äußeren Kranzes in so viele Theile, als wir Ströme erzeugen wollen, und legen ebensoviele Wicklungen hinein, um entsprechende Stücke versetzt. Am Motor müssen wir die der Reihe nach versetzten Ströme durch ebensoviele der Reihe nach versetzte Wicklungen schicken, um durch die aufeinanderfolgenden Magnetisierungen ein sich drehendes Magnetfeld zu erzeugen und durch dieses einen Anker in Bewegung zu versetzen.

Die Eigenschaft des Mehrphasenstromes, durch geeignete, einfache Vertheilung desselben ein Drehfeld zu erzeugen, verschaffte ihm einen neuen Namen, die Bezeichnung Drehstrom, eigentlich eine ungeschickte Bezeichnung, indem wir sonst in dem Namen den Verlauf des Stromes anzudeuten pflegen (Gleichstrom, Wechselstrom), während hier eine Wirkung desselben bei besonderer Anordnung herausgegriffen wird. Demnach wären alle mehrphasigen Ströme als Drehstrom zu bezeichnen.

Da aber auf diesem Gebiete der Dreiphasenstrom sich eine ganz besondere Vorherrschaft erworben hat, durch Eigenthümlichkeiten, die hier nur ganz oberflächlich betrachtet werden können, ist man übereingekommen, gerade diesen als Drehstrom zu bezeichnen. Außer dem Dreiphasen- oder Drehstrom findet man nur noch häufig den von uns ausführlicher betrachteten Zweiphasenstrom in Anwendung; zum Unterschiede bezeichnet man häufig den gewöhnlichen Wechselstrom auch als Einphasenstrom.

Die Entdeckung des Drehfeldes und seiner Erzeugung durch phasenverschobene Ströme verdanken wir einem hervorragenden Gelehrten, Galileo Ferraris in Turin (1885), der sich jedoch nur mit dem wissenschaftlichen Versuche und seiner Deutung beschäftigte. In die technische Welt wurde es erst durch den in Amerika lebenden Nicola Tesla, einen der hervorragendsten Elektrotechniker der Gegenwart, in den Jahren 1887 bis 1891 eingeführt.

Zur Erläuterung des Gesagten mögen noch einige Versuche dienen. Hier habe ich einige Apparate, unter ihnen ein Nachbild des von Ferraris benützten. Ich schicke durch zwei getrennte Wicklungen Zweiphasenstrom und wir sehen, dass drehbare Eisenscheiben, Kupfercylinder, Anker mit Wicklungen durch das Drehfeld in rasche Drehung versetzt werden.

Setze ich auf eine Spitze in das Drehfeld eine Magnetnadel, so sehen wir, dass sie zwar etwas unruhig wird, aber nicht zu einer Drehung gelangt. Das hier sich drehende Feld macht in der Secunde ungefähr 42 Umdrehungen. Der Nordpol der Nadel spürt 42mal in der Secunde die ziehende Wirkung des vorbeilaufenden Südpoles. Aber kaum will er folgen, so ist dieser schon entflohen und an seiner Stelle ein abstoßender Nordpol. Die Nadel zittert etwas, aber sie kann keine Geschwindigkeit erlangen. Wenn ich ihr aber durch Schnellen mit dem Finger einen kräftigen Anstoß gebe, so kann sie sich an den anziehenden, sich drehenden Polen festhalten und läuft ebenso schnell mit wie das Feld. Die auf

dieser Grunderscheinung beruhenden Motoren laufen ohne Schlüpfung, die sogenannten Synchronmotoren. (Die Versuche werden vorgeführt.)

In Wien haben wir Zweiphasenstrom, den die Internationale Elektrizitätsgesellschaft nebst Einphasenstrom zur Vertheilung bringt, und bekommen in nächster Zeit Drehstrom im engeren Sinne oder Dreiphasenstrom aus dem Elektrizitätswerke der Stadt Wien.

Dieser letztere umfasst eigentlich drei Ströme, und man sollte meinen, dass zu deren Fortleitung sechs Drähte nothwendig sind. Es lässt sich aber zeigen, dass in den drei Rückleitungen die Summe der drei Ströme in jedem Augenblicke gleich Null ist, das heisst immer gerade so viel positiver als negativer Strom fließt. Was die eine Leitung an Strom aufnehmen will, das haben die beiden anderen gerade abzugeben. Aus diesem Grunde kann man die Rückleitungen weglassen, indem man die drei Enden zusammenknüpft, die drei Ströme verkettet. Sie decken sich gegenseitig in Bedarf und Überschuss. Eine gleiche Verkettung wird am Generator vorgenommen, so dass zur Fortleitung der drei Wechselströme nur drei Leitungen nothwendig sind. Das bringt eine große Leitungsersparnis mit sich, und darin liegt das Übergewicht des Dreiphasenstromes über den Zweiphasenstrom.

Überall, wo es sich um Übertragung elektrischer Energie über große Entfernungen nicht bloß zur Lieferung elektrischen Lichtes, sondern auch zur Erzeugung mechanischer Energie handelt, wird ausschließlich Mehr-

phasenstrom, insbesondere Drehstrom mit Vortheil zur Anwendung gelangen. Wir sehen ihn auch schon heute in großartigster Weise zur Ausnützung der Wasserkräfte in der ganzen Welt dienen. Auch den Betrieb elektrischer Bahnen beginnt er sich zu erobern. Viele Bergbahnen der Schweiz werden mit Drehstrom betrieben, unter anderen auch die Jungfraubahn, die ja den Gegenstand eines Vortrages im verflossenen Jahre gebildet hat. Auch die Versuche, welche sich auf den Betrieb von Voll- und Fernbahnen beziehen, gehen von der Anwendung hochgespannten Drehstromes aus, und es ist zu erwarten, dass bei der heutigen Vollkommenheit unserer Drehstromapparate diese Versuche einen Erfolg aufweisen, der ihnen die baldige Übersetzung in die praktische Wirklichkeit sichert.

Aus den zur Vorführung gelangten Lichtbildern seien hier einige wiedergegeben:

Fig. 6. Magnetrad einer Drehstromdynamo.

- „ 7. Inductions-kranz einer Drehstromdynamo.
 - „ 8. Drehstromcentrale. Die Drehstromgeneratoren, von Turbinen getrieben, tragen eine kleine Gleichstrommaschine angebaut zur Erzeugung des Gleichstromes für die Erregung der Pole des Magnetrades.
 - „ 9. Zweiphasenmotor. Oben der Kurzschlussanker (der Läufer), rechts der Träger der Zweiphasenwicklung (der Ständer), links der zusammengebaute Motor.
 - „ 10. Drehstrommotor. Die Ankerwicklung endet an Schleifringen, zwischen welche beim Anlassen des Motors Widerstände eingeschaltet werden, um nebst anderem einen übermäßigen Anlaufstrom zu verhindern. Wenn der Motor läuft, werden die Widerstände kurzgeschlossen.
-

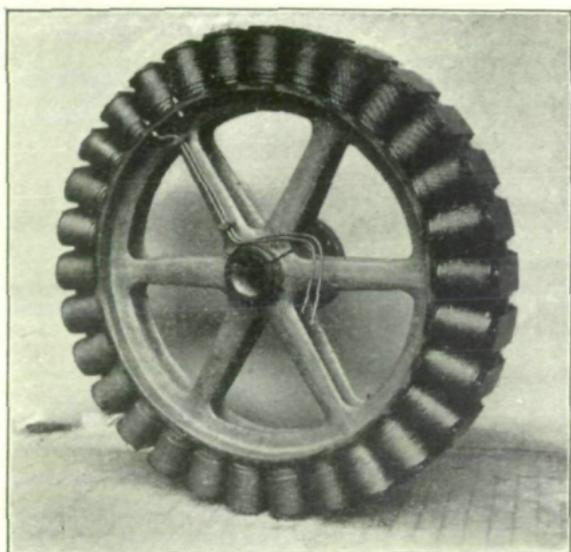


Fig. 6.

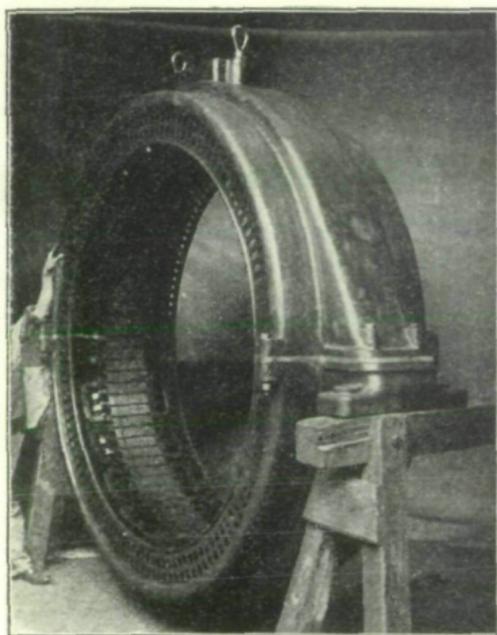


Fig. 7.

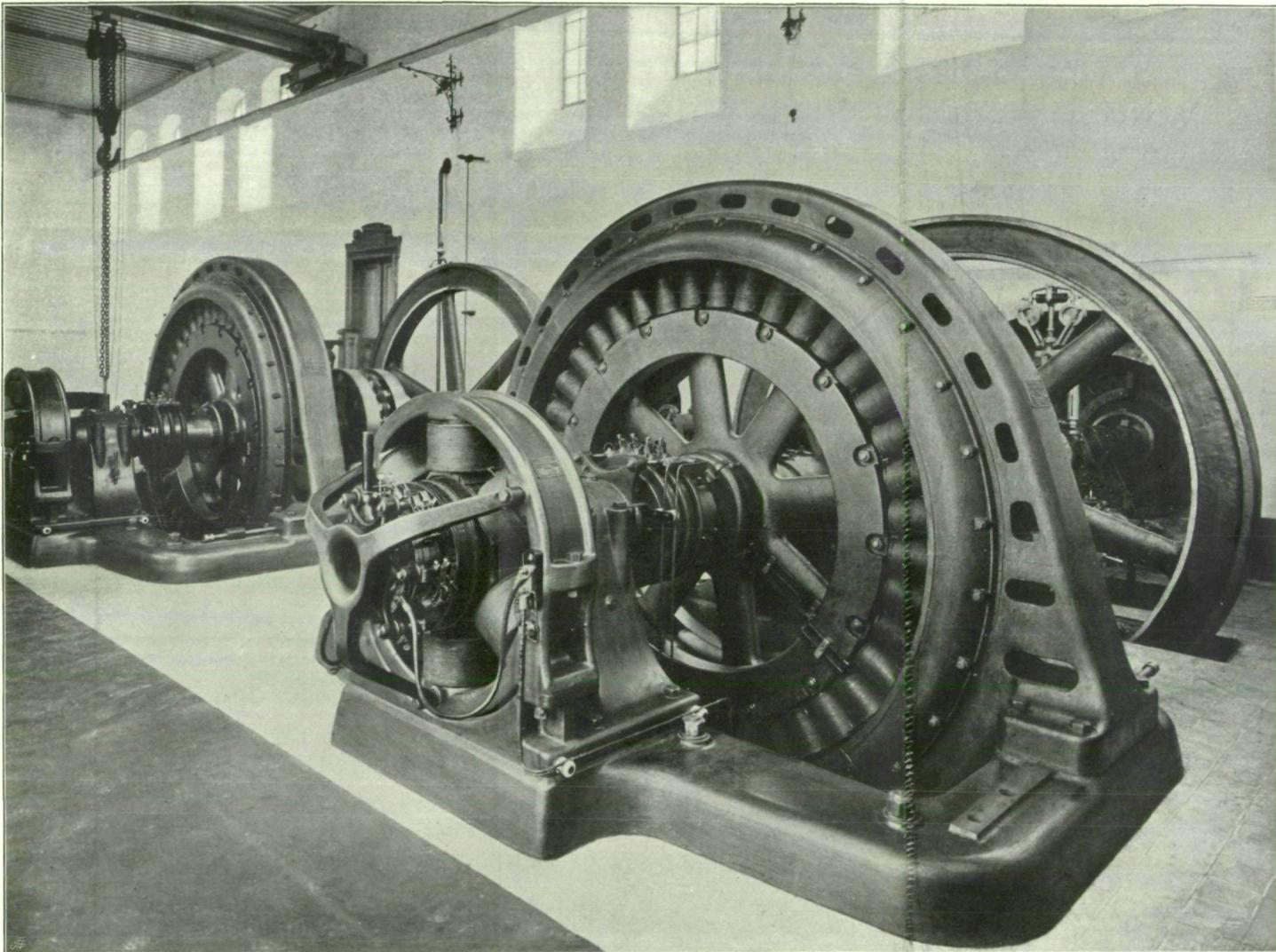


Fig. 8.

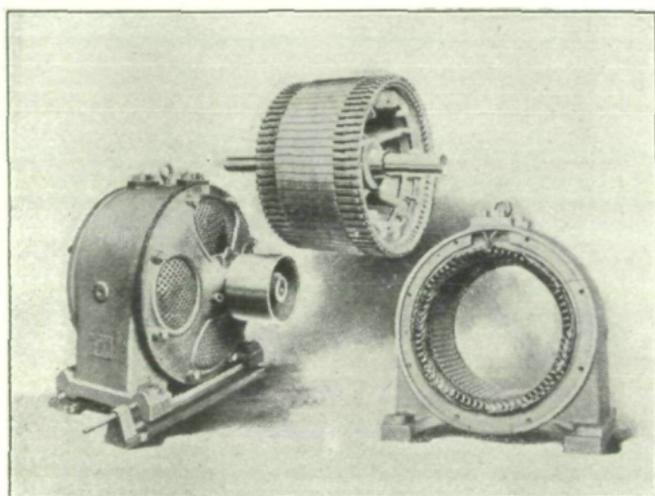


Fig. 9.

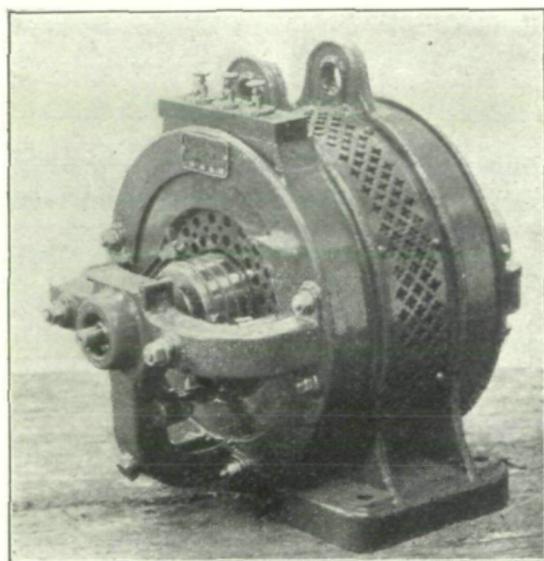


Fig. 10.

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: 1901

Band/Volume: [41](#)

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

Artikel/Article: [Der Drehstrom. \(3 Abbildungstafeln.\) 407-427](#)